

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL

PRODUÇÃO DE COMPÓSITOS TERMO ACÚSTICOS A BASE DE
RESÍDUOS RECICLADOS PROVENIENTES DA CONSTRUÇÃO CIVIL.

PATRICIA GOMES RIBEIRO AMORIM

Orientador: JOAQUIM CARLOS GONÇALEZ
Coorientador: DIVINO ETERNO TEIXEIRA

TESE DE DOUTORADO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

PUBLICAÇÃO: PPGEFL.TD – 045/2014
BRASÍLIA/DF, AGOSTO – 2014

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL

**PRODUÇÃO DE COMPÓSITOS TERMO ACÚSTICOS A BASE DE RESÍDUOS
RECICLADOS PROVENIENTES DA CONSTRUÇÃO CIVIL.**

PATRÍCIA GOMES RIBEIRO AMORIM

TESE DE DOUTORADO SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL DA FACULDADE DE TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTOR.

APROVADA POR:

**Joaquim Carlos Gonzalez, Doutor (Departamento de Engenharia Florestal, UnB)
(Orientador)**

**Alexandre Florian da Costa, Doutor (Departamento de Engenharia Florestal, UnB)
(Examinador Interno)**

**Ailton Teixeira do Vale, Doutor (Departamento de Engenharia Florestal, UnB)
(Examinador Interno)**

**Setsuo Iwakiri, Doutor (Departamento de Engenharia Florestal, UFPR)
(Examinador Externo)**

**Tereza Cristina Monteiro Pastore, Doutora (Laboratório de Produtos Florestais, LPF/SFB)
(Examinador Externo)**

**Cláudio Henrique Soares Del Menezzi, Doutor (Departamento de Engenharia Florestal, UnB)
(Examinador Interno - Suplente)**

Brasília, agosto de 2014.

FICHA CATALOGRÁFICA

AMORIM, PATRICIA GOMES RIBEIRO

Produção de compósitos termo acústicos a base de resíduos reciclados provenientes da construção civil.

XLV, 107 p., 210 x 297 mm (EFL/FT/UNB), Doutor, Tese de Doutorado – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Florestal, 2014.

1. Resíduos da construção civil.

2. Painéis.

3. Propriedades termo acústicas.

I. EFL/FT/UNB II. Título (série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

AMORIM, P. G. R. (2014). Produção de compósitos termo acústicos a base de resíduos reciclados provenientes da construção civil. Tese de Doutorado em Ciências Florestais, Publicação PPGEFL. TD045/2014, Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 107 p.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Patrícia Gomes Ribeiro Amorim

TÍTULO: Produção de compósitos termo acústicos a base de resíduos reciclados provenientes da construção civil.

GRAU: Doutor

ANO: 2014

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta tese de doutorado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte dessa tese de doutorado pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

Patrícia Gomes Ribeiro Amorim.
Caixa Postal 04357,
CEP: 70904-970. Brasília-DF-Brasil.
ribeiropg@unb.br.

Dedicatória

*“Talvez não tenhamos conseguido fazer o
melhor, mas lutamos para que o melhor fosse
feito.”*

M. Luther King.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por mais uma conquista.

- ✓ Ao meu esposo, Rubens Silva Amorim, que é a mola propulsora da minha vida e da minha carreira como Engenheira Florestal e Professora, quem compra minhas ideias malucas e me faz alçar voos cada vez mais altos, embora distantes;
- ✓ Ao meu filho, Miguel Quirino Ribeiro Amorim, motivo principal das minhas conquistas;
- ✓ Aos meus pais, Maria de Fátima Gomes e Luiz Sérgio Ribeiro, por demonstrar a importância dos estudos na vida;
- ✓ Ao meu orientador, Joaquim Carlos Gonzalez, pela amizade construída ao longo desses anos, pelo companheirismo, pelos ensinamentos, paciência e compreensão, parceria e conselhos paternos, e quem muito contribuiu com o fim desta etapa num momento tão delicado da minha vida;
- ✓ Ao meu coorientador, Divino Eterno Teixeira, pelos ensinamentos, pelos auxílios, pela curiosidade na pesquisa;
- ✓ Ao professor, Elias Bitencourt Teodoro, pela colaboração, incentivo e questionamentos sobre a utilização de painéis de madeira para absorção acústica;
- ✓ À empresa Diviforma pelo apoio à Pesquisa e contribuições no processo produtivo, bem como, por ceder o material utilizado na confecção dos painéis;
- ✓ Aos professores do departamento de Engenharia Florestal que muito me ensinaram ao longo de minha vida acadêmica;
- ✓ A Juliana Martins de Mesquita Matos, minha irmã siamesa de pais distintos, que sempre esteve ao meu lado nas situações mais adversas me apoiando e puxando a orelha;
- ✓ Ao Ricardo Faustino Teles, carinhosamente meu grande amigo da mão direita, a pessoa que me fez não desistir do Mestrado, quando me deparei com as aulas do professor Del Menezzi, sempre disposto a me ajudar no que fosse preciso;
- ✓ Ao Frederico de Souza, meu *brother* de aventuras interioranas no nordeste, parceiro de muitas horas produtivas e improdutivas, acadêmicas ou não, embora eu não jogue Xbox;
- ✓ Aos colegas do Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais pelas novas e antigas amizades que levarei para sempre;
- ✓ À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de pesquisa;
- ✓ As instituições de pesquisa, LPF, UFU, UFAC, que contribuíram com o desenvolvimento e conclusão deste trabalho;
- ✓ A todos que, de forma direta ou indireta, estiveram presentes durante o desenvolvimento desse trabalho, o meu muito obrigado!

Agradeço a você leitor, por se interessar pelo assunto desenvolvido nesse trabalho e desejo que ele possa lhe ajudar de alguma forma na sua vida pessoal ou acadêmica.

RESUMO

PRODUÇÃO DE COMPÓSITOS TERMO ACÚSTICOS A BASE DE RESÍDUOS RECICLADOS PROVENIENTES DA CONSTRUÇÃO CIVIL.

A indústria da construção civil, apesar de ser considerada uma das mais importantes atividades para o desenvolvimento econômico e social, é um setor que se caracteriza por grandes impactos ambientais, pois além do alto consumo de recursos naturais, é também uma grande geradora de resíduos, indo em contrapartida aos *slogans* de desenvolvimento sustentável. Em um mundo preocupado com questões ambientais e empresas pressionadas pela legislação ambiental e a produção de resíduos sólidos, este trabalho vem contribuir com a redução do descarte inadequado de partículas lignocelulósicas e minerais resultantes do processamento mecânico da madeira e resíduos provenientes de obras de construção e demolição urbanas. O objetivo deste trabalho foi avaliar a viabilidade técnica da reutilização de resíduos gerados na construção civil na região geoeconômica do Distrito Federal para fabricação de um compósito com características termo acústicas. Foram estudados tratamentos com percentagens diferentes de partículas lignocelulósicas e de partículas minerais (forro), para confecção de painéis. Estes painéis foram submetidos a ensaios físicos, térmicos, de propagação de chamas e acústicos. No geral, os painéis produzidos são leves, possuem conforto térmico e bom desempenho acústico, podendo ser utilizados como isolantes para interiores de paredes e forros, recheios de divisórias e porta corta fogo. Do ponto de vista de isolamento térmico, o tratamento 2 (30% de partículas lignocelulósicas e 30% de partículas de forro) se destacou mostrando maior eficiência térmica. Avaliando as propriedades acústicas dos painéis, o tratamento 3 (40% de partículas lignocelulósicas e 20% de partículas de forro) foi o que apresentou maior isolamento acústico. Entretanto para o coeficiente de absorção acústica, o tratamento 1 (25% de partículas lignocelulósicas e 35% de partículas de forro) mostrou melhor desempenho na faixa entre 2000 a 4500 Hz.

Palavras chaves: resíduos da construção civil, painéis, propriedades termo acústicas.

ABSTRACT

THERMOACOUSTIC COMPOSITES BASED ON RECYCLED WASTE FROM CIVIL CONSTRUCTION INDUSTRY.

The construction industry, despite being considered as one of most important activities for the economic and social development is a sector that is characterized by great environmental impacts, as well as the high consumption of natural resources, is also a major generator of waste, going a counterpart of the slogans of sustainable development. In a world worried about on environmental issues and companies pressured by environmental laws and the production of solid residues, this work contributes to the reduction for the inappropriate disposing of lignocellulosic particles and minerals from mechanical wood processing and waste from construction and demolition urban. The aim of this study was to evaluate the technical viability of reuse of waste generated in construction geo-economic region in the Federal District for the manufacture of a composite term acoustic features. Treatments with different percentages of lignocellulosic particles and mineral particles (lining), for produced panels were studied. These panels have been subjected to thermal, physical, flaming propagation and acoustic testing. In general, the produced panels were lightweight, had good thermal comfort and acoustic performance as well can be used as insulation for interior walls and ceilings, partitions fillings and fireproof door. From the point of view of insulation, Treatment 2 (30% of lignocellulosic particles and 30% of particulate liner) improved the thermal efficiency. Evaluating the acoustic properties of the panels, Treatment 3 (40% of lignocellulosic particles and 20% of particulate lining) showed the greatest acoustic insulation. However for the acoustic absorption coefficient, Treatment 1 (25% of lignocellulosic particles and 35% of particulate lining) presented better performance in the range of 2000-4500 Hz.

Key words: waste from civil construction industry, panels, thermoacoustics properties.

SUMÁRIO

RESUMO	vi
ABSTRACT	vii
SUMÁRIO.....	viii
LISTA DE TABELAS	x
LISTA DE FIGURAS	xi
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.2. Objetivos.....	2
1.2.1. Objetivos Gerais.....	2
1.2.2. Objetivos Específicos.....	2
1.3. Hipótese	2
1.4. Justificativa	3
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1. Resíduos Sólidos.....	4
2.1.1. Resíduos da Construção Civil	8
2.2. Qualidade, segurança e conforto ambiental.....	12
2.3. Materiais compósitos	13
2.4. Painéis de madeira reconstituída.....	17
2.4.1. Painel isolante	20
2.5. Propriedades Físicas: Densidade e Variação Dimensional.....	22
2.6. Propriedades Térmicas, Resistência ao Fogo e Acústicas dos Painéis Isolantes.....	25
2.6.1. Propriedades térmicas	25
2.6.2. Segurança contra incêndios em edificações	29
2.6.2.1. Propriedades de resistência ao fogo	30
2.6.2.2. Materiais ignífugos.....	32
2.6.3. Propriedades acústicas.....	33
2.6.3.1. Som e Ruído	34
2.6.3.2. Absorção e Isolamento acústico.....	36
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	42
3.1. Origem dos materiais	42
3.2. Preparo das partículas para composição do colchão.....	42
3.2.1. Partículas minerais	42
3.2.1.1. Forro de fibra mineral	42
3.2.1.2. Lã de rocha	43
3.2.2. Classificação granulométrica das partículas lignocelulósicas e minerais.	44
3.2.3. Determinação do teor de umidade das partículas lignocelulósicas	45

3.3. Projeto Piloto	45
3.3.1. Preparação do colchão de partículas para formação dos painéis do Projeto Piloto	45
3.3.2. Consistência em celulose residual nos efluentes.....	47
3.3.3. Densidade dos painéis	47
3.3.4. Descrição do delineamento experimental do projeto	48
3.4. Avaliação dos Painéis Selecionados	48
3.4.1. Propriedades Físicas	49
3.4.1.1. Densidade	49
3.4.1.2. Ensaio de absorção de água, inchamento em espessura e taxa de não-retorno em espessura.....	49
3.4.2. Avaliação da capacidade de isolamento térmico.....	50
3.4.3. Avaliação da resistência ao fogo dos painéis	51
3.4.3.1. Determinação da perda de massa ao fogo dos painéis	51
3.4.3.2. Teste de flamabilidade	52
3.4.4. Avaliação da propriedade acústica	53
3.4.4.1. Isolamento acústico	53
3.4.4.2. Absorção acústica pelo tubo de impedância com um microfone	55
3.5. Análise Estatística.....	57
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	58
4.1. Resultados do Projeto Piloto.....	58
4.2. Resultados e Discussão dos Painéis Selecionados para a Pesquisa	60
4.2.1. Propriedades Físicas dos Painéis.....	60
4.2.1.1. Densidade, Absorção de Água e Inchamento em Espessura e TNRE.	60
4.2.2. Isolamento Térmico.....	63
4.2.3. Resistência ao Fogo dos Painéis Estudados	67
4.2.3. 1. Perda de Massa.....	67
4.2.3. 2. Flamabilidade	67
4.2.4. Propriedades Acústicas	69
4.2.4.1. Isolamento Acústico	69
4.2.4.2. Absorção Acústica.....	72
5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	76
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	77

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Propriedades térmicas de madeiras e derivados e materiais isolantes térmicos.	28
Tabela 2. Limites de tolerância para ruído contínuo ou intermitente (NR 15/1978).....	35
Tabela 3. Média de coeficientes de absorção de som de vários materiais de construção...	36
Tabela 4. Granulometria e abertura das peneiras conforme a ASTM E11/1987.....	44
Tabela 5. Delineamento Experimental	48
Tabela 6. Critérios de avaliação aplicados para o teste de queima horizontal segundo a norma UL94 HB, 1991.	53
Tabela 7. Frequência máxima, mínima e ideal em função da distância (s) entre os microfones.	56
Tabela 8. Valores médios, mínimo e máximo da densidade aparente (g/cm^3) dos tratamentos iniciais a 12% de teor de umidade.	59
Tabela 9. Tratamentos selecionados conforme os valores médios da densidade aparente a 12% de teor de umidade, proporção e aglutinação das partículas.	60
Tabela 10. Análise estatística descritiva para a densidade aparente (g/cm^3) a 12% dos painéis estudados.	61
Tabela 11. Valores médios, dentro de cada tratamento, de absorção de água, inchamento em espessura e taxa de não-retorno em espessura dos painéis estudados.	62
Tabela 12. Comportamento térmico dos painéis: temperatura no interior das caixas a cada cinco minutos de intervalo de medição.	64
Tabela 13. Estatística descritiva dos valores médios, máximo e mínimo, em percentagem, de perda de massa ao fogo dos painéis termo acústicos.	67
Tabela 14. Valores mínimos, médios e máximos dos níveis de pressão sonora (dB) obtidos com o decibelímetro dos painéis estudados.....	69
Tabela 15. Análise estatística descritiva para o nível de isolamento acústico (dB) dos painéis termo acústicos em estudo.	70
Tabela 16. Comparativo do desempenho acústico, através de outras superfícies, de diferentes materiais.....	72

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Projeção da produção mundial de resíduos sólidos urbanos (RSU), 2012 -2025. Fonte: The World Bank (2012).	5
Figura 2. Disposição de resíduos sólidos urbanos por região do mundo. Fonte: The World Bank (2012).	6
Figura 3. Composição dos RSU: I – mundial; II – Estados Unidos; III – Brasil. Fonte: ABRELPE (2012); THE WORLD BANK (2012); EPA (2012).	8
Figura 4. Total de RCD coletados no Brasil e por região no período entre 2009 e 2012. Fonte: ABRELPE (2012).	10
Figura 5. Incidência dos contaminantes nas amostras. Fonte: LOPES et al. (2013).	11
Figura 6. Elementos de madeira utilizados na composição de materiais, do maior ao menor Fonte: modificado de Marra (1979).	14
Figura 7. Fluxo de produtos e subprodutos na Cadeia produtiva da Madeira. Adaptado de FAO (2001) e Iwakiri (2005).	18
Figura 8. Classificação de painéis de madeira de acordo com o tamanho das partículas e a densidade do painel. Fonte: Walker (2006).	19
Figura 9. Fluxograma de produção de painéis de fibras de madeira pelo processo úmido. Adaptado de KOLLMANN et al. (1975).	21
Figura 10. Esquema do inchamento em espessura de painéis de partículas, onde: Ei, Ed e Ef representam as espessuras inicial, depois da compressão e final, respectivamente e IEt, IEh e IEtc representam os inchamentos em espessura total, higroscópico e de tensão de compressão. Fonte: Adaptado de ARRUDA (2012).	24
Figura 11. Calor específico, ou capacidade térmica. TEXT, temperatura externa; TINT, temperatura interna. Fonte: Westphal et al. (2010).	27
Figura 12. Condutividade x Densidade em diversos materiais. Fonte: Westphal et al. (2010).	27
Figura 13. Comportamento de uma peça de madeira submetida a altas temperaturas Adaptado de PINTO e CALIL JUNIOR (2006); FIGUEROA e MORAES (2009).	31
Figura 14. Fontes sonoras e seus respectivos níveis de pressão sonora. Fonte: http://interpower-geradores.blogspot.com.br/2012/05/reducao-de-ruídos-em-aplicacoes-de.html	35
Figura 15. Esquema de montagem do sistema de medição para a determinação do coeficiente de absorção, usando a técnica de um microfone.	37
Figura 16. Trajetórias de uma onda sonora emitida junto à um dispositivo de redução de ruído. Fonte: Harris (1979) <i>apud</i> Freitas e Trabulo (2007).	40
Figura 17. Tipos de paredes de madeira e qualificação quanto ao isolamento acústico: a) parede múltipla com isolamento deficiente; b) parede múltipla com elevado poder de isolamento acústico. Fonte: Moreschi (2010).	41
Figura 18. Materiais de composição do painel termo acústico: a) serragem de madeira; b) forro de fibra mineral; c) lã de rocha.	42
Figura 19. Forro de fibra mineral em placa e após fragmentação.	43
Figura 20. (A) – Lã de rocha em placas como vem dispostas no fardo. (B) – após desagregação manual.	43
Figura 21. Classificador automático (a) e conjunto de peneiras (b), modelo BT-001, marca Tamis.	44
Figura 22. Processamento das partículas para formação do colchão. (A) – Mistura das partículas secas em 300 ml de água. (B) – Adição de água e adesivo. (C) – Adesivo diluído em 300 ml de água. (D) – Mistura após 1 minuto de liquidificação. (E) – Mistura após 2 minutos de liquidificação.	45

Figura 23. (A) – Formação do colchão por meio de filtração a vácuo. (B) – Colchão de partículas filtrado antes de desenformar. (C) – Colchão de partículas pronto para ser submetido à secagem.	46
Figura 24. Conjunto filtrante usado para a retirada de umidade do colchão de partículas.	46
Figura 25. Procedimentos para análise da consistência em celulose nos efluentes. (A) – Efluentes líquidos provenientes da filtração dos tratamentos 9, 6 e 1, respectivamente. (B) – Amostra para filtração. (C e D) – Colocação de papel filtro e filtração a vácuo, para retenção das partículas residuais. (E) – Secagem do papel filtro com as partículas residuais.	47
Figura 26. Corpos de prova retirados de cada painel produzido. A – Ensaios de isolamento térmico e acústico; B – Ensaios de absorção acústica; C – Ensaios de inflamabilidade; D – Ensaios de absorção de água e inchamento em espessura.	49
Figura 27. Ensaio de isolamento térmico. A – Caixa de compensado e disposição dos painéis; B – Termômetro digital modelo TD-890, fabricante ICEL, 4 canais de entrada, termopar tipo K (100 ° C ~ 1.300 ° C); C – Disposição dos termopares; D – Disposição das caixas na estufa; E - Estufa sem circulação forçada de ar.	51
Figura 28. Equipamento utilizado no ensaio de queima horizontal (Norma UL 94 HB/1991).	52
Figura 29. Ensaio de isolamento acústico. A – campainha; B – decibelímetro; C – fios e conexões; D – caixa de compensado. VFI – vista frontal interna da caixa; VP – vista posterior.	54
Figura 30. Ensaio de isolamento acústico. (A) – Montagem do ensaio de isolamento acústico. (B) – Ensaio em andamento. (C) – Distância entre o decibelímetro e a fonte sonora. (D) – Valores dados em decibéis.	55
Figura 31. Usinagem e preparo das amostras para ensaio de absorção acústica. (A, B) – Corte das amostras com serra copo com espaço interno de 40 mm. (C, D) – Amostras após o corte. (E) – Aplicação de fita isolante na extremidade da amostra para evitar que a mesma fique presa no tubo. (F) – Amostras prontas para o ensaio.	55
Figura 32. Representação esquemática do tubo de impedância acústica. 1 – alto falante; 2 – caixa acústica; 3 – conexão entre o tubo e a caixa acústica; 4 – fixação do microfone; 5 – porta amostra; 6 – apoio; 7 – tubo. Fonte: Salvo et al. (2005).	56
Figura 33. A – Montagem e execução do ensaio de acústica; B – Posicionamento da amostra; C – Aquisição das frequências com microfone pré-amplificador de 1/2", modelo 426E01, na posição 1; D – Dispositivo de aquisição de dados NI USB-9233, consiste de dois componentes: um módulo NI 9233 e um NI USB-9162 transportador; E – Gerador de sinal SRS modelo DS360; F – Porta amostra e vedação.	57
Figura 34. Classificação das partículas lignocelulósicas (A) e forro de fibra mineral (B).	58
Figura 35. Densidade a 12% de teor de umidade dos painéis estudados.	61
Figura 36. Absorção de água e Inchamento em espessura dos painéis.	63
Figura 37. Variação da temperatura (°C) para os painéis termo acústicos avaliados.	66
Figura 38. Taxa de queima linear dos painéis termo acústicos.	68
Figura 39. Isolamento Acústico dos painéis estudados.	71
Figura 40. Coeficiente de absorção acústica (α) dos painéis em estudo.	74

LISTA DE SIMBOLOS, NOMENCLATURA E ABREVIACOES.

f – frequencia

λ – condutibilidade termica

A – Energia absorvida

AA – absorção de gua

A_a – absorção sonora

ABNT – Associação Brasileira de Normas Tecnicas

ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais

ANOVA – Análise de Variância

ASTM – American Society for Testing and Materials

B_2O_3 – xido bórico

C – velocidade do som

CBMDF – Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal

cm^3 - centímetro cúbico

CMC – Compósitos de Matriz Cermica

CO_2 – dióxido de carbono

dB – decibéis

e – espessura

FAO – Food and Agriculture Organization (Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura)

FF – fenol formaldeido

FPL – Forest Products Laboratory

FUNASA – Fundação Nacional de Saúde

g – gramas

h – horas

hab – habitante

Hz – hertz

IBDF – Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IBM – International Business Machines

IE – inchamento em espessura

IPEA – Instituto de Pesquisa Econmica e Aplicada

ISSO – Internacional Organization for Standardization

K – coeficiente de condutibilidade térmica
K – Kelvin
Kcal – quilo caloria
Kg – quilograma
KJ – quilo joule
LPF – Laboratório de Produtos Florestais
m – metro
m² – metro quadrado
m³ – metro cúbico
MDF – Medium Density Fiberboard
MDP – Medium Density Particleboard
mm – milímetro
MMA – Ministério do Meio Ambiente
MMC – Compósitos com Matriz de Metal
NBR – Norma Brasileira
NPS – Nível de Pressão Sonora
NR – Norma Regulamentadora
° C – graus Celsius
OH – hidroxila
OSB – Oriented Strand Board
PAC – Programa de Aceleração do Crescimento
PIB – Produto Interno Bruto
PLP – Polímeros Reforçados com Fibras
PMC – Compósitos de Matriz de Polímero
PMCMV – Programa Minha Casa, Minha Vida
PNSB – Pesquisa Nacional de Saneamento Básico
PVA – acetato de polivinila
R – resistência térmica
RCD – Resíduos de Construção e Demolição
RSU – Resíduos Sólidos Urbanos
s – segundos
SFB – Serviço Florestal Brasileiro
SPSS – Statistical Package for Social Sciences
T – temperatura

TAPPI – Technical Association of the Pulp and Paper Industry

TNRE – Taxa de não-retorno em espessura

ton. – toneladas

UF – uréia formaldeído

UFU – Universidade Federal de Uberlândia

UL – Underwriters Laboratories

UnB – Universidade de Brasília

UNICEF – United Nations Children's Fund (Fundo das Nações Unidas para a Infância)

V – volume

W – watt

WPCs – Wood Plastic Composites

α_r - coeficiente de reflexão acústica

α – coeficiente de absorção acústica

1. INTRODUÇÃO

Ao longo da história da humanidade, a visão de progresso se confunde com o domínio e a exploração da natureza, pois os recursos naturais são vistos como ilimitados. Dessa forma são mal utilizados e produzem grande quantidade de resíduos pré e pós-consumo. Os resíduos são subprodutos gerados pelos processos econômicos, que incluem as atividades extrativistas, a produção industrial e os serviços. São gerados durante a fabricação e ao final da vida útil dos produtos, uma vez que se tornam um problema logístico para as empresas, por não ter uma destinação adequada, dessa forma os resíduos acabam sendo queimados ou depositados em lixões a céu aberto, se tornando ainda um problema ambiental.

O acelerado processo de urbanização colocou em evidência o enorme volume de resíduos de construção e demolição que vem sendo gerado nas cidades brasileiras e principalmente nos grandes centros urbanos. A cadeia produtiva da construção civil apresenta importantes impactos ambientais em todas as etapas do seu processo sendo uma das atividades que mais geram resíduos sólidos, desde a extração de matéria prima até o final da vida útil da edificação, que ao perder sua utilidade se transforma em resíduo de demolição (JOHN, 2001; CARNEIRO et al., 2001). A reciclagem de resíduos pela indústria da construção civil vem se consolidando como uma prática importante para a sustentabilidade seja atenuando o impacto ambiental gerado pelo setor ou reduzindo os custos.

A intensidade da geração de resíduos e a extensão dos impactos por eles causados apontam claramente para a necessidade de reduzir, reciclar e reutilizar, para dessa forma, mitigar os danos ambientais, e criar oportunidade para a indústria, comunidades locais, governos e sociedade em geral.

As propriedades de alguns resíduos possibilitam sua aplicação na construção civil de maneira abrangente, em substituição parcial ou total da matéria prima utilizada como insumo convencional. Os resíduos podem deixar de ser um passivo ambiental, sendo processados como agregado, na produção de componentes de construção e argamassa, pavimentação asfáltica, vedações verticais, painéis de madeira reconstituída ou ainda para fins energéticos em fornos ou caldeiras.

Existem resíduos como a madeira, a lã de rocha e o forro de fibra mineral que são matérias primas à construção de painéis para compartimentalização de ambientes. A utilização de painéis de vedação pré-fabricados imprime maior velocidade ao processo construtivo, elimina etapas e dificuldades relativas à execução dos acabamentos que, no caso dos painéis, podem ser incluídos na linha de produção.

Além da compartimentalização dos ambientes, as divisórias para algumas situações devem proporcionar conforto ambiental e segurança, na forma de isolamento térmico, acústico e proteção contra o fogo. O isolamento térmico e acústico é de grande importância para o segmento da construção civil, haja vista que atualmente se insere no mercado de edificações sustentáveis, onde os principais aspectos são a economia de energia e a eficiência energética, sendo um item fundamental em relação à qualidade de vida dos usuários.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivos Gerais

O objetivo geral deste trabalho é avaliar a viabilidade técnica da reutilização de resíduos gerados na construção civil para fabricação de um compósito com características termo acústicas.

1.2.2. Objetivos Específicos

Os objetivos específicos são:

- Analisar e indicar usos aos resíduos das indústrias de construção civil (serragem de madeira, forro de fibra mineral e lã de rocha), levando em consideração suas potencialidades tecnológicas;
- Testar a granulometria das partículas, proporção de serragem/forro de fibra mineral/lã de rocha, tipo e quantidade de adesivo (aglutinante) e a adição de uma substância química com intuito de melhorar as propriedades térmicas do compósito;
- Desenvolver um compósito para ser utilizado como miolo na indústria de painéis de divisórias que permita associar à função de vedação, ao conforto térmico e leveza, complementado com o desempenho acústico;
- Avaliar a qualidade dos compósitos no que se referem às propriedades físicas (densidade e instabilidade dimensional), isolamento térmico e propagação de chamas, isolamento acústico e coeficiente de absorção acústica.

1.3. Hipótese

Compósito formado por resíduos de serragem de madeira, forro de fibra mineral e lã de rocha possui propriedades isolantes, tanto térmica como acústica, podendo ser empregado como miolo de painéis de divisórias ou em paredes corta fogo.

1.4. Justificativa

Na era da sustentabilidade faz-se necessária a adequação do sistema produtivo das indústrias às pressões exercidas pela legislação ambiental, de forma a reduzir o desperdício de recursos naturais bem como o aproveitamento dos resíduos na produção de bens. Dessa forma esse trabalho pode contribuir com as indústrias de construção civil e indústrias que tenham como matéria prima principal a madeira, dando a estas uma alternativa econômica para o uso de seus resíduos.

A confecção de um compósito à base de resíduos de serragem de madeira, forro de fibra mineral e lã de rocha, poderá ser uma alternativa de ganho ambiental, social e econômico para as indústrias deste segmento, disponibilizando para o público um produto com propriedades termo acústica.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Resíduos Sólidos

No Brasil, a década de 70 foi intitulada a década da água, a de 80 a década do ar e a de 90, de resíduos sólidos (CAVALCANTI, 1998), marcadas pelo desperdício e pelas contradições de um desenvolvimento industrial e tecnológico sem precedentes na história da humanidade (FERREIRA, 1995).

Segundo Marques Neto (2005), o termo resíduo é originário do latim *residuu*, que significa aquilo que sobra de qualquer substância.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos, Lei 12.305/2010, em seu artigo 3º, inciso XVI, define como resíduo sólido:

[...] material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível”.

Outra definição, originada da Fundação Nacional de Saúde – FUNASA (2004) denomina os resíduos sólidos como materiais heterogêneos, (inertes, minerais e orgânicos) que são resultantes de atividades humanas e da natureza e que podem ser parcialmente utilizados, o que propicia a proteção à saúde pública e a economia de recursos naturais.

De acordo com pesquisa realizada pelo Instituto de Pesquisa Econômica e Aplicada (IPEA) e do Ministério do Meio Ambiente (MMA), publicada em abril de 2010, foram analisadas cinco das principais cadeias produtivas, apontando o quanto desperdiçamos. Trata-se de oito bilhões de reais por ano em materiais que não são reaproveitados, como insumos que poderiam voltar para as cadeias produtivas; trata-se de economia, dinheiro, trabalho, renda e inserção social, aspectos esses abordados fortemente pela Política Nacional de Resíduos Sólidos, além das questões ambientais que também são fundamentais.

Em pesquisa realizada pela Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE) em 2012, a produção de lixo no país reduziu em relação ao ano de 2009,

entretanto comparando com índices de 2011, cresceu quase duas vezes mais do que a população brasileira; e o volume de resíduos sólidos urbanos (RSU) aumentou em 1,3%, em comparação com os dados obtidos pela mesma pesquisa em 2011.

Aproximadamente 80% da população brasileira vivem em áreas urbanas, ao mesmo tempo em que a geração de resíduos sólidos per capita está aumentando cada vez mais. A geração média de resíduos no Brasil tem se situado num patamar de países desenvolvidos (Figura 1), em torno de 1,23 kg/hab./dia. Estima-se que são geradas 201.058 toneladas/dia de resíduos urbanos e apenas 181.288 são coletadas diariamente (ABRELPE, 2012). Em 2011, os americanos geraram cerca de 250 milhões de toneladas de lixo, o equivalente a 4,40 kg/hab./dia (EPA, 2012). Em 2010, a geração total de RSU na União Europeia ascendeu a 2.502 milhões de toneladas, 1,43 kg/hab./dia (EUROSTAT, 2013). Cidades em países mais ricos descartam uma média de 2,2 kg por habitante por dia, por outro lado, as regiões do leste da Ásia, África e Sul da Ásia têm a menor taxa de geração per capita em médias de 0,95; 0,65 e 0,45 kg por dia, respectivamente (THE WORLD BANK, 2012).

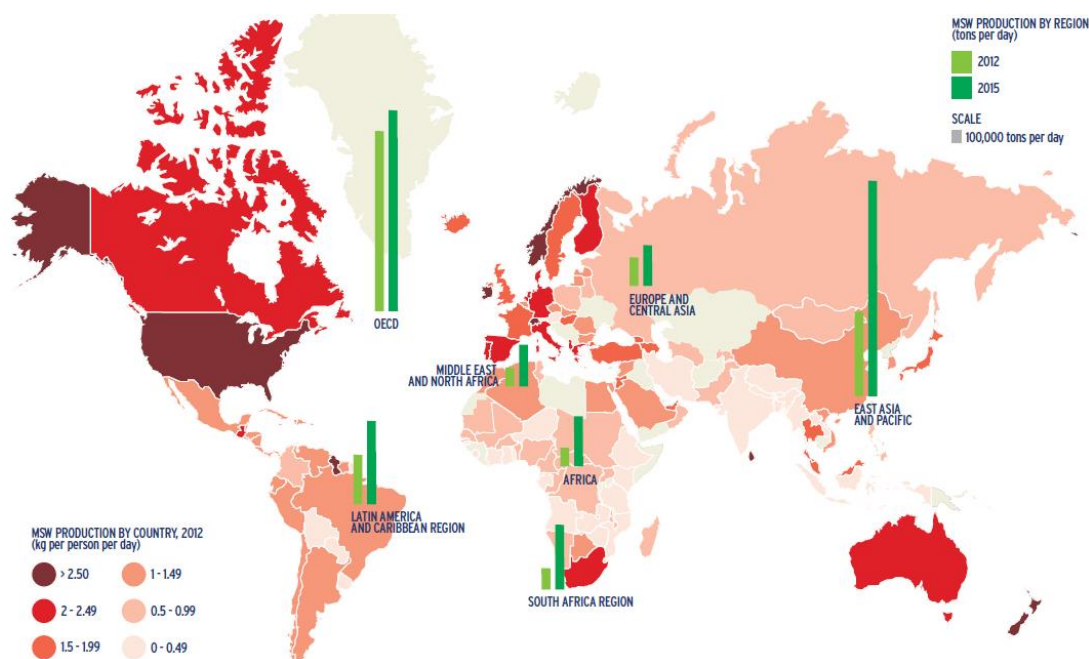


Figura 1. Projeção da produção mundial de resíduos sólidos urbanos (RSU), 2012 -2025. Fonte: The World Bank (2012).

De acordo com a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico, realizada em 2010 pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (PNSB/IBGE) aponta a destinação final dos resíduos sólidos urbanos: 47,1% em aterros sanitários, 22,3% em aterros controlados e apenas 30,5% em lixões, dado que mostra que, mesmo com o aumento da produção de lixo, reduziu-se o percentual destinado a locais inadequados. Esses dados refletem nas estatísticas globais onde mais da metade dos resíduos tem o mesmo destino: aterro sanitário em primeiro lugar, seguido por lixões a céu aberto (Figura 2).

Não obstante, o volume original de RSU ainda pode ser reduzido em até 80-95% por incineração, em países industrializados, gerando uma quantidade significativa de cinzas, sem posterior utilidade (EUROSTAT, 2013).

Conforme dados apresentados pela ABRELPE em 2012 a quantidade de RSU produzidos no Brasil que tiveram destinação inadequada reduziu em 3%, em relação a 2011. Foram cinquenta e seis milhões de toneladas encaminhadas a lixões e aterros controlados, contra 6,2 milhões com destino inadequado.

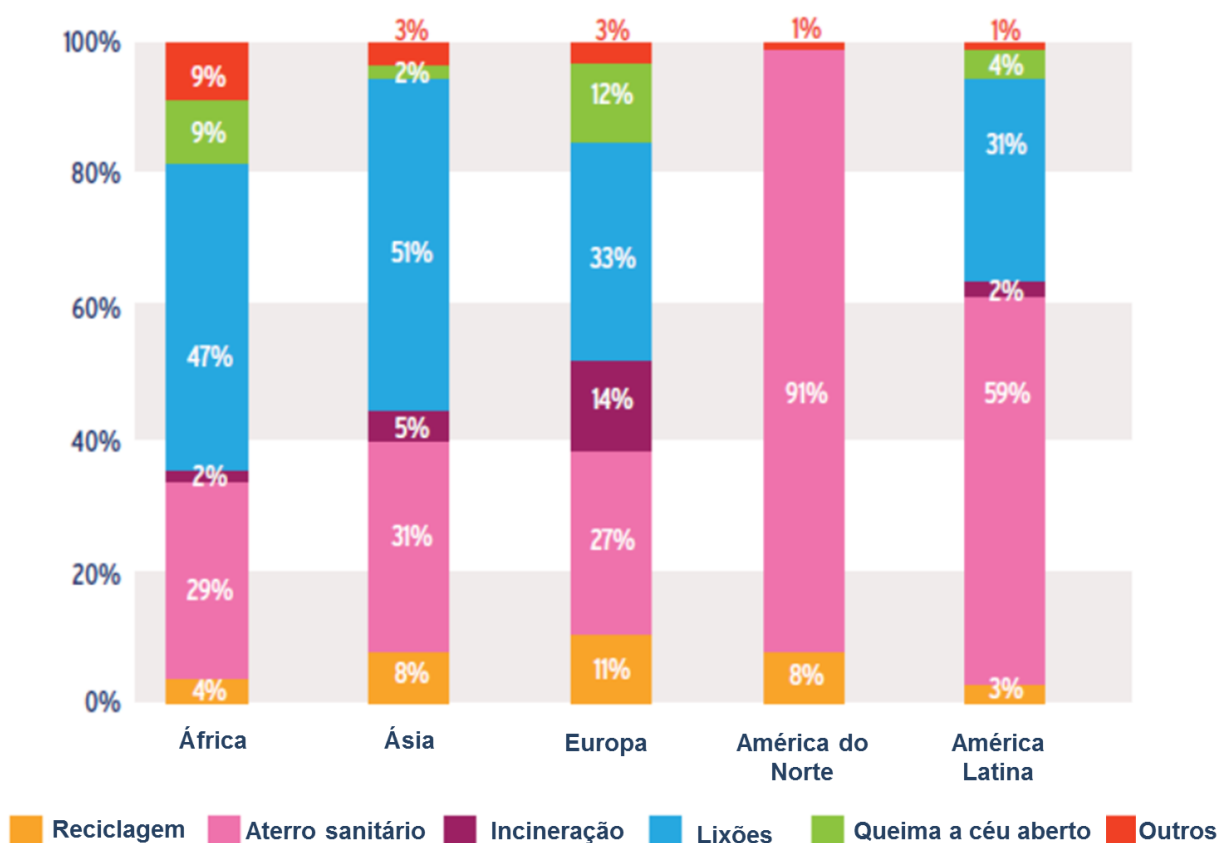


Figura 2. Disposição de resíduos sólidos urbanos por região do mundo. Fonte: The World Bank (2012).

Embora ainda ocorra uma deposição incorreta dos resíduos observa-se uma tendência na melhoria desta situação que pode ser creditada a fatores, tais como: consciência da população sobre a questão da limpeza urbana; forte atuação do Ministério Público, que vem agindo ativamente na indução à assinatura, pelas prefeituras, dos Termos de Ajuste de Conduta para recuperação dos lixões, e na fiscalização do seu cumprimento; a força e o apelo popular do programa da UNICEF, Lixo e Cidadania (Criança no Lixo, Nunca Mais) em todo o Território Nacional; aporte de recursos do governo federal para o setor, através do Fundo Nacional de Meio Ambiente; e apoio de alguns governos estaduais (PNSB/IBGE, 2010).

Bolognesi (2012) afirma não existir, no Brasil, uma alternativa única para tratar a questão dos resíduos sólidos urbanos; a mecanização, a produção de biogás, a incineração ou a reciclagem, tornam-se soluções integradas, uma vez que os problemas decorrentes dos resíduos devem ser tratados conforme a complexidade que se apresentam no local e de acordo com a disponibilidade de recursos existentes.

No Brasil, assim como em qualquer outro país, a quantidade total e a caracterização dos resíduos sólidos urbanos podem nos trazer muitas informações sobre a população geradora, desde informações socioculturais, até informações em relação à situação econômica da população (SANTOS, 2011). Tal como acontece com a quantidade de RSU, a composição é influenciada pelo nível de renda disponível para bens e serviços. A exemplo disto, a percentagem média de RSU orgânicos variam de 64% em cidades de baixa renda a 28% em cidades de alta renda. Os consumidores nas cidades de alta renda tendem a comprar mais alimentos preparados, o que resulta em menor volume de descarte relacionado com os alimentos (cascas, sementes, bagaços) na preparação da refeição (THE WORLD BANK, 2012).

Para obter essas informações são necessárias pesquisas de composição e gravimetria dos resíduos (ABRELPE, 2012; ALMEIDA, 2012; COSTA et al., 2012, THE WORLD BANK, 2012, EPA, 2012), para um resultado satisfatório, pois os índices levantados pelas agências de saneamento básico e reguladoras, representam valores obtidos a partir dos dados de coleta seletiva. De acordo com estes estudos a porção mais representativa do lixo é composta de matéria orgânica, acima de 28%, variando conforme a região onde foi coletada, a atividade econômica local, o que indica também um aumento no consumo de alimento, explicado logicamente pelo crescimento populacional e aumento do poder aquisitivo da população (Figura 3).

No fluxo de resíduos sólidos urbanos, os resíduos são amplamente classificados em inorgânico e orgânico. Com base em estudos de gestão de RSU, os resíduos são distribuídos em categorias, tais como: orgânicos, papel, plástico, vidro, metais e outros. E como podem ser observadas na Figura 3, as categorias são iguais para quaisquer que sejam as regiões consideradas (ABRELPE, 2012; THE WORLD BANK, 2012, EPA, 2012).

Segundo relatório publicado pelo Banco Mundial (THE WORLD BANK, 2012) um componente importante que precisa ser considerado são os resíduos provenientes da construção e demolição, como entulho, concreto e alvenaria. Em algumas cidades, podem representar até 40% do fluxo total de resíduos.

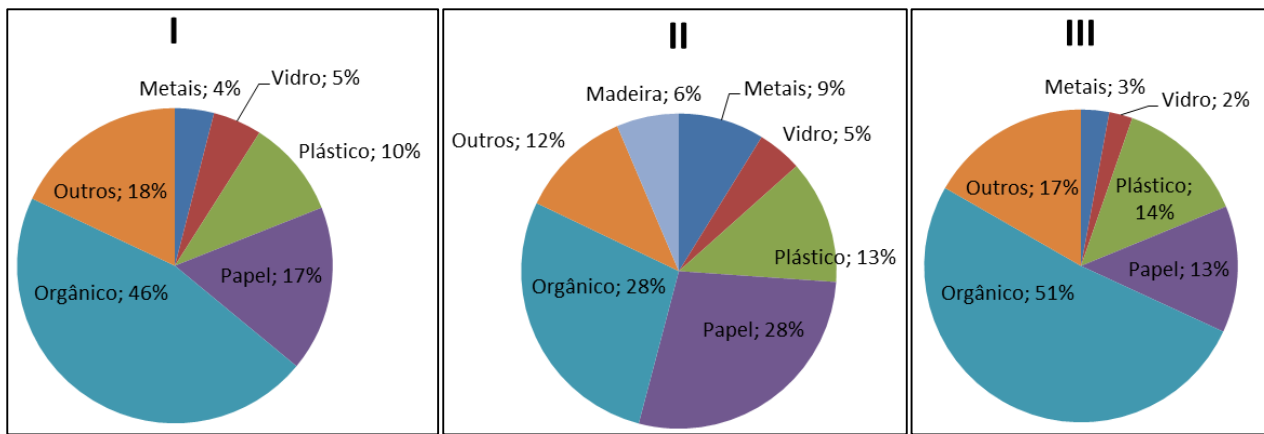


Figura 3. Composição dos RSU: I – mundial; II – Estados Unidos; III – Brasil. Fonte: ABRELPE (2012); THE WORLD BANK (2012); EPA (2012).

Segundo Adriazola (2008) e Motta (2005) no Brasil a quantidade de resíduos gerados nas indústrias de construção civil e madeireira é preocupante, haja vista que, o uso racional e sustentado dos recursos naturais deve contemplar a redução dos impactos ambientais, a redução na geração de resíduos, a reciclagem, a ampliação do ciclo de vida do material, a logística de produção, deposição e pós-uso dos produtos.

A questão do meio ambiente é muito importante e deve ser considerada, pois a ele está relacionado a fonte de matéria prima, que tipo de material será dele extraído, como se dará o processo de industrialização deste material, o que acontecerá com os resíduos gerados no processo de produção e como se dará o descarte deste produto, quando o mesmo completar seu ciclo de vida útil (CÉSAR, 2002).

2.1.1. Resíduos da Construção Civil

A construção civil é um importante segmento da indústria brasileira, tida como um indicativo do crescimento econômico e social, embora se constitua numa atividade geradora de impactos ambientais (FERNANDEZ et al., 2011).

A atividade construtiva é dividida por segmentos: residencial ou de edificações, comerciais ou de empreendimentos; da construção pesada ou de infraestrutura e outros – que representam um faturamento anual de R\$ 180 bilhões. O setor da construção civil representou 5,7% do Produto Interno Bruto (PIB) em 2012. Esta expansão foi motivada pelo aumento dos investimentos públicos em obras de infraestrutura e em unidades habitacionais, a partir do lançamento de dois programas de governo: o Programa de Aceleração do Crescimento (PAC I), em 2007, e o Programa Minha Casa, Minha Vida (PMCMV), em 2009. O segmento da construção civil no Brasil mantém um ritmo de crescimento

acelerado, impulsionado pelos aportes relacionados à Copa do Mundo de Futebol de 2014 e pelos Jogos Olímpicos no Rio de Janeiro, em 2016. (DIEESE, 2012).

Segundo matéria veiculada em março de 2013, na revista Valor Econômico, das 50 maiores obras de infraestrutura e energia do mundo, 14 destas estão no Brasil, com recursos que somam R\$ 250 bilhões, destinados à transposição do rio São Francisco; à construção da usina nuclear de Angra 3; ao rodoanel de São Paulo, às usinas hidrelétricas de Teles Pires e São Luiz de Tapajós, ao Complexo Petroquímico do Rio de Janeiro, às plataformas para a produção de petróleo do pré-sal, às obras de estádios e de acessibilidade para a Copa do Mundo de 2014 e às obras de saneamento que começam a melhorar muitas cidades brasileiras.

As obras de construção civil causam grandes impactos ambientais, além de alterarem significativamente o meio onde é executada, geram uma grande quantidade de resíduos provenientes de seus processos construtivos (KARPINSK et al., 2009; LOPES et al., 2013).

São considerados resíduos de construção civil os resíduos gerados nas construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, incluídos os resultantes da preparação e escavação de terrenos para obras civis, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica etc., comumente chamados de entulhos de obras; classificados como recicláveis ou reutilizáveis ou não (BRASIL, 2010; CONAMA 307, 2002).

Conforme dados da ABRELPE (2012) cerca de 40 milhões de toneladas de resíduos de construção e demolição (RCD) foram coletados em 2012, representando 64,52% dos resíduos sólidos urbanos. Embora sejam coletados apenas os RCD lançados nos logradouros públicos, as quantidades são expressivas em todas as regiões do país (Figura 4), onde a geração de RCD corresponde a 250,4 kg/habitante/ano.

Os resíduos provenientes da construção e demolição são chamados de entulho e representam entre 41 a 70% do volume total dos resíduos sólidos urbanos, gerados nas cidades de médio e grande porte (CARVALHO et al., 2012).

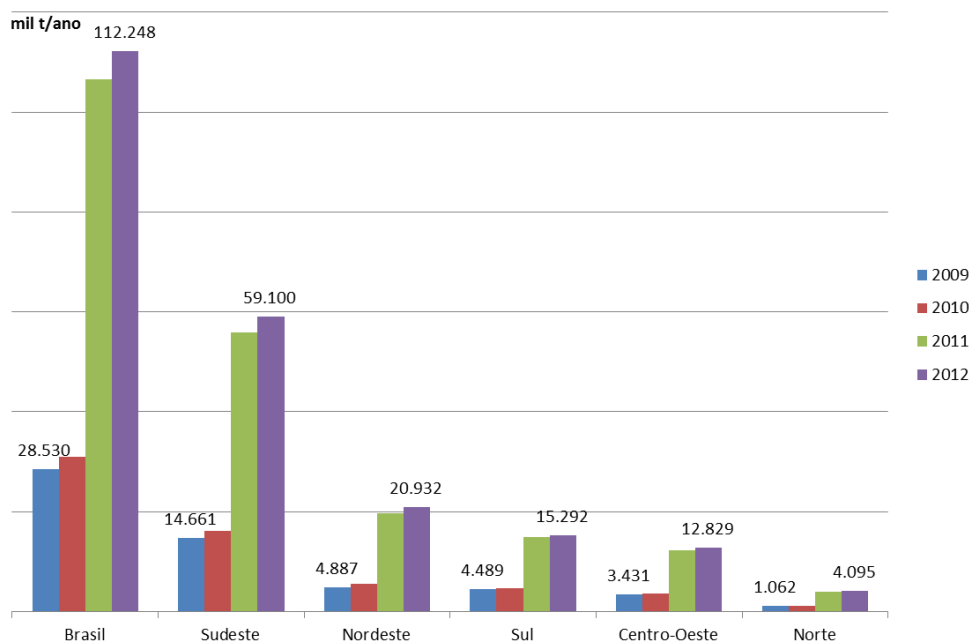


Figura 4. Total de RCD coletados no Brasil e por região no período entre 2009 e 2012. Fonte: ABRELPE (2012).

A redução do impacto ambiental gerado pela construção civil é tarefa complexa, sendo necessário agir de maneira combinada e simultânea (KILBERT, 1994). Desta forma, a reciclagem na construção civil pode gerar benefícios como os descritos por John (2000): redução no consumo de recursos naturais não renováveis e energia durante o processo de produção; redução de áreas necessárias para aterro; e, redução da poluição.

Ruivo e Veiga (2004) afirmam que em novas construções cerca de 14% dos RCD são constituídos por tijolos e revestimentos considerados inertes e recicláveis, e 17% por madeira. Wang et al. (2004) observaram em pesquisa, nos Estados Unidos, que são gerados por ano 87 mil toneladas de resíduos de madeira, sendo 64,63% originados na demolição e 35,37% na construção de habitações residenciais, haja visto que as habitações nos EUA e países membros da União Europeia, tem como matéria prima básica a madeira, enquanto no Brasil, a madeira é pouco empregada para esse fim, é utilizada apenas como elemento estrutural e secundário, como formas para concreto e pau de escoramento (PFEIL e PFEIL, 2003).

Conforme estudos realizados por Miranda (2009) a madeira representa 10,2% do total de resíduos em uma obra de edifício residencial, e 16,6% dos resíduos relacionados à fase estrutural. Segundo LOPES et al. (2013) os resíduos madeireiros em uma obra ainda se classificam em simples (80% dos resíduos) e compostos, considerando como composto o resíduo constituído por mais de uma peça. Na análise feita pelos autores, pelo menos metade de todo o resíduo de madeira simples gerado é representado

por painéis de compensados juntamente com sarrafos. Verificou-se que os painéis de compensados representam 40% do total de resíduos considerados simples, fator que pode ser relacionado com o uso em bandejas de proteção, formas e instalações provisórias; outro material significativo foi o sarrafo, utilizado de diferentes formas e em várias etapas da obra, comumente empregado na construção de instalações provisórias, estruturas de proteção e em travamento de fôrmas.

Segundo ADRIAZOLA (2008) e LOPES et al. (2013) a madeira é comumente empregada na construção civil, feito na forma de elementos temporários como fôrmas, escoramentos e andaimes, ou na forma de elementos definitivos como estruturas de coberturas, forros, pisos, esquadrias e acabamentos, gerando uma grande quantidade de resíduos, principalmente considerando que todos esses elementos temporários serão posteriormente descartados.

De acordo com Wiecheteck (2009), no segmento da construção civil no país, é comum não haver a segregação da madeira dos outros resíduos sólidos e seu destino final é, via de regra, o aterro sanitário. Em alguns aterros, principalmente nas regiões Sul e Sudeste, há pequena reciclagem de resíduos da construção civil, mas a madeira não é recuperada nestas usinas e permanece como dejetos nos aterros. Quando ocorre a segregação da madeira no local da obra, estes resíduos são enquadrados na categoria dos resíduos destinados preferencialmente à reutilização, reciclagem ou armazenagem temporária.

O fator limitante para a reciclagem da madeira utilizada na construção civil é o fato de esta estar geralmente “contaminada” com outros materiais como concreto/argamassa, metais (pregos, arames, grampos, parafusos, dobradiças, etc.), tintas, graxas, plásticos e ainda agentes desmoldantes (Figura 5) (WIECHETECK, 2009; LOPES et al., 2013).

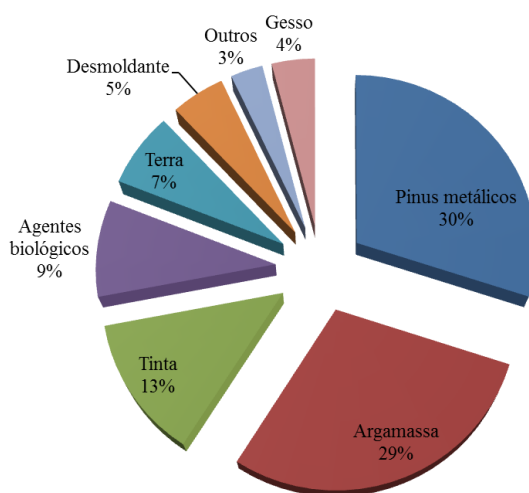


Figura 5. Incidência dos contaminantes nas amostras. Fonte: LOPES et al. (2013).

Na Figura 5 estão apresentadas as incidências de cada contaminante para os dados coletados por Lopes et al. (2013). Foram consideradas apenas amostras com pelo menos um contaminante, ressaltando que um mesmo resíduo pode ter incidência de mais de um contaminante; observa-se que argamassa e pinos metálicos juntos são responsáveis por mais da metade das contaminações, sendo ideal a remoção desses contaminantes antes da destinação final.

Para amenizar o problema que estes resíduos representam ao meio ambiente, é necessário propor uma maneira mais eficiente de separação, verificando um gasto menor de energia e um reaproveitamento maior dos resíduos contaminados (LOPES et al., 2013).

2.2. Qualidade, segurança e conforto ambiental

Harmonia e bem estar são obtidos quando as necessidades do ser humano são atendidas e realizadas com conforto (JADIR e LIMA, 2009) que está vinculado a qualidade de vida (PICANÇO, 2009).

A qualidade de vida está ligada ao conforto ambiental e ao grau de satisfação dos usuários, quando consegue adequar à edificação a seu entorno (BARROSO-KRAUSE, 2008; PICANÇO, 2009), garantindo, por exemplo, um bom isolamento térmico e acústico e ainda segurança contra incêndios.

Pacheco et al. (2013) aponta como parâmetros principais que influenciam diretamente na qualidade e conforto ambiental; a temperatura do ar e a iluminação. São parâmetros que afetam a qualidade do uso de interiores de edifícios e tem impacto fundamental sobre a demanda de energia. Ao avaliar o meio ambiente são observados itens como: conforto térmico, luminoso e acústico; enquanto que a segurança inclui itens como o risco de incêndio.

Os edifícios residenciais constituem uma parcela significativa do setor da construção e apresentam importantes impactos ambientais decorrentes da sua utilização. Por tradição, em alguns países os edifícios residenciais são construídos em madeira ou painéis derivados de madeira (GUSTAVSSON et al., 2006). Verificam-se percentagens significativas de utilização de madeira neste tipo de edifício em países como os Estados Unidos da América, com 90 a 94%, o Canadá, com 76 a 85%, os países nórdicos, com 80 a 85% e a Escócia, com 60% (MORGADO et al., 2012).

O nível ambiental deste setor está direta e indiretamente ligado ao consumo de uma grande quantidade de recursos naturais e também a geração de uma quantidade significativa de resíduos. A utilização de melhores materiais e tecnologias de construção podem contribuir consideravelmente para um melhor ciclo de vida ambiental e para a sustentabilidade das construções (LOYOLA, 2011).

Os princípios básicos de uma construção sustentável incluem o uso eficiente de recursos, energia e água, e a redução do desperdício, as emissões e outros impactos ambientais. Um dos fatores que influenciam a segurança ambiental das habitações humanas é a qualidade dos materiais de construção. Os materiais de construção ecológicos têm um impacto importante sobre a qualidade do ambiente, incluem aqueles feitos a partir de fontes de recursos naturais sem efeitos negativos sobre os seres humanos, que não poluam o meio ambiente durante sua produção e que exijam o mínimo de consumo de energia no processo de fabricação, sendo totalmente recicláveis ou biodegradáveis. Todos esses requisitos são atendidos por poucos materiais naturais: madeira e outros materiais vegetais (bambu, cana, palha), lã, feltro, couro, cortiça, minerais (areia e pedras), seda e algodão, óleo de linhaça natural, borracha natural, adesivos naturais, etc. (MENKES, 2004; MARQUES, 2007; IDHEA, 2008; KORCHAGINA et al., 2013).

Nakamura (2006) afirma que a escolha e a disposição dos materiais a serem utilizados na construção dependem da sua funcionalidade, se pretendem corrigir, reduzir ou eliminar os desconfortos, sejam eles térmicos ou acústicos. A escolha do forro ou revestimento precisa levar em conta a taxa de ocupação do ambiente, a manutenção, a durabilidade, estabilidade e resistência ao fogo.

De acordo com Catai et al. (2006) para atingir essas expectativas são utilizados materiais convencionais de vedação, blocos cerâmicos ou de concreto, madeira e vidro; e materiais não convencionais, desenvolvidos especialmente para o isolamento de ambientes como: lã de vidro, lã de rocha, vermiculita, espumas elastoméricas e fibras vegetais. Os materiais não convencionais são utilizados em revestimentos de teto, piso e paredes externas e internas, forros e miolos de divisórias, paredes duplas,

2.3. Materiais compósitos

Os materiais compósitos não têm uma definição universalmente aceita. Segundo o Dicionário da Língua Portuguesa Michaelis 2009, compósito, tem origem na palavra inglesa *composite*, e significa composto, combinação, complexo, misto, híbrido, composto de diferentes elementos. De um modo geral, um material diz-se compósito quando é constituído por dois ou mais constituintes (fases) diferentes (VENTURA, 2009), que mantêm individualmente suas propriedades anteriores à união, e têm sido utilizados pelo homem há milhares de anos (FINKIELSZTEJN, 2006).

Um material compósito é definido por Klysow (2007) como uma combinação macroscópica de dois ou mais materiais distintos que possuem uma interface finita entre eles. Um dos componentes é a matriz, enquanto o outro é o reforço. O primeiro grupo compreende compostos que possuem uma matriz cujas propriedades são melhoradas, preenchendo-o com algumas partículas. Normalmente, a

fracção de volume da matriz é mais do que 50 %. O segundo grupo de materiais possuem como componentes básicos fibras finas e longas que possuam alta resistência e rigidez. As fibras são ligadas a matriz cujo volume é inferior a 50%. Os tipos mais comuns de materiais compósitos são compósitos de matriz cerâmica (CMC), materiais compósitos com matriz de metal (MMC) e compósitos de matriz de polímero (PMC) ou polímeros reforçados com fibras (PLP). Alguns compósitos são usados para aplicações não estruturais, e são frequentemente denominados como "enchimentos", para o reforço da resistência ao fogo, blindagem eletromagnética, condutividade térmica, resistência à fratura, etc., e não necessariamente possuem resistência mecânica.

Historicamente, a madeira foi amplamente empregada em sua forma sólida; como a disponibilidade de árvores de grande diâmetro diminuiu e o preço aumentou, a indústria da madeira buscou substituir os produtos de madeira sólida por produtos de madeira reconstituída usando árvores de pequenos diâmetros e resíduos das fábricas de celulose (ROWEL, 2007).

Marra (1979) estabeleceu a chamada "tabela periódica dos elementos de madeira" (Figura 6), mostrando a transformação da madeira sólida em partículas. Com algumas modificações, esta tabela representa a maior parte dos tipos de elementos utilizados para produzir materiais compósitos.

			
Logs	Lumbers	Veneers	Long flakes and short veneers
			
Chips	Flakes	Excelsiors	Strands
			
Particules	Fibers	Wood flour	Celulose

Figura 6. Elementos de madeira utilizados na composição de materiais, do maior ao menor Fonte: modificado de Marra (1979).

Rowel (2007) afirma ser as vantagens do desenvolvimento de compósitos de madeira: a utilização de árvores pequenas e de menor diâmetro, resíduos de madeira obtidos a partir do processamento mecânico, remoção dos defeitos para desenvolver compostos mais uniformes e mais resistentes que a madeira sólida, de diferentes formas e tamanhos.

O surgimento de novas tecnologias proporcionou o aparecimento de um produto que, ao mesmo tempo, mantém grande parte das qualidades da madeira e não apresentando suas características indesejáveis. Surgiram, assim, os painéis de madeira. Dentre eles destacam-se: vigas laminadas, compensados, painéis de partículas, OSB, painéis de cimento madeira e madeira plástico. Além das suas vantagens estruturais, o desenvolvimento de painéis de madeira é uma possibilidade para o uso de resíduos das indústrias madeireiras, diminuindo a pressão exercida sobre os ecossistemas florestais (POMÁRICO, 2013). As primeiras indústrias a produzirem lâminas de madeira surgiram na Alemanha em meados do século XIX, e deram origem as vigas e painéis laminados (FPL, 2010).

As vigas laminadas coladas foram introduzidas pela primeira vez em 1893, em um auditório em Basel na Suíça (FPL, 2010). Estas vigas criaram uma nova dimensão na concepção de distância do feixe de madeira maciça que tinha sido usado na construção a centenas de anos, foi possível criar uma estrutura de madeira sólida, estrutural, funcional e estética.

STECK (1995) e FPL (2010) citam que o primeiro tipo de painel de madeira foi o compensado multilaminado que surgiu no início do século XX, entretanto a indústria de mobiliário já utilizava lâminas de madeira sobre a madeira sólida há muitos anos. O painel compensado passou a ser utilizado em larga escala com as grandes guerras, o avanço da indústria de adesivos e a produção de aviões em compensado, tendo em vista suas vantagens tecnológicas como maior largura, restrição dos fatores anisotrópicos da madeira nas direções de crescimento tangencial e radial e melhor distribuição dos defeitos naturais e resistência da madeira nos planos longitudinal e transversal.

A indústria de painéis de partículas começou na década de 40, e de painéis de fibras de madeira de média densidade (*Medium Density Fiberboard* – MDF) na década 60 (MALONEY, 1996).

Os painéis MDF são definidos pela ASTM-D 1554 (1974) e por Maloney (1996) como painéis fabricados a seco, feitos com fibras lignocelulósicas combinadas com uma resina sintética, compactados a uma densidade entre 0,50 e 0,80 g/cm³ por prensagem a quente; apresentam maior estabilidade dimensional que os painéis de partículas (GRIGORIOU, 1983) e melhor usinabilidade, pois permite acabamentos em curva, em relação aos demais tipos de painéis (BENADUCE, 1998).

Os painéis de partículas orientadas (OSB) estão no mercado desde o início dos anos 80. O OSB é um painel estrutural, produzido a partir de lascas de madeira (*strands*), sendo que a camada interna pode estar disposta aleatoriamente ou perpendicular as camadas externas (MENDES et al., 2003). Os países que mais utilizam estes painéis são os Estados Unidos e o Canadá, destacando seu emprego na construção civil, devido às características físicas e mecânicas, o que possibilita seu emprego para fins estruturais. Nestes países, a partir da década de 90, este produto passou a competir em larga escala com painéis de compensado, devido à redução dos custos de produção, ao aumento da resistência mecânica e ao aumento da estabilidade dimensional (EINSFELD et al., 1998).

Os painéis de cimento madeira são utilizadas no setor da construção civil na Áustria desde 1920 e na Alemanha desde 1940, e tiveram sua expansão após a II Guerra Mundial, para Austrália, Estados Unidos e países da Ásia. A produção em larga escala surgiu em 1976, na Alemanha, e expandiu-se para os Estados Unidos (*wood fiber cement*) e México (*cement bonded particleboard*). Sua aceitação deve-se ao uso de aglomerante inorgânico, o que lhe confere propriedades superiores aos painéis que utilizam resinas sintéticas, garantindo resistência ao fogo, ataque de fungos e cupins, além de isolamento térmico e acústico (LATORRACA, 2000; MACEDO et al., 2012).

Segundo Klysov (2007) a preparação de compósitos de madeira com polímeros é uma prática antiga. O mais antigo deles, o *bakelite* foi inventado no início dos anos 1900 e usava-se farinha de madeira em 1920, e tiveram maior aplicação industrial após a Segunda Guerra Mundial. O material hoje conhecido como WPCs (*wood plastic composites*) apareceu pela primeira vez como compostos de moldagem termo fixos em 1960. A utilização de farinha ou fibra de madeira como carga em termoplásticos, também já é conhecida desde a década de 70 pela indústria automobilística, que emprega compósitos de polipropileno com farinha de madeira, conhecidos no mercado, como *woodstock*®. Esses compósitos são extrusados e laminados em chapas para revestimento interno de portas e porta malas de veículos em uso corrente e ainda na fabricação de placas para decks de piscinas (CORREA et al., 2003).

Atualmente, há uma grande variedade de compósitos de madeira com a utilização de resinas termoplásticas, que moldam com o calor e são de baixo preço e de pós-consumo, tais como polietileno, polipropileno e poliestireno, podendo ser reforçadas com pó ou fibras de madeira numa proporção que vai de 2% à 50% (CLEMONS, 2002). São vantagens deste material: maior resistência a umidade e deterioração por pragas e insetos, melhor estabilidade dimensional, totalmente recicláveis, dispensa o uso de preservantes, tintas e vernizes; e imitam a madeira (STARK e SCHENEIDER, 1996; ECKERT, 2000).

2.4. Painéis de madeira reconstituída

A madeira maciça vem sendo substituída por vários tipos de painéis, em virtude da relação preço/desempenho e da crescente conscientização da sociedade a respeito da exploração indiscriminada de reservas florestais (TOMASELLI e DELESPINASSE, 1997).

Em função do grande volume de madeira requerido, as toras provenientes de florestas plantadas ou nativas consistem na principal base de fornecimento de matéria prima. No entanto, resíduos de indústrias de base florestal, como costaneiras, aparas, pontas, rolo resto de laminação, aparas de lâminas, maravalha, entre outros, podem ser aproveitados para a geração de partículas e produção de painéis (FREITAS et al., 2007; IWAKIRI et al. 2004), uma vez que é crescente a disponibilização destes resíduos e que, geralmente, são incinerados ou descartados em locais impróprios (BRAND et al., 2004).

Segundo Iwakiri (2005), a partir dos diversos elementos de madeira, com formas e dimensões variadas, podem-se gerar novos produtos de madeira por meio da sua reconstituição, utilizando métodos e processos adequados para cada tipo de produto e finalidade de uso. Os painéis de madeira podem ser definidos como produtos compostos de elementos de madeira como lâminas, sarrafos, partículas e fibras, obtidos a partir da redução da madeira sólida, e reconstituídos por meio de ligação adesiva.

Essa definição é reforçada por Mattos et al. (2008), que descreve os painéis como estruturas fabricadas com madeiras em lâminas ou em diferentes estágios de desagregação, que são aglutinadas pela ação de pressão e temperatura, com uso de resinas. Substituem a madeira maciça em diferentes usos, como na fabricação de móveis e na construção civil.

Os painéis de madeira e seus elementos são apresentados na Figura 7 conforme o guia de classificação e definições de produtos florestais da Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura – FAO (1982), e adaptado de Iwakiri (2005).

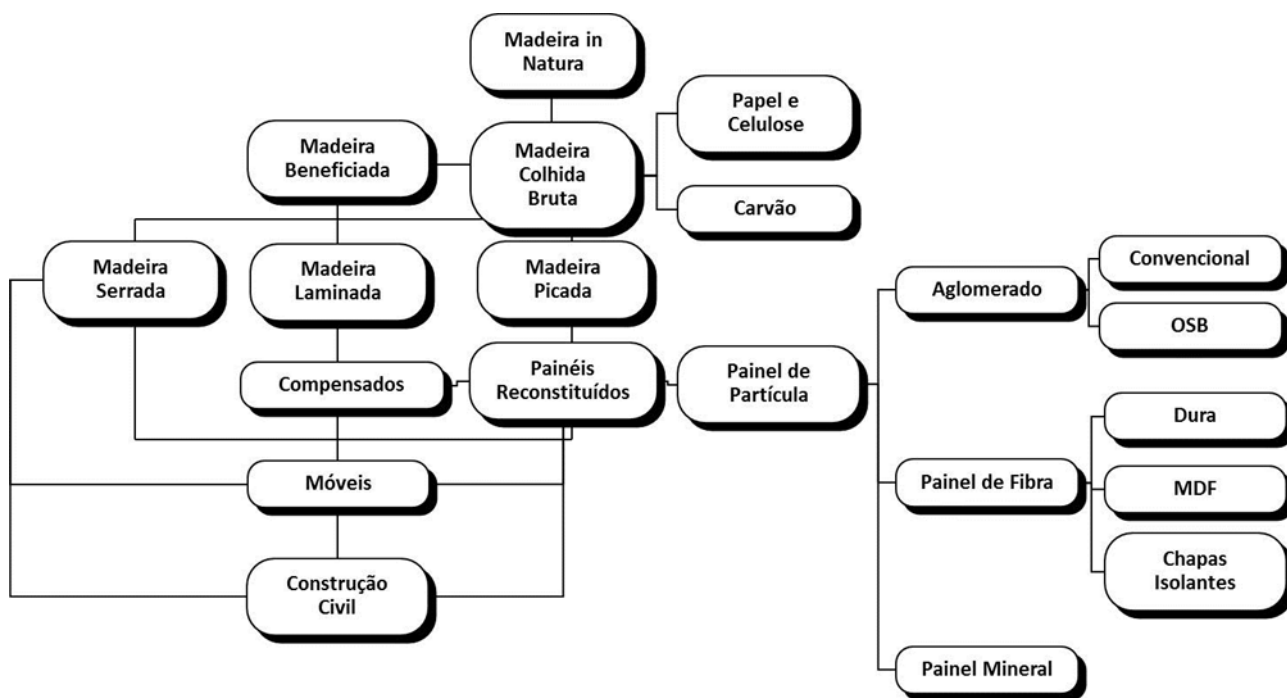


Figura 7. Fluxo de produtos e subprodutos na Cadeia produtiva da Madeira. Adaptado de FAO (2001) e Iwakiri (2005).

Esse mercado vem sofrendo mudanças, em função dos seguintes fatores: busca de alternativas à madeira maciça; modernização tecnológica do parque fabril, que proporcionou a oferta de novos produtos (MDF, OSB) e a melhoria da qualidade (a evolução do aglomerado para MDP); redução dos juros e melhoria da renda, que deram forte impulso à construção civil e ao setor de móveis, ambos consumidores de painéis de madeira (MATTOS et al., 2008).

De acordo com Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (NBR 14.810/2006), que discorre a respeito dos painéis de madeira aglomerada de média densidade (MDP), afirma que a geometria das partículas e sua homogeneidade, os tipos de adesivos, a densidade e os processos de fabricação podem ser modificados para fabricar produtos adequados aos usos finais específicos. Conforme Walker (2006) a produção de um painel de partículas de madeira e o tipo de painel formado é influenciada justamente por esses fatores.

Painel de partículas é o painel produzido por meio da compressão de partículas de madeira simultaneamente sendo coladas por adesivos (BOWYER et al., 2007). Walker (2006) e Bowyer et al. (2007) afirmam que as propriedades inerentes a cada painel e seu uso final dependem das formas e tamanhos dos elementos de madeira e sua distribuição, a geometria das partículas, segundo Iwakiri (2005), está intimamente ligada ao consumo de adesivo.

Chugg (1964) define adesivo como uma substância capaz de unir por meio do contato duas superfícies aderentes. O mecanismo de adesão pode ser explicado pela teoria da adesão química, mecânica e de difusão de polímeros (MARRA, 1992).

De acordo com SELLERS JR. (1985) os adesivos utilizados na fabricação de painéis de madeira são predominantemente sintéticos, à base de ureia, fenol, melamina entre outros. O fenol-formaldeído (FF) é o principal adesivo utilizado para compensado, painel OSB e *waferboard* (CONNER, 2001), indicado para uso em aplicações externas. Iwakiri (2005) cita que mais de 90% dos painéis de madeira utilizam ureia formaldeído (UF); é um adesivo de baixo custo, facilidade de uso, resistência contra microrganismos, possibilidade de cura a frio, mas pouco resistente à umidade, principalmente com a combinação do calor, o que limita este adesivo ao uso interno (CONNER, 2001). Também conhecido como cola branca, o acetato de polivinila (PVA), é utilizado para fins não estruturais (OLIVEIRA e DANTAS, 2003), apresenta baixo custo, pode ser prensado a frio, porém é um adesivo com resistência à umidade menor que os adesivos termofixos, por isso apresenta a limitação de uso externo (CONNER, 2001).

O silicato de sódio, também conhecido como vidro líquido, é um dos silicatos solúveis mais comuns utilizados como adesivo, usado amplamente na indústria automotiva para vedação entre peças do motor, uma vez que oferece maior resistência, pois o grau de polimerização é mais acentuado em curto período de tempo, ou seja, com o uso de silicatos o material endurece mais rápido (DUXON, 2005; SOUZA, 2009; BRAZMO, 2012).

Como podem ser observados na Figura 8 os painéis podem ser classificados conforme o tamanho das partículas e a densidade do painel.

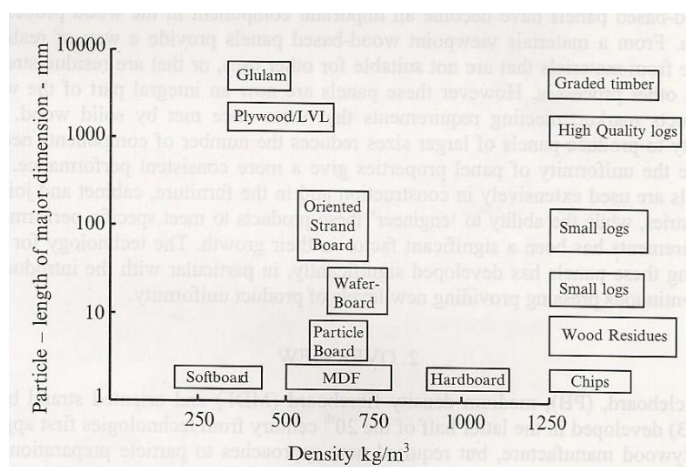


Figura 8. Classificação de painéis de madeira de acordo com o tamanho das partículas e a densidade do painel. Fonte: Walker (2006).

A prensagem das partículas é a etapa onde ocorre a formação do painel. A prensagem pode ter apenas a função de acomodar o colchão de partículas (a frio) ou ainda permitir o aumento das áreas de contato entre as superfícies individuais sendo coladas, com aplicação de temperatura para reduzir o tempo necessário para a cura do adesivo. A prensagem é responsável pela densidade final e pela geração de um gradiente de densidade no painel (BOWYER, et al., 2007).

2.4.1. Painel isolante

Segundo Sharland (1979), o isolamento, seja térmico, elétrico ou sonoro, significa prover uma barreira para um fluxo de energia que, neste caso, é sonora. A forma mais óbvia de se obter isolamento é estabelecendo uma barreira sólida impermeável no caminho da propagação.

Painéis com densidades específicas variando de 0,16 a 0,50 g/cm³ são chamados de painel isolante, geralmente obtidos a partir de fibras, resíduos de polpas celulósicas, outros tipos de fibras naturais como resíduos agrícolas (sisal, linho, bagaço) podem ser utilizados. As principais áreas de aplicação são em camadas isolantes de produtos exteriores (revestimento, isolamento do telhado, forro e tapumes), produtos de interiores (placas de construção, telhas e placas de absorção sonora) e produtos industriais (casas móveis, e nos setores automotivo e de móveis) (BRIGGS, 1994; ROWEL, 2005).

O primeiro painel isolante foi produzido em Minnesota, Estados Unidos da América, em 1914, com uso de pasta mecânica de coníferas. O mercado de painéis isolantes tem aumentado nos últimos anos, embora sofra concorrência de produtos que não tem a madeira como base, principalmente fibra ou lã de vidro, espuma e plástico (MALONEY, 1996; BOWYER, 2007).

A produção de painéis isolantes segundo Iwakiri (2005) envolve as etapas de preparação da massa, formação do colchão, secagem e acabamento dos painéis, conforme ilustrado na Figura 9. Por ser processo úmido e sem prensagem, os painéis produzidos são classificados como S-0-S, ou seja, as duas faces com a marca da tela.

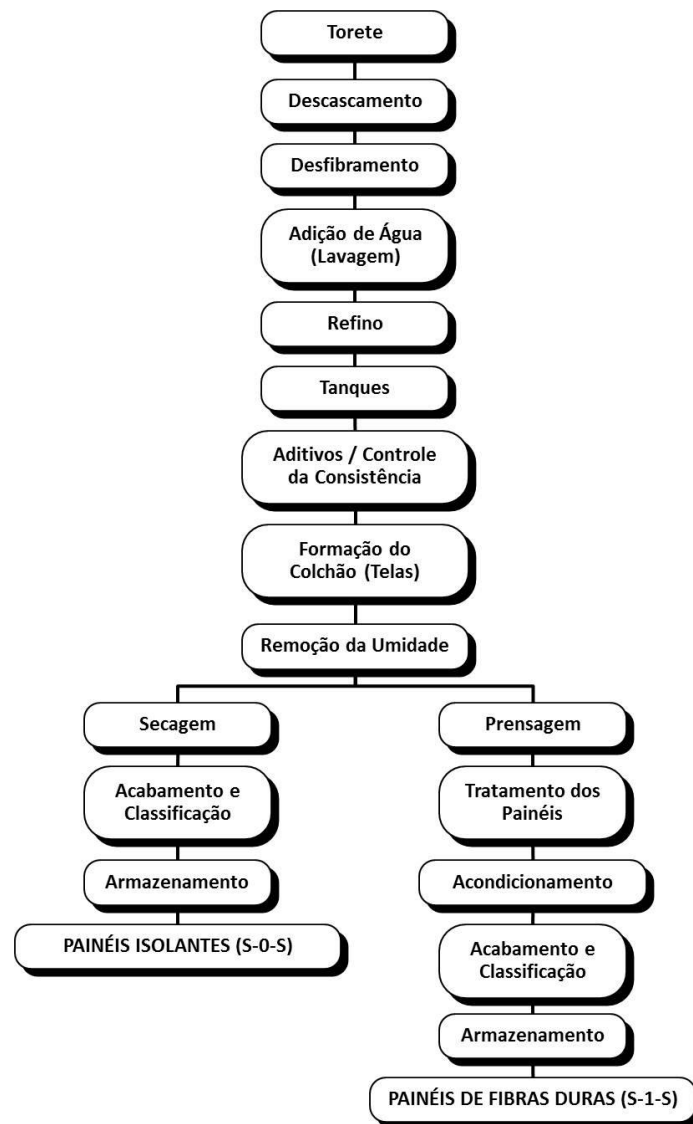


Figura 9. Fluxograma de produção de painéis de fibras de madeira pelo processo úmido. Adaptado de KOLLMANN et al. (1975).

A fabricação dos painéis isolantes por ser feito em processo úmido, onde são utilizadas grandes quantidades de água, dificulta um pouco sua fabricação, pois a necessidade de tratar o efluente tem sido mais um fator no declínio da fabricação destes painéis, podendo ser efetuada juntamente com as plantas de fabricação de papel e celulose, com o aproveitamento destes resíduos (MALONEY, 1996).

Taniguti (1999) afirma que divisórias são consideradas elementos de vedação vertical interna sem função estrutural, que vai do piso ao forro ou teto, com massa não superior a 60 kg/m^2 (ABNT – NBR 11.685/1990), compostas por gesso acartonado ou painéis de madeira. Geralmente, os painéis são compostos pelo miolo e pelo revestimento superficial. São características essenciais ao miolo: leve e incomburente; enquanto que o revestimento superficial deve ser durável, resistente à umidade e imunes a insetos e fungos, de fácil limpeza e característica visual agradável. Normalmente são empregadas em ambientes comerciais e residenciais.

2.5. Propriedades Físicas: Densidade e Variação Dimensional

A densidade do painel está fortemente associada à densidade das madeiras empregadas na sua fabricação e a consequente relação entre a densidade do painel e a densidade da madeira utilizada, denominada de razão de compactação (KELLY, 1977; HILLIG, 2000). Segundo Roque (1998), a densidade da madeira empregada na produção dos painéis situa-se entre 0,4 e 0,6 g/cm³, e a densidade dos painéis produzidos varia de 5 a 40% a mais do que a madeira usada na sua confecção. Os autores recomendam que a razão de compactação deve estar na faixa de 1,3 a 1,6 para que ocorra adequada densificação e consolidação do painel à espessura final desejada.

Segundo Kawai e Sasaki (1993), as propriedades mecânicas dos painéis de madeira aglomerada apresentam uma relação direta e linear com a razão de compactação. Em termos de estabilidade dimensional, os autores afirmam que o inchamento em espessura do painel de média densidade é menor para painéis de baixa densidade, independente da espécie utilizada e da razão de compactação (IMAMURA, 1993).

Marra (1992) e Iwakiri (2005) afirmam que espécies de baixa densidade são preferencialmente empregadas, tendo em vista conferir aos painéis maior razão de compactação. O processo úmido possibilita a produção de painéis com densidades variadas através do controle de pressão. Painéis de baixa densidade recebem apenas um tratamento de secagem após a formação do colchão de fibras, quando o produto tem como finalidade o isolamento. Para usos estruturais, obtém-se maior compactação do painel, pois neste caso se requer uma maior rigidez.

Com o aumento da pressão e do volume de material (fibras), os painéis atingem maior densidade. A pressão associada com calor e umidade faz com que a lignina e a hemicelulose ajam como adesivo, unindo as fibras. Isto é o suficiente para que haja uma boa ligação entre as fibras, dispensando o uso de adesivos. Contudo, a durabilidade dos painéis é aumentada se for adicionada uma pequena quantidade de resina fenólica (MARRA, 1992).

O conteúdo de umidade do colchão é um fator extremamente crítico, não apenas no tempo de prensagem total, mas também no desenvolvimento do gradiente vertical de densidade (IWAKIRI, 1989). Portanto o controle do conteúdo de umidade das partículas tem grande importância na formação do painel, como também para o cálculo da quantidade de resina. Para a produção de painéis as partículas de madeira devem estar com um teor de umidade entre 3% e 6% (FAO, 1991). A quantidade de partículas é pré-determinada em função da densidade e espessura do painel.

Quando da formação do colchão, alguns fatores precisam ser considerados como: a densidade e espessura desejada do painel; a uniformidade e distribuição das partículas, no colchão, para assegurar a densidade e propriedades homogêneas sobre toda a extensão do painel; e, a altura do colchão formado. Quanto maior a densidade desejada do painel, menor a densidade da madeira utilizada, e maior a espessura do painel a ser produzido, maior será a quantidade de material e maior a altura do colchão (IWAKIRI; 2005).

Em painéis compensados, as lâminas coladas umas às outras perpendicularmente em relação a direção das fibras, restringem a movimentação dimensional do painel, o que resulta em um composto mais resistente às flutuações da umidade (HAYGREEN e BOWYER, 1996). Nos últimos anos, portanto, o interesse tem-se centrado na melhoria da estabilidade dimensional e durabilidade de painéis reconstituídos: compensado, aglomerado, MDF e novos derivados (WALTER, 2006).

Quando um painel de madeira é submetido à alta umidade, os sítios de ligação “-OH” presentes nas paredes celulares das fibras adsorvem a água promovendo uma movimentação dimensional destas células e conseqüentemente do painel. Esta movimentação dimensional dos painéis no sentido da sua espessura é denominada inchamento em espessura e quando no sentido do comprimento, dá-se o nome de expansão linear. O inchamento em espessura nos painéis de madeira é constituído de dois fatores: o inchamento ocasionado pela adsorção de água e o inchamento provocado pela liberação das tensões de prensagem (MEDINA, 1986).

O primeiro fator, também conhecido por inchamento higroscópico é um fenômeno natural que ocorre em qualquer peça de madeira submetida à alta umidade, ou seja, quando uma peça de madeira entra em contato com alta umidade, ela expande até que suas fibras estejam saturadas de água e quando esta peça de madeira é disposta em condições de baixa umidade ela contrai, voltando ao seu estágio inicial. O segundo fator, relativo às tensões de compressão, é determinante para painéis de madeira, ou seja, devido aos processos de confecção destes produtos, o contato com a umidade faz com que haja uma liberação das tensões de compressão a que foram submetidos, ocorrendo também o inchamento do painel (DEL MENEZZI, 2006). Portanto, um painel de madeira após um período de contato com alta umidade, e depois submetido a secagem, terá uma espessura diferente da condição inicial, devido à liberação das tensões de compressão, conhecido como inchamento em espessura pelas tensões de compressão.

A Figura 10 mostra que uma peça comprimida com espessura E_d colocada na água vai inchar em função da liberação das tensões de compressão e também em função da higroscopia do material, compondo o inchamento em espessura total (IE_t). O inchamento higroscópico (IE_h), no entanto, é

reversível e quando a madeira perde água a espessura do material tende a retornar à espessura E_d . Porém, o inchamento resultante das tensões de compressão (IE_{tc}) é irreversível e modifica permanentemente a forma do material (E_f). Esse inchamento também é chamado de taxa de não retorno em espessura (TNRE) e representa uma importante medida da estabilidade dimensional (SOUZA, 2009; ARRUDA, 2012).

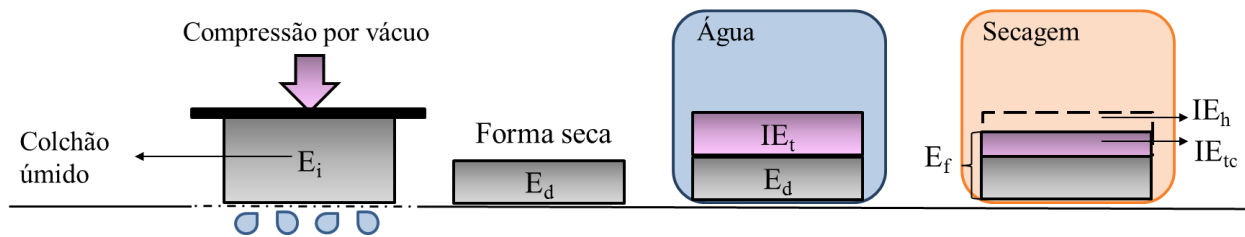


Figura 10. Esquema do inchamento em espessura de painéis de partículas, onde: E_i , E_d e E_f representam as espessuras inicial, depois da compressão e final, respectivamente e IE_t , IE_h e IE_{tc} representam os inchamentos em espessura total, higroscópico e de tensão de compressão. Fonte: Adaptado de ARRUDA (2012).

A variação dimensional de painéis de madeira ocorre linearmente e em espessura. Os valores dessas variações oscilam entre 0,25 - 0,55 % linearmente, enquanto que para a espessura não há padrão de valores, variando de acordo com a concepção tecnológica do material (HAYGREEN e BOWYER, 1996). De acordo com a literatura, os valores do inchamento em espessura são bastante controversos.

A percentagem de contração do aglomerado geralmente ocorre no mesmo intervalo que no compensado. Por exemplo, padrões da indústria de painéis de média densidade permitem a expansão linear de até 0,35 % em resposta à mudança da umidade relativa do ar de 50 % para 90 %; no aglomerado 0,20 % de expansão linear é permitida. Ao mesmo tempo, por causa do *springback*, as placas têm menos estabilidade perpendicular à superfície; e em condições de umidade cíclicas podem inchar de 10 % a 25 % (HOADLEY, 2000).

O principal efeito negativo da compressão é o efeito *springback*, que é a tendência que o material tem de voltar a sua espessura inicial depois da liberação das tensões. É causado pelo armazenamento de energia de deformação elástica durante a compressão de microfibrilas semicristalinas de hemiceluloses, e apesar de existir essa energia armazenada, a madeira comprimida mantém a sua forma após a prensagem devido à união das microfibrilas por meio de fortes ligações covalentes e pontes de hidrogênio das hemiceluloses (HEGER et al., 2004).

Um material com alta TNRE tem maior inchamento e maior expansão em espessura. Em materiais colados, a liberação das tensões de compressão ocasiona a perda da qualidade da colagem e nesse sentido a qualidade do adesivo é importante para manter o painel colado e limitar a liberação das tensões (MOHEBBY et al., 2009).

Uma vez que o painel teve sua espessura final aumentada em função do inchamento proporcionado pela exposição à umidade, isso implica em redução da sua massa específica, ou seja, tem-se uma massa de partículas distribuída por um volume maior de painel. Por isto o inchamento em espessura normalmente é acompanhado pela perda de resistência do painel (LEE e WU, 2002).

Walter (2006) diz que, os valores de inchamento em espessura dos painéis, são particularmente preocupantes. As bordas são especialmente vulneráveis à entrada de umidade e podem inchar excessivamente. A estabilidade dimensional de fibras ou partículas por meio de métodos de substituição, como a acetilação, causam a redução da higroscopicidade e conseqüentemente a magnitude do *springback*. Painel de partículas de madeira são especialmente suscetíveis a eventuais ganhos em desempenho podendo mais facilmente compensar o custo de tratamento do que na madeira sólida, pois as fibras e partículas têm uma área de superfície elevada, o que significa que eles são impregnados mais rapidamente com os agentes de estabilização.

2.6. Propriedades Térmicas, Resistência ao Fogo e Acústicas dos Painéis Isolantes

Segundo Sharland (1979), isolamento, seja térmico, sonoro ou contra fogo, significa prover uma barreira sólida impermeável no caminho da propagação. A importância do uso da madeira e compósitos com base neste material, como materiais isolantes, está aumentando devido à crescente preocupação para com a saúde humana (KANG et al., 2008).

2.6.1. Propriedades térmicas

Segundo Lopes (2010) as pessoas passam 90% do seu tempo em espaços interiores, o que não acontecia com tão elevada percentagem há uns anos atrás. E, por esta razão, é necessário garantir que os edifícios, através de uma boa qualidade de construção, ofereçam as condições de salubridade e conforto aos seus usuários, tornando-os capazes de desenvolver eficazmente as suas atividades.

Nennewitz et al. (2008) afirmam que os fatores primários de comodidade são a temperatura do ar, a umidade relativa, a movimentação do ar e a temperatura superficial das paredes ou divisórias dos recintos. A pessoa se sente confortável com temperatura ambiente de 20 a 22°C; temperatura da superfície dos limitadores recinto de 16 até 20°C; suave movimento do ar de 0 até 20 cm/s; e umidade relativa do ar de 30 até 70%.

O conforto térmico pode ser definido em diversos modos, conforme Amorim (1998), todos relacionados à sensação de bem estar físico e mental que um indivíduo experimenta em um certo ambiente, ou seja, a sensação que o organismo experimenta quando perde para o ambiente, sem recorrer a nenhum mecanismo de termo regulação, o calor produzido pelo metabolismo compatível com sua atividade (FROTA e SCHIFFER, 1995), ou ainda o estado de equilíbrio entre as temperaturas do ser humano e o ambiente (ADRIAZOLA, 2008).

Há trinta anos, o uso de materiais de isolamento térmico passou a ser obrigatória na maioria dos países da Europa. Hoje em dia, eles desempenham um papel importante na melhoria do comportamento energético de um edifício. O uso de materiais de isolamento aumentou, com o aumento das exigências da legislação sobre as novas construções, pois contribui para melhorar a eficiência energética de um edifício, confere conforto térmico no que diz respeito à qualidade do ambiente interno e reduz o impacto ambiental. Vários materiais de isolamento com valores de condutividade térmica baixa estão sendo desenvolvidos, a fim de alcançar a maior resistência de isolamento térmico possível. No entanto, a construção deve levar em consideração problemas de área útil, restrições arquitetônicas e outras limitações, além da disponibilidade de materiais e técnicas de construção existentes (PAPADOPOULOS, 2005; JELLE, 2011).

De acordo com Kotaji e Loebel (2010) os materiais de isolamento térmico podem ser agrupados em três famílias conforme sua natureza química e física: minerais e/ou materiais fibrosos inorgânicos, derivados do petróleo e orgânicos naturais.

A madeira é, termicamente, um mau condutor, segundo Kollmann e Cotê (1968), por ser um material poroso e pobre em elétrons livres (responsáveis pela rápida transmissão de energia). Sua estrutura celular aprisiona numerosas pequenas massas de ar e sua composição principalmente de celulose, a torna um material pouco eficiente na condução de calor (BAUER, 2005). Desta forma, a madeira e seus derivados (painéis de OSB, aglomerado, MDF) possuem baixa condutividade térmica, podendo atuar como isolantes térmicos (GIGLIO, 2005).

As propriedades térmicas da madeira mais importantes são: calor específico que pode ser definido como sendo a quantidade de calor necessária para elevar em uma unidade de temperatura uma unidade de massa da madeira (Figura 11); condutibilidade térmica, que é a medida do fluxo de calor por unidade de espessura do material devido a um gradiente de temperatura; e difusividade térmica, definida pela velocidade em que o material recebe calor do meio ao seu redor (SIMPSON, 1991).

O isolamento térmico previne a transferência de calor por condução entre o interior e o exterior do edifício (LANHAM et al., 2004).

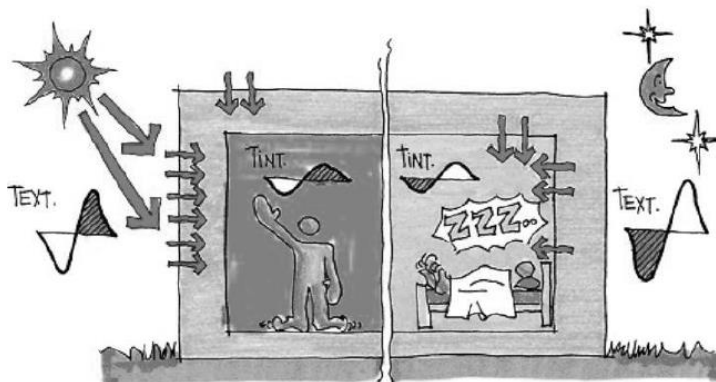


Figura 11. Calor específico, ou capacidade térmica. TEXT, temperatura externa; TINT, temperatura interna. Fonte: Westphal et al. (2010).

Para que determinado material seja considerado um isolante térmico, o mesmo deve dificultar a dissipação de calor, por condução, convecção ou radiação térmica, estabelecendo uma barreira entre dois meios que naturalmente tenderiam a igualar sua temperatura (PARGANA, 2012; CAVALCANTI, 2011).

Bauer (2005) chama de Coeficiente de Condutibilidade Térmica, o número K de quilocalorias que atravessam 1m^2 de parede desse material durante uma hora, por metro de espessura e por grau de diferença de temperatura entre as duas faces da parede: 0,1 para madeiras em geral; 0,5 a 1,0 para paredes de alvenaria (tijolos); 2 a 3 para pedras naturais; 50 para o aço e 300 para o cobre. E o Coeficiente de Resistência Térmica é o inverso de K.

A condutibilidade térmica ocorre em função da densidade dos materiais (Figura 12).

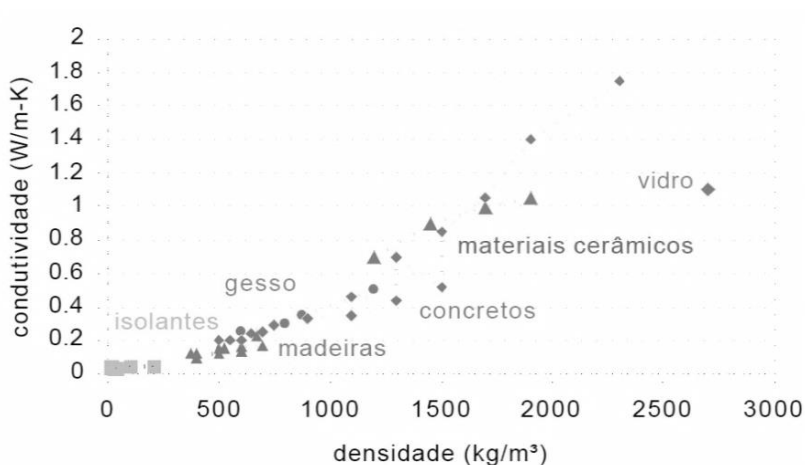


Figura 12. Condutividade x Densidade em diversos materiais. Fonte: Westphal et al. (2010).

Reis e Moreira (2009) afirmam que a espessura de um material é diretamente proporcional ao seu isolamento térmico. No entanto, há outros fatores a considerar no estudo do comportamento térmico dos materiais, como a resistência que um determinado material oferece à passagem de calor; que é a relação entre a espessura e a condutibilidade térmica (λ).

Devido à estrutura porosa da madeira, a sua condutibilidade térmica é relativamente baixa ($\lambda = 0,12$), o que a caracteriza como um bom isolante de temperatura (MORESCHI, 2010).

Segundo Westphal et al. (2010), a madeira com espessura de 5,1 cm possui resistência térmica igual a 1 cm de lã de vidro ($0,22 \text{ m}^2 \text{ }^\circ\text{C.W}^{-1}$). Vaz (2008) afirma que o isolamento térmico serve de barreira ao fluxo de calor por condução. Os materiais escolhidos com esta finalidade devem possuir uma condutividade térmica baixa. A madeira, tal qual produtos isolantes e gesso, de densidade \leq a 1000 kg/m^3 , apresentam maior capacidade de isolamento térmico (Figura 12). A baixa condutividade térmica destes materiais deve-se principalmente à grande quantidade de ar presente entre fibras (CAVALCANTI, 2011).

A norma de desempenho térmico segundo a ABNT (NBR 15.220/2005) estabelece valores referenciais para propriedades térmicas de algumas espécies de madeira e derivados (Tabela 1).

Tabela 1. Propriedades térmicas de madeiras e derivados e materiais isolantes térmicos.

Material	Densidade (Kg/m³)	Condutibilidade Térmica (W/(m.K))	Calor Específico (kJ/(kg.K))
Madeiras com densidade aparente elevada	800-1000	0,29	1,34
Madeira de carvalho, freijó, pinho, cedro, pinus	600-750	0,23	1,34
	450-600	0,15	
	300-450	0,12	
Aglomerado de fibras de madeira (leve)	200-250	0,058	2,30
Aglomerado de partículas de madeira	650-750	0,17	2,30
Placas de fibrocimento	1800-2200	0,95	0,84
	1400-1800	0,65	
Compensado	450-550	0,15	2,30
	350-450	0,12	
Lã de rocha	20-200	0,045	0,75
Lã de vidro	10-100	0,045	0,70

Fonte: ABNT – NBR: 15.220/2005.

Segundo Uchôa (1989), a madeira necessita de uma grande quantidade de calor para elevar sua temperatura.

Forros minerais, lã de rocha, lã de vidro e gesso são alguns dos materiais comerciais mais utilizados como isolantes térmicos. Os forros minerais possuem baixo coeficiente térmico, variando de 0,035 a 0,061W/m °C. Esses valores variam conforme a espessura do forro, a densidade e sua composição (ARMSTRONG, 2013). Minerais como a vermiculita expandida, que compõem esses forros, possuem baixa condutividade térmica, com valores entre 0,06 Kcal.m/m² °C, a 25 °C (cerca de 30 à 40 % menor que o bloco de concreto) o que permite sua utilização para a produção de refratários em isolamentos térmicos (REFRÁTIL REFRATÁRIOS, 2013). Enquanto a lã de rocha apresenta coeficiente térmico médio de 0,035 W/m. °C (CONSTRUCLIMA, 2013).

Guimarães e Tubino (2004) ao avaliarem o desempenho térmico de casas de madeira utilizando paredes externas recheadas com argamassa contendo casca de arroz, resíduos de borracha (pneu) ou garrafa pet triturada, verificaram que os protótipos avaliados apresentaram, considerando isolamento térmico, melhor desempenho que os projetos oferecidos regularmente pelos fabricantes de casas de madeira.

Uma das principais causas do elevado consumo energético dos edifícios é o fato de estes apresentarem um comportamento dissipativo, devido a não utilização de eficientes soluções de isolamento térmico, o que leva à inadequada utilização de equipamentos de climatização (GANHÃO, 2011).

Freitas e Crasto (2006) salientam que o desempenho termo acústico é uma forma de controlar a qualidade do conforto dentro de um ambiente não permitindo que as condições externas influenciem as internas.

2.6.2. Segurança contra incêndios em edificações

O incêndio pode ser considerado como um dos grandes males da civilização; o homem tem enfrentado, ao longo da história, grandes e famosas catástrofes ligadas a incêndios. Com o passar do tempo veio o crescimento das cidades e a prosperidade industrial, intensificou-se e concentrou-se muito o uso de fontes de energia, construiu-se cada vez mais alto e os riscos consequentes para a segurança nem sempre foram considerados. Hoje existem dados que revelam a extensão dos prejuízos econômicos e a perda de vidas humanas que anualmente vêm se somar às estatísticas de incêndio, apontando para a necessidade de se conhecer e controlar cada vez melhor o problema (MELHADO e SOUZA, 1988).

A segurança contra incêndio é definida como o conjunto de ações e recursos, internos e externos à edificação e áreas de risco, que permitem controlar a situação de incêndio (SÃO PAULO, 2005a). As ações estão relacionadas à prevenção, proteção e combate a incêndios.

A implantação da prevenção de incêndios se faz por meio de atividades que visam a evitar o surgimento do sinistro, possibilitar a sua extinção e reduzir seus efeitos antes da chegada do Corpo de Bombeiros (SÃO PAULO, 2005b). Em síntese: são as medidas que trabalham o controle dos materiais combustíveis (armazenamento/quantidade) das fontes de calor (solda/eletricidade/cigarro) e do treinamento (educação) das pessoas para hábitos e atitudes preventivas (SEITO et al., 2008).

A proteção contra incêndios é definida como medidas tomadas para a detecção e controle do crescimento do incêndio e sua consequente contenção ou extinção (SÃO PAULO, 2005b). São as medidas que objetivam dificultar a propagação do incêndio e manter a estabilidade da edificação. Normalmente são divididas em proteções ativas (sistema de ventilação; sistema de chuveiros automáticos) e passivas (paredes e portas corta fogo; diques de contenção; armários e contentores para combustíveis; afastamentos; proteção estrutural, controle dos materiais de acabamento), conforme trabalhem, reagindo ou não em caso de incêndio. (SEITO et al., 2008).

Seito et al. (2008) afirmam não existir dois incêndios iguais, pois são vários os fatores que concorrem para seu início e desenvolvimento, podendo-se citar: forma geométrica e dimensões da sala ou local; superfície específica dos materiais combustíveis envolvidos; distribuição dos materiais combustíveis no local; quantidade de material combustível incorporado ou temporário; características de queima dos materiais envolvidos.

2.6.2.1. Propriedades de resistência ao fogo

O fogo é um dos grandes inimigos da madeira, no qual a sua ação faz reduzir a seção de um modo gradual. Convém, no entanto, esclarecer que a combustibilidade relacionada com a madeira não é o principal critério pelo qual o desempenho ao fogo de uma construção pode ser julgado, pois todos os materiais que se utilizam são prejudicados pela exposição ao fogo (ANASTÁCIO, 2010).

Nas construções, um incêndio nasce, propaga-se e extingue-se, conforme os materiais envolvidos. A preocupação usual é classificar materiais conforme sua resistência a temperaturas da ordem de 850°C, temperaturas que ocorrem no centro de um incêndio. As estruturas de madeira são classificadas em duas categorias: as que a 300 °C propagam o incêndio, perdendo rapidamente toda a resistência mecânica, e as que resistem durante certo tempo a temperaturas elevadas (BAUER, 2005). As duas categorias se diferenciam unicamente pela espessura de suas peças:

- Peças com espessura inferior a 20 mm propagam incêndio;
- Peças com mais de 25 mm de espessura oferecem menor risco, onde não houver correntes de ar;

- Peças com mais de 50 mm de espessura serão sempre menos perigosas que as metálicas, pois peças metálicas submetidas a altas temperaturas tendem a deformar.

A resistência ao fogo pode ser determinada em função de ensaios específicos de forma a quantificar o tempo para o qual a estrutura não entra em colapso. Sendo a madeira combustível, existem grandes preocupações inerentes ao projeto e à proteção destes materiais. Mas a combustão da madeira é lenta e regular e o seu comportamento torna-se previsível, apresentando por isso um comportamento diferente e que lhe é favorável (BARREIRA e FONSECA, 2008).

A madeira, quando é submetida a uma situação de incêndio, irá queimar. Porém, tanto a madeira quanto o carvão oriundo da carbonização são isolantes térmicos e retardam o fluxo de calor para o interior da seção, abrandando a velocidade da degradação térmica e retardando o avanço da frente de carbonização (Figura 13). Dessa forma, quando submetidos ao fogo, os elementos estruturais de madeira exibem em seus interiores, após a camada carbonizada, uma estreita camada aquecida, cujas propriedades mecânicas são afetadas pelo calor, e um núcleo inalterado (FIGUEROA e MORAES, 2009). Assim, o aquecimento e a degradação do material realizam-se a uma velocidade menor, o que faz com que a sua capacidade resistente seja favorável em relação a outros materiais (MOURA, 2005).

Figuerola e Moraes (2009) afirmam que a madeira, a temperaturas entre 380 e 500°C tem uma perda de massa equivalente a 70% de sua massa original.

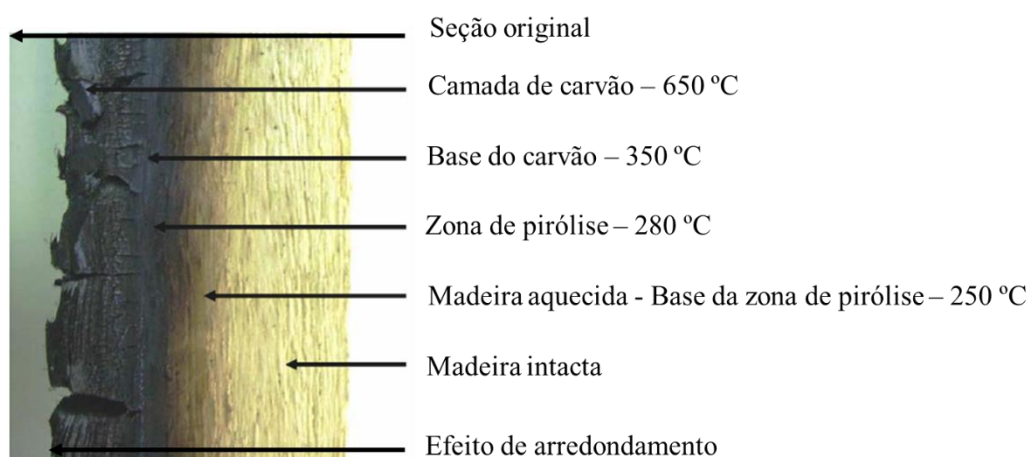


Figura 13. Comportamento de uma peça de madeira submetida a altas temperaturas Adaptado de PINTO e CALIL JUNIOR (2006); FIGUEROA e MORAES (2009).

Segundo White (2002), a resistência ao fogo de um elemento ou estrutura de madeira depende da existência de uma camada protetora ou espessura da camada carbonizada da madeira e das dimensões

da seção residual, as quais dependem da taxa de carbonização da espécie de madeira usada (Figura 13).

Na revisão de literatura realizada por Figueroa e Moraes (2009) constata-se que o aumento da temperatura é um fator de redução da resistência para estruturas de madeira expostas ao calor prolongado. Verifica-se que, para temperaturas próximas a 60°C, algumas propriedades exibem redução de aproximadamente 25% em relação ao valor apresentado a 20°C.

Ainda de acordo com os autores citados, no Brasil, a construção de edificações com sistemas estruturais em madeira, são poucos, fruto do desconhecimento do comportamento da madeira em relação ao fogo, e a insegurança diante de potenciais riscos relacionados a incêndios. Enquanto, na América do Norte e na Europa, o cenário é totalmente diferente. As construções em madeira são largamente utilizadas devido ao alto grau de industrialização e racionalização dos sistemas construtivos empregados, além do excelente desempenho térmico exibido pela madeira e seus derivados.

2.6.2.2. Materiais ignífugos

Quanto maior for a capacidade dos materiais em retardar o desenvolvimento dos incêndios, menores serão as perdas associadas a uma calamidade deste tipo. Dessa forma é interessante aumentar a resistência do material ao fogo (PARAMÉS e BRITO, 2010).

Os materiais ignífugos evitam incêndios por meio de um tratamento que transformam os materiais de combustão fácil em difícil inflamação (MIYADA et al., 2011).

De acordo com Paramés e Brito (2010) as substâncias retardantes de fogo têm a função de prevenir o início de um fogo, impedindo a ignição dos materiais e atrasando a propagação, podendo ocorrer por ação física ou química, inibindo ou mesmo suprimindo o processo de combustão.

A madeira tratada com produtos ignífugos não deve propagar chamas ou contribuir para a sua própria combustão, quando exposta às altas temperaturas, deve apenas carbonizar até se decompor (IPT, 1986).

Os sais utilizados na impregnação são: bórax, fosfato de amônia, ácido bórico, fosfato de sódio, ácido fosfórico, sulfato de amônia e os cloretos de zinco e magnésio (PINTO, 2001).

O Bórax, ou tetraborato dissódico decahidratado, é a forma refinada do borato de sódio natural. Composto de óxido bórico (B_2O_3), óxido de sódio, e água. É um sal branco, suave, alcalino e cristalino

com excelente propriedade de fluidez. Disponível em forma granular. Com densidade de 0,90 Ton/m³, o bórax é usado como um retardador de chama para materiais celulósicos e ainda é parte da formulação de adesivos para papel e papelão, usado na manufatura de adesivos baseados em caseína e dextrina (BRAZMO, 2012).

Minerais como a vermiculita ainda podem ser empregados na composição dos painéis com o objetivo de aumentar as propriedades ignífugas. O termo vermiculita é utilizado também para designar comercialmente um grupo de minerais micáceos constituído por cerca de dezenove variedades de silicatos hidratados de magnésio e alumínio, com ferro e outros elementos (FRANÇA e LUZ, 2002). Quando aquecida entre 650 e 1.000°C apresenta uma curiosa propriedade de expansão, devido à brusca transformação da água em vapor (FERRAZ, 1971). Os espaços vazios originados desta expansão volumétrica são preenchidos por ar, que conferem a vermiculita expandida certas características como grande leveza, isolamento térmico e absorção acústica. Segundo Oliveira e Ugarte (2004) este material tem sido bastante utilizado como enchimento de pisos, isolamento termo acústico em divisórias, forros, lajes e paredes corta fogo, câmaras a prova de som, câmaras a prova de fogo, rebocos isolantes, etc. Na década de 40, nos Estados Unidos, Salisbury patenteou o painel de fibra de madeira (polpa) resistente a fogo, esse possuía em sua composição vermiculita expandida e outros produtos químicos. Kozłowski et al. (1999) estudando a influência da vermiculita e uréia formaldeído na produção de compósitos de madeira (fibras e polpa) afirmam ser uma pasta eficiente a ser adicionada aos painéis lignocelulósicos resistentes ao fogo, dependendo dos componentes complementares.

No geral, os materiais como a lã de rocha e lã de forro também se enquadram na categoria de materiais ignífugos. Alguns forros minerais são classificados como Classe A, conforme a norma NBR 9.442/88, ou seja apresentam baixo índice de propagação de chamas (ARMSTRONG, 2013; REFRATIL REFRATÁRIOS, 2013; ROCKFIBRAS, 2013).

2.6.3. Propriedades acústicas

A palavra acústica tem origem na palavra grega *akouein*, que significa ouvir (HENRIQUE, 2002), embora atualmente seu significado seja mais amplo: acústica é um ramo da física por meio do qual se investigam as vibrações mecânicas e os fenômenos ondulatórios em um meio material elástico, ou seja, a acústica estuda o som desde sua geração, propagação até a recepção do sinal sonoro (LISOT, 2008).

Moreschi (2010) afirma que, uma vez que a madeira é utilizada na fabricação de instrumentos musicais, aplicada para isolamento acústico, revestimentos e assoalhos (casas, auditórios, escolas, etc.), algumas de suas propriedades acústicas são de extrema importância.

Segundo Kang et al (2005) madeira sólida ou na forma de compósitos, tais como os painéis, tem sido amplamente utilizados como um material de construção por causa de sua resistência mecânica e às intempéries. Quando usada na construção civil características acústicas adequadas, tais como o coeficiente de absorção sonora e a impedância acústica são necessários para criar uma estrutura com sucesso.

2.6.3.1. Som e Ruído

Todo ruído é um som, porém nem todo som é um ruído. O som é uma variação de pressão atmosférica dentro dos limites de amplitude e banda de frequências ao qual o ouvido humano responde (GERGES, 2000). Entretanto, de acordo com Bistafa (2006), o ruído é definido como um som sem harmonia e que tem uma conotação negativa, e para Iida (2005) o ruído nada mais é do que um som indesejável. Porém, é importante ressaltar que um som pode ser indesejável para um indivíduo, mas não para outro (CATAI et al. 2006).

A Norma Regulamentadora (NR) 15/78 (atualizada 2009) classifica os ruídos em contínuo, intermitente ou de impacto. O ruído contínuo é aquele cujo nível de pressão sonora varia três dB (decibéis) durante um período longo (mais de 15 minutos) de observação. O ruído intermitente é aquele cujo nível de pressão sonora varia de até 3 dB em períodos curtos (menor que 15 minutos e superior a 0,2s). E o ruído de impacto são picos de energia acústica de duração inferior a 1s, em intervalos superiores a 1s. Os níveis de ruído devem ser medidos sempre em decibéis (dB) utilizando o aparelho para medição do nível de pressão sonora operando no circuito de compensação "A" e circuito de resposta lenta (*Slow*).

A NR 15 (2011) estabelece os limites de tolerância (Tabela 2), a intensidade máxima ou mínima, relacionada com a natureza e o tempo de exposição ao agente, que não causará danos à saúde do trabalhador, durante a sua vida laboral, a fim de caracterizar insalubridade.

O som tem a capacidade de afetar o homem em uma série de aspectos psicológicos e fisiológicos. Sons dentro da faixa de 0 a 90 dB(A) proporcionam efeitos psicológicos. Acima de 120 dB (A) acarretam efeitos físicos, tais como ruptura do tímpano (140 dB (A)), convulsões (175 dB (A)). Portanto a prevenção ou redução do ruído é de fundamental importância a saúde auditiva do homem (BISTAFA, 2006).

Tabela 2. Limites de tolerância para ruído contínuo ou intermitente (NR 15/1978).

NÍVEL DE RUÍDO dB (A)	MÁXIMA EXPOSIÇÃO DIÁRIA PERMISSÍVEL
85	8 horas
86	7 horas
87	6 horas
88	5 horas
90	4 horas
92	3 horas
95	2 horas
100	1 hora
105	30 minutos
110	15 minutos
112	10 minutos
114	8 minutos
115	7 minutos

Vianna e Ramos (2005) asseguram que só existe conforto quando há um mínimo de esforço fisiológico em relação ao som.

O homem fica submetido a incontáveis e diversos tipos de ruídos ao longo da vida, algumas fontes e seus níveis de ruídos são apresentados na Figura 14.

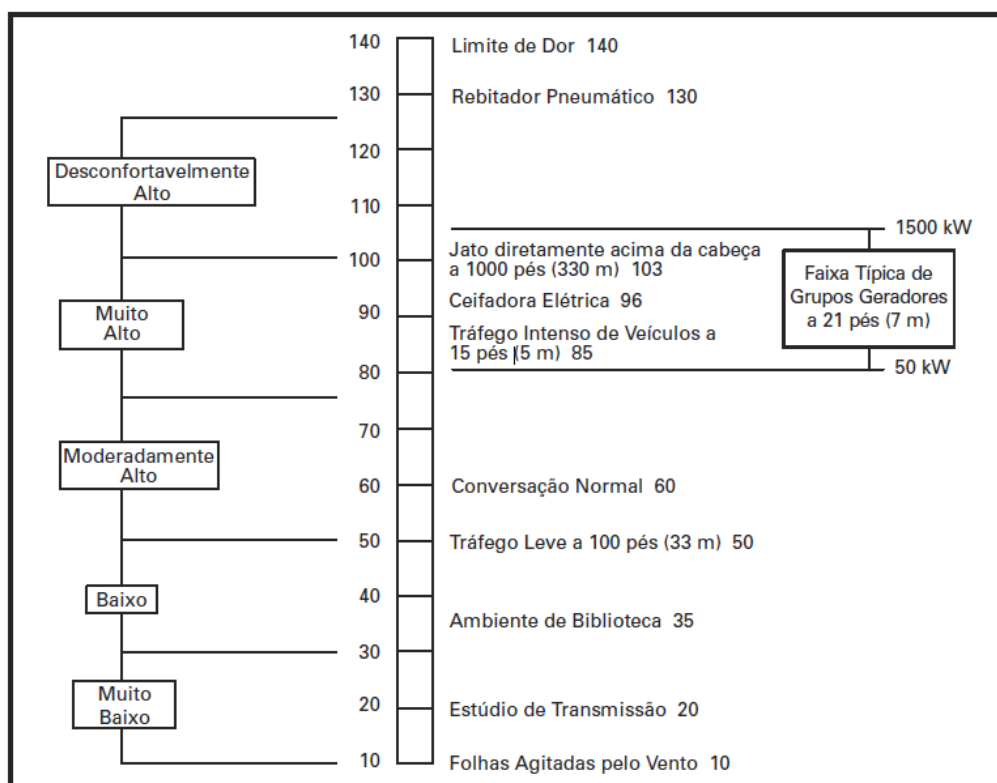


Figura 14. Fontes sonoras e seus respectivos níveis de pressão sonora. Fonte: <http://interpower-geradores.blogspot.com.br/2012/05/reducao-de-ruídos-em-aplicacoes-de.html>.

2.6.3.2. Absorção e Isolamento acústico

A absorção acústica é um fenômeno físico que minimiza a reflexão das ondas sonoras, diminui ou elimina os níveis de pressão sonora no recinto (BASTOS, 2007).

Segundo Bastos (2007) a absorção sonora de um material pode ser calculada a partir da Equação 1:

$$A_a = \frac{55,3V}{c} \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right) \quad (1)$$

Onde: T_2 é o tempo de reverberação médio na câmara com amostra em seu interior; T_1 é o tempo de reverberação médio na câmara sem amostra; V = volume da câmara reverberante; C = a velocidade do som no meio, determinada pela Equação 2:

$$C = 331 + 0,6 T \quad (2)$$

Onde: T é a temperatura do meio.

A capacidade acústica de uma parede entre dois ambientes é expressa pela absorção ou fator de redução de ruído e do isolamento acústico (BUCUR, 2006).

Bucur (2006) afirma que o coeficiente de absorção acústica ocorre em razão da diferença do nível de pressão sonora em dois lados da parede e a pressão do som incidente, ou seja, a taxa de energia absorvida sobre a taxa de energia incidente sobre um material, e pode ser calculada pela Equação 3:

$$A\% = \frac{E_i - E_r}{E_i} \times 100 \quad (3)$$

Onde: E_i = energia acústica incidente; E_r = energia refletida.

O coeficiente de absorção acústica varia conforme o material utilizado (Tabela 3).

Tabela 3. Média de coeficientes de absorção de som de vários materiais de construção.

Material	Espessura (mm)	Frequência (Hz)					
		125	250	500	1000	2000	4000
Lã de rocha	100	0,42	0,66	0,73	0,74	0,76	0,79
Lã de vidro	100	0,29	0,55	0,64	0,75	0,8	0,85
Parede de alvenaria	-	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05	0,07
Vidro	-	0,18	0,06	0,04	0,03	0,03	0,02
Piso de madeira	-	0,05	0,03	0,06	0,09	0,1	0,22
Madeira compensada de 3 mm a 50 mm da parede, espaço vazio	3	0,25	0,34	0,18	0,1	0,1	0,06
Divisória envidraçada	6	0,18	0,06	0,04	0,03	0,02	0,02

Fontes: NBR 12.179/1992; Bucur, 2006; Reis e Moreira, 2009.

Segundo Kang et al. (2008) dois métodos estão disponíveis para a estimativa do coeficiente de absorção acústica: a câmara reverberante e tubo de impedância.

Mafra (2004) alega que por meio da câmara reverberante, pode-se medir o coeficiente de absorção aleatório, que considera ondas sonoras incidindo de todas as direções, enquanto que no tubo de impedância, considera-se a propagação somente de ondas planas e a incidência se dá segundo a direção normal, assim, no tubo de impedância podem ser calculados a impedância normal de superfície e o coeficiente de absorção normal.

A determinação da impedância normal de superfície e do coeficiente de absorção em um tubo de impedância é padronizada pelas normas ASTM C384/ISO 10.534 e ASTM E1050/ISO 10.534-2. Estas normas estabelecem o uso de um ou dois microfones.

Para Chu (1986), um único microfone pode ser usado para medir a pressão em dois locais, se o processo é estacionário, as densidades espectrais cruzadas de cada microfone em relação à fonte não precisam ser determinadas simultaneamente. Dessa maneira, qualquer erro sistemático relacionado com a diferença de fases e a incerteza associada à distância efetiva dos microfones será eliminado ou minimizado (NAVES NETO, 2011).

O aparato experimental descrito por Salvo et al. (2005) é representado na Figura 15, tem-se um tubo de parede rígida onde numa das extremidades é colocado um alto-falante e na outra a amostra do material a ser testado. Dentro do tubo é estabelecido um modelo de ondas estacionárias, devido às ondas que vão em direção da amostra e retornam.

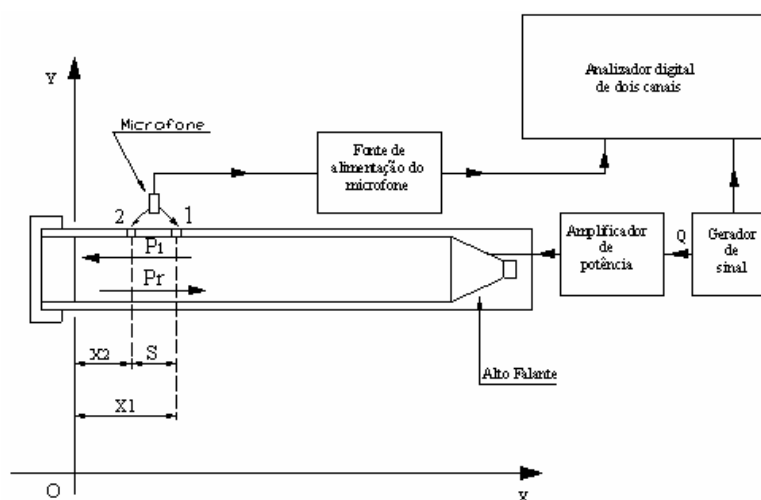


Figura 15. Esquema de montagem do sistema de medição para a determinação do coeficiente de absorção, usando a técnica de um microfone.

Onde: P_i = pressão acústica complexa incidente [Pa]; P_r = pressão acústica complexa refletida [Pa]; 2 = posição do microfone mais próxima da amostra; 1 = posição do microfone mais afastada da amostra; X_2 = distância entre a amostra e a posição mais próxima do microfone [m]; X_1 = distância entre a amostra e a posição mais afastada do microfone [m]; s = distância entre as duas posições do microfone [m]; Q - sinal do gerador.

O método segundo Salvo et al. (2005) consiste, basicamente, em excitar o tubo com um ruído “branco” de banda larga e medir a pressão sonora, no interior do tubo, em duas posições pré-determinadas. Os sinais obtidos são processados por um analisador digital de frequência, com dois canais, e posteriormente pós-processados em um programa computacional específico para se determinar a curva de absorção acústica do material, em função da frequência.

Pode-se calcular no interior do tubo o NPS - Nível de Pressão Sonora, conforme Equação 4. A pressão total no interior do tubo será:

$$P = P_i + P_r = A e^{i(\omega t + kx)} + B e^{i(\omega t - kx)} \quad (4)$$

Onde: A = amplitude de P_i [m]; B = Amplitude de P_r [m]; ω = frequência da onda [m/s^2]; $k = \omega/c$ = número de onda; c = velocidade de propagação do som no ar [m/s^2].

Para as posições 1 e 2, tem-se as Equações 5 e 6:

$$P_1 = e^{i\omega t} [A e^{ikx_1} + B e^{-ikx_1}] \quad (5)$$

$$P_2 = e^{i\omega t} [A e^{ikx_2} + B e^{-ikx_2}] \quad (6)$$

A função de resposta em frequência ou função de transferência entre os sinais obtidos nas posições 1 e 2 é dada por:

$$H_{12} = \frac{P_2}{P_1} = \frac{[A e^{ikx_2} + B e^{-ikx_2}]}{[A e^{ikx_1} + B e^{-ikx_1}]} = \frac{[e^{ikx_2} + (B/A) e^{-ikx_2}]}{[e^{ikx_1} + (B/A) e^{-ikx_1}]} \quad (7)$$

A partir da Equação (7) pode-se obter a expressão do módulo da razão das amplitudes, conforme está descrito na Equação (8):

$$|B/A| = \left| \frac{H_{12} - e^{-iks}}{e^{-iks} - H_{12}} \right| \quad (8)$$

Como o coeficiente de reflexão acústica pode ser expresso como a relação da intensidade acústica refletida pela incidente, e sabendo que é possível demonstrar que o coeficiente de absorção acústica pode ser encontrado pela Equação 9:

$$\alpha_r = \frac{I_R}{I_I} = \frac{|P_r^2|}{|P_i^2|} = \frac{|B^2|}{|A^2|}; \alpha_A = 1 - \left| \frac{H_{12} - e^{-iks}}{e^{-iks} - H_{12}} \right|^2 \quad (9)$$

Observando-se a Equação (9) pode-se notar que uma vez definida a distância entre as duas posições de medição, s , deve-se determinar a função de resposta em frequência, H_{12} , para que o coeficiente de absorção, como função de frequência, seja obtido.

A função de transferência é por definição:

$$H_{12} = \frac{P_2}{P_1} = \frac{G_{12}}{G_{11}} = \frac{P_1^* P_2}{P_1 P_1^*} = H_{1Q} H_{Q2} \quad (10)$$

Onde: G_{12} é o espectro cruzado de P_1 e P_2 ; G_{11} é o espectro de potência de P_1 ; * é o complexo conjugado; Q é o sinal do gerador, responsável pelo campo acústico no interior do tubo; H_{1Q} a função de transferência entre o sinal do microfone na posição 1 e o sinal do gerador; H_{Q2} é a função de transferência entre o sinal do gerador e o sinal do microfone na posição 2.

Assume-se o processo como estacionário, então não é necessário calcular H_{1Q} e H_{Q2} simultaneamente. Portanto, um único microfone poderá ser utilizado para medir, sequencialmente, a pressão nas posições 1 e 2. A função H_{12} , necessária para a determinação do coeficiente de absorção na Equação (9), é obtida através da Equação (10).

Naves Neto (2011) estudando a absorção acústica de onze espécies de madeiras brasileiras por meio do tubo de impedância constatou que a absorção acústica das madeiras demonstrou ser muito baixa, menor do que 1%, e levemente diferente entre as espécies, sendo uma variável intimamente ligada a propriedades físicas e mecânicas da madeira existindo forte correlação com a espessura do material.

Segundo Bastos (2007) o isolamento acústico refere-se a capacidade de um material formar uma barreira, impedindo a passagem do som, podendo ser chamado de perda de transmissão.

Quando uma onda sonora se propaga no ar e se depara com um obstáculo pode acontecer reflexão, absorção ou transmissão (Figura 16). Reflexão ocorre quando a onda se reflete de acordo com as leis da ótica. A absorção é a capacidade da superfície de não permitir que a onda sonora seja refletida.

Transmissão é a capacidade de um material permitir que o som ultrapasse uma superfície, continuando a propagação. O som encontra a superfície, faz com que o material vibre e gere uma onda no outro lado do anteparo (JADIR e LIMA, 2009).

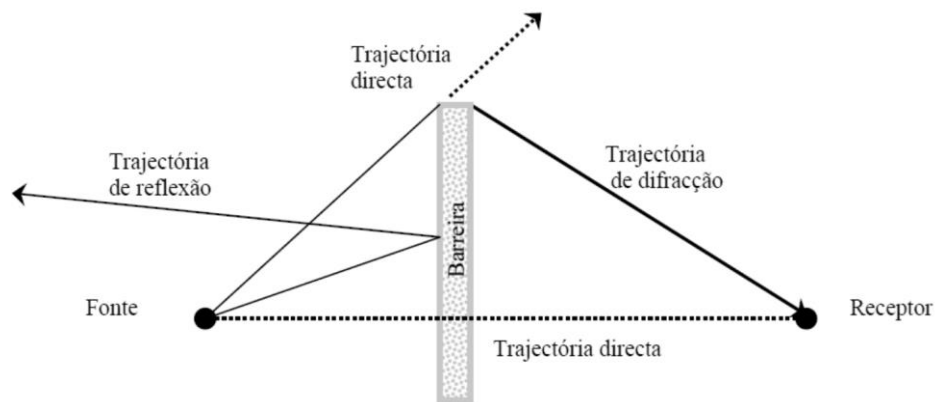


Figura 16. Trajetórias de uma onda sonora emitida junto a um dispositivo de redução de ruído. Fonte: Harris (1979) *apud* Freitas e Trabulo (2007).

A propagação de um som através de uma parede determina um enfraquecimento do nível sonoro; esse enfraquecimento é função logarítmica da massa da parede. O valor do isolamento acústico dos diferentes materiais é levado em consideração nos projetos de isolamento acústico, conforme Norma Brasileira para Isolamento e Absorção Acústica (ABNT NBR 12.179/1992) e a ABNT NBR 10.151/2003 que especifica o método para medição do ruído.

A madeira apresenta-se como um excelente material para absorção acústica; o revestimento com madeira das paredes de uma sala determina um enfraquecimento fônico da ordem de cinco dB (decibéis). Esse efeito depende ainda do tipo de revestimento: papel de parede e pintura aumenta a absorção do som; verniz e laca diminuem (BAUER, 2005).

Paredes simples de madeira apresentam isolamento acústico deficiente, devido à sua pouca massa constituinte. Mesmo paredes duplas, preenchidas com tábuas ou painéis de madeira atingem uma massa de 50 a 100 kg/m², o que corresponde a um índice de isolamento de apenas 37 a 44 dB. Paredes compostas de várias camadas, contendo ar entre elas, diminuem consideravelmente as oscilações das paredes sólidas constituintes (MORESCHI, 2010).

O isolamento acústico pode ser melhorado pela incorporação de materiais absorventes de som, moles e porosos, como apresentado na Figura 17.

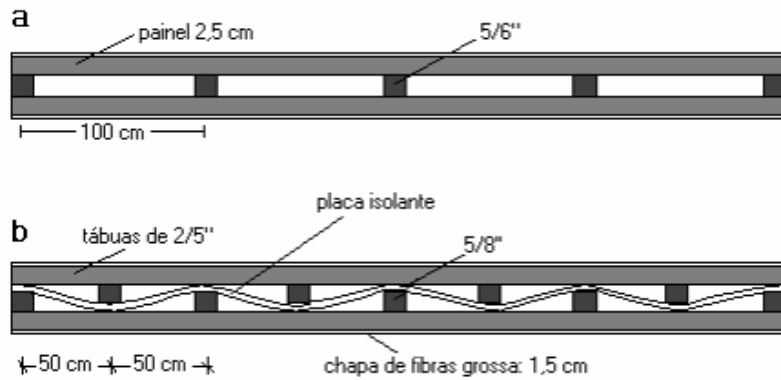


Figura 17. Tipos de paredes de madeira e qualificação quanto ao isolamento acústico: a) parede múltipla com isolamento deficiente; b) parede múltipla com elevado poder de isolamento acústico. Fonte: Moreschi (2010).

Segundo Bastos (2007) o isolamento acústico pode ser experimentalmente calculado pela Equação 11.

$$IA = (NPS_1) - (NPS_2) + 10 \cdot \log\left(\frac{S}{A_2}\right) \quad (11)$$

Onde: IA = isolamento acústico; NPS_1 = nível de pressão sonora médio na câmara emissora; NPS_2 = nível de pressão sonora médio na câmara receptora; S = área superficial da barreira; A_2 = absorção total da câmara receptora; V = volume da câmara receptora; T = tempo de reverberação da câmara receptora.

As Equações 12 e 13 definem $NPS_{1,2}$ e A_2 .

$$NPS_{1,2} = 10 \cdot \log \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{\frac{NPS_i}{10}} \quad (12)$$

$$A_2 = \frac{0,161 \cdot V}{T_2} \quad (13)$$

Santos et al. (2011) avaliando o isolamento acústico de painéis produzidos com bagaço de cana e folhas de bambu observaram resultados inferiores (entre 8,80 e 13,60 dB) ao de outros sistemas construtivos compostos por tijolo maciço ou vazado (entre 35 e 55 dB), entretanto tal discrepância se justifica pelo fato de os sistemas analisados possuírem densidade menor por serem constituídos de fibras naturais prensadas.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Esta pesquisa foi desenvolvida no Laboratório de Tecnologia da Madeira e Derivados do Departamento de Engenharia Florestal da Universidade de Brasília/DF, em conjunto com o Laboratório de Produtos Florestais do Serviço Florestal Brasileiro (LPF/SFB/MMA) e com a cooperação da Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Uberlândia (FEMEC-UFU, Campus Santa Mônica, Uberlândia/MG).

Os materiais necessários à confecção do painel termo acústico proposto nesta pesquisa foram doados por uma empresa do ramo da construção civil do Distrito Federal

Foram utilizados na composição deste painel: resíduo lignocelulósico (serragem de madeira de pinus e painéis), forro de fibras minerais, lã de rocha, adesivos e produto retardante ao fogo (Figura 18).

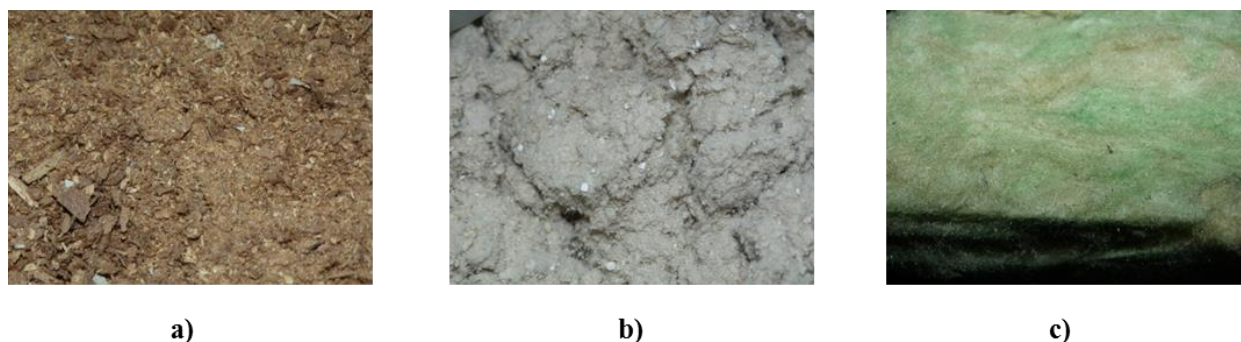


Figura 18. Materiais de composição do painel termo acústico: a) serragem de madeira; b) forro de fibra mineral; c) lã de rocha.

3.1. Origem dos materiais

A empresa doadora dos resíduos produz cerca de 50 toneladas/mês de resíduos lignocelulósicos (serragem) que é recolhido pela empresa de limpeza pública do Distrito Federal. Outros resíduos de granulometrias maiores, como a maravalha é vendido a granjas. O resíduo lignocelulósico é proveniente do processamento da madeira de pinus e painéis, como MDF e chapa dura, em serras circulares. O forro de fibra mineral é proveniente do descarte da reforma de escritórios e órgãos públicos. A lã de rocha é oriunda de recortes de montagem de divisórias e de painéis de divisórias descartados de obras.

3.2. Preparo das partículas para composição do colchão

3.2.1. Partículas minerais

3.2.1.1. Forro de fibra mineral

Foram utilizadas placas de forro termo acústico em fibra mineral com perfurações ao longo de sua superfície acabada, recobertas por tinta vinílica à base de látex que inibe o aparecimento de fungos, mofo ou bactérias, nas dimensões de 625 x 625 mm com espessuras variando entre 12 e 15 mm. As placas foram passadas por equipamento de trituração forrageira, marca Trapp, modelo TRF-400 para serem fragmentadas em partículas de menor dimensão (Figura 19).



Figura 19. Forro de fibra mineral em placa e após fragmentação.

3.2.1.2. Lã de rocha

A lã de rocha utilizada é um material de isolamento térmico à base de fibras de rocha e/ou escórias fundidas, encontradas para venda comercial em placas (Figura 20A) em espessuras que variam de 30 mm a 100 mm. A lã de rocha foi desagregada (Figura 20B) manualmente para facilitar a mistura no liquidificador industrial.

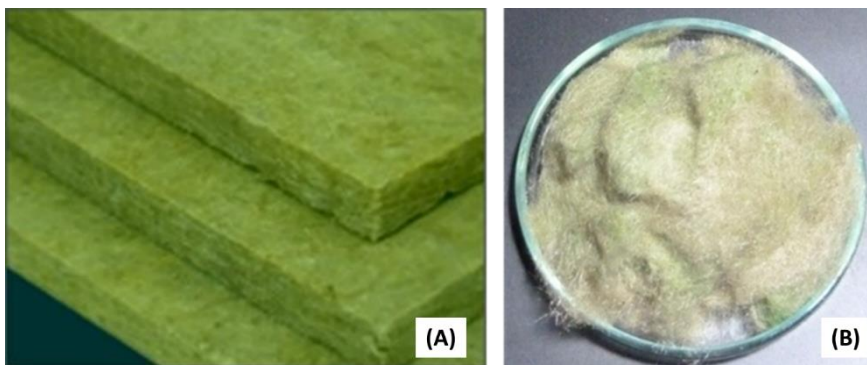


Figura 20. (A) – Lã de rocha em placas como vem dispostas no fardo. (B) – após desagregação manual.

3.2.2. Classificação granulométrica das partículas lignocelulósicas e minerais.

A coleta de material para a análise de granulometria das partículas foi realizada de forma aleatória e homogênea, nas porções de partículas prontas para a produção dos painéis. Foram utilizadas 17 amostras de 100 gramas cada, de cada material (serragem de madeira e forro mineral). As partículas de lã de rocha não foram classificadas.

A granulometria das partículas determina a distribuição em porcentagem do tamanho das partículas por meio de um conjunto de peneiras analíticas colocadas em um classificador automático vibratório da marca Tamis, modelo BT-001, com capacidade para 6 peneiras de 2 polegadas (Figura 21).

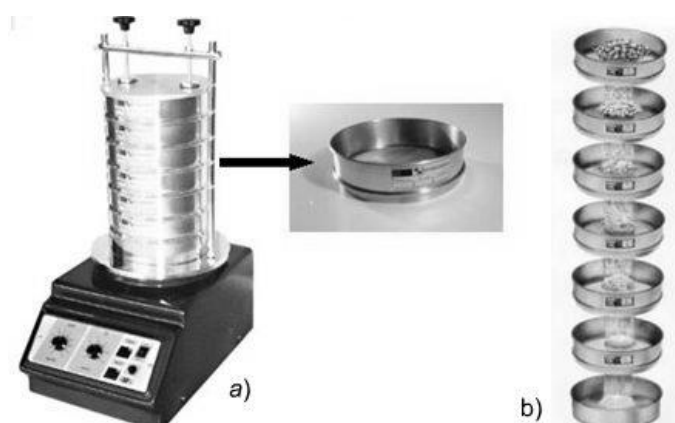


Figura 21. Classificador automático (a) e conjunto de peneiras (b), modelo BT-001, marca Tamis.

Foi utilizado um conjunto de peneiras composto por quatro granulometrias conforme as especificações da ASTM E11/1987 atualizada em 2009, correspondendo a 20, 35, 45, e 60 mesh respectivamente, conforme a Tabela 4.

Tabela 4. Granulometria e abertura das peneiras conforme a ASTM E11/1987.

Peneira (Mesh)	Abertura (mm)
20	0,850
35	0,500
45	0,350
60	0,250
-	Fundo

O procedimento de análise seguiu a seguinte sequência: homogeneização da amostra; verificação da sequência correta das peneiras; colocação de aproximadamente 100g de partículas na primeira peneira do conjunto; adaptação do conjunto de peneiras ao aparelho; regulagem do reostato do aparelho em 70 e programação para 15 minutos; encerrado o tempo, pesagem em uma balança analítica da quantidade de material que ficou depositado em cada peneira e no recipiente de fundo, respeitando a sequência das malhas.

Para os cálculos e a expressão dos resultados, cada valor encontrado em peso em cada peneira foi transformado em % em relação à quantidade colocada no conjunto de peneiras.

As partículas que passarem na peneira de 60 *mesh* e ficarem retidas na peneira de fundo foram classificadas como finos.

3.2.3. Determinação do teor de umidade das partículas lignocelulósicas

O teor de umidade das partículas foi determinado por meio de analisador de umidade por infravermelho, marca GEHAKA, modelo IV-2000, com precisão de $\pm 0,1\%$. Foram utilizadas 17 amostras de cinco gramas em duplicata para estabelecer o teor de umidade médio das partículas.

3.3. Projeto Piloto

3.3.1. Preparação do colchão de partículas para formação dos painéis do Projeto Piloto

Após a caracterização e preparo das partículas lignocelulósicas e minerais formadoras do colchão, estas foram pesadas e separadas nas quantidades calculadas, conforme o delineamento experimental (Item 3.4), onde foram adicionados a água, o adesivo (PVA) e o produto químico retardante (Bórax) e misturados com auxílio de um liquidificador industrial, variando o tempo em 1 e 2 minutos (Figura 22).

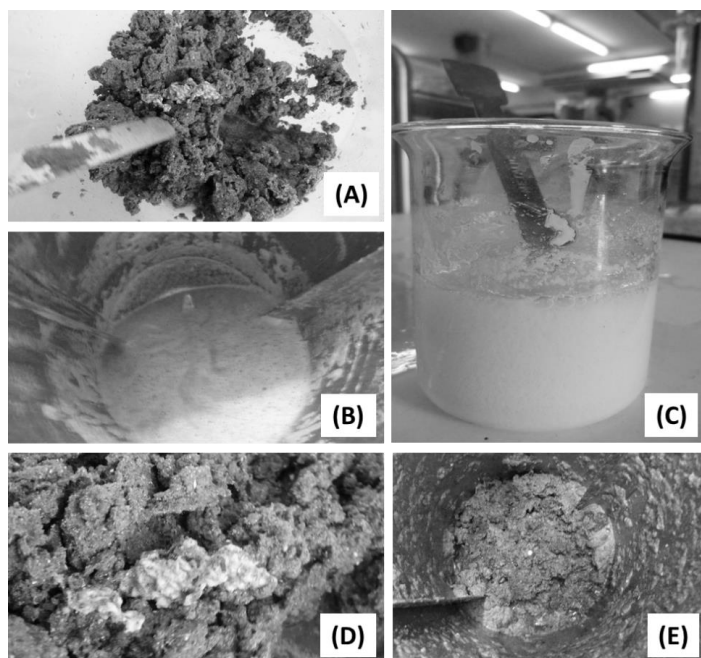


Figura 22. Processamento das partículas para formação do colchão. (A) – Mistura das partículas secas em 300 ml de água. (B) – Adição de água e adesivo. (C) – Adesivo diluído em 300 ml de água. (D) – Mistura após 1 minuto de liquidificação. (E) – Mistura após 2 minutos de liquidificação.

O colchão de partículas foi formado por filtração a vácuo, com dimensões de 190 mm de diâmetro x 30 mm de espessura (Figura 23).

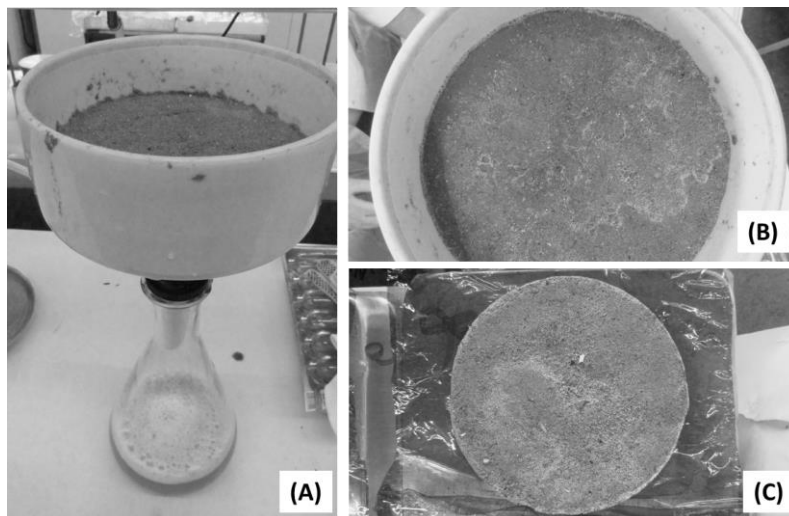


Figura 23. (A) – Formação do colchão por meio de filtração a vácuo. (B) – Colchão de partículas filtrado antes de desenformar. (C) – Colchão de partículas pronto para ser submetido à secagem.

O colchão de partículas úmido foi filtrado a vácuo em um conjunto composto por um kitassato, um funil de Büchner e uma bomba de vácuo (Figura 24), por 5 minutos para a retirada máxima da água de composição do colchão.



Figura 24. Conjunto filtrante usado para a retirada de umidade do colchão de partículas.

Em seguida, o painel formado foi submetido à secagem em estufa com circulação forçada de ar, na temperatura de $105 \pm 2^\circ\text{C}$, pelo período de 20 horas, sendo virado após 6 horas. Tanto a preparação, como a mistura dos materiais e posterior a confecção dos painéis foram baseados na norma brasileira ABNT NBR 14.810-3/2006 substituída atualmente pela ABNT NBR 14.810-2/2013.

3.3.2. Consistência em celulose residual nos efluentes

A água, líquido essencial à vida, constitui um dos bens mais preciosos à disposição da humanidade. Por ser um bem já escasso em muitas regiões, requer racionalidade em sua utilização. A contaminação das águas é, portanto, uma das maiores preocupações de todos que necessitam utilizá-las como insumo em atividades econômicas (FONSECA et al., 2003). Dessa maneira é necessária a avaliação dos efluentes líquidos gerados na produção dos painéis, buscando saber qual a quantidade de resíduos é descartada ao fim do processo produtivo.

A consistência em celulose residual nos efluentes foi determinada pela norma técnica TAPPI T240 om93 (*Technical Association of the Pulp and Paper Industry*) (Figura 25).

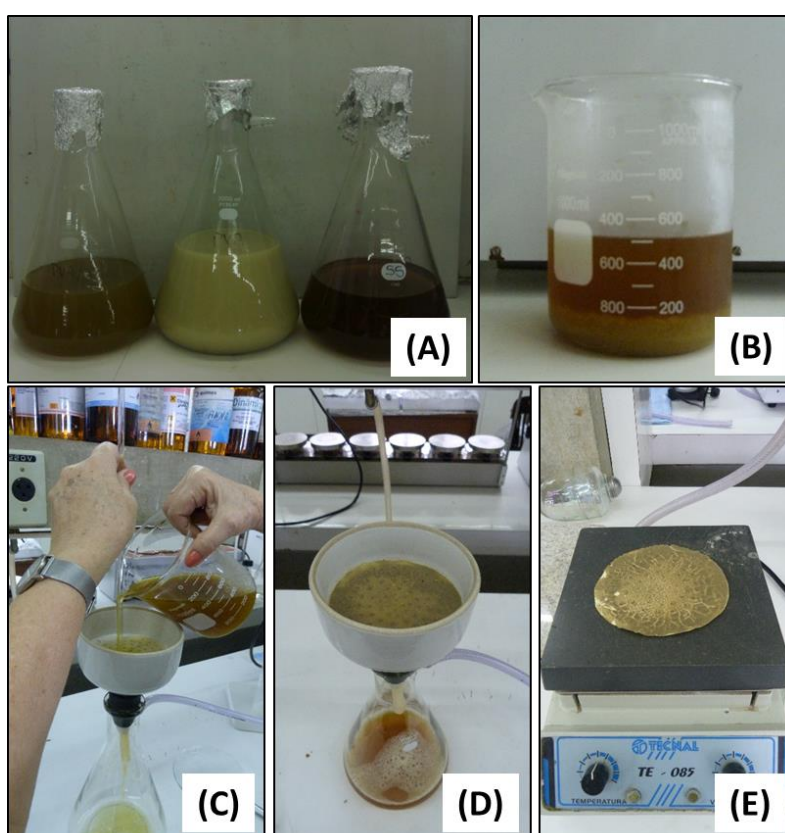


Figura 25. Procedimentos para análise da consistência em celulose nos efluentes. (A) – Efluentes líquidos provenientes da filtragem dos tratamentos 9, 6 e 1, respectivamente. (B) – Amostra para filtragem. (C e D) – Colocação de papel filtro e filtragem a vácuo, para retenção das partículas residuais. (E) – Secagem do papel filtro com as partículas residuais.

3.3.3. Densidade dos painéis

Após a confecção, todos os painéis do projeto piloto foram levados para climatização ($20^{\circ}\text{C} \pm 3$ e $65\% \pm 1\%$ de umidade relativa) onde permaneceram até atingir massa constante. A densidade dos painéis foi estimada por método estequiométrico, utilizado por Ramos e Paula (2011), com 10

repetições por tratamento e o uso de paquímetro digital (10^{-2} mm), marca mitutoyo 200 mm, e Balança (10^{-4} g).

3.3.4. Descrição do delineamento experimental do projeto

O experimento consistiu de 16 tratamentos e três repetições por tratamento, totalizando 48 painéis, onde foram analisados a quantidade mínima necessária de água, as misturas de partículas lignocelulósicas e minerais, a percentagem em massa seca de cada material, os diferentes teores de adesivo e produto retardante de fogo, expostos na Tabela 5.

Tabela 5. Delineamento Experimental

Tratamentos	Água (litro)	Componentes (%)						
		Partículas Lignocelulósicas	Partículas Minerais		Adesivo			Retardante
			Lã	Forro	PVA	SS	M	
1	1	25	9	34	0	16	0	16
2	1 ½	25	9	34	0	16	0	16
3	1	24	7	24	15	15	0	15
4	1	26	9	26	0	23	0	16
5	1	25	8	25	0	16	10	16
6	1	26	9	26	23	0	0	16
7	1	30	10	30	10	10	0	10
8	1	35	10	20	5	10	0	10
9	1	40	10	20	10	10	0	10
10	1	45	10	15	10	10	0	10
11	1	50	10	10	10	10	0	10
12	1	25	10	35	10	10	0	10
13	1	60	0	10	10	10	0	10
14	1	10	0	60	10	10	0	10
15	1	35	0	35	10	10	0	10
16	1	50	0	20	10	10	0	10

PVA: cola branca; SS: silicato de sódio; M: cola a base de mamona; BO: bórax (tetraborato de sódio).

A partir do projeto piloto foram escolhidos os cinco melhores tratamentos para a pesquisa, com base nos menores valores de densidade e na qualidade de aglutinação das partículas (onde possibilitaria o transporte sem a quebra dos painéis).

3.4. Avaliação dos Painéis Selecionados

Após a análise da densidade e da aglutinação das partículas dos painéis produzidos no projeto piloto, foram selecionados os cinco melhores tratamentos. Posteriormente a seleção, foram confeccionadas 10 repetições por tratamento selecionado.

Os painéis produzidos, a partir da seleção dos cinco melhores tratamentos, foram acondicionados em câmara climática (65% UR; 20°C) até atingirem massa constante. Os painéis foram usados inteiros

ou seccionados (Figura 26) conforme as dimensões utilizadas na determinação e avaliação das propriedades físicas, térmicas, acústicas e de resistência ao fogo.

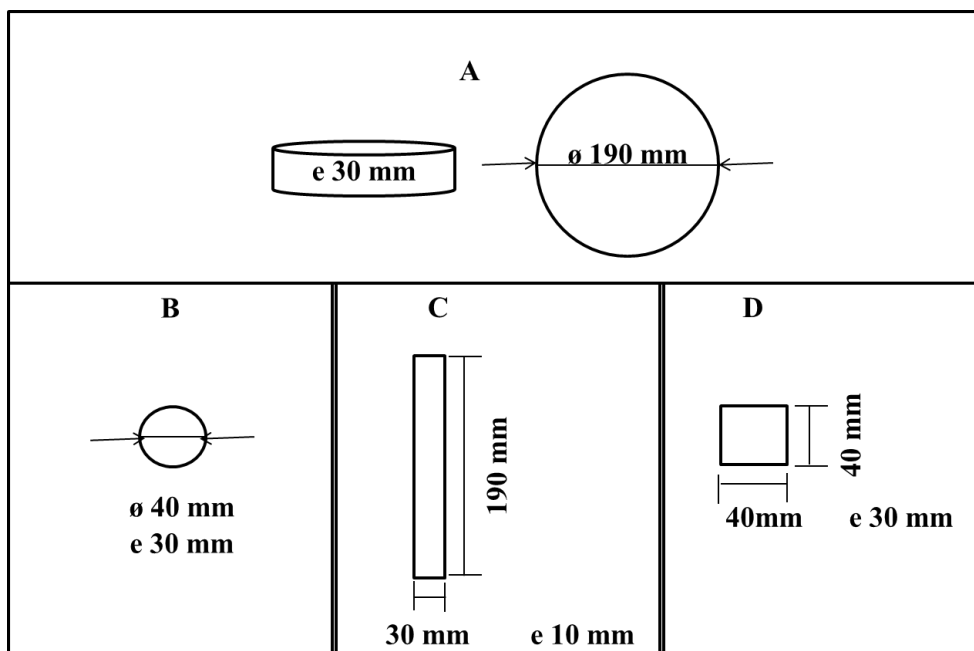


Figura 26. Corpos de prova retirados de cada painel produzido. A – Ensaio de isolamento térmico e acústico; B – Ensaio de absorção acústica; C – Ensaio de inflamabilidade; D – Ensaio de absorção de água e inchamento em espessura.

Os resíduos resultantes do seccionamento dos painéis em corpos de prova foram utilizados nos ensaios de perda de massa ao fogo.

3.4.1. Propriedades Físicas

3.4.1.1. Densidade

Após a confecção, todos os painéis foram levados para climatização ($20^{\circ}\text{C} \pm 3$ e $65\% \pm 1\%$ de umidade relativa) onde permaneceram até atingir massa constante. A densidade dos painéis foi estimada por método estequiométrico, conforme descrito no item 3.2.1.

3.4.1.2. Ensaio de absorção de água, inchamento em espessura e taxa de não-retorno em espessura

Para a realização dos ensaios de absorção de água (ABS), inchamento em espessura (IE) e taxa de não-retorno em espessura (TNRE) foram utilizados os princípios da norma ASTM D 1037 (ASTM, 1999). Os 10 corpos de prova obtidos de cada tratamento tinham dimensões de 4 x 4 x 3 cm (largura x comprimento x espessura). Foi feita uma adaptação das dimensões determinadas pela citada norma ASTM devido às limitações das dimensões do painel e da disponibilidade de material.

Cada corpo de prova teve, previamente, sua massa registrada assim como suas dimensões mensuradas com relógio comparador. Estes foram dispostos submersos horizontalmente em água destilada à temperatura ambiente por período total igual a 96 horas, onde nos períodos de 2, 24 e 96 horas, a massa e dimensões foram mensuradas com balança de precisão e relógio comparador, respectivamente. Os valores referentes à absorção de água e inchamento em espessura dos painéis foram avaliados em percentagem da diferença entre a medição prévia e medição posterior à imersão em períodos de 2, 24 e 96 horas conforme Equações 14 e 15, respectivamente:

$$AA\% = \frac{M_f - M_i}{M_i} \times 100 \quad (14)$$

$$IE\% = \frac{E_f - E_i}{E_i} \times 100 \quad (15)$$

Onde: AA = Absorção de Água (%); M_i = Massa Inicial, anterior à imersão em água (gramas); M_f = Massa Final, posterior à imersão em água (gramas); IE = Inchamento em Espessura (%); E_i = Espessura inicial, anterior à imersão em água (mm); E_f = Espessura Final, posterior à imersão em água (mm).

A taxa de não-retorno em espessura foi avaliada pela percentagem da diferença entre a medição do período de 24 horas de imersão em água e a medição após climatização dos corpos de prova a 12% conforme Equação 16:

$$TNRE\% = \frac{E_f - E_i}{E_i} \times 100 \quad (16)$$

Onde: TNRE = Taxa de Não-Retorno em Espessura (%); E_i = Espessura Inicial, posterior a 24 horas de imersão em água (mm); E_f = Espessura Final, posterior climatização dos corpos de prova à 12% de umidade (mm).

Ao final, determinou-se a média da absorção de água, inchamento em espessura e taxa de não-retorno para os corpos de prova dos tratamentos, o que resultou no valor médio de cada propriedade para cada tratamento.

3.4.2. Avaliação da capacidade de isolamento térmico

O ensaio de isolamento térmico segue a metodologia aplicada por Navroski et al. (2010), onde cinco caixas foram construídas com compensado de três lâminas, de 4 mm, (parede dupla) e no seu interior foram encaixados os painéis isolantes (Figura 27-A). As caixas foram confeccionadas com o mesmo volume interno, para não influenciar a temperatura no interior das caixas. Esta metodologia também

foi utilizada por Efe e Alma (2014) ao avaliar painéis isolantes confeccionados com sementes de girassol.

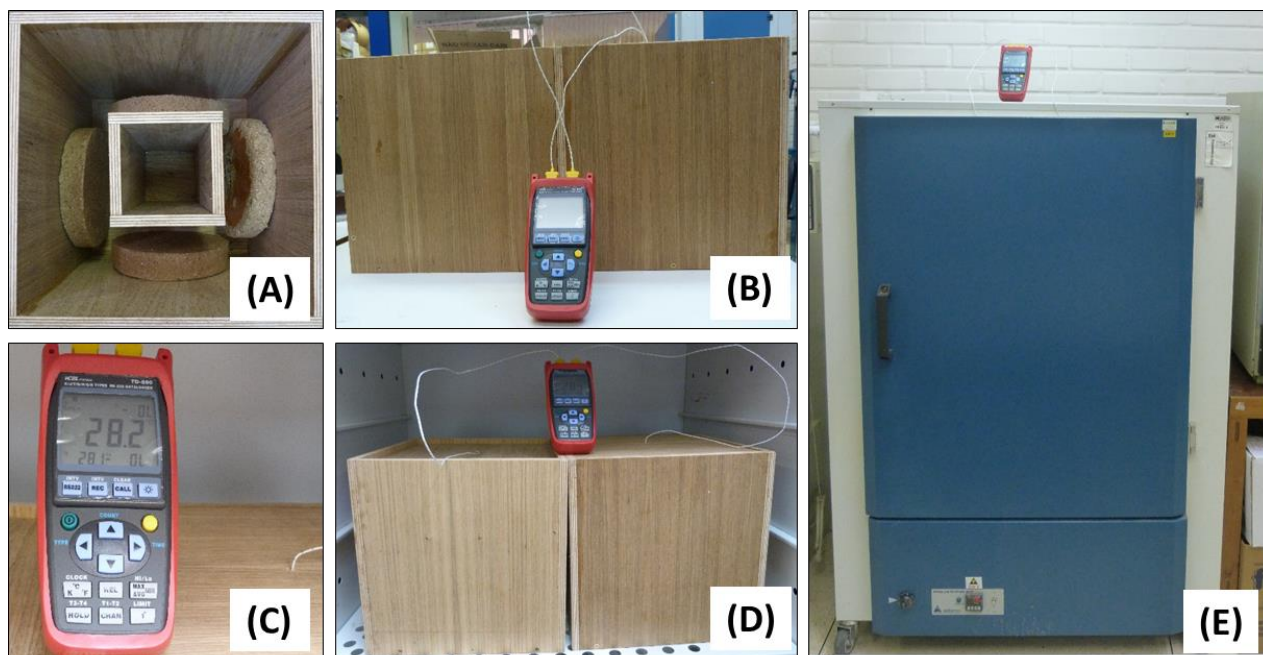


Figura 27. Ensaio de isolamento térmico. A – Caixa de compensado e disposição dos painéis; B – Termômetro digital modelo TD-890, fabricante ICEL, 4 canais de entrada, termopar tipo K (100 ° C ~ 1.300 ° C); C – Disposição dos termopares; D – Disposição das caixas na estufa; E - Estufa sem circulação forçada de ar.

Depois de construídas, as caixas foram perfuradas com auxílio de uma furadeira elétrica para a entrada do sensor do termômetro digital (Figura 27-B e 27-C). Para a vedação do orifício foi utilizado silicone. Na sequência as caixas foram colocadas em estufa sem circulação forçada de ar a temperatura constante de 40°C. O termômetro digital foi posicionado fora da estufa com o sensor dentro das caixas. Em seguida, a temperatura do interior das caixas foi lida a cada intervalo de cinco minutos, finalizando a leitura após 120 minutos (Figura 27-D e 27-E).

3.4.3. Avaliação da resistência ao fogo dos painéis

3.4.3.1. Determinação da perda de massa ao fogo dos painéis

Para a determinação da perda de massa dos painéis expostos ao fogo (% PF) dos painéis foi utilizada a norma NBR 5.743/89, pelo método da determinação direta – Método de Referência. Este método consiste em colocar 1,0 g ($\pm 0,001$ g) da amostra em um cadinho de porcelana tarado e calcinar em forno mufla a temperatura de 950 ± 50 ° C, por 20 minutos. Esfriar em dessecador, pesar e voltar a calcinar em períodos de 5 min até obter massa constante. O valor da perda de massa ao fogo foi obtido pela média aritmética de três determinações dadas pela Equação 17.

$$\% PF = \left[\frac{m_1 - m_2}{m} \right] \times 100 \quad (17)$$

Onde: PF = perda de massa ao fogo, %; m1 = massa do cadinho mais massa da amostra ensaiada, em gramas; m2 = massa do cadinho mais amostra após a calcinação, em gramas; m = massa da amostra utilizada no ensaio, em gramas.

3.4.3.2. Teste de flamabilidade

As condições do ensaio seguiram a norma UL 94 HB (1991), da *Underwriters Laboratories*, entidade privada norte americana responsável pela normalização de produtos de uso doméstico nos EUA, utilizada para polímeros.

O teste da queima vertical foi executado em corpos de prova, recortados dos painéis com as seguintes dimensões: 80 mm de largura 150 mm de comprimento e 30 mm de espessura. Foram realizados 10 ensaios por tratamento. Os ensaios foram realizados numa sala com temperatura e umidade relativa controladas, respectivamente em 23 ± 2 °C e 50 ± 5 %, sendo que os corpos de prova foram acondicionados nesta sala por um período mínimo de 48 h antes do teste.

A chama foi colocada sob a extremidade do corpo de prova, conforme ilustrado na Figura 29, e mantida por 10 segundos (t1), após foi retirada; quando o corpo de prova parava de queimar, a chama era recolocada por 10 minutos (t2), retirando-a novamente.

Foi observada a duração da chama no corpo de prova, após a primeira aplicação (t1); a duração da chama no corpo de prova, após a segunda aplicação (t2); a duração da chama mais a incandescência, após a segunda aplicação (t3).

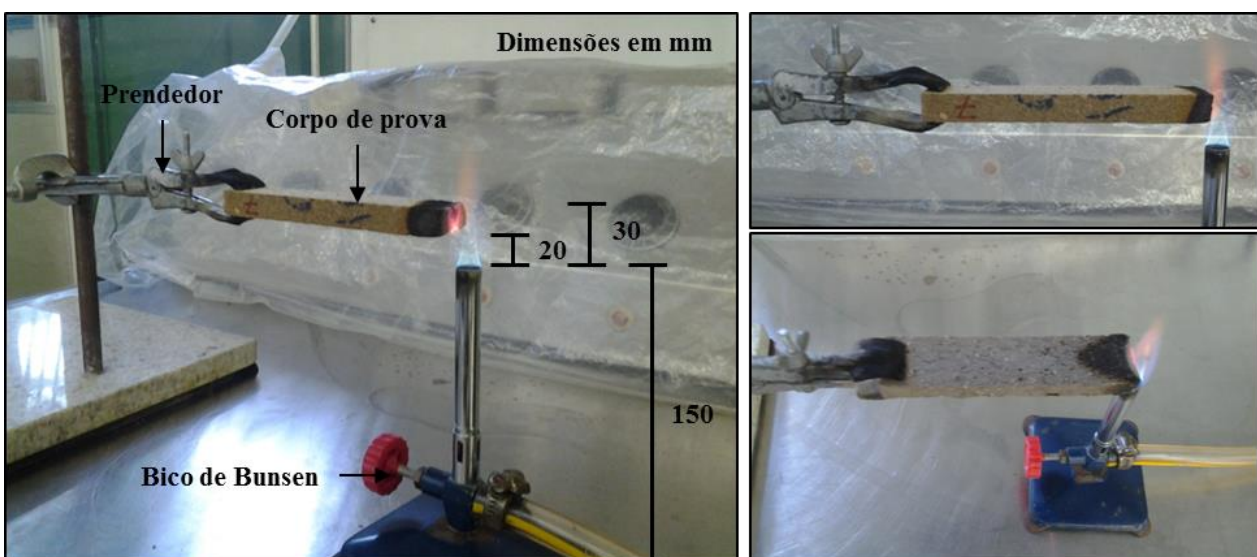


Figura 28. Equipamento utilizado no ensaio de queima horizontal (Norma UL 94 HB/1991).

O ensaio de flamabilidade horizontal (UL 94HB), com ângulo de 90°, tem o objetivo de determinar a taxa de queima linear – “V”, em milímetros por minuto, para cada corpo de prova, usando a Equação 18.

$$V = \frac{60 \times L}{t} \quad (18)$$

Onde: V = Taxa de queima linear em mm/minuto; L = Comprimento danificado no corpo de prova, em milímetros; t = Tempo em segundos.

Para classificação do material foram aplicados os critérios apresentados na Tabela 6.

Tabela 6. Critérios de avaliação aplicados para o teste de queima horizontal segundo a norma UL94 HB, 1991.

Critérios	Taxa de Queima Linear (mm/min)		
	V0	V1	V2
Valores individuais de t1 e t2 para os corpos de prova	<10s	<30s	<30s
Somatória de (t1+t2) para os corpos de prova	<50s	<250s	<250s
Valores individuais de t3	<30s	<60s	<60s
Queima com chama ou incandescência até o prendedor	Não	Não	Não
Queima do algodão por gotas ou fagulhas emitidas	Não	Não	Sim

Fonte: UL94 HB, 1991.

3.4.4. Avaliação da propriedade acústica

3.4.4.1. Isolamento acústico

Este ensaio consiste em medir o isolamento acústico dos painéis confeccionados, de forma semelhante, à metodologia aplicada por Santos e Battistelle (2011), com adaptações. Foram feitas cinco repetições por tratamento e utilizados uma das caixas usadas no ensaio de isolamento térmico, com uma campainha para emissão sonora contínua de 5,0 W de potência (tipo cigarra) e um decibelímetro digital, conforme Figura 29.

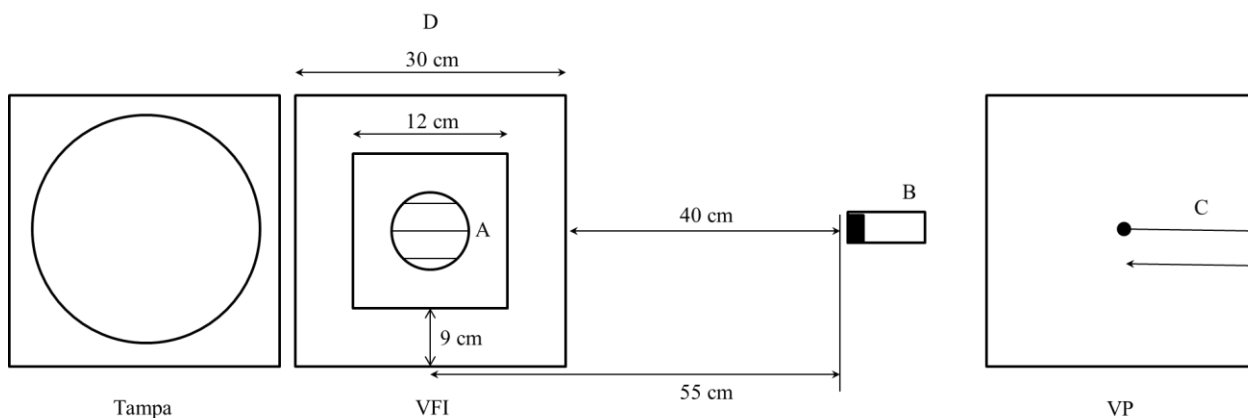


Figura 29. Ensaio de isolamento acústico. A – campainha; B – decibelímetro; C – fios e conexões; D – caixa de compensado. VFI – vista frontal interna da caixa; VP – vista posterior.

A campainha foi inserida no centro da caixa e os fios passaram por um orifício central. O painel foi posicionado de forma a tampar a caixa. Do lado externo da caixa, foi colocado o decibelímetro, cujo microfone estava direcionado para a fonte sonora, posicionado a 40 cm de distância. As leituras foram expressas em decibéis (dB), e realizadas na faixa C (ideal para estudos de ruído de impacto, como o causado pelo som da campainha), conforme mostra a Figura 30.

As medições foram realizadas cinco vezes em cada repetição, totalizando 25 leituras por tratamento, para maior precisão dos resultados obtidos. As leituras foram feitas em campo aberto.

O nível de isolamento acústico (I) foi calculado em dB por meio da diferença $L_i - L_f$, onde: L_i – leitura inicial obtida com a caixa aberta e sem a presença do painel e L_f – a leitura obtida com a caixa fechada pelo painel. Estas foram obtidas por meio da média das vinte e cinco medições em L_i e L_f , de cada tratamento.

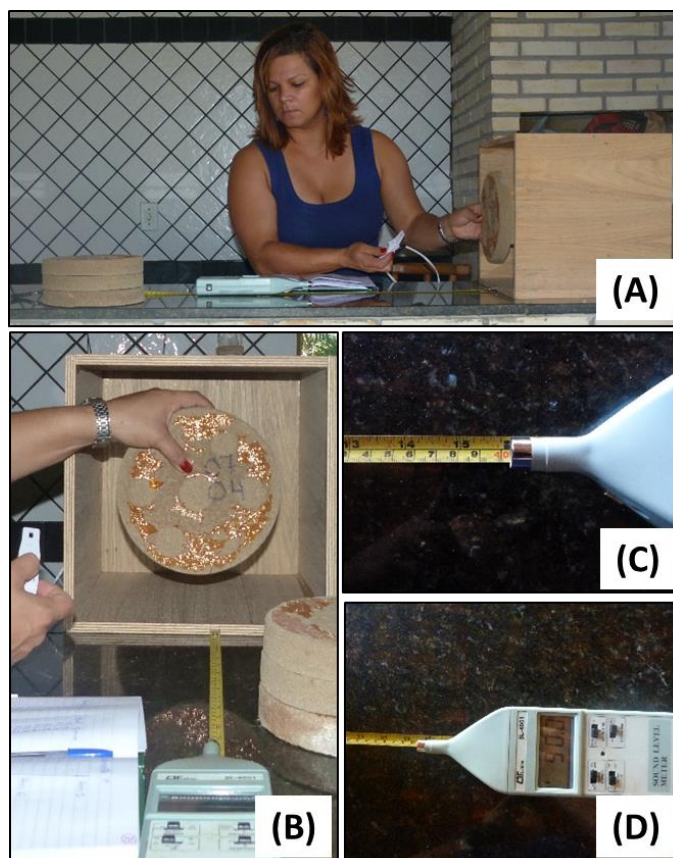


Figura 30. Ensaio de isolamento acústico. (A) – Montagem do ensaio de isolamento acústico. (B) – Ensaio em andamento. (C) – Distância entre o decibelímetro e a fonte sonora. (D) – Valores dados em decibéis.

3.4.4.2. Absorção acústica pelo tubo de impedância com um microfone

Para a realização do ensaio de absorção acústica fez-se necessário a usinagem e preparo das amostras, conforme Figura 31.

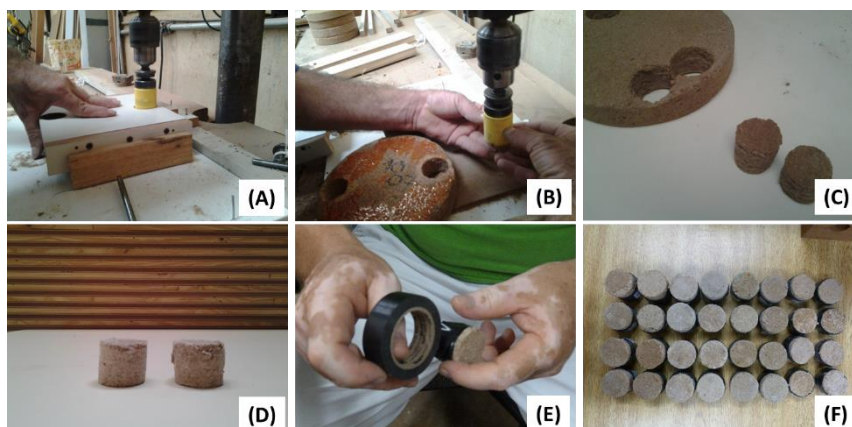


Figura 31. Usinagem e preparo das amostras para ensaio de absorção acústica. (A, B) – Corte das amostras com serra copo com espaço interno de 40 mm. (C, D) – Amostras após o corte. (E) – Aplicação de fita isolante na extremidade da amostra para evitar que a mesma fique presa no tubo. (F) – Amostras prontas para o ensaio.

A determinação do coeficiente de absorção acústica (α) obtida por meio do ensaio no tubo de impedância (Figuras 32 e 33) foi realizada no Centro para Pesquisa e Desenvolvimento de Processos de Soldagem (LAPROSOLDA) da Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Uberlândia (FEMEC-UFU, Campus Santa Mônica, Uberlândia/MG), seguindo as especificações da norma ASTM E1050/ISO 10534-2 (1998), conforme metodologia utilizada por Naves Neto (2011), em duplicata por tratamento, com diâmetro de 40 mm e 30 mm de espessura. Os coeficientes de absorção acústica foram medidos nas frequências de 100 a 1000 Hz, com microfones nas posições 1 e 3, conforme Tabela 7.

Tabela 7. Frequência máxima, mínima e ideal em função da distância (s) entre os microfones.

Mic	s [mm]	f_{max} [Hz]	f_{min} [Hz]	f_{ideal} [Hz]
1-2	29,500	4610,170	576,270	2881,350
1-3	133,100	1021,790	127,720	638,620
1-4	228,100	596,230	74,530	372,640
2-3	103,600	1312,740	164,100	820,460
2-4	198,600	684,790	85,600	427,990
3-4	95,000	1431,580	178,940	894,740

Mic – posição dos microfones.

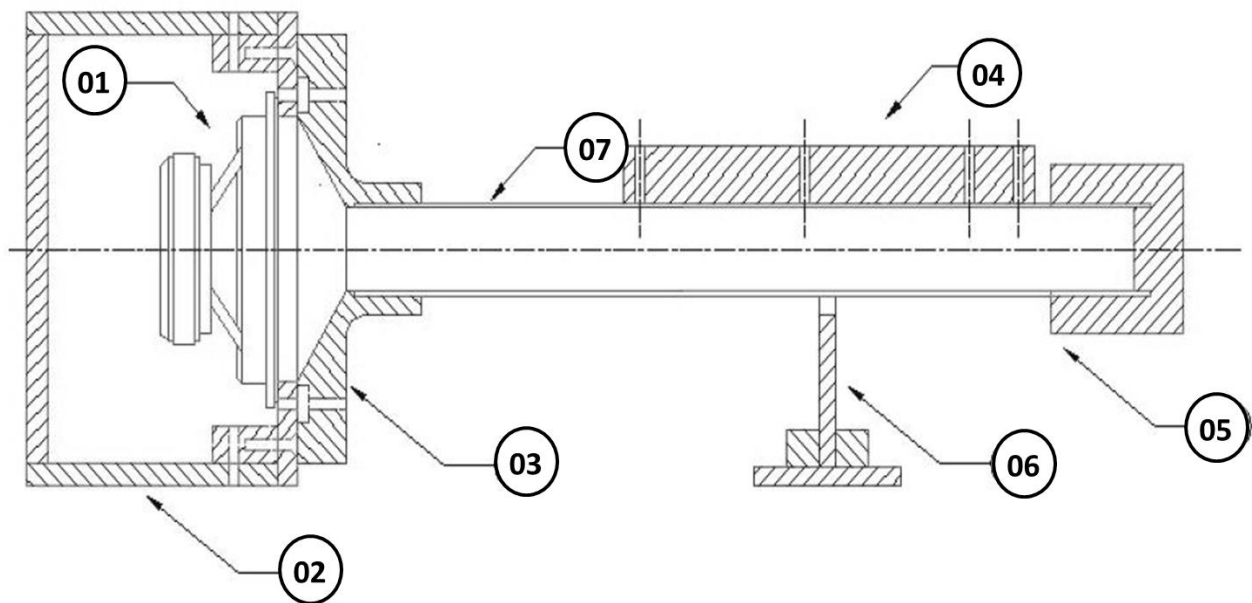


Figura 32. Representação esquemática do tubo de impedância acústica. 1 – alto falante; 2 – caixa acústica; 3 – conexão entre o tubo e a caixa acústica; 4 – fixação do microfone; 5 – porta amostra; 6 – apoio; 7 – tubo. Fonte: Salvo et al. (2005).

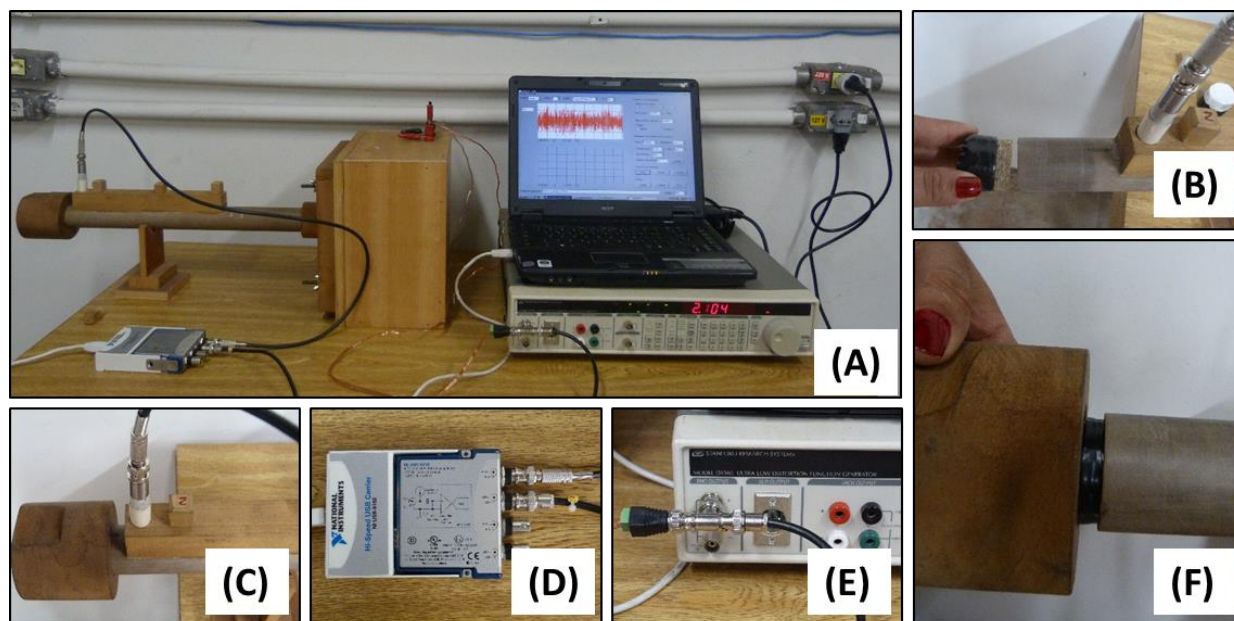


Figura 33. A – Montagem e execução do ensaio de acústica; B – Posicionamento da amostra; C – Aquisição das frequências com microfone pré-amplificador de 1/2", modelo 426E01, na posição 1; D – Dispositivo de aquisição de dados NI USB-9233, consiste de dois componentes: um módulo NI 9233 e um NI USB-9162 transportador; E – Gerador de sinal SRS modelo DS360; F – Porta amostra e vedação.

Após a aquisição das frequências nas posições 1 e 3 os dados foram tratados em software *Matlab – The MathWorks*, versão 13.0 para Windows.

3.5. Análise Estatística

Com os valores obtidos nos ensaios foram feitas as análises estatísticas; os dados foram submetidos a análise de variância (ANOVA) e teste de médias com significâncias a 1 e 5 % de probabilidade; e tratados por Pacote Estatístico SPSS (Statistical Package for Social Sciences) versão 20.0 para Windows, da empresa IBM. As propriedades analisadas estatisticamente foram: densidade aparente, taxas de absorção de água (AA), inchamento em espessura (IE), taxa de não retorno em espessura (TNRE), perda de massa ao fogo, taxa média de queima linear e isolamento acústico.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Resultados do Projeto Piloto

A classificação das partículas, segundo Iwakiri (2005) é de grande importância na produção do painel, bem como a secagem destas, para garantir uma melhor aparência e acabamento superficial. As partículas lignocelulósicas (serragem de madeira de pinus e painéis) em estado original foram classificadas e apresentaram cerca de 50% de partículas menores que 0,35 mm e 30% de partículas com dimensões acima de 0,85 mm. Enquanto que para o forro de fibra mineral as partículas acima de 0,85 mm representaram 50% (Figura 34). As partículas de lã de rocha não foram classificadas por possuírem granulometria acima de 0,85 mm.

A classificação de partículas lignocelulósicas na forma em que se encontrava se tornou inviável ao processo de fabricação do painel. As partículas eram heterogêneas e para que não ocorresse perda de material estas foram desagregadas para alcançar uma melhor uniformidade de granulometria.

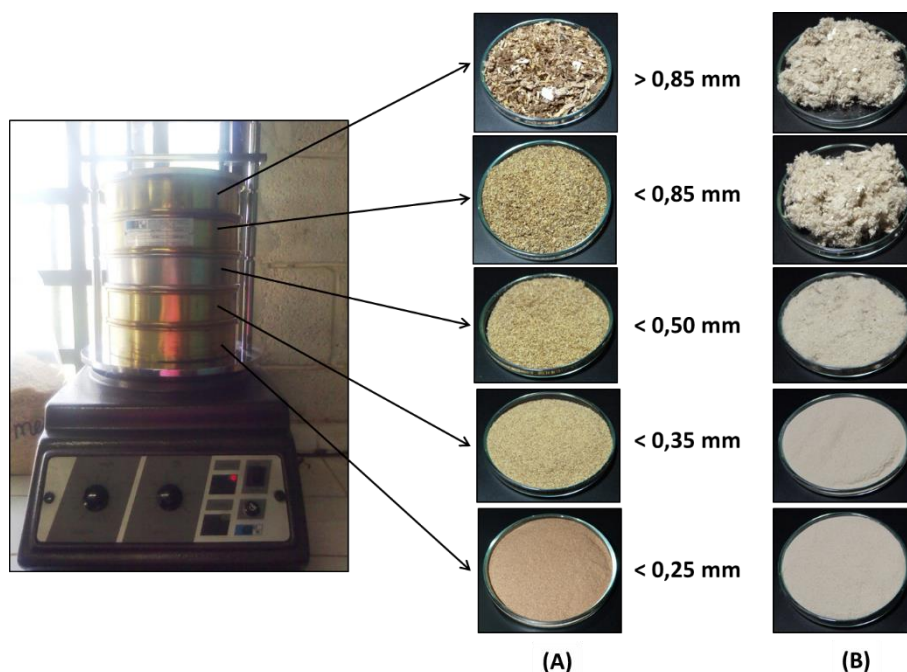


Figura 34. Classificação das partículas lignocelulósicas (A) e forro de fibra mineral (B).

As partículas lignocelulósicas apresentaram teor de umidade médio de 8,4%; semelhantes ao do forro. Após estes procedimentos foram confeccionados os painéis iniciais para a definição do projeto definitivo sem utilização de nenhuma granulometria específica.

Os valores de densidade aparente dos 16 tratamentos, a 12 % de umidade, estão representados na Tabela 8. Dentre os tratamentos feitos no projeto piloto, ao analisar a densidade aparente dos painéis

produzidos observou-se valores variando entre 0,253 g/cm³ e 0,397 g/cm³. Os valores encontrados vão em consonância com estudos descritos em literatura que apontam como parâmetros de classificação de painéis isolantes constituídos de partículas lignocelulósicas (madeira) e outros resíduos com a densidade variando entre 0,16 e 0,60 g/cm³ (BRIGGS, 1994; YOUNGQUIST, 1999).

Tabela 8. Valores médios, mínimo e máximo da densidade aparente (g/cm³) dos tratamentos iniciais a 12% de teor de umidade.

Tratamento	Média	Mínimo	Máximo	Desvio Padrão	CV (%)
1	0,307 ^{ae}	0,290	0,320	0,015	4,981
2	0,287 ^{de}	0,280	0,290	0,006	2,014
3	0,397 ^a	0,390	0,400	0,006	1,456
4	0,277 ^{de}	0,260	0,290	0,015	5,521
5	0,327 ^{bc}	0,320	0,330	0,006	1,767
6	0,397 ^a	0,390	0,400	0,006	1,456
*7	0,277 ^{de}	0,250	0,300	0,025	9,096
8	0,397 ^a	0,390	0,400	0,006	1,456
*9	0,257 ^d	0,240	0,280	0,021	8,110
*10	0,273 ^{de}	0,270	0,280	0,006	2,112
*11	0,287 ^{de}	0,280	0,290	0,006	2,014
*12	0,253 ^d	0,230	0,280	0,025	9,934
13	0,337 ^{bc}	0,330	0,350	0,012	3,430
14	0,397 ^a	0,390	0,400	0,006	1,456
15	0,343 ^{bc}	0,340	0,350	0,006	1,682
16	0,357 ^b	0,350	0,370	0,012	3,237

Onde: Médias com letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$); CV – coeficiente de variação. * Tratamentos selecionados.

A análise estatística mostrou que houve diferenças entre os tratamentos ao nível de 5% de probabilidade. Para definir os melhores tratamentos a serem usados no projeto, levou-se em consideração os mais baixos valores de densidade encontrados e a qualidade de aglutinação das partículas, ou ainda, os painéis com maior facilidade de transporte sem a quebra ou desintegração do painel.

Analisando a densidade associada a qualidade da aglutinação, de forma não sensível ao toque, podendo transportar sem ocasionar a quebra dos painéis, foram selecionados 5 tratamentos, correspondendo aos tratamentos 7, 9, 10, 11 e 12 (Tabela 8). Estes tratamentos apresentaram valores de densidade variando entre 0,253 e 0,287 g/cm³, os menores valores de densidade em relação aos demais tratamentos (Tabela 8), embora eles não apresentem diferenças significativas ao nível de 5% de probabilidade.

Como citado na literatura por diversos autores (YOUĞQUIST, 1994; YANG et al., 2003; YANG et al., 2004) a utilização de resíduos agroflorestais, como placas de isolamento são desenvolvidas amplamente pelo mundo; resíduos agrícolas são utilizados como matérias primas para a fabricação de painéis devido a disponibilidade e do baixo custo, agregados a partículas de madeira (MELO et al., 2009; PIERRE, 2010; FREIRE et al., 2011). Compósitos fabricados com palha de arroz, palha de trigo e madeira, ou ainda madeira e outros materiais como (polietileno e resíduos de pneu) com densidade na faixa de 0,2 e 0,6 g/cm³, utilizados para revestimento interno, possuem características específicas para isolamento térmico e acústico. (YANG et al., 2003; YANG et al., 2004; SAADATNIA, 2008).

A Tabela 9 mostra os tratamentos selecionados que serão utilizados na pesquisa que a partir de agora serão chamados de tratamentos 1, 2, 3, 4 e 5.

Tabela 9. Tratamentos selecionados conforme os valores médios da densidade aparente a 12% de teor de umidade, proporção e aglutinação das partículas.

Tratamentos	*	Água (litro)	Componentes (%)						Densidade 12%
			Partículas Lignocelulósicas	Partículas Minerais		Adesivo		Retardante	
				Lã	Forro	PVA	SS	BO	
1	12	1	25	10	35	10	10	10	0,253
2	7	1	30	10	30	10	10	10	0,277
3	9	1	40	10	20	10	10	10	0,257
4	10	1	45	10	15	10	10	10	0,273
5	11	1	50	10	10	10	10	10	0,287

*Tratamentos segundo Tabela 8; PVA: cola branca; SS: silicato de sódio; BO: bórax.

4.2. Resultados e Discussão dos Painéis Selecionados para a Pesquisa

4.2.1. Propriedades Físicas dos Painéis

4.2.1.1. Densidade, Absorção de Água e Inchamento em Espessura e TNRE.

A Tabela 10 e a Figura 35 apresentam a análise estatística descritiva para a densidade aparente a 12% dos painéis dos cinco tratamentos. A densidade aparente média apresentou valores variando de 0,252 g/cm³ a 0,266 g/cm³, enquanto os valores mínimo e máximo foram 0,236 g/cm³ e 0,277 g/cm³, atribuídos aos tratamentos 5 e 4, respectivamente. O coeficiente de variação de todos os tratamentos foi baixo mostrando grande homogeneidade entre as amostras dentro de cada tratamento. Sob o ponto de vista industrial é um quesito muito importante, pois confere uma grande uniformidade na qualidade do produto.

Tabela 10. Análise estatística descritiva para a densidade aparente (g/cm^3) a 12% dos painéis estudados.

Tratamentos	N	Média	Mínimo	Máximo	Desvio Padrão	CV (%)
1	10	0,263 ^a	0,255	0,276	0,007	2,517
2	10	0,266 ^a	0,258	0,273	0,005	1,991
3	10	0,261 ^a	0,255	0,268	0,004	1,566
4	10	0,262 ^a	0,254	0,277	0,008	2,879
5	10	0,252 ^b	0,236	0,262	0,008	3,020

N: repetições; Médias com letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$); CV – coeficiente de variação.

Os painéis produzidos a partir dos cinco tratamentos apresentaram densidade média aparente a 12% estatisticamente iguais ao nível de 5% de probabilidade (Figura 35), exceto para o tratamento 5. O tratamento 5 foi o que apresentou a menor densidade entre os tratamentos, $0,252 \text{ g/cm}^3$, este resultado pode exercer influência sobre a absorção de água e inchamento em espessura dos painéis. Observa-se que quanto maior a proporção de partículas lignocelulósicas, menor a razão de compactação e densidade. A explicação para o fato é que a densidade das partículas minerais (forro e lã de rocha) é menor que a densidade das partículas lignocelulósicas.

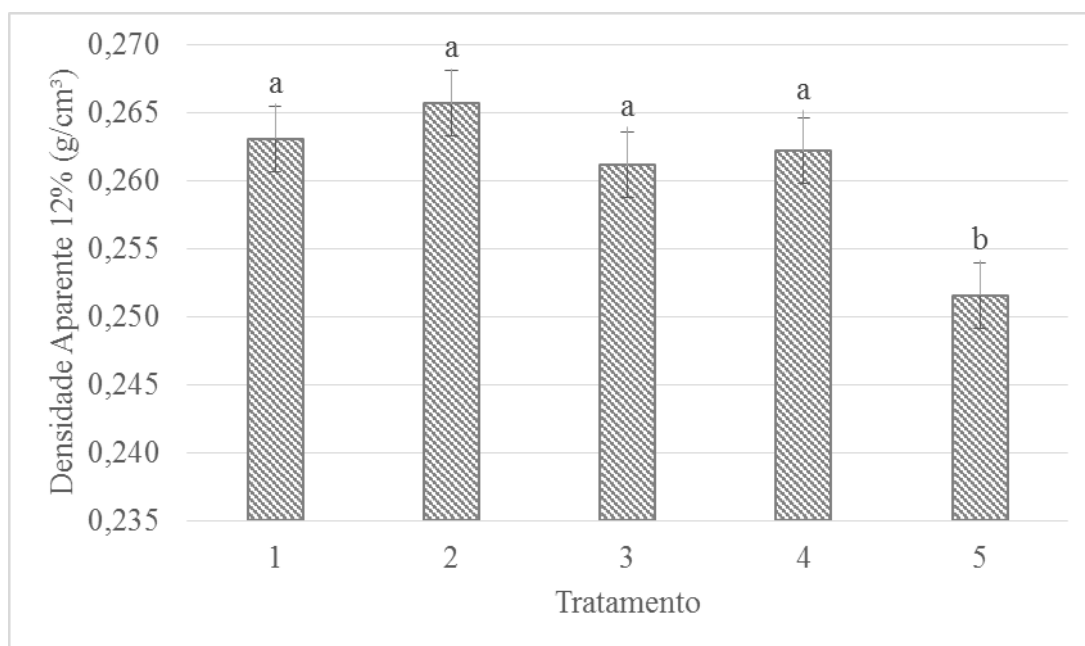


Figura 35. Densidade a 12% de teor de umidade dos painéis estudados.

Considerando somente esta propriedade o fabricante poderá, para os tratamentos 1, 2, 3 e 4, em sua linha de produção alterar a quantidade de componentes de partículas lignocelulósicas ou minerais (forro) dependendo da disponibilidade de cada um, levando em consideração as percentagens de cada tratamento mencionado.

Os valores médios de absorção de água e inchamento em espessura dos painéis após duas horas de imersão (AA2h; IE2h) e após vinte e quatro horas de imersão (AA24h; IE24h), bem como a Taxa de Não-Retorno em Espessura (TNRE), para cada tratamento, estão apresentados na Tabela 11.

Tabela 11. Valores médios, dentro de cada tratamento, de absorção de água, inchamento em espessura e taxa de não-retorno em espessura dos painéis estudados.

Tratamento	AA 2h	AA 24h	IE 2h	IE 24h	TNRE
	(%)				
1	314,341 ^b	338,343 ^a	2,231 ^a	6,421 ^a	-7,074 ^a
2	282,121 ^a	293,405 ^a	1,672 ^a	7,835 ^a	-1,372 ^b
3	238,345 ^a	250,624 ^a	4,762 ^a	5,333 ^a	-0,887 ^b
4	329,852 ^b	345,047 ^a	2,524 ^a	4,602 ^a	-1,335 ^b
5	291,210 ^a	297,659 ^a	0,765 ^a	6,320 ^a	-2,176 ^b

Onde: Médias com letras iguais, na mesma coluna, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$).

Foi possível observar que houve diferença estatística significativa para os testes de absorção de água após 2 horas.

Os maiores valores de absorção de água se deu com os tratamentos 4 e 1 após 2 horas e se repete após 24 horas. O tratamento 3 foi o que apresentou menor taxa de AA, após 2 horas de ensaio e possui 40% de partículas lignocelulósicas. Observa-se ainda que quanto maior quantidade de partículas minerais maior a absorção de água.

Os resultados encontrados neste trabalho podem ser explicados pela capacidade de aeração, aliada a capacidade de retenção de água da vermiculita expandida (GONÇALVES E MINAMI, 1994), presente nas partículas minerais. Esses componentes apresentam mais sítios de ligação química com a água, podendo resultar em maior absorção de água em painéis feitos com esses materiais (LI et al., 2011). Logo, inicialmente observa-se o efeito da vermiculita expandida no IE dos painéis, em seguida as partículas lignocelulósicas passam a ter maior efeito nessa expansão.

Melhoras no processo produtivo poderiam ser realizadas com o intuito de diminuir a absorção de água dos painéis, tais como utilização de pré tratamento das partículas a vapor para degradação de hemiceluloses, reduzindo o número de sítios higroscópicos (LI et al., 2011) e aplicação de materiais de revestimento que funcionam como uma barreira física à penetração de água no painel (NEMLI, 2008).

Ao avaliar o inchamento em espessura dos painéis quanto maior a proporção de partículas minerais, maior os valores de IE após 2h de ensaio (Figura 37). Passadas 24h quanto maior a percentagem de partículas lignocelulósicas maior o IE dos painéis.

O maior inchamento em espessura dos painéis foi verificado após 24 horas, quando ocorreu a maior absorção de água possivelmente foi influenciado pela baixa densidade desses produtos, uma vez que segundo Freire et al. (2011) ocorre maior liberação das forças de compressão geradas durante o processo de prensagem em produtos de maior densidade (efeito *springback*).

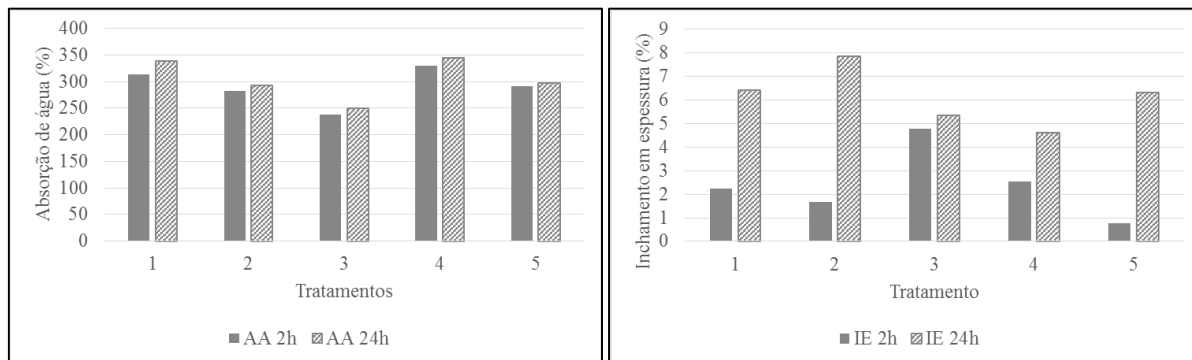


Figura 36. Absorção de água e Inchamento em espessura dos painéis.

Os tratamentos que exibiram o melhor desempenho, apresentando os menores valores médios de AA 2h e 24h, foi o tratamento 3 (tratamento 40% partículas lignocelulósicas). Para o IE 2h, foi o T5 (tratamentos com maior quantidade de partículas lignocelulósicas) e para o IE 24h, foi o T4. A combinação das partículas lignocelulósicas com as partículas de forro mineral parece ter sido o principal motivo desta menor expansão do painel. O maior valor médio de TNRE, foi o T1 (tratamentos com maior quantidade de partículas minerais).

A norma CSA 0437 (1993) estipula o valor máximo de 10% de inchamento em espessura após vinte e quatro horas de imersão em água para painéis com espessura superior a 12,7 mm. Mediante o exposto, todos os tratamentos apresentaram valores médios de IE 2h próximos do valor máximo determinado, enquanto que após 24h os valores encontrados para o IE foram bem inferiores ao determinado pela norma.

4.2.2. Isolamento Térmico

Lembrando Cavalcanti (2011), um material isolante térmico deve dificultar a dissipação do calor, estabelecendo uma barreira entre os dois meios. Para isso é importante que os materiais que compõem um determinado produto ou ambiente deve ter uma condutividade térmica baixa.

Analisando, de uma forma geral, as matérias primas básicas (madeira, lã de rocha e forro mineral) que compõe o painel em estudo, verifica-se que são componentes de baixa condutividade, possuindo assim potencial para tornar o produto formado um isolante térmico.

Para facilitar a visualização do comportamento térmico dos painéis dos cinco tratamentos perante a temperatura, esta será discutida nos intervalos de 5', 30', 60', 90' e 120 minutos (Tabela 12).

A Tabela 12 mostra os resultados das leituras de temperatura no interior das caixas em intervalos de cinco minutos sob circulação de ar e temperatura constante de 40°C no interior da estufa.

Tabela 12. Comportamento térmico dos painéis: temperatura no interior das caixas a cada cinco minutos de intervalo de medição.

Intervalo (min)	Temperatura Interna (°C)				
	Trat. 01	Trat. 02	Trat. 03	Trat. 04	Trat. 05
5	29,3	28,1	34,7	26,6	37,4
10	29,5	28,3	34,6	28,3	37,1
15	29,9	28,5	34,4	29,1	36,9
20	30,1	28,6	34,4	29,7	36,8
25	30,5	28,7	34,3	30,0	36,6
30	30,7	29,0	34,4	30,3	36,6
35	31,0	29,2	34,4	30,6	36,7
40	31,3	29,4	34,4	30,9	36,8
45	31,5	29,6	34,5	31,1	36,8
50	31,7	29,8	34,5	31,4	36,9
55	32,0	30,0	34,6	31,6	37,1
60	32,2	30,2	34,7	31,9	37,1
65	32,4	30,3	34,8	32,1	37,2
70	32,7	30,6	34,8	32,4	37,4
75	32,8	30,8	34,9	32,6	37,6
80	33,1	31,0	35,0	32,9	37,6
85	33,3	31,2	35,1	33,0	37,7
90	33,6	31,3	35,3	33,2	37,7
95	33,8	31,5	35,4	33,6	37,9
100	33,9	31,7	35,6	33,6	38,1
105	34,1	31,9	35,7	33,9	38,1
110	34,3	32,0	35,9	34,0	38,3
115	34,6	32,3	36,0	34,2	38,3
120	34,8	32,6	36,0	34,4	38,3

Pode-se observar que o isolamento térmico dos painéis nos intervalos de tempo mencionados mostra ser melhor para o tratamento 2, após para o 4, depois para o 1, e finalmente para o 3, e o de menor eficiência foi o tratamento 5. Assim, a zona de conforto admitida por Givoni (1992), para países em desenvolvimento e de clima quente, considera aceitáveis as temperaturas internas no intervalo de 18°C a 29°C; podendo se chegar ao limite de temperatura admissível para o interior de 32°C, com ventilação de 2 m/s.

A combinação dos materiais, 30% de partículas lignocelulósicas e 30% de partículas minerais do forro (tratamento 2) foi a que melhor resultou no bloqueio da dissipação de calor, lembrando que as demais matérias primas (lã de rocha, adesivo e retardante ao fogo) são constantes para todos os tratamentos. Observa-se que a temperatura nos primeiros 30 minutos para este tratamento, apresentou uma variação menor que 1°C. Incropera et al. (2008) afirma que materiais porosos, ou seja, com maior quantidade de ar presente em sua composição, dificultam a transferência de calor por condução, pois o ar apresenta uma condutividade térmica de 0,024 w/m.K, muito baixa em relação a outros materiais, entre eles a cortiça (0,04 w/m.K) e a própria madeira que apresenta valor de condutividade térmica da ordem de 0,12 w/m.K, perdendo apenas para o isopor (0,01 w/m.K).

O tratamento 4 mostrou uma boa performance no início do ensaio em relação ao tratamento 2, mas a partir dos 60 minutos a dissipação do calor aumentou, chegando ao final de 120 minutos ter uma diferença de quase 2°C. Em um ambiente que exige isolamento térmico, esta diferença é significativa.

O tratamento 5 demonstrou a menor eficiência ao isolamento térmico entre os tratamentos, mostrando uma diferença de 5,7°C quando comparado ao tratamento 2 após 120 minutos. Dessa forma a combinação 50% de partículas lignocelulósicas com 10% de partículas de forro foi a que permitiu a melhoria na dissipação do calor.

A Figura 37, mostra o comportamento das curvas de dissipação de calor durante os ensaios, considerando os cinco tratamentos.

Pode-se observar que o tratamento 5, apesar de pouco eficiente em relação ao isolamento térmico, apresentou a menor variação de temperatura em relação aos demais tratamentos. A variação nas duas horas de avaliação foi de 0,9°C, mostrando que este painel possui maior condutividade térmica que os demais painéis.

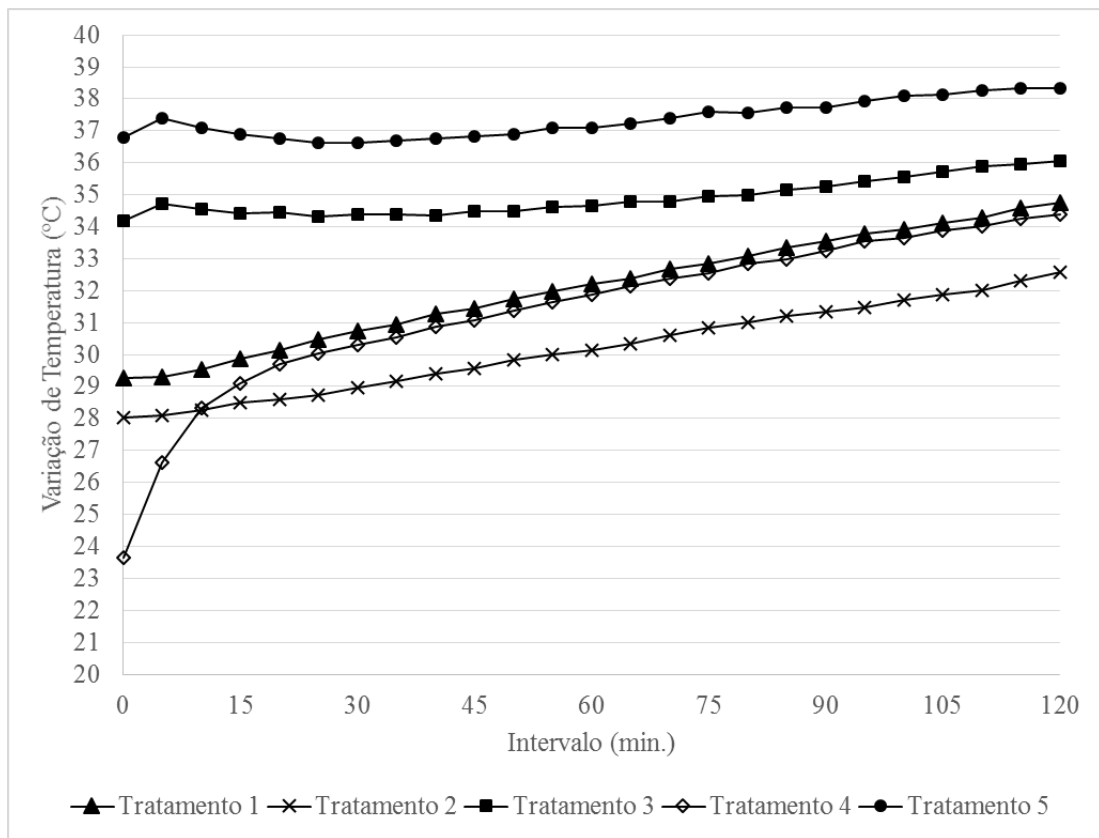


Figura 37. Variação da temperatura (°C) para os painéis termo acústicos avaliados.

Verifica-se ainda, a semelhança na variação de temperatura entre os tratamentos 3 e 5, sendo que o tratamento 3 apresenta uma variação de 1,3 °C após 120 minutos de avaliação. Braga (2003) assegura que é necessário um tempo para que as temperaturas externa e interna se estabilizem, tornando o fluxo de calor constante. O tratamento 2 chega a isolar cerca de 20% da temperatura externa, os tratamentos 4 e 1 quase 15%, enquanto o tratamento 3 apenas 10%. Comparando a composição dos painéis dos tratamentos 2 e 3 observa-se que o aumento da quantidade de partículas lignocelulósicas é proporcional a redução no isolamento térmico, ao aumentar 10% em partículas lignocelulósicas, o isolamento térmico é reduzido na mesma proporção.

Pelos resultados alcançados, pode-se afirmar que um ambiente construído com painéis do tratamento 2 teria um isolamento térmico muito bom, apesar da variação de temperatura ser um pouco maior que, por exemplo, do tratamento 5. No entanto, em temperatura ambiente, no interior de um escritório, por exemplo, esta variação tenderia a diminuir, uma vez que outros elementos (ar condicionado e ventiladores) podem contribuir para amenizar a dissipação do calor.

De acordo com Navroski et al. (2010) a utilização de materiais isolantes térmicos, com baixa condutividade térmica, permite um melhor conforto ambiental, reduz o consumo e o gasto com energia elétrica e ainda pode, até mesmo, suprir a utilização de equipamentos de ar condicionado.

4.2.3. Resistência ao Fogo dos Painéis Estudados

4.2.3. 1. Perda de Massa

O resultado do ensaio de perda de massa ao fogo dos painéis estudados está apresentado na Tabela 13. Analisando os resultados, percebe-se que os mesmos apresentaram baixa variação de perda de massa ao fogo em comparação com a média dos resultados.

Tabela 13. Estatística descritiva dos valores médios, máximo e mínimo, em percentagem, de perda de massa ao fogo dos painéis termo acústicos.

Tratamentos	Média (%)	Mínimo (%)	Máximo (%)	Desvio Padrão	CV (%)
1	77,989 ^c	76,589	79,258	1,339	1,717
2	72,126 ^b	71,336	72,640	0,694	0,963
3	67,339 ^a	66,430	67,884	0,792	1,177
4	68,331 ^a	67,593	69,281	0,863	1,264
5	68,524 ^a	68,120	69,281	0,655	0,957

Médias com letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$); CV – coeficiente de variação.

A maior perda de massa ao fogo foi encontrada para o tratamento 1. Os tratamentos 3, 4 e 5 não diferiram estatisticamente e apresentaram valores próximos de perda de massa ao fogo para a madeira, que é da ordem de 70 % em relação a massa original (PINTO e CALIL JR., 2006), e inferiores aos tratamentos 1 e 2. Verifica-se que quanto menor a percentagem de partículas lignocelulósicas na constituição do painel, maior os valores de perda de massa. Observa-se ainda que, de uma forma geral, os painéis apresentaram baixos valores de perda de massa, possivelmente por causa das partículas minerais que os compõem, já que os componentes minerais são os responsáveis pela formação das cinzas após a incineração dos materiais (PASSOS, 2005).

4.2.3. 2. Flamabilidade

O comportamento ao fogo de materiais em determinadas aplicações, especialmente na construção civil e equipamentos eletrônicos, deve ser aferido adequadamente (TROITZSCH, 1999). Porém, é muito difícil se obter dados absolutos válidos para todos os materiais em todas as aplicações, uma vez que as condições reais onde serão exigidos variam muito (SILVA, 2006).

Durante o ensaio (UL 94) de queima horizontal, observou-se que todos os painéis (tratamentos de 1 a 5) sofreram ignição rápida, seguida de queima autossustentada sem apresentar chamas aparentes, caracterizando-se por uma auto extinção da chama igual ou inferior a 50 segundos, classificando os tratamentos como V0 (Tabela 6).

Segundo Brasil (1995) a influência que os forros e divisórias exercem em um incêndio não só depende de suas propriedades combustíveis, mas também, de suas propriedades isolantes. Ao utilizar material isolante e combustível na composição de painéis e forros, a propriedade específica de isolamento térmico impedirá a dissipação do calor gerado durante o incêndio.

Neste ensaio observou-se que a taxa de queima linear das amostras aumentou à medida que aumenta a proporção de partículas lignocelulósicas do compósito (tratamentos 1, 2, 3 e 4.). Entretanto observa-se que acima de 45 % de partículas lignocelulósicas (tratamento 4) o resultado se inverte (tratamento 5: 50% de partículas lignocelulósicas), sendo interessante do ponto de vista de uma situação de incêndio, pois quanto maior for o tempo de queima do material, menor será a velocidade de queima, o que dificulta a propagação da chama e facilita a extinção da mesma (RIBEIRO et al., 2013). Assim sob este ponto de vista, o tratamento 5 (50% de partículas lignocelulósicas + 10% de partículas de forro) parece responder melhor, apesar de não diferenciar estatisticamente dos demais tratamentos. Desta maneira no caso de confecção de painéis com maior percentagem de partículas lignocelulósicas, provavelmente teria de alterar outras variáveis, talvez aumentar o percentual de produto químico retardante.

A taxa média de queima linear dos painéis pode ser observada na Figura 38.

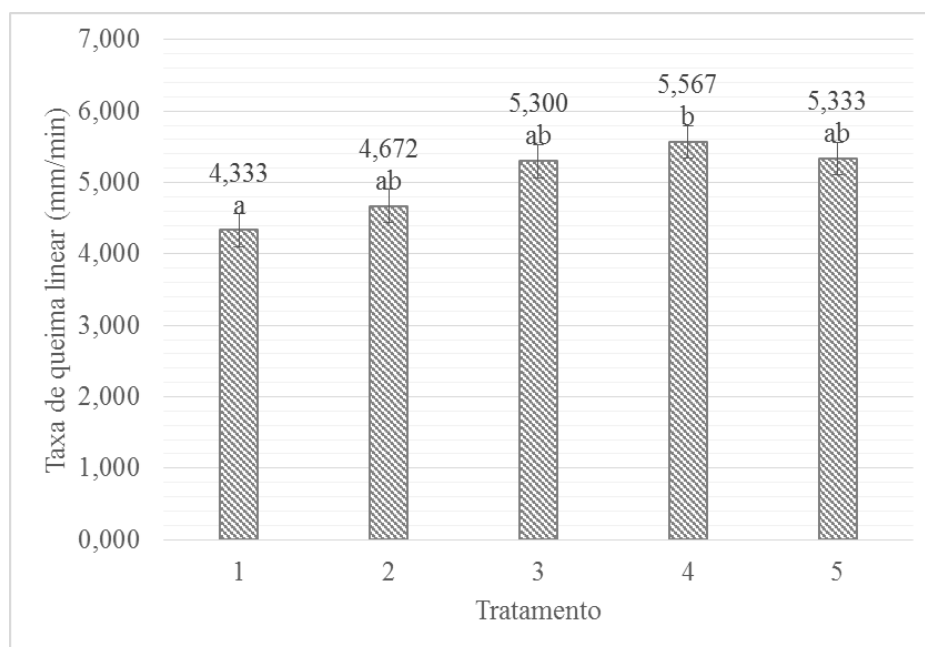


Figura 38. Taxa de queima linear dos painéis termo acústicos.

A taxa de queima dos cinco tratamentos foi inferior as taxas máximas de queima em materiais de revestimento interno, por exemplo, de revestimento interno da indústria automobilística que segundo a Resolução do CONTRAN nº. 675 seja no máximo de 250 mm/min., já nos países com pesquisas

mais avançadas nesta área este valor é de 80 mm/min. Em comparação com esses dados os painéis estudados apresentaram valores bem menores.

4.2.4. Propriedades Acústicas

4.2.4.1. Isolamento Acústico

O isolamento acústico ou isolamento sonoro é a não passagem de som de um ambiente a outro, por meio do uso de materiais que amortecem ou dissipem a energia sonora incidente neste (NAKAMURA, 2006).

Bistafa (2006) e Loschi Neto et al. (2008) afirmam que dentre as grandezas acústicas mais importantes, no estudo do isolamento acústico, está a pressão sonora, pois caracteriza os efeitos do ruído em seres humanos. A pressão sonora é definida como a quantidade de energia sonora que atravessa uma unidade de área durante certo tempo e pode ser obtida de maneira simples, por aparelhos como o decibelímetro, que converte seus valores para a escala de decibéis, facilitando sua interpretação.

Os fatores que influenciam diretamente no isolamento acústico dos painéis são a distância em que o decibelímetro se encontra da fonte sonora, a quantidade, o tipo, a densidade do material, além da quantidade de energia sonora absorvida pelo meio.

Na Tabela 14 podem ser observados os valores médios, máximo e mínimo da pressão sonora para os painéis selecionados.

Tabela 14. Valores mínimos, médios e máximos dos níveis de pressão sonora (dB) obtidos com o decibelímetro dos painéis estudados.

Tratamento	Média	Mínimo	Máximo	Desvio Padrão	CV (%)
1	75,896 ^{ab}	73,100	77,900	1,238	1,631
2	79,612 ^d	78,300	80,900	0,573	0,72
3	72,514 ^c	70,100	76,000	1,046	1,443
4	76,763 ^b	73,200	79,400	1,492	1,944
5	75,190 ^a	70,500	80,500	2,477	3,294
Caixa Aberta	88,015 ^e	81,600	89,700	1,608	1,827

Médias com letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$); CV – coeficiente de variação.

De acordo com Tabela 14, observa-se uma pequena variação entre os valores máximos e mínimos em cada tratamento. Porém, apesar de numericamente próximos, esses valores apresentam diferença significativa do ponto de vista acústico e estatístico. De acordo com a escala utilizada, a cada 3

decibéis tem-se o dobro de energia sonora, e 1 decibel é a mínima variação perceptível pelo sistema auditivo humano.

O tratamento 3 apresentou o menor valor para a pressão sonora (72,514 dB), em contraposição ao tratamento 2 (79,612 dB). O tratamento 1 é estatisticamente igual, aos tratamentos 4 e 5.

O nível de isolamento acústico (I) pode ser visualizado na Tabela 15 e na Figura 39.

Tabela 15. Análise estatística descritiva para o nível de isolamento acústico (dB) dos painéis termo acústicos em estudo.

Tratamentos	Média (dB)	Mínimo (dB)	Máximo (dB)	Desvio Padrão	CV (%)
01	12,076 ^{bc}	4,200	16,000	2,135	17,632
02	15,551 ^a	11,500	17,900	1,662	10,685
03	11,238 ^d	4,200	16,100	2,183	19,395
04	12,782 ^b	6,300	18,300	2,552	19,953
05	8,373 ^c	2,400	10,900	1,674	19,952

Médias com letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$); CV – coeficiente de variação.

Os valores apresentados pelos tratamentos dos painéis em estudo mostram que o tratamento 3 (40% de partículas lignocelulósicas e 20% de partículas de forro) foi o que tem o maior isolamento acústico (15,55 dB). Lembrando que a densidade deste painel foi de 0,261 g/cm³, portanto está em meio as mais baixas densidades entre os 5 tratamentos, salientando que não houve diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade entre os tratamentos 1, 2, 3 e 4 quanto a variável densidade. Uma baixa densidade aliada a um bom isolamento acústico, torna-se muito interessante aos fabricantes de painéis, pois além da eficiência de isolamento acústico do produto, este é de fácil manuseio e transporte.

Já o tratamento 2 foi o que apresentou o menor isolamento acústico (8,37 dB). Para este caso, a combinação de percentagens de partículas, não só deixou de ser eficiente para esta finalidade, como também este painel foi o que apresentou maior densidade em relação ao tratamento de maior eficiência acústica.

Os tratamentos 1, 4 e 5 ficaram em uma faixa intermediária para a propriedade de isolamento acústico, podendo ser utilizados, dependendo das exigências do produto.

Verifica-se que o tratamento 5, o que possui maior percentagem de partículas lignocelulósicas mostra um valor interessante de isolamento acústico (12,78 dB). Esta é uma matéria prima encontrada com facilidade e o seu consumo pode contribuir com as indústrias deste segmento, que a gera em grandes quantidades como resíduo, valorizando este material e contribuindo com o meio ambiente.

A relação entre a proporção de partículas lignocelulósicas e a proporção de partículas minerais, utilizadas na composição dos painéis, pode ser considerada um fator de influência nos resultados em relação aos painéis com maior isolamento acústico, pois no tratamento com maior nível de isolamento acústico, o tratamento 3, a proporção de partículas lignocelulósicas é maior, em contrapartida ao tratamento 2 com maior proporção de partículas minerais cujo o resultado do nível de isolamento acústico foi o menor encontrado.

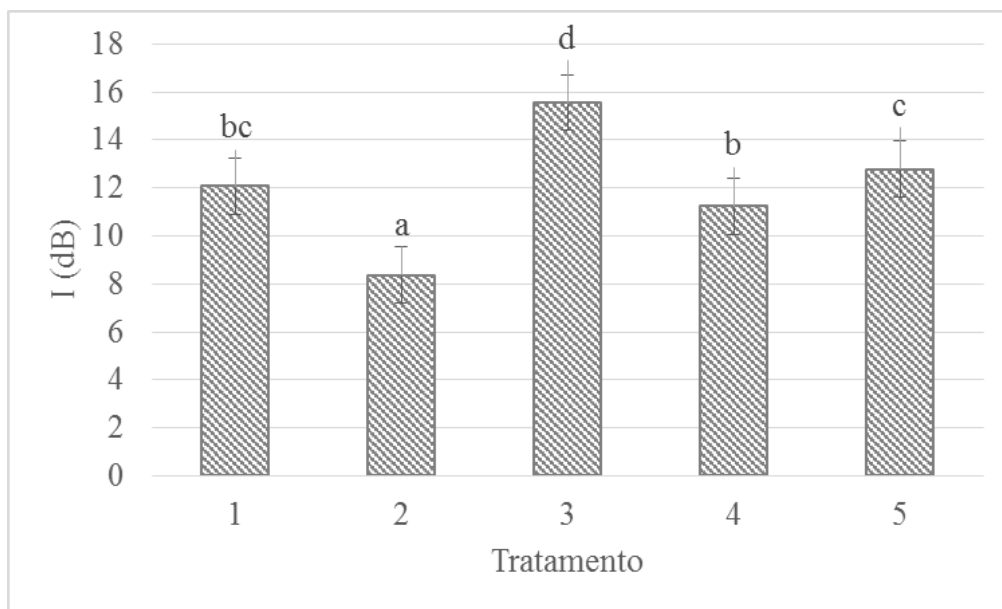


Figura 39. Isolamento Acústico dos painéis estudados.

O nível de isolamento acústico dos painéis mostra tendência de ser inversamente proporcional a densidade. Isto é painéis de densidade mais baixa tendem a apresentar maior desempenho acústico, devido a maior absorção sonora.

Para efeitos de comparação, adotou-se a Tabela 16, com o comparativo entre os diferentes sistemas de alvenaria convencional, outros tipos de materiais isolantes e os painéis termo acústicos em estudo.

Por meio da Tabela 16, nota-se que os índices dos painéis apresentaram resultados inferiores a materiais com menor espessura. Observa-se que o tratamento 3 foi o que mais se aproximou do nível de isolamento acústico da madeira e do painel isolante, com matéria prima base papel, já comercializado.

Tabela 16. Comparativo do desempenho acústico, através de outras superfícies, de diferentes materiais.

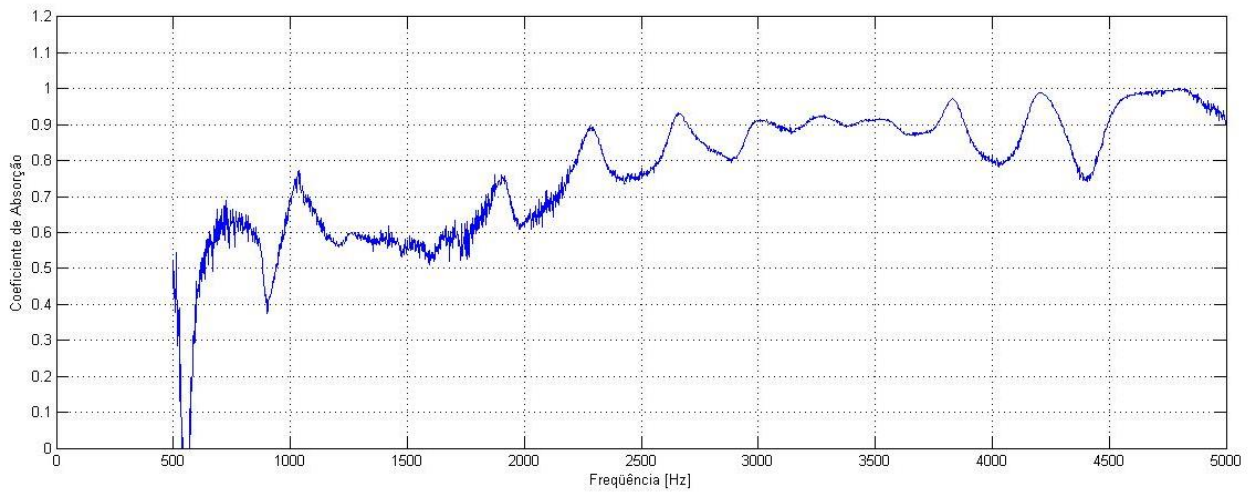
Tipo de material	Espessura (mm)	Isolamento Acústico (dB)	Bibliografia
Tratamento 2	30	8,373	
Tratamento 4	30	11,238	
Tratamento 1	30	12,076	
Tratamento 5	30	12,782	
Tratamento 3	30	15,551	
Madeira	25	20,000	FERREIRA e ZANNIN, 2007
Placa isolante com base em papel	30	21,900	ISOPLAN, 2014
Gesso <i>Dry Wall</i>		28,000	FERREIRA e ZANNIN, 2007
Forro mineral ENCORE™ – 1932	20	35,000	ARMSTRONG, 2013

Os painéis estudados podem ser utilizados, em ambientes onde o nível de conversação for elevado (entre 70 e 75 dB), ou ainda em ambientes que exijam um nível mínimo de conforto acústico, como em apartamentos, enfermarias e berçários, laboratórios, salas de aula, biblioteca, e escritório de atividades diversas onde o nível de ruído apropriado ocupa um intervalo de 35 a 55 dB (MIÑANA, 1969; MARCO, 1990; NBR 10.152/1997). Cada recinto, conforme sua utilização, requer critérios bem definidos de conforto acústico de maneira a eliminar as condições nocivas à saúde ou ainda evitar induzir as pessoas às condições de inatividade e sonolência de um recinto monótono e cansativo (SOUZA, 2012). Se a soma das diversas fontes de ruídos ultrapassa o valor máximo fixado pela norma, é necessário, por tanto, a implantação de um projeto para tratamento acústico no local, de preferência ainda na fase de projeto, visando atender as necessidades de conforto e bem estar dos usuários (GROTTA, 2009).

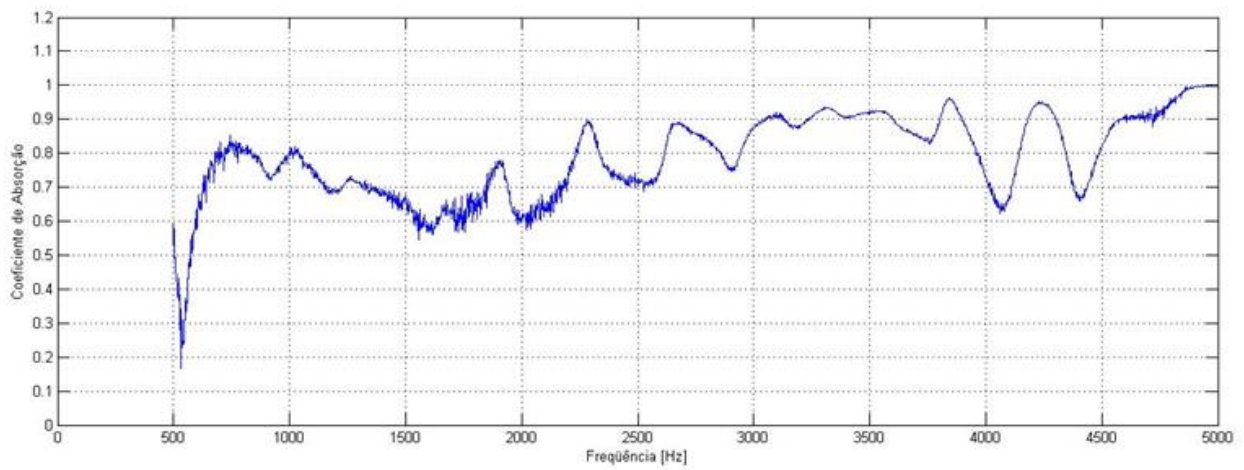
4.2.4.2. Absorção Acústica

Ao usinar as peças para o ensaio acústico deparou-se com a dificuldade de obter peças de consistência e alturas homogêneas por tratar-se de um material poroso produzido sem prensagem, o que favorece a desintegração quando usinado. Em virtude disto, o tratamento 5 não pode ser executado neste ensaio por ser o tratamento com menor densidade 0,252 g/cm³.

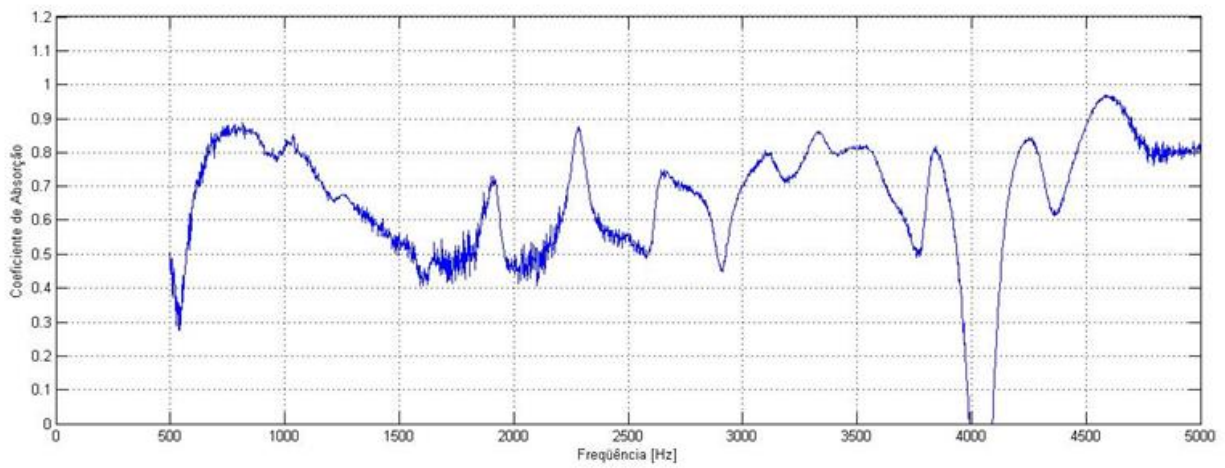
Os tratamentos foram analisados e as curvas de absorção sonora podem ser observadas na Figura 40, cuja faixa de frequência de uso está mostrada na Tabela 7, exposta na metodologia.



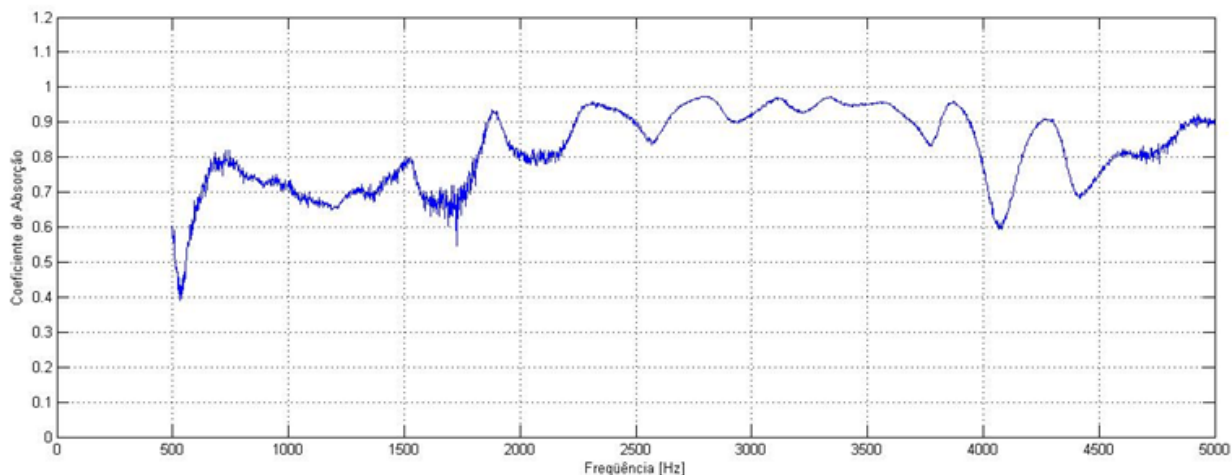
Tratamento 01



Tratamento 02



Tratamento 03



Tratamento 04

Figura 40. Coeficiente de absorção acústica (α) dos painéis em estudo.

Conforme pode-se observar na Figura 40 os tratamentos apresentaram comportamentos semelhantes com alto coeficiente de absorção acústica. Observa-se ainda a existência de um grande decréscimo no valor do coeficiente de absorção próximo de 4000 Hz, para todos os tratamentos, sendo mais marcante para o tratamento 3. Isso pode ser explicado pela função de coerência entre o sinal do microfone e o sinal do alto falante durante a obtenção da função de transferência, que verifica a validade da estimativa da função obtida. Este decréscimo pode ser considerado um erro aleatório e mostrar grande variação quando um experimento é repetido (GERGES, 2000). Esse erro também foi encontrado nos estudos realizados por Massini et al. (2009) ao avaliar o coeficiente de absorção acústica da lã de vidro e do forro mineral, embora o decréscimo tenha ocorrido na faixa de 3000 Hz.

O programa utilizado demonstra os valores estimados de coeficiente de absorção acústica, conforme observado na Figura 40. Com base nesta estimativa, o tratamento que melhor apresentou valores de absorção acústica (α) foi o tratamento 1 seguido pelo tratamento 3, que possuem as densidades 0,263 e 0,261 g/cm³, respectivamente, e valores de coeficiente de absorção acima de 0,9 Hz na faixa de 4500 Hz. Este resultado é próximo ao encontrado por Massini et al. (2009) para a lã de vidro. Constata-se ainda que os tratamentos com valores baixos de densidade apresentam melhor absorção sonora, embora as densidades destes painéis (tratamentos 1, 2, 3 e 4) não são estatisticamente diferentes quanto a densidade. Estes resultados vão ao encontro das teorias acústicas de BUCUR (2006) que afirma que materiais absorventes possuem baixas densidades pois buscam reduzir a reflexão das ondas sonoras (ou a energia incidente), contrário aos materiais usados para isolamento acústico, que se caracterizam por alta densidade (LOSCHI NETO et al., 2008), dificultando a passagem da onda sonora.

Segundo BUCUR (2006) e LOSCHI NETO et al. (2008) é importante considerar que a característica do isolamento e a absorção sonora não é a mesma em todas as frequências, torna-se necessário a medição do coeficiente de absorção acústica em faixas de frequências, abrangendo principalmente o intervalo entre 64 e 4.000 Hz. Pode-se notar que todas as amostras testadas são materiais absorventes, e que possuem uma melhor absorção em baixa frequência, onde a uma frequência de 1000 Hz ou na banda de oitava segundo Brito (1999), o coeficiente de absorção acústica varia pouco, de 0,8 a 0,6 Hz. Os valores encontrados nesta banda para os tratamentos são próximos a 0,8 Hz para tratamentos 2 e 3; 0,7 Hz para o tratamento 4 e 0,6 Hz para o tratamento 1.

Em geral, materiais porosos têm boas propriedades de absorção acústica em uma ampla faixa de frequência. Painéis com densidade variando entre 0,4 e 0,6 g/cm³ têm coeficientes de absorção sonora mais elevados do que aglomerados, MDF, madeira compensada na faixa de frequência de 500-8000 Hz. Painéis ou madeira sólida com densidade de 0,8 g/cm³ mostram baixos coeficientes de absorção acústica na faixa de frequência 1000-8000 Hz (Yang et al., 2003).

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Após os resultados obtidos com esta pesquisa pode-se concluir:

- O projeto piloto foi fundamental para a escolha das proporções dos componentes a serem utilizados nos painéis do projeto, assim como na definição de suas densidades;
- Os painéis produzidos nos cinco tratamentos são leves, possuem conforto térmico e bom desempenho acústico; com a densidade média aparente (12% de teor de umidade) variando entre 0,252 g/cm³ a 0,266 g/cm³, sendo ideal para o tipo de produto a ser fabricado.
- A presença de vermiculita na composição do forro mineral contribui para a absorção de água e inchamento em espessura, bem como para a taxa de não-retorno em espessura dos painéis;
- Do ponto de vista de isolamento térmico, o tratamento 2 se destacou mostrando maior eficiência térmica. O tratamento 5 foi o de pior desempenho;
- Considerando a resistência ao fogo dos painéis, o tratamento 1 seguido do tratamento 2 (os de maiores valores de partículas minerais) foram os que apresentaram maiores perdas de massas. A taxa média de queima linear dos painéis apresentou valores médios entre 4,333 e 5,567 mm/minuto, destacando-se como produto de alta resistência a propagação de chamas;
- Avaliando as propriedades acústicas dos painéis, o tratamento 3 (40% de partículas lignocelulósicas e 20% de partículas de forro) foi o que apresentou maior isolamento acústico. Entretanto para o coeficiente de absorção acústica, o tratamento 1 mostrou melhor desempenho na faixa entre 2000 a 4500 Hz;
- Recomenda-se ainda a utilização de resíduos lignocelulósicos provenientes da construção civil contaminados (madeira sólida, compensados, OSB, entre outros.) para a produção destes painéis. A produção de painéis termo acústicos utilizando a junção destes materiais seria primordial a redução dos impactos ambientais, pois 70% destes resíduos deixariam de ser descartados inadequadamente no meio ambiente, podendo ser usado para muitas finalidades, incluindo telhado e parede, revestimento de superfícies, interiores de paredes e forros, recheios de divisórias e portas corta fogo;
- Recomenda-se o estudo de outros adesivos e produtos químicos retardantes de fogo;
- Sugere-se ainda um estudo de comercialização e avaliação econômica dos painéis produzidos.
- Indica-se as partes envolvidas no processo requerer uma patente do produto gerado nesta tese.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADEODATO, S.; MONZONI, M.; BETIOL, L. S.; VILLELA, M. **Madeira de ponta a ponta: o caminho desde a floresta até o consumo**. São Paulo, SP: FGV RAE, 130 p., 2011.

ADRIAZOLA, M. K. O. Avaliação experimental por meio de protótipos e por simulação de painéis de madeira para habitação de interesse social. **Tese de Doutorado**. Curitiba, Universidade Federal do Paraná – UFPR, 315 p., 2008.

ALMEIDA, R. G. Estudo da geração de resíduos sólidos domiciliares urbanos do município de Caçador-SC, a partir da caracterização física e composição gravimétrica. Caçador, SC: **Revista Ignis**, v. 1, n. 1, 2012.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D1554 – 10: 1974**. Standard Terminology Relating to Wood-Base Fiber and Particle Panel Materials.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM E11: 2009**. Standard Specification for Wire Cloth and Sieves for Testing Purposes.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Standard test methods of evaluating properties of wood-based fiber and particle panel materials. **ASTM D 1037** Annual book of ASTM standards, v. 15.03. ASTM, West Conshohocken, PA. 1999.

AMORIM, C. N. D. Desempenho térmico de edificações e simulação computacional no contexto da arquitetura bioclimática. Estudo de casos na região de Brasília. **Dissertação de Mestrado**. Universidade de Brasília – UnB, Brasília: 147 p., 1998.

ANASTÁCIO, R. S. A. Especificação de protecção fogo para estruturas de madeira. **Dissertação de Mestrado**. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Portugal: 2010. 118 p.

ARMSTRONG – Armstrong World Industries Brazil. Forros Acústicos – **Ficha Técnica**. 8p. 2013.

ARRUDA, L. M. Modificação termomecânica da madeira de amescla (*Trattinnickia burseraefolia* (Mart.) Willd.): efeito sobre as propriedades de lâminas e compensados. **Dissertação de Mestrado**. Universidade de Brasília (UnB), Brasília: 2012, 108 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS – ABRELPE. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil – Ano Base 2010**. 2012 p. São Paulo.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT ISO **10.534-2: 1998**. Acoustics. Determination of sound absorption coefficient and impedance in impedance tubes – Part 2: Transfer-function method.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT ISO **10534-1: 1996**. Acoustics. Determination of sound absorption coefficient and impedance in impedance tubes – Part 1: Method using standing wave ratio.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT NBR **10.151: 2000 Versão Corrigida: 2003**. Acústica. Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade – Procedimento.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT NBR **10.152: 1997**. Níveis de Ruído para Conforto Acústico.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT NBR **11.742/2003**. Porta Corta-fogo para Saída de Emergência.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT NBR **11685: 1990**. Divisórias leves internas moduladas – Terminologia.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT NBR **12.179: 1992**. Tratamento acústico em recintos fechados – Procedimento.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT NBR **14.323/1999**. Dimensionamento de estruturas de aço de edifícios em situação de incêndio – Procedimento. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT NBR **14.810: 2006**. Chapas de madeira aglomerada – Parte 1: Terminologia.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT NBR **15.220-1: 2005**. Desempenho térmico de edificações Parte 1: Definições, símbolos e unidades.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT NBR **5.626 NB/1992**. Instalação Predial de água fria.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT NBR **5743:1989** cancelada, substituída por ABNT NBR NM 18:2004. Cimento Portland - Análise química - Determinação de perda ao fogo.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT NBR **5743:1989** Versão Corrigida: ABNT NBR NM 18:2004. Cimento Portland - Determinação de perda ao fogo.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT NBR **9.442: 1986 corrigida 1988**. Materiais de construção – Determinação do índice de propagação superficial de chama pelo método do painel radiante – Método de Ensaio.

BARREIRA, L.; FONSECA, E. Cálculo da espessura carbonizada em estruturas de madeira quando submetidas à ação do fogo. In: II Conferência Nacional de Métodos Numéricos em Mecânica de Fluidos e Termodinâmica Universidade de Aveiro, **Anais...** 2008

BARROSO-KRAUSE. **Conforto higrotérmico no projeto de arquitetura**. 2008. Disponível em <http://www.fau.ufrj.br/apostilas/conforto/AMB20061CD2303.pdf>. Consultado em Julho de 2012.

BASTOS, L. P. Controle de ruído em instalações de grupos geradores um estudo de caso. **Trabalho de Conclusão de Curso** em Engenharia Mecânica. Universidade Federal do Pará – UFPA, 114 p., 2007.

BAUER, L. A. F. **Materiais de Construção – Novos Materiais para Construção Civil**. 5ª Edição. Editora LTC. 2005, 951 p.

BENADUCE, C. Fabricação de painéis de média densidade (MDF) a partir de fibras de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden e *Pinus caribaea* Morelet var. *hondurensis* Barret e Golfari. 1998. 113 f. **Dissertação de Mestrado**. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1998.

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

BOLOGNESI, A. **Incineração e aterro sanitário: uma comparação entre duas tecnologias**. In: SANTOS, M. C. L.; DIAS, S. L. F. G. Resíduos sólidos urbanos e seus impactos socioambientais. São Paulo: IEE-USP, 2012, 82 p.: il.

BOWYER, J. L.; SHMULSKY, R.; HAYGREEN, J. G. **Forest Products and Wood Science – An Introduction**. Fifth Edition. Blackwell Publishing, 2007, 558 p.

BRAGA, W. Análise Transiente de Problemas Térmicos. **Revista de Ensino de Engenharia**, Brasília, v. 22, n.1, p. 57-64, 2003.

BRAND, M. A.; KLOCK, U.; MUÑIZ, G. I. B.; SILVA, D. A. Avaliação do processo produtivo de uma indústria de manufatura de painéis por meio do balanço de material e do rendimento da matéria-prima. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.28, n.4, p.553-562, 2004.

BRASIL – Ministério das Cidades e Conselho Nacional de Trânsito - Resolução **CONTRAN nº 675/1986** – Requisitos aplicáveis aos materiais de revestimento interno do habitáculo de veículos e dá outras providências.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. **Diário Oficial da União**, Brasília, 3 de agosto de 2010.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Assistência à Saúde. Série Saúde e Tecnologia – **Textos de Apoio à Programação Física dos Estabelecimentos Assistenciais de Saúde – Condições de segurança contra incêndio**. 1995, p. 14-16. Disponível: <http://www.anvisa.gov.br/servicos/assiste/manuais/incendio.pdf>. Consultado em: abril 2013.

BRASIL. MINISTÉRIO DO TRABALHO. MT. Portaria SIT n.º 203, de 28 de janeiro de 2011. **Norma Regulamentadora (NR) 15** – Atividades e operações insalubres (atualizada). Diário Oficial da União: 01 de janeiro de 2011.

BRAZMO - Bandeirante Brazmo Indústria Química Ltda. – **Ficha técnica do produto Silicato de Sódio (líquido)**. Disponível em: <https://safetychem.com.br/Empresas/44/DocumentosGerados/SILICATO%20DE%20S%3%0DIO.pdf>. Consultado em Outubro de 2012.

BRAZMO - Bandeirante Brazmo Indústria Química Ltda. – **Ficha técnica do produto Tetraborato de sódio decahidratado**. Disponível em: <https://safetychem.com.br/Empresas/44/DocumentosGerados/TETRABORATO%20DE%20S%3%93DIO%20DECAHIDRATADO.pdf>. Consultado em Outubro de 2012.

BRIGGS, D. G. Chapter 6. Nonveneer Panel Products: Particleboard, Hardboard, Medium Fiberboard, OSB/Waferboard, and Insulation Board. In: BRIGGS, D. G. **Forest products measurements and conversion factors: with special emphasis on the U.S. Pacific Northwest**. College of Forest Resources, University of Washington, 1994, 161 p.

BUCUR, V. **Acoustics of Wood**. Heidelberg: Springer – Verlag, 2006.

CARNEIRO, A. P.; BRUM, I. A. S., CASSA, J. C. S. (Org.). **Reciclagem de entulho para produção de materiais de construção: projeto entulho bom**. Salvador: EDUFBA/Caixa Econômica Federal, 2001. Cap. 5, p. 144-187.

CARVALHO, C. D.; LOCATELLI, E. D.; SILVA, T. N. F. Estudo socioambiental sobre os ecopontos do município de São Carlos – SP. In: 7mo Congresso de Medio Ambiente. **Actas...** UNLP. La Platina, Argentina. 2012.

CATAI, R. E.; PENTEADO, A. P.; DALBELLO, P. F. Materiais, técnicas e processos para isolamento acústico. In: 17º CBECIMat - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, **Anais...** Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 2006.

CAVALCANTI, J. E. A década de 90 é dos resíduos sólidos. **Revista Saneamento Ambiental** – nº 54, p. 16-24, nov./dez. 1998.

CAVALCANTI, M. A. V. Análise da influência de superfícies refletivas nas perdas de calor de sistemas térmicos. **Dissertação de Mestrado**. Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN. Natal: 83 p., 2011.

CÉSAR, S. F. Chapas de madeira para vedação vertical de edificações produzidas industrialmente – projeto conceitual. **Tese de Doutorado** (Pós-Graduação em Engenharia de Produção), Universidade Federal de Santa Catarina-UFSC. Florianópolis, 2002. 302p.

CHU, W. T., Transfer function technique for impedance and absorption measurements in the impedance tube using a single microphone. **Journal of Acoustical Society of America**, New York, 80 (2): 555-60 Aug. 1986.

CHUGG, W. A. **Glulam: the theory and practice of the manufacture of glued laminated timber structures**. London: E. Benn, 1964. 423p.

CLEMONS, C. Plastic-wood composites in the United States. **Forest Products Journal**, v. 52, n. 6, p-10-11, p. 10-18, 2002.

CONNER, A. H. Wood adhesives. **Encyclopedia of Materials: Science and Technology**, p.9583-9599. 2001.

CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE – CONAMA. **Resolução nº 307** de 5 de julho de 2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Diário oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 17 jul. 2002.

CONSTRUCLIMA – Construclima Engenharia e Instalações. **Coefficientes de Condutibilidade Térmica**. Disponível em: <http://www.construclima.com.br/pdf/02.pdf>. Consultado em agosto de 2013.

CORREA, C. A.; FONSECA, C. N. P.; NEVES, S. Compósitos termoplásticos com Madeira. **Polímeros Ciência e Tecnologia**, v. 13, n. 03, p. 154-165, 2003.

COSTA, L. E. B.; COSTA, S. K.; REGO, N. A. C.; SILVA JUNIOR, M. F. Gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos domiciliares e perfil socioeconômico no município de Salinas, Minas Gerais. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v.3, n.2, 2012.

DEL MENEZZI, C. H. S. Instabilidade dimensional da madeira e de seus subprodutos: causas, conseqüências e prevenções. **Comunicações Técnicas Florestais**, v. 8, n. 2. Brasília, 2006.

DEPARTAMENTO INTERSINDICAL DE ESTATÍSTICA E ESTUDOS SOCIOECONÔMICOS (DIEESE). **Estudo Setorial da Construção 2012**. Disponível em: <http://www.dieese.org.br/estudosetorial/2012/estPesq65setorialConstrucaoCivil2012.pdf>. Consultado em setembro de 2013, 42 p.

DUXON, P., PROVIS, J. L., LUKEY, G. C., MALLICOAT, S. W., KRIVEN, W. M., VAN DEVENTER, J. S.J. Understanding the relationship between geopolymer composition, microstructure and mechanical properties. **Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**. Volume 269, Issues 1–3, 2005, p. 47–58.

ECKERT, C. H. Market opportunities for natural fibers in plastics composites: In: PROCEEDING OF THE WOOD-PLASTIC CONFERENCE, 2000, Baltimore. **Conference...** Baltimore, USA, 2000. p. 87-106.

EFE, F. T.; ALMA, M. H. Investigating Some Physical Properties of Composite Board, Produced from Sunflower Stalks, Designed Horizontally. **Ekoloji**, 23, 90, 40-48 (2014).

EINSFELD, R.A.; MURRAY, D.W.; CHENG, J.J.R.; BACH, L. Manufatura e características das chapas OSB (Oriented Strand Board). In: VI Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira. **Anais**, v.3, Florianópolis, p.385-394, 1998.

EUROPEAN COMMISSION (EUROSTAT). **Waste statistics: Estatistics Explained**. 2013. Disponível em: http://epp.eurostat.ec.europa.eu/statistics_explained/index.php/Waste_statistics. Consultado em: maio de 2013.

FERNANDEZ, J. A. B.; ROMA, C. J.; MOURA, A. M. M. Resíduos da construção civil. **Caderno Diagnóstico**. 2011. 46p.

FERRAZ, C. P. Vermiculita – Um Importante Mineral Industrial. In: I Simpósio de Mineração. **Anais...** n° 32, EDUSP, São Paulo: 1971.

FERREIRA, J. A. C.; ZANNIN, P. H. T. Determinação de coeficientes de isolamento acústico: medições in situ e simulação computacional. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 7, n. 2, p. 15-29, 2007.

FERREIRA, J. A. Solid Waste and Nosocomial Waste: An Ethical Discussion. **Caderno de Saúde Pública**. Rio de Janeiro, 11 (2): 314-320, 1995.

FIGUEROA, M. J. M.; MORAES, P. D. Comportamento da madeira a temperaturas elevadas. **Revista Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 9, n. 4, p. 157-174, out./dez. 2009.

FINKIELSZTEJN, B. Sistemas modulares têxteis com aproveitamento de fibras naturais – Uma alternativa sustentável em arquitetura e design. **Dissertação de Mestrado**. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. 2006.

FOOD AND AGRICULTURAL ORGANIZATION – FAO. Yearbook of forest products 1999. Rome, 2001. 243p. (**FAO Forestry Series**, n.34; **FAO Statistics Series**, n.157).

FOOD AND AGRICULTURAL ORGANIZATION – FAO. **Classification and definitions of forest products.** Geneva - Suíça, 1982. 57 p. Disponível em: <http://www.fao.org/docrep/015/an647e/an647e00.pdf>. Consultado em: julho de 2012.

FRANÇA, S. C. A.; LUZ, A. B. Utilização da vermiculita como adsorvente de compostos orgânicos poluentes da indústria do petróleo. In: **XIX Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa**. p. 547-553, Recife, 2002.

FREITAS, A. M. S.; CRASTO, R. C. M. **Steel framing: arquitetura**. Instituto Brasileiro de Siderurgia – IBS/CBCA. 124 p., 2006.

FREITAS, E. F.; TRABULO, L. Desempenho de Barreiras Acústicas – dois métodos de avaliação. **Revista Engenharia Civil**, UM, Número 29, 2007.

FREITAS, L.B., MENDES, L. M., CASTRO NETO, P., FRAGA, A. C., ARAÚJO, J. C. **Avaliação de Características Físicas de Painéis Aglomerados de uma Mistura de Eucalipto (*Eucalyptus urophylla*) e Casca de Mamona (*Ricinus communis* L.)**. 2007. Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel.

FROTA, A.; SCHIFFER, S. **Manual de Conforto Térmico**. Studio Nobel, São Paulo, 1995. 243 pp. Ilustr.

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE – FUNASA. **Manual de Saneamento**. 3 ed. rev. Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 2004. 408 p.

GANHÃO, A. M. G. D. Construção Sustentável - Propostas de melhoria da eficiência energética em edifícios de habitação. **Dissertação de Mestrado**. Universidade Nova de Lisboa, Portugal: 150 p., 2011.

GERGES, S. N. Y. **Ruído: Fundamentos e Controle**, 2 ed., NR Editora, 2000.

GIGLIO, T. G. F. Avaliação do desempenho térmico de painéis de vedação em madeira para o clima de Londrina – PR. **Dissertação de Mestrado**. Universidade Estadual de Londrina: Paraná, 170 p., 2005.

GIVONI, B. Confort, Climate Analysis and Building Design Guidelines. In: **Energy and Building**, Vol. 18, July/1992, p. 11-23.

GRIGORIOU, A. Comparisons between medium density fiberboard and particleboard. **Holz als Roh und Werkstoff**, v. 41, n. 5, p 183-186, 1983.

GROTTA, D. L. Materiais e técnicas contemporâneas para controle de ruído aéreo em edifícios de escritórios: subsídios para especificações. **Dissertação de Mestrado** – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo (USP) – São Carlos – SP: 2009, 211 p.

GUIMARÃES, L. E.; TUBINO, R. M. C. Ambientação térmica de casas de madeira utilizando paredes externas recheadas com argamassa contendo casca de arroz, resíduos de borracha (pneu) ou garrafa pet triturada. **Anais...** Florianópolis – SC: Congresso de Ciência e Tecnologia em Resíduos e Desenvolvimento Sustentável – ICTR 2004.

GUSTAVSSON, L.; MADLENER, R.; HOEN, H.-F.; JUNGMEIER, G.; KARJALAINEN, T.; KLÖHN, S.; MAHAPATRA, K.; POHJOLA, J.; SOLBERG, B.; SPELTER, H. – The role of wood

material for greenhouse gas mitigation. **Mitigation and adaptation strategies for global change.** Volume 11, Number 5-6 (2006), pp. 1097-1127. Disponível em <http://www.springerlink.com/content/f54084621n701027>>. Consultado em Julho de 2011.

HAYGREEN, J. G.; BOWYER, J. L. **Forest products and wood science: an introduction.** Iowa State University Press: AMES, 1996. 484 p.

HEGER, F.; GROUX, M.; GIRARDET, F.; WELZBACHER, C. R.; RAPP, A. O.; NAVI, P. Mechanical and Durability Performance of THM Densified Wood In: Workshop COST Action E22. Environmental Optimisation of Wood Protection. 2004, Lisboa, Portugal. **Proceedings...** 2004. p. 1-10.

HENRIQUE, L. L. **Acústica Musical.** Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 2002. 1130p.

HILLIG, E. Qualidade de chapas aglomeradas estruturais, fabricadas com madeiras de Pinus, Eucalipto e Acácia negra, puras ou misturadas, coladas com tanino- formaldeído. **Dissertação de Mestrado.** Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2000. 96 p.

HOADLEY, R. B., 2000. Understanding Wood; A Craftsman's Guide to Wood Technology. Taunton Press, Newton, Connecticut. Ch. 4, p. 75 – 101.

IDHEA (Instituto para o Desenvolvimento da Habitação Ecológica). **Materiais ecológicos e tecnologias sustentáveis: teoria e prática das construções sustentáveis.** IDHEA, 2008.

IIDA, I. **Ergonomia – Projeto e Produção.** 2ª Ed. São Paulo: Ed. Blücher, 614 p., 2005.

IMAMURA, Y. Estimation of the fungal resistance of wood composites of structural use – Recent research on wood and wood-based materials. Current Japanese Material Research. **Elsevier Applied Science**, London, v.11, p.75-84, 1993.

INSTITUTO BRASILEIRO DE DESENVOLVIMENTO FLORESTAL. IBDF/DPq – LPF. **Madeiras da Amazônia, características e utilização. Estação Experimental de Curuá-Una.** Amazonian Timbers, Characteristics a Utilization. Experimental Forest Station, 1998, vol.2.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE) – Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB). 2008. Rio de Janeiro: IBGE, 2010.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS – IPT. **Manual de preservação de madeiras.** São Paulo: Secretaria da Indústria, Comércio, Ciência e Tecnologia do Estado de São Paulo, Publicação IPT, 1986.

ISOPLAN ICP – Industria e Comércio Paulista Ltda. **Ficha técnica da placa isolante: ISOPLAN** – Disponível em: <http://www.industriapaulista.com/isoplan.html>. Consultado em janeiro de 2014.

IWAKIRI, S. A influência de variáveis de processamento sobre propriedades de chapas de partículas de diferentes espécies de Pinus. **Tese de Doutorado.** Universidade Federal do Paraná (UFPR). Curitiba, PR: 1989, 129 p.

IWAKIRI, S. **Painéis de Madeira Reconstituída.** Curitiba: FUPEF, 2005, 247 p.

IWAKIRI, S.; SHIMIZU, J.; SILVA, J. C.; MENEZZI, C. H.; PUEHRINGHER, C. A.; VENSON, I. LARROCA, C. Produção de painéis de madeira aglomerada de *Grevillea robusta* A. Cunn. ex R. Br. **Revista. Árvore**, Viçosa-MG, v.28, n.6, p.883-887, 2004.

JADIR, T. T.; LIMA, M. G. Propriedades acústicas de materiais de construção para uso em edificações no entorno de aeroportos. In: 15º Encontro de Iniciação Científica e Pós-Graduação do ITA – XV ENCITA / 2009. **Anais...** Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, SP, Brasil, Outubro, 19 a 22, 2009.

JELLE, B. Traditional state of the art and future thermal building insulation materials and solutions – Properties, requirements and possibilities: **Energy buildings**, v. 43 (10) 2549-2563 p. 2011.

JOHN, V. M. Aproveitamento de Resíduos Sólidos como Materiais de Construção. In: CARNEIRO, A. P.; SCHADACH DE BRUM, I. A.; CASSA, J. C. S. **Reciclagem de Entulho para a Produção de Materiais de Construção – Projeto Entulho Bom**. Salvador, EDUFBA, Caixa Econômica Federal, 2001.

JOHN, V. M. Reciclagem de resíduos na construção civil: contribuição para metodologia de pesquisa e desenvolvimento. **Tese** (livre docência). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 2000, 120 p.

KANG, C. W.; PARK, H. J.; JEONG, I. S.; KIM, G. C. Measurement of the sound absorption coefficient of fiberboard by two microphone method. **Mokchae Konghak** 33 (5): 45-49. 2005.

KANG, C.; KANG, W., CHUNG, W.; MATSUMURA, J.; ODA, K. Changes in anatomical features, air permeability and sound absorption capability of wood induced by delignification treatment. **Journal Fac. Agr.**, Kyushu Univ., 53 (2), 479–483 (2008).

KANG, C.; KANG, W.; CHUNG, W.; MATSUMURA, J.; ODA, K. Changes in Anatomical Features, Air Permeability and Sound Absorption Capability of Wood Induced by Delignification Treatment. **J. Fac. Agr.**, Kyushu Univ., 53 (2), 479–483 (2008).

KARPINSKI, L. A.; PANDOLFO, A.; REINEHR, R.; KUREK, J.; PANDOLFO, L.; GUIMARÃES, J. **Gestão diferenciada de resíduos da construção civil: uma abordagem ambiental**. Porto Alegre: Edipucrs, 2009. 163 p.

KAWAI, S.; SASSAKI, H. Low density particleboard. Recent research on wood and wood-based materials. Current Japanese materials research. **Elsevier Applied Science**, London, v.11, p.33-41, 1993

KELLY, M. W. Critical literature review of relationships between processing parameters and physical properties of particleboard. Madison: (**Technical Report FPL-10**) USDA Forest Service General, 1977. 66 p.

KILBERT, C. Establishing principles and a model for sustainable construction. In: CIB TG 16 SUSTAINABLE CONSTRUCTION. **Proceedings...** Tampa, Florida, 1994, p. 3-12.

KLYSOW, A. A. **Wood plastic components**. John Wiley-sons, Inc., 403 p.

KOLLMANN, F. F. P.; COTÊ, W. A. **Principles of wood science and technology**, 2 vol. Berlin: Springer Verlag, 1968.

- KOLLMANN, F. F. P.; KUENZI, E. W.; STAMM, A. J.; **Principles of wood science and technology. II, Wood based materials**. Berlin: Springer-Verlag, 1975. p. 61-171.
- KOTAJI, J.; LOEBEL, O. Sustainability of polyurethane thermal insulation – performance, assessment at building and building component level. **Paper presented at the Central European Sustainable Building Conference**, Prague, Czech Republic. 2010.
- KOZŁOWSKI R.; MIELENIĄK B., HELWIG M.; PRZEPIERA A. Flame resistant lignocellulosic-mineral composite particleboards. **Polymer Degradation and Stability**, Volume 64, Issue 3, June 1999, Pages 523-528.
- KULTIKOVA, E. Structure and Properties Relationships of Densified Wood. 1999. 133 f. **Master Thesis** (Master of Science in Wood Science and Forest Products) - Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University, Virginia Tech, Blacksburg, Virginia,
- LANHAM, A.; BRAZ, R.; GAMA, P. - Arquitetura Bioclimática Perspectivas de inovação e futuro. **Seminários de Inovação**, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2004. Disponível em: http://www.gsd.inesc-id.pt/~pgama/ab/Relatorio_Arq_Bioclimatica.pdf, consultado a 02/10/2011.
- LATORRACA, J. V. F. *Eucalyptus* spp na produção de painéis cimento madeira. **Tese de Doutorado** - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000. 191 p.
- LEE, J. N.; WU, Q. In-plane dimensional stability of three-layer oriented strandboard. **Wood and Fiber Science**, Madison, v. 34, n. 1, p. 77-95, 2002.
- LI, X.; CAI, Z.; WINANDY, J. E.; BASTA, A. H. Effect of oxalic acid and steam pretreatment on the primary properties of UF-bonded rice straw particleboards. **Industrial Crops and Products** 2011; 33:665-669.
- LISOT, A. Ressonadores de Helmholtz em barreiras acústicas do desempenho na atenuação do ruído de tráfego. **Dissertação de mestrado** – Universidade Estadual de Maringá, Paraná: 161 p., 2008.
- LOPES, F. P.; PEREIRA, P. M.; HAMAYA, R. M. Análise da contaminação em resíduos de madeira na construção civil. **Monografia**. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba: 2013, 85 p.
- LOPES, T. F. C. T. Reabilitação sustentável de edifícios de habitação. **Dissertação de Mestrado**. Universidade Nova de Lisboa – Portugal, 171 p.; 2010.
- LOSCHI NETO, A.; SILVA, J. R. M.; LIMA, J. T.; RABELO, G. F. Efeito das diferentes madeiras no isolamento acústico. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 38, n. 4, p. 673-682, 2008.
- LOYOLA, G. S. Estudo comparativo para padronização de edificações industriais sustentáveis através da certificação LEED. **Trabalho de Conclusão de Curso** de Engenharia de Produção da FAE Centro Universitário. Curitiba: 104 p.; 2011.
- MACEDO, L. B.; ALMEIDA, D. H.; SCALIANTE, R. M.; VARANDA, L. D.; CALIL JUNIOR, C. Caracterização de algumas propriedades físicas da madeira de Paricá. In: CONGRESSO DE ENGENHARIAS, 2, São João Del Rei, 2012. **Anais...** Minas Gerais, UFSJ, CD-ROM. 2012.

- MAFRA, M. P. A. Desenvolvimento de infraestrutura para caracterização e análise de painéis acústicos. **Trabalho de Conclusão de Curso** em Engenharia Mecânica. Universidade Federal do Pará – UFPA, 143 P., 2004.
- MALONEY, T.M.; Modern particleboard & dry-process fiberboard manufacturing. **Updated edition covers composite wood products**. Miller Freeman, San Francisco, 1996.
- MARCO, C. S. **Elementos de Acústica Arquitetônica**. Ed. Nobel, 1990. 129p.:il.
- MARQUES NETO, J. C. **Gestão dos resíduos de construção e demolição no Brasil**. São Carlos: RiMa, 2005. 162 p.
- MARQUES, F. M. A importância da seleção dos materiais de construção para a sustentabilidade ambiental do edifício. **Dissertação (Mestrado)** – Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ. 148 p., 2007.
- MARRA, A. A. **Technology of wood bonding: principles in practice**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1992.
- MARRA, G. Overview of wood as a material. **J. Educational Modules for Materials Science and Engineering**. 1(4):699-710, 1979.
- MASSINI, H. F.; OLIVEIRA FILHO, R. H.; TEODORO, E. B. Medição do coeficiente de absorção acústica de materiais através do método de um microfone utilizando LABVIEW. XVI Congresso Nacional de Estudantes de Engenharia Mecânica **Anais...** Florianópolis – SC.
- MATTOS, R. L. G.; GONÇALVES, R. M.; CHAGAS, F. B. Painéis de madeira no Brasil: panorama e perspectivas. **BNDES Setorial**, n. 27, p. 121-156, Rio de Janeiro, 2008.
- MEDINA, J. C. Efeito da temperatura de aquecimento nas lâminas por desenrolamento e sobre as qualidades da colagem de compensados fenólicos de *Pinus elliottii* Eng. **Dissertação** (Mestrado em Ciências Florestais). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1986.
- MELHADO, S. B.; SOUZA, U. E. L. de. Segurança contra incêndio nos edifícios de estrutura de aço. Escola Politécnica da USP. Núcleo de tecnologia da construção metálica. **Publicação técnica PT 06**. COSIPA Grupo Siderbras, São Paulo, p. 6-34, jan. 1988.
- MELO, R. R. Avaliação de variáveis tecnológicas na produção de painéis LVL confeccionados com paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex. Ducke). **Tese de Doutorado**. Universidade de Brasília. Brasília: 2012. 166p.
- MELO, R. R.; SANTINI, E. J.; HASELEIN, C. R.; STANGERLIN, D. M. Propriedades físico mecânicas de painéis aglomerados produzidos com diferentes proporções de madeira e casca de arroz. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 19, n. 4, p. 449-460, 2009.
- MENDES, L. M.; IWAKIRI, S.; MATOS, J. L. M.; KEINERT JUNIOR, S.; SALDANHA, L. K. Efeitos da densidade, composição dos painéis e teor de resina nas propriedades de painéis OSB. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 10, n. 1, p. 1-17, 2003.
- MENKES, M. Eficiência energética, políticas públicas e sustentabilidade. Universidade de Brasília. Centro de Desenvolvimento Sustentável (CDS). **Tese de Doutorado**. 295 p., 2004.

- MIÑANA, J. P. **Compendio Prático de Acústica** – Editora Labor, S.A, Calabria, Barcelona: 1969, p. 235-239.
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO (SFB). **Florestas do Brasil em resumo - 2013: dados de 2007-2012.** / Serviço Florestal Brasileiro. – Brasília: SFB, 2013. 188 p., il.; 9 x 12,5 cm.
- MIRANDA, C. – **Modelo para a Gestão de Resíduos de Construção e Demolição uma Solução para as empresas de construção civil (Ilha São Miguel-Açores).** Universidade dos Açores. Portugal: 2009, 135 p.
- MIYADA, F. H.; SANCHES, R. A.; MANTOVANI, W.; RAMOS, J. B. **Tratamento Anti-chama em Materiais Têxteis.** Disponível em: <http://www.usp.br/siicusp/Resumos/17Siicusp/resumos/1161.pdf>. Consultado em: abril de 2011.
- MOHEBBY, B.; GORBANI-KOKANDEH, M.; SOLTANI, M. Springback in Acetylated Wood Based Composites. **Construction and Building Materials**, v. 23, n. 9, p. 3103-3106, 2009.
- MORESCHI, J. C. **Propriedades Tecnológicas da Madeira.** 3ª Edição. Departamento de Engenharia e Tecnologia da UFPR. Curitiba: 2010. Disponível em: <http://www.madeira.ufpr.br/publicacoes/propriedadesdamadeira2010.pdf>. Acesso em: 24/03/2011.
- MORGADO, L.; PEDRO, J. B.; CRUZ, H.; PONTÍFICE, P. Projeto e construção de casas de madeira em Portugal. In: Jornadas. Cidades e Desenvolvimento. Engenharia para a sociedade: investigação e inovação. **Anais...** LNEC. Lisboa: junho 2012.
- MOTTA, R. S. Estudo laboratorial de agregado reciclado de resíduo sólido da construção civil para aplicação em pavimentação de baixo volume de tráfego. **Dissertação de Mestrado.** São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – USP, 161 p., 2005.
- NAKAMURA, J. Conforto acústico. **Revista Técnica**, 106ª Edição, Ano XIV, 2006, p.44-47.
- NAVES NETO, R. Caracterização experimental da absorção acústica de madeiras nativas brasileiras. **Trabalho de Conclusão de Curso** em Engenharia Mecânica. Universidade de Brasília. Brasília: 67 p., 2011.
- NAVROSKI, M. C.; LIPPERT, D. B.; CAMARGO, L.; PEREIRA, M. O.; HASELEIN, C. R. Avaliação do isolamento térmico de três diferentes materiais usados na construção e preenchimento de paredes externas. **Ciência da Madeira**, Pelotas, v. 01, n. 01, p. 41-51, Maio de 2010.
- NEMLI, G. Factors affecting some quality properties of the decorative surface overlays. **Journal of Materials Processing Technology**, 2008; 95(1):218-223.
- NENNEWITZ, I.; NUTSCH, W.; PERSCHEL, P.; SEIFERT, G. Tabellenbuch holztechnik. 4ª Edição Alemã. Tradução: MADJDEREY, H. **Manual de Tecnologia da Madeira.** São Paulo: Blüncher, 2008, 354 p.
- OLIVEIRA, L. S. M. E.; UGARTE, J. F. de O. **Utilização da vermiculita como adsorvente de óleo da indústria petrolífera.** Publicação do Centro de Tecnologia Mineral – CETEM. Ministério da Ciência e Tecnologia, 2004. Acesso em: 01/11/2008. Disponível em: http://www.cetem.gov.br/publicacao/serie_anais_xii_jic_2004/21Artigo%20JIC%202004%20Luca%20Santos%20e%20Jose%20Ugarte.pdf.

OLIVEIRA, M. P.; DANTAS, W. C. V. Evolução dos adesivos ecologicamente corretos para o setor madeireiro. In: II SEMINÁRIO DE PRODUTOS SÓLIDOS DE MADEIRA DE EUCALIPTO – SIF. **Revista da madeira**, 2003.

PACHECO, G. H. S; SILVA, E. S. C; CALADO, B; TINOCO, M. Avaliação de Desempenho Ambiental em Projeto de Interesse Social: Estudo de Caso em Projeto Arquitetônico e Urbanístico para a Comunidade do Jacó, Natal/RN. **Anais... 6º PROJETAAR - O Projeto como Instrumento para a Materialização da Arquitetura: ensino, pesquisa e prática**. 2013.

PAPADOPOULOS, A. State of the art in thermal insulation materials and aims for future developments: **Energy and Buildings**, v. 37 (1), 77-86 p.

PARAMÉS, J.; BRITO, J. Adições nano particuladas para materiais de construção ignífugos. **Revista de Engenharia Civil**, vol. 1, n. 36, 2010.

PARGANA, N. G. S. C. **Dissertação de Mestrado**. Environmental impacts of the life cycle of thermal insulation materials of buildings. Técnico Lisboa. 2012.

PASSOS, P. R. A. Destinação sustentável de cascas de coco (*Cocos nucifera*) verde: obtenção de telhas e chapas de partículas. **Tese (Doutorado)**, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2005. 166p.

PFEIL, W.; PFEIL, M. **Estruturas de madeira**. 6ed. Rio de Janeiro: LTC, 2003. 224p.

PICANÇO, V. M. P. A; Preservação patrimonial x qualidade de vida: avaliação pós-ocupação no Programa Monumenta. Centro Histórico de Natividade – Tocantins. **Dissertação de Mestrado**. Universidade de Brasília - UnB. Brasília: 135 p. 2009.

PIERRE, F. C. Caracterização físico-mecânica de painéis aglomerados de *Eucalyptus grandis* com adição de resíduos industriais madeireiros. **Tese de Doutorado**. Universidade Estadual Paulista Júlio Mesquita Filho. Botucatu – SP: 2010. 134 p.

PINTO, E. M. Proteção contra incêndios para habitações em madeira. **Dissertação de Mestrado**. Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Paulo: 2001.

PINTO, E. M.; CALIL JUNIOR, C. Estudo teórico e experimental sobre a degradação térmica e os gradientes térmicos da madeira de *Eucalyptus* de uso estrutural exposta ao fogo. Pesquisa e Tecnologia - **Minerva**, vol. 3(2): 131-140 p., 2006.

POMÁRICO, F. A.; Potencial de utilização da madeira de clones de eucalipto na produção de painéis cimento-madeira. **Dissertação (Mestrado)** – Universidade Federal de Lavras, 2007.

RAMOS E PAULA, L. E.; TRUGILHO, P. F.; REZENDE, R. N.; ASSIS, C. O.; BALIZA, A. E. R. Produção e avaliação de briquetes de resíduos lignocelulósicos. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 31, n. 66, p. 103-112, 2011.

REFRATIL REFRATARIOS – Vermiculita expandida. **Ficha técnica**. Disponível em: <http://www.refratil.com.br/produto/vermiculita-expandida>. Consultado em agosto de 2013.

REIS, M. L. B. C; MOREIRA, A. M. Propriedades dos Materiais. **Apostila**. Instituto Politécnico de Tomar – IPT/ESTT. Portugal: 44 p., 2009.

RIBEIRO, L. M.; LADCHUMANANANDASIVAM, R.; Galvão, A. O.; BELARMINO, D.D. Flamabilidade e retardância de chama do compósito: poliéster insaturado reforçado com fibra de abacaxi (PALF). **HOLOS**, Ano 29, Vol 1, 2003.

ROCKFIBRAS – Rock Fibras isolantes térmicos e acústicos. Lã de Rocha Thermax. **Ficha Técnica**. Disponível em: <http://www.rockfibras.com.br/index.html>. Consultado em julho de 2013.

ROQUE, C. A. L. Paineis de madeira aglomerada. SET805.doc. 1998. Disponível em: www.bndes.gov.br. Consultado em outubro de 2013, 22 p.

ROWEL, R. M. Composite materials from forest biomass: a review of current practices, science, and technology. In: DIMITRIS S. A. (Ed.). Materials, chemicals, and energy from forest biomass. Carolina do Norte: **ACS Publications**, 2007. p 76-92.

ROWELL, R. M.; LEVAN-GREEN, S. L. Thermal Properties. In: ROWELL, R. M (Ed). **Handbook of Wood Chemistry and Wood Composities**. Boca Raton, FL: CRC Press, 2005, 487p.

RUIVO, J.; VEIGA, J. Resíduos de construção e demolição: Estratégia para um modelo de gestão. **Trabalho Final de Curso** em Engenharia do Ambiente, Instituto Superior Técnico, 2004.

SAADATNIA, M.; EBRAHIMI, G.; TAJVIDI, M. Comparing sound absorption characteristic of acoustic boards made of Aspen particles and different percentage of Wheat and Barely straws. **17th World Conference on Nondestructive Testing**, 25-28 Oct 2008, Shanghai, China.

SALVO, R. V.; OLIVEIRA, E. C.; TEODORO, E. B. Construção de um tubo de impedância. In: 15º POSMEC - Simpósio do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. **Anais...** Universidade Federal de Uberlândia. Minas Gerais: 2005.

SANTOS, G. G. D. Análise e perspectivas de alternativas de destinação dos resíduos sólidos urbanos: o caso da incineração e da disposição em aterros. **Dissertação de Mestrado**. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2011, 193 p.

SANTOS, G. J.; BATTISTELLE, R. A. G. Avaliação acústica das chapas de partículas produzidas com bagaço de cana-de-açúcar e folha caulinar de bambu. In: CIMAD 11 – 1º Congresso Ibero-Latino Americano da Madeira na Construção, 7-9/06/2011, **Anais...** Coimbra, PORTUGAL.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria dos Negócios da Segurança Pública. Polícia Militar. Corpo de Bombeiros. **Instrução Técnica no 3/2004: terminologia de segurança contra incêndio**. In: Regulamento de segurança contra incêndio das edificações e áreas de risco: Decreto Estadual no 46.076/01. São Paulo: Corpo de Bombeiros, 2005a. p. 153.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria dos Negócios da Segurança Pública. Polícia Militar. Corpo de Bombeiros. **Instrução Técnica no 2/2004: conceitos básicos de segurança contra incêndios**. In: Regulamento de segurança contra incêndio das edificações e áreas de risco: Decreto Estadual no 46.076/01. São Paulo: Corpo de Bombeiros, 2005b.

SEITO, A. I.; GILL, A. A.; PANNONI, F. D.; ONO, R.; SILVA, S. B.; DEL CARLO, U.; SILVA, V. P. **A segurança contra incêndio no Brasil**. São Paulo: Projeto Editora, 2008. Cap. 3, p. 19-33.

SELLERS JR., T. **Plywood and Adhesive Technology**. Forest Products Utilization Laboratory. FPL, Mississippi, 661 p., 1985.

- SILVA, S. C.; REZENDE, W. B. O imperador Nero e as perseguições aos cristãos no I século D.C.: um estudo da obra *Annales de Tácito*. **Linguagem Acadêmica**, Batatais, v. 1, n. 1, p. 157-172, 2011.
- SILVA, V. L. D. Comportamento mecânico e de flamabilidade de compósito de propileno reciclado com fibra de coco e hidróxido de alumínio. **Dissertação de Mestrado**. Universidade Federal do Paraná (UFPR). 2006. 119 p.
- SIMPSON, W. T. **Dry Kiln Operator's Manual**. Forest Products Utilization Laboratory. FPL, 1991.
- SOUZA, F. Propriedades Mecânicas, Físicas, Biológicas e Avaliação Não-Destrutiva de Painéis de Lâminas Paralelas (LVL) com Madeira de *Pinus oocarpa* e *P. kesiya*. 2009. xv, 133p., 210 x 297 mm (EFL/FT/UnB), Mestre, **Dissertação de Mestrado** – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.
- SOUZA, J. D. R. B. Adesivos alcalinamente ativados: ativação com silicato de potássio e silicato de sódio. **Dissertação de Mestrado**. Universidade Federal da Paraíba (UFPB). João Pessoa – PB: 2009, 98 p.
- SOUZA, R. B. Estudo de propriedades acústicas e aplicações de materiais poliméricos. **Monografia**. Faculdade de Tecnologia de Sorocaba (FATEC). SOROCABA – SP: 2012, 41 p.
- STARK, N.; SCHENEIDER, J. P. Waste-wood-derived fillers for plastics. Madison: USDA, Forest Product Laboratory, 1996. **General Technical Report FPL-GTR-91**.
- STECK, G. Wood-based panels - plywood. **Timber Engineering**. STEP 1. A10/1-A10/9. 1995.
- TANIGUTI, E. K. Método construtivo de vedação vertical interna de chapas de gesso acartonado. **Dissertação de Mestrado**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo: 1999. 303 p.
- TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY - **TAPPI T240 om93** - Consistency (concentration) of pulp suspensions.
- THE WORLD BANK. What a waste: **A Global Review of Solid Waste Management**. In: Urban Development Series. Washington, DC: 2012. 116 p.
- TOMASELLI, I.; DELESPINASSE, B. A Indústria de painéis do Brasil. A tendência de mudança no perfil da produção brasileira. **STCP Informativo**, n.1, p.17-20, 1997.
- TROITZSCH, J. Fire safety of E&E equipment standards, tests and studies. *Plastics Flammability Handbook: Principles, Regulations, Testing and Approval*, ed. 3, 750 p., 2004. **Polymer Degradation and Stability**. V. 64, p. 557-560, 1999.
- UCHÔA, S. B. B. Condutividade Térmica da Madeira. 1989. **Dissertação de Mestrado**. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.
- UNDERWRITERS LABORATORIES. **UL94**: Tests for Flammability of Plastic Materials for Parts in Devices and Applications.
- UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA) – **Non-Hazardous Waste: Municipal Solid Waste**. 2012. Disponível em: <http://www.epa.gov/waste/nonhaz/municipal/>. Consultado em: maio de 2013.

- VAZ, S. M. Avaliação técnica e económica de casas pré-fabricadas em madeira maciça. **Dissertação de Mestrado**. Faculdade de Engenharia Universidade do Porto – FEUP. Portugal: 148 p., 2008.
- VENTURA, A. M. F. M. Os Compósitos e a sua aplicação na Reabilitação de Estruturas metálicas. **Ciência & Tecnologia dos Materiais**, Vol. 21, n.º 3/4, 2009.
- VIANNA, N. S.; RAMOS, J. O. Acústica arquitetônica & urbana. **Apostila do Curso de Extensão em Arquitetura e Urbanismo da Empresa YCON**. 2005, 79 p.
- WALKER, J. C. F. **Primary Wood Processing – Principles and Practice**. 2nd Edition. Springer, 2006, 596 p.
- WANG, J. Y.; TOURAN, A.; CHRISTOFOROU, C.; FADLALLA, H. A systems analysis tool for construction and demolition wastes management. **Waste Management**, v.24, p. 989–997, 2004.
- WESTPHAL, F. S.; MARINOSKI, D. L.; LAMBERTS, R. Isolantes térmicos e acústicos para construção civil. LABEEE: Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. **Apostila ppt**. 51 p. Disponível em: www.labeee.ufsc.br/conforto.
- WHITE, R. H. **Analytical Methods for Determining Fire Resistance of Timber Members**. 3th. Westford: society of Fire Protection, 2002. cap. 11.
- WIECHETECK, M. **Aproveitamento de resíduos e subprodutos florestais, alternativas tecnológicas e propostas de políticas ao uso de resíduos florestais para fins energéticos**. Projeto PNUD BRA 00/20 - Apoio às Políticas Públicas na Área de Gestão e Controle Ambiental. CURITIBA-PR: Ministério do Meio Ambiente (MMA). Secretaria de Mudanças Climáticas e Qualidade Ambiental. Secretaria de Biodiversidade e Florestas. 2009, 40 p.
- YANG HS1, KIM DJ, KIM HJ. Rice straw-wood particle composite for sound absorbing wooden construction materials. **Bioresour Technol**. 2003 Jan; 86(2):117-21.
- YANG, H. S.; KIM, D. J.; LEE, Y. K.; KIM, H. J.; JEON, J. Y.; KANG, C. W. Possibility of using waste tire composites reinforced with rice straw a construction materials. **Bioresource Technology**. Volume 95, Issue 1, October 2004, Pages 61–65.
- YOUNGQUIST, J. A. Wood-based Composites and Panel Products. In: Forest Products Laboratory. (FPL) **Wood handbook—Wood as an engineering material**. 463 p. 1999.

