

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-MECÂNICA DE PAINÉIS
AGLOMERADOS DE *Eucalyptus grandis* COM ADIÇÃO DE RESÍDUOS
INDUSTRIAIS MADEIREIROS**

FERNANDA CRISTINA PIERRE

Tese apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas da UNESP – Campus de
Botucatu, para a obtenção do título de Doutor
em Ciência Florestal.

BOTUCATU – SP
Dezembro - 2010

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-MECÂNICA DE PAINÉIS
AGLOMERADOS DE *Eucalyptus grandis* COM ADIÇÃO DE RESÍDUOS
INDUSTRIAIS MADEIREIROS**

FERNANDA CRISTINA PIERRE

Orientador: Prof. Dr. Adriano Wagner Ballarin

Co-Orientador: Prof. Dr. Hernando Alfonso Lara Palma

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP – Campus de Botucatu, para a obtenção do título de Doutor em Ciência Florestal.

BOTUCATU – SP
Dezembro - 2010

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - SERVIÇO TÉCNICO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

P622c Pierre, Fernanda Cristina, 1979-
Caracterização físico-mecânica de painéis aglomerados de *Eucalyptus grandis* com adição de resíduos industriais madeireiros / Fernanda Cristina Pierre. - Botucatu : [s.n.], 2010.
viii, 122 f. : il. color., gráfs., tabs., fots. color.

Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu, 2010
Orientador: Adriano Wagner Ballarin
Co-orientador: Hernando Alfonso Lara Palma
Inclui bibliografia.

1. *Eucalyptus grandis*. 2. Paineis aglomerados. 3. Propriedades físico-mecânicas. 4. Resíduos industriais madeireiros. I. Ballarin, Adriano Wagner. II. Lara Palma, Hernando Alfonso. III. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu. Faculdade de Ciências Agrônomicas. IV. Título.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"

FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS

CAMPUS DE BOTUCATU

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: "CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-MECÂNICA DE PAINÉIS AGLOMERADOS
DE Eucalyptus Grandis COM ADIÇÃO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS
MADEIREIROS"

ALUNA: FERNANDA CRISTINA PIERRE

ORIENTADOR: PROF. DR. ADRIANO WAGNER BALLARIN

CO-ORIENTADOR: PROF. DR. HERNANDO ALFONSO LARA PALMA

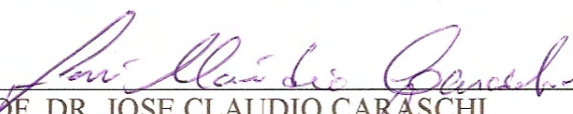
Aprovado pela Comissão Examinadora



PROF. DR. ADRIANO WAGNER BALLARIN



PROF. DR. FRANCISCO ANTONIO ROCCO LAHR



PROF. DR. JOSE CLAUDIO CARASCHI



PROF. DR. VLADIMIR ELIODORO COSTA



PROF. DR. MARCOS ANTONIO DE REZENDE

Data da Realização: 08 de dezembro 2010.

Aos meus pais,

Izilda Narcisa Martins Pierre e Roberto Borsari Pierre

Pelo encorajamento, amor, dedicação e ensinamentos que formaram os alicerces de minha história.

A minha filha,

Júlia Pierre Dal Farra

Fonte de toda força e vontade que carrego comigo ao despertar de cada manhã.

Ao meu companheiro,

Renato Augusto Acerra

Por todo apoio, amor, compreensão e pela companhia ao longo da trajetória que me levou a concretização desse sonho.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Adriano Wagner Ballarin e Prof. Dr. Hernando Lara Palma, meus estimados orientadores, pelos ensinamentos, confiança, paciência e colaboração em todas as etapas desse trabalho e pela amizade firmada nesses anos.

À Empresa Eucatex S. A. Indústria e Comércio, pela oportunidade e apoio na realização desse projeto de vida e pelas valiosas informações que resultaram nesse trabalho.

À Faculdade de Ciências Agronômicas – UNESP – Campus de Botucatu, pela dedicação e excelente formação profissional.

Aos docentes responsáveis pelas disciplinas do curso de pós-graduação em Ciência Florestal, pelos ensinamentos recebidos, que me possibilitaram enriquecimento técnico e profissional.

Aos componentes da banca examinadora Prof. Dr. Francisco Antônio Rocco Lahr, Prof. Dr. José Cláudio Caraschi, Prof. Dr. Vladimir Eliodoro Costa e Prof. Dr. Marcos Antônio Rezende, pelas excelentes sugestões, as quais foram de grande valia pra o enriquecimento das informações contidas nesta tese.

Ao Ailton de Lima Lucas, assistente de suporte acadêmico do Laboratório de Ensaio de Materiais da FCA, pelo constante auxílio dispensado e pela colaboração na realização dessa pesquisa.

Ao Eng^o. José Antônio Dorini, Diretor Industrial da Eucatex, pela confiança e total apoio, sem os quais seria impossível a conclusão desse trabalho.

A Eng^a. Célia Regina Maganha, Gerente Geral de Tecnologia, Qualidade e Meio Ambiente da Eucatex, pela compreensão, amizade sincera, confiança e apoio, essenciais para o término desse projeto de vida.

Ao Eng^o. Marcos César Forti Passaroni, Coordenador da Qualidade, e aos técnicos da Eucatex Carlos Alberto Lara, Fábio César Santos, João Freitas Neto e Miguel Jacinto, pelo carinho e colaboração especial na execução dos ensaios dessa tese.

Aos profissionais e amigos da Eucatex, pelo apoio e colaboração em todas as etapas dessa tese.

A todos aqueles que direta ou indiretamente acreditaram no meu trabalho e me deram o fundamental apoio para que esse resultado fosse alcançado.

SUMÁRIO

	Página
LISTA TABELAS.....	VI
LISTA DE FIGURAS.....	VIII
1 RESUMO.....	1
2 SUMMARY.....	3
3 INTRODUÇÃO.....	5
4 REVISÃO DE LITERATURA.....	8
4.1 Painéis de madeira aglomerada.....	8
4.2 Produção de painéis de madeira aglomerada.....	11
4.2.1 Processo de produção.....	11
4.2.2 Características dos insumos que afetam o processo de produção.....	13
4.2.2.1 Madeira	14
4.2.2.2 Resinas e aditivos.....	15
4.2.3 Influência das variáveis nas propriedades dos painéis aglomerados.....	17
4.2.3.1 Densidade e espécie da madeira.....	17
4.2.3.2 Geometria das partículas.....	20
4.2.3.3 Outras variáveis do processo.....	21
4.3 Propriedades dos painéis de madeira aglomerada..	23
4.3.1 Propriedades físicas.....	24
4.3.1.1 Absorção de água e inchamento em espessura 2 horas.....	24
4.3.1.2 Perfil de densidade.....	25
4.3.2 Propriedades mecânicas.....	25
4.3.2.1 Módulo de elasticidade (MOE).....	25
4.3.2.2 Resistência a flexão estática.....	25
4.3.2.3 Resistência a tração perpendicular.....	26
4.4 Resíduos das indústrias de base florestal.....	26
4.5 Uso de resíduos das indústrias de base florestal na produção de painéis aglomerados.....	29
4.6 Compilação da Revisão Bibliográfica.....	36
5 MATERIAL E MÉTODOS.....	38

5.1	Matéria-prima utilizada na fabricação dos painéis aglomerados.....	38
5.1.1	Madeira e resíduos industriais madeireiros.....	38
5.1.2	Resina e aditivos.....	40
5.2	Fabricação dos painéis na linha de produção.....	41
5.2.1	Produção de cavacos a partir dos toretes e dosagem dos cavacos.....	42
5.2.2	Geração de partículas, adição da serragem, secagem e classificação	46
5.2.3	Aplicação de resinas e aditivos.....	49
5.2.4	Formação do colchão e prensagem dos painéis.....	49
5.3	Ensaio físico-mecânico em corpos-de-prova dos painéis.....	50
5.3.1	Ensaio físico.....	56
5.3.2	Ensaio mecânico.....	56
5.4	Ensaio de determinação do perfil de densidade.....	57
5.5	Modelo experimental e análise dos resultados.....	58
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	59
6.1	Madeira e resíduos industriais florestais.....	59
6.2	Ensaio físico dos painéis.....	63
6.2.1	Densidade dos painéis (DENS).....	64
6.2.2	Absorção de água após 2 horas (ABSR).....	65
6.2.3	Inchamento em espessura após 2 horas (INCH).....	69
6.3	Ensaio mecânico dos painéis.....	72
6.3.1	Módulo de Elasticidade (MOE).....	72
6.3.2	Módulo de Ruptura (MOR).....	76
6.3.3	Resistência a tração perpendicular (TRCP).....	80
6.3.4	Resistência a tração superficial (TRCS).....	83
6.3.5	Resistência ao arrancamento de parafuso.....	84
6.4	Ensaio de determinação do perfil de densidade.....	87
6.5	Compilação dos resultados.....	92
7	CONCLUSÕES.....	95
8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	97
	ANEXO A.....	103
	ANEXO B.....	114
	ANEXO C.....	117

LISTA DE TABELAS

Tabela	Página
1	Valores das propriedades físicas e mecânicas dos painéis de aglomerado..... 24
2	Tratamentos experimentais realizados em linha de produção na Eucatex..... 41
3	Ensaio físico-mecânico realizados e dimensões dos corpos-de-prova..... 57
4	Densidade aparente das matérias-primas..... 60
5	Médias do coeficiente de esbeltez dos tratamentos T1 a T5..... 61
6	Análise granulométrica da CI (%)...... 62
7	Análise granulométrica da CE (%)...... 62
8	Análise de Variância – Densidade (DENS)...... 64
9	Análise dos Valores médios – Densidade (DENS)...... 64
10	Análise de Variância – Absorção de água 2 horas % (ABSR)...... 66
11	Análise dos Valores médios – Absorção de água 2 horas % (ABSR)...... 66
12	Resultados dos trabalhos dos pesquisadores referentes a absorção de água 2h..... 68
13	Análise de Variância – Inchamento em espessura após 2 horas % (INCH)...... 69
14	Análise dos Valores médios – Inchamento (INCH)...... 69
15	Resultados dos trabalhos dos pesquisadores referentes a inchamento em espessura..... 71
16	Análise de Variância – Módulo de Elasticidade Longitudinal (MOEL)...... 72
17	Análise de Variância – Módulo de Elasticidade Transversal (MOET)...... 72
18	Análise dos Valores médios – Módulo de Elasticidade Longitudinal (MOEL)...... 72
19	Análise dos Valores médios – Módulo de Elasticidade Transversal (MOET)...... 73
20	Resultados dos trabalhos dos pesquisadores referentes ao módulo de elasticidade (MOE)...... 75
21	Análise de Variância – Módulo de Ruptura Longitudinal (MORL)...... 76
22	Análise de Variância – Módulo de Ruptura Transversal (MORT)...... 76
23	Análise dos Valores médios – Módulo de Ruptura Longitudinal (MORL)...... 76
24	Análise dos Valores médios – Módulo de Ruptura Transversal (MORT)...... 77
25	Resultados dos trabalhos dos pesquisadores referentes ao módulo de ruptura (MOR)...... 79
26	Análise de Variância – Tração Perpendicular (TRCP)...... 80
27	Análise dos Valores médios – Tração Perpendicular (TRCP)...... 81

28	Resultados dos trabalhos dos pesquisadores referentes a resistência a tração perpendicular.....	82
29	Análise de Variância – Tração Superficial (TRCS).....	82
30	Análise dos Valores médios – Tração Superficial (TRCS).....	83
31	Análise de Variância – Arrancamento de Parafuso – Face (PRFF).....	84
32	Análise de Variância – Arrancamento de Parafuso – Lado (PRFL).....	84
33	Análise de Valores Médios – Arrancamento de Parafuso – Face (PRFF).....	85
34	Análise de Valores Médios – Arrancamento de Parafuso – Lado (PRFL).....	85
35	Resultados dos trabalhos dos pesquisadores referentes ao arrancamento de parafuso.....	87
36	Análise de Variância – Perfil de densidade – Valor médio (PDMI).....	87
37	Análise de Variância – Perfil de densidade – Valor mínimo (PDMN).....	88
38	Análise de Variância – Perfil de densidade – Valor máximo esquerdo (PDME)....	88
39	Análise de Variância – Perfil de densidade – Valor máximo direito (PDMD).....	88
40	Análise de Valores médios – Perfil de densidade – Valor médio (PDMI).....	88
41	Análise de Valores médios – Perfil de densidade – Valor mínimo (PDMN).....	89
42	Análise de Valores médios – Perfil de densidade – Valor máximo esquerdo (PDME).....	89
43	Análise de Valores médios – Perfil de densidade – Valor máximo direito (PDMD).....	90

LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
1	Fluxograma do processo geral de produção de painéis de madeira aglomerada.....	13
2	Fluxograma de produção dos painéis.....	42
3	Produção de cavacos a partir dos toretes. a) toretes de madeira utilizadas no processo; b) transporte dos toretes para o descascador; c) visão interna do descascador; d) picador de discos.....	43
4	Etapas da dosagem do cavaco reciclado na linha de produção. a) Triturador do reciclado; b) Cavaco do reciclado; c) Alimentação do cavaco; d) Rosca dosando o cavaco de reciclado.....	44
5	Etapas da dosagem do cavaco de reciclado na linha de produção (cont): a e b) Alimentação do cavaco de reciclado na esteira de saída do picador; c) Cavaco de reciclado na esteira após a dosagem; d) Esteira de alimentação (1), encontro das esteiras de ambos os cavacos (2) e a peneira (3).....	45
6	Classificação e armazenamento da mistura de cavacos. a) peneira vibratória de classificação; b) Pátio coberto de armazenamento da mistura de cavacos.....	46
7	Adição da serragem às partículas. a) estocagem de serragem; b) até d) transporte da serragem dosada ao silo de partículas úmidas.....	47
8	Secção do painel aglomerado em 4 faixas.....	51
9	Máquina universal de ensaios marca IMAL, utilizada na realização de ensaios físico-mecânicos dos corpos-de-prova das faixas 1 e 3. a) vista geral da máquina; b) detalhe do sistema de medição de dimensões dos corpos-de-prova, com uso de transdutor digital.....	52
10	Disposição dos corpos-de-prova das faixas 2 e 4 na câmara climática do Laboratório da Madeira – FCA – UNESP – Botucatu/SP.....	53
11	Máquina universal de ensaios EMIC-DL 10000 utilizada na realização dos ensaios mecânicos dos corpos-de-prova das faixas 2 e 4. a) vista geral do equipamento; b) detalhe da realização de ensaio.....	54
12	Plano de corte dos corpos-de-prova para diversos ensaios físicos e mecânicos.....	55
13	Máquina para determinação do perfil de densidade dos painéis.....	58
14	Cavaco de madeira de <i>Eucalyptus grandis</i> (1) e o cavaco do reciclado (2).	60
15	Correlação entre o módulo de elasticidade e o módulo de ruptura à flexão	80
16	Comparação dos valores máximo direito e máximo esquerdo do perfil de densidade.....	91

1 RESUMO

O setor de painéis de madeira tem apresentado forte dinamismo no mundo e, em especial, no Brasil. 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 – Painel de Densidade Média e OSB – Painel Orientado) 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.

No Brasil, a madeira de florestas plantadas – em especial, de eucalipto e de pinus – constitui a principal fonte de matéria-prima para produção de painéis aglomerados. O aproveitamento dos resíduos florestais para produção desses painéis ainda não foi implementado em nível industrial.

A incorporação de resíduos florestais no processo produtivo demanda alterações de ordem tecnológica, organizacional e gerencial para racionalizar o uso dos recursos madeireiros.

Este trabalho teve por objetivo avaliar as propriedades dos painéis de madeira aglomerada de três camadas, fabricados industrialmente, utilizando madeira de *Eucalyptus grandis* e resíduos industriais madeireiros (material reciclado de paletes e serragem, em diferentes proporções, variando de 10% a 35% em volume). Avaliaram-se as propriedades físicas e mecânicas dos painéis de madeira aglomerada fabricados com partículas de *Eucalyptus grandis* e resíduos industriais madeireiros e o efeito da mistura de diferentes proporções destes resíduos nas propriedades dos painéis. O material foi disponibilizado pela

Eucatex S. A. Ind. e Com. da Unidade MDP localizada no município de Botucatu – SP, onde foram fabricados os painéis em escala industrial e os ensaios físicos e mecânicos foram realizados nos laboratórios de processo da Eucatex e no Laboratório de Ensaio de Materiais do Departamento de Engenharia Rural da Faculdade de Ciências Agrônômicas – UNESP – Botucatu, SP.

Os resultados obtidos revelaram que os painéis estudados tiveram bom desempenho físico-mecânico, atendendo, no geral, as especificações técnicas estabelecidas pelas normas técnicas, mesmo nos tratamentos com as maiores proporções de adições. Não houve efeito da posição ao longo do painel nas propriedades físicas e mecânicas. O teor de umidade final do painel apresentou efeito nas propriedades estudadas com tendência generalizada de redução das propriedades mecânicas quando o teor de umidade aumentava de 9% para 13%. Da mesma forma, houve diminuição nos valores de absorção de água e inchamento em espessura quando aumentava o teor de umidade final do painel de 9% para 13%. Os resultados de desempenho obtidos permitiram a indicação de uso desses resíduos em escala industrial de produção desses painéis.

Na continuidade dessa linha de pesquisa, sugere-se a avaliação do desempenho físico-mecânico de painéis industriais produzidos com maiores proporções de resíduos industriais madeireiros, fazendo-se, para isso, adaptação dos equipamentos industriais ora utilizados.

Palavras-chave: painel aglomerado, *Eucalyptus grandis*, propriedades físico-mecânicas, resíduos industriais madeireiros.

PHYSICAL AND MECHANICAL CHARACTERIZATION OF PARTICLEBOARD PANELS MADE FROM *Eucalyptus grandis* WITH ADDITION OF INDUSTRIAL WOOD RESIDUES

2 SUMMARY

The sector of wood panels has presented strong dynamism in the world and, specially, in Brazil. This market comes suffering changes, in function of the following factors: search of alternatives to wood; technological modernization of the manufacturer park, that promoted the offering of new products (MDF – Medium Density Fiberboard, and OSB – Oriented Strandboard) and the improvement of products quality (the evolution from particleboard to MDP – Medium Density Particleboard); reduction of the interests and improvement of the gains of population in general, that had given fort impulse to civil construction and furniture sector, both consumers of wood panels. In Brazil, wood from planted forests - in special, of eucalyptus and pinus - constitutes the main material source for the production of particleboards. The utilization of the forest residues for production of these panels was not implemented in industrial level yet.

The incorporation of industrial wood residues in the productive process demands alterations of technological, organizational and managerial order to rationalize the use of the industrial wood resources. This work had the objective of evaluating the properties of three layers particleboard, industrially manufactured, using wood of *Eucalyptus grandis* from plantation and industrial wood residues, in different ratios (adittion from 10% to 35% in volume). The physical and mechanical properties of these particleboard

and the effect of the mixture of different ratios of these residues in the properties of the panels had been evaluated. The material (*Eucalyptus grandis* wood and industrial residues) was supplied by Eucatex S. A. Ind. e Com. located in Botucatu – Sao Paulo State, Brazil, where the panels had been manufactured in Eucatex plant. Physical and mechanical tests were carried out at the process laboratories of Eucatex and in the Materials Testing Laboratory, Rural Engineering Department of the College of Agronomic Sciences – Sao Paulo State University - UNESP.

Results revealed that panels had very good physical and mechanical performance, attending, in general, to all the technical specifications established by the product standards, even in the treatments with higher addition of residues. It was not observed influence of the sample position throughout the panel in the physical and mechanical properties measured. The final moisture content of the panel presented effect in the properties studied with general trend of reduction of the mechanical properties when the equilibrium moisture content increased from 9% to 13%. In the same way, it was observed an decrease in water absorption and swelling in thickness when the moisture content increased from 9% for 13%.

Results obtained in the physical and mechanical trial performed allowed the indication of incorporation of such residues in the industrial production of these panels.

In the continuation of this research program it is suggested the evaluation of physical and mechanical performance of panels made industrially with higher ratios of residues addition

Keywords: particleboard, *Eucalyptus grandis*, physical and mechanical properties, wood industries resources.

3 INTRODUÇÃO

Os painéis são produtos de grandes superfícies construídos a partir de elementos de madeira ou outros materiais lignocelulósicos de vários tamanhos (ex. fibras, partículas, lâminas, etc.) unidos por meio de aglutinantes ou aproveitando as propriedades auto-aglutinantes de alguns dos componentes do material lignocelulósico.

O setor de painéis de madeira tem apresentado forte dinamismo no mundo e, em especial, no Brasil. A capacidade nominal instalada dos painéis de madeira reconstituída¹, em 2009, foi de 8,52 milhões de m³, um aumento de 40% quando comparado com 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 e 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 (ABIPA, 2010).

Particularmente para o aglomerado, produto em forma de painel² constituído por partículas de madeira aglutinadas por meio de resinas termofixas, sob a ação de calor e pressão, o mercado brasileiro alcançou 2,5 milhões de m³ em 2009, registrando crescimento sobre 2005 de aproximadamente 20% (ABIPA, 2010).

No mundo, como matérias-primas para a produção dos painéis aglomerados são empregados resíduos industriais de madeira, resíduos da exploração florestal,

¹ Os autores consideram painéis de madeira reconstituída os seguintes: aglomerado, MDF e painel de fibra dura.

madeiras de qualidade inferior, não-industrializáveis de outra forma, madeiras provenientes de florestas plantadas e reciclagem de madeira sem serventia. A prática de utilização de resíduos industriais madeireiros na indústria de painéis reconstituídos é bastante comum no exterior, sobretudo nos países da Europa.

No Brasil, a madeira de florestas plantadas – em especial, de eucalipto e de pinus – constitui a principal fonte de matéria-prima. Embora o propósito inicial das primeiras indústrias de painéis aglomerados no mundo tenha sido o aproveitamento dos resíduos florestais, no Brasil, essa prática ainda não foi implementada em nível industrial, restringindo-se a poucos trabalhos acadêmicos, realizados em escala laboratorial. Na grande maioria desses trabalhos, o resíduo incorporado é a casca das árvores.

O setor madeireiro apresenta grande potencial para aproveitamento de resíduos industriais, já que é caracterizado pela alta geração de desperdícios na cadeia de produção (BONDUELLE *et al.*, 2002).

A despeito da prática nacional de utilização de madeira de florestas plantadas na produção destes painéis, atualmente, devido, sobretudo à grande disponibilidade de resíduos gerados por outros segmentos do setor florestal, as indústrias tem-se mostrado mais receptivas à incorporação desses resíduos nos processos produtivos.

Neste sentido, a incorporação de resíduos industriais madeireiros no processo produtivo, demanda alterações de ordem tecnológica, organizacional e gerencial para racionalizar o uso dos recursos madeireiros.

O objetivo geral deste trabalho foi avaliar as propriedades físicas e mecânicas de painéis de madeira aglomerada de três camadas, fabricados industrialmente, utilizando madeira de *Eucalyptus grandis* e resíduos industriais florestais (serragem e material reciclado de paletes) em diferentes proporções.

² Embora a NBR 14810 se refira a chapa de madeira aglomerada, neste trabalho é adotada a terminologia “painel de madeira aglomerada” ou simplesmente “painel aglomerado”, julgada mais adequada.

O trabalho teve, ainda, os seguintes objetivos específicos:

- Avaliar a variação das propriedades físicas e mecânicas “intra-painel”, mediante a amostragem em diferentes posições ao longo de seu comprimento;
- Avaliar o efeito do teor de umidade final do painel de 9% e de 13% nas propriedades estudadas.

4 REVISÃO DA LITERATURA

4.1 Painéis de madeira aglomerada

De acordo com a norma brasileira NBR 14810-1 (ABNT, 2006), chapa de madeira aglomerada é um produto em forma de painel, variando de 3 mm a 50 mm de espessura, constituído por partículas de madeira aglomeradas com resinas naturais ou sintéticas termofixas, sob a ação de pressão e calor. 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. Durante o processo de fabricação, podem ainda ser incorporados aditivos para prover painéis de características específicas.

Os painéis de madeira aglomerada foram desenvolvidos no período da segunda guerra mundial na Alemanha, devido a falta de disponibilidade de madeira de boa qualidade para produção de painéis compensados. Desta forma, procuraram-se fontes de matéria-prima como resíduos de madeira para produção de aglomerados como alternativa para suprir a demanda por painéis compensados (IWAKIRI *et al.*, 2005).

De acordo com Mattos *et al.* (2008), os painéis de madeira reconstituída (aglomerados, MDF, painéis de fibra dura, compensados e OSB) são, atualmente, os mais consumidos no mundo. No período entre 1995 e 2005, o consumo mundial de painéis aglomerados cresceu a uma taxa média anual de 4,2%. Individualmente, os

principais países consumidores são os Estados Unidos (32%), a Alemanha (10%) e a China (7%).

A produção mundial de aglomerado alcançou 99,7 milhões de m³, em 2005, destacando-se os Estados Unidos como maior produtor responsável por 21% deste volume. O Brasil ocupa o nono lugar, com 2% do volume fabricado no mundo. A Europa concentra metade das transações realizadas. A comercialização se dá, preferencialmente, entre regiões próximas, dado que o preço do aglomerado não suporta valores de fretes para grandes distâncias (MATTOS *et al.*, 2008).

A Europa é a principal região exportadora, enquanto a Ásia é a principal importadora. Os Estados Unidos são o maior país importador, com 36% do volume, enquanto o Canadá é o maior exportador, tendo movimentado 34% do volume exportado. Merece destaque a condição de importador líquido de aglomerado do continente asiático, que, em 2005, importou 4,5 milhões de m³ e exportou 2,6 milhões de m³ (MATTOS *et al.*, 2008).

Os países importadores do aglomerado brasileiro incluem um total de dezoito países, dentre os quais se destacam os países sul americanos. A Argentina, Colômbia, Bolívia, Paraguai e Peru, importaram juntos 19 mil m³ deste produto em 2009, correspondente a 94% do total das exportações brasileiras (MERCADO, 2010).

O aglomerado começou a ser fabricado no Brasil na segunda metade da década de 1960, quando o grupo francês Louis Dreiffus construiu a primeira fábrica - Placas do Paraná - em Curitiba. Posteriormente, em 1970 foi montada a fábrica da Satipel - Taquari (RS). Seguiram-se a ela as fábricas do grupo nacional Peixoto de Castro (Madeplan e Alplan) e a do grupo alemão Freundemberg - Itapetininga (SP) - todas elas adquiridas em 1984 pela Duratex. Pode-se caracterizar esse período como o fim do ciclo das prensas cíclicas, que era a tecnologia usualmente empregada na fabricação desse painel. A partir dos anos 1990, iniciou-se um novo ciclo de investimento em capacidade de produção, com base na tecnologia das prensas contínuas. As fábricas antigas foram se modernizando e ampliando suas capacidades produtivas, ao mesmo tempo em que surgiam novos participantes, como a Eucatex - Botucatu (SP), em 1996, e a Tafisa - Curitiba (PR), empresa do grupo português Sonae, em 1998.

Com esses grandes investimentos em modernização, atualmente 80% da capacidade instalada de produção é oriunda de unidades que funcionam com prensas contínuas. Essas unidades obtêm custos menores de produção, uma vez que puderam reduzir o consumo de matéria-prima, diminuir as perdas no processo de lixamento, reduzir o número de empregados e consumir menos energia. Além disso, a modernização, a ampliação de capacidade e o aumento do número de fabricantes permitiram às fábricas aumentar a sua flexibilidade operacional, fabricando painéis de diferentes dimensões, além de estimular a competição entre os fabricantes, viabilizando redução de preços.

O consumo brasileiro de aglomerado, no período 1995–2005 evoluiu de 866 mil m³ para 2.098 mil m³, o que representou um crescimento médio anual de 9,3%, superior à taxa mundial de 4,5%. Esse crescimento pode ser associado, de forma particular, à evolução tecnológica, ao conseqüente aprimoramento de sua qualidade e ao resultado do trabalho das empresas fabricantes, tanto para a melhoria da percepção do consumidor final em relação à qualidade do painel quanto para capacitação técnica dos usuários, principalmente os fabricantes de móveis, divulgando a correta utilização do produto (MATTOS *et al.*, 2008).

Os painéis aglomerados são vendidos na forma natural (62% da produção) e revestido (38%) - na forma *finish foil* e BP (baixa pressão) - o que agrega valor ao painel “cru”.

No Brasil, cerca de 89% da produção é destinada aos pólos moveleiros. Uma parcela expressiva é comercializada diretamente com as fábricas e volumes menores são direcionados para revendedores que atendem os pequenos fabricantes de móveis 5%, a indústria da construção civil 3% e pisos 2% (ABIPA, 2010). Sete fabricantes são responsáveis pela produção de painéis aglomerados e somaram em 2009 uma capacidade instalada total de 4,21 milhões de m³: Satipel, Berneck, Masisa, Duratex, Eucatex, Placas de Paraná/Arauco e Tafisa. São localizados nas Regiões Sul e Sudeste, principais centros de consumo e onde se situam os pólos moveleiros de maior expressão (ABIPA, 2010).

De uma forma geral, os aglomerados possuem uma série de vantagens em relação à madeira serrada, tais como: minimização dos efeitos da anisotropia, uniformidade das propriedades físico-mecânicas no painel, eliminação de defeitos naturais da madeira, possibilidade de controle das propriedades físico-mecânicas do painel por meio das

variáveis do processo produtivo, menor exigência em termos de qualidade da matéria-prima, possibilitando uso de resíduos provenientes de outras fontes de processamento, maior produção devido à tecnologia empregada e menor custo de produção (MALONEY, 1993).

4.2 Produção de painéis de madeira aglomerada

4.2.1 Processo de produção ³

Em geral, para produzir o aglomerado, a madeira em um primeiro estágio é transformada em partículas, que são secadas a um teor de umidade de 2 a 3% e, então, classificadas em tamanhos adequados para a produção. Posteriormente, as partículas são misturadas com uma resina sintética e despejadas em uma cinta transportadora, formando um colchão. Finalmente, o colchão de partículas é prensado a uma espessura e densidade específica. Simultaneamente, acontece a cura da resina, como consequência do calor e pressão aplicados pela prensa.

Os painéis aglomerados são geralmente produzidos em múltiplas camadas (3, 5 ou mais) de diferentes tamanhos de partículas, graduadas ou não. Nas camadas externas (superfície do painel) são usadas partículas de menores dimensões, o que permite um melhor acabamento superficial, possibilitando um revestimento do painel de boa qualidade.

A matéria-prima utilizada na fabricação de partículas entra na fábrica na forma de toretes e/ou resíduos. Os toretes, previamente descascados, e os resíduos sólidos são transformados em cavacos. Esses cavacos são transformados em partículas, por meio de moinhos ou refinadores, que são secadas e, posteriormente, classificadas em peneiras vibratórias, giratórias ou classificadores a ar. O propósito desta etapa é separar o material fino, a camada externa (CE) e a camada interna (CI). Finalmente, as partículas já classificadas (camada externa e interna) e secas são transportadas para silos de armazenamento (LARA PALMA, 2009).

³ Parte das informações apresentadas neste item foi compilada da experiência profissional da autora

Os secadores mais comumente usados nessa indústria são os de tambor rotativos, de uma ou três passagens, que utilizam para a geração de calor madeira, gás ou óleo combustível. O teor de umidade das partículas na entrada do secador costuma ser superior a 50% (base úmida) e na saída, entre 2 e 8% (LARA PALMA, 2009).

As partículas armazenadas em silos são transferidas para encoladeiras, para adição de resina, emulsão para melhorar a estabilidade dimensional do painel, catalisadores para acelerar a cura da resina e reduzir o tempo de prensagem e aditivos. Estes produtos são aplicados por meio de bicos pulverizadores, tubos ou atomizadores (LARA PALMA, 2009). A resina uréia-formaldeído é a mais comumente utilizada na produção dos aglomerados, devido ao seu baixo custo (IWAKIRI *et al.*, 2005).

As partículas com resina são transportadas à formadora, a qual deposita o material em forma de um colchão contínuo em uma esteira transportadora, que posteriormente é conduzido à prensa. A formação pode ser feita de forma contínua ou descontínua. A formação contínua caracteriza um alto grau de automação no sistema de fabricação. Os equipamentos utilizados para a formação, em geral utilizam o princípio de distribuição das partículas de forma mecânica, pneumática ou por combinação de ambas. A tendência atual é a utilização de estações formadoras pneumáticas ou por ventilação, por projeção e mecânicas-pneumáticas.

Finalmente, o colchão é prensado a quente para consolidação do painel. A operação de prensagem é normalmente realizada em prensas cíclicas ou contínuas. A prensagem contínua é um método altamente aperfeiçoado na produção de painéis aglomerados. As linhas atualmente utilizadas podem produzir uma grande gama de espessuras, tanto as mais grossas como também painéis finos de apenas três milímetros, tolerância de espessura de até 0,15 mm, economia no consumo de energia e uma grande flexibilidade nas dimensões dos painéis. A capacidade de produção destas linhas varia de 500 a 1500 m³ de painéis a cada 24 horas de operação, dependendo do comprimento e da largura útil da prensa. Depois de prensados, os painéis são resfriados, lixados, dimensionados e armazenados para expedição.

Na Figura 1, é apresentado o fluxograma do processo de produção dos painéis de madeira aglomerada.

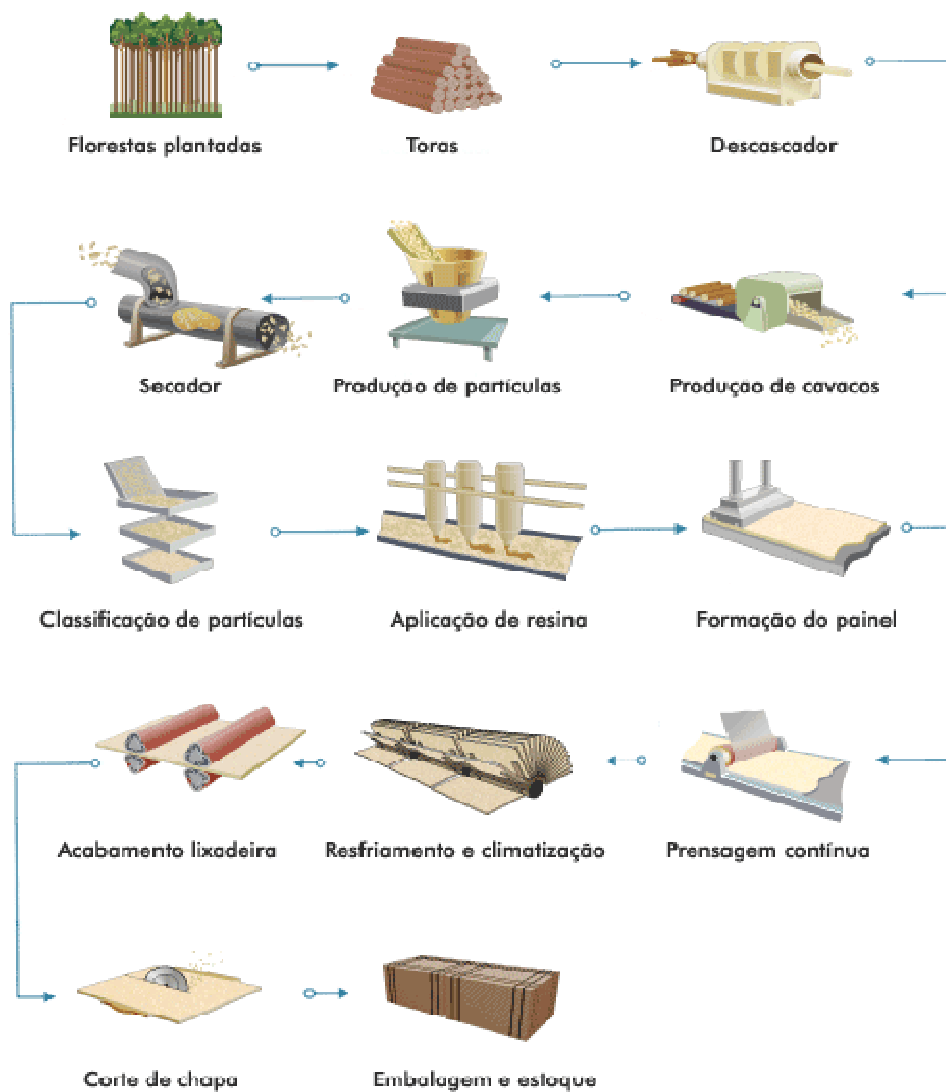


Figura 1 – Fluxograma do processo geral de produção de painéis de madeira aglomerada.

4.2.2 Características dos insumos que afetam o processo de produção

Para assegurar uma boa comercialização do painel, devem ser garantidos valores mínimos de resistências e de propriedades físicas, assegurando a qualidade do produto em conformidade com os requisitos dos variados usos. Assim, uma grande

quantidade de fatores variáveis influencia a qualidade final do aglomerado, os quais devem ser controlados durante o processo de produção. Em uma indústria moderna de partículas, controlam-se mais de trinta parâmetros para se obter a fórmula de produção ótima (POBLETE, 2001).

4.2.2.1 Madeira

De acordo com Lara Palma (2009), a matéria-prima empregada para a fabricação de painéis de partículas é variável, podendo ser: toretes de pequeno diâmetro (com e sem casca), resíduos provenientes do manejo florestal, resíduos provenientes da transformação mecânica da madeira (sobras de serrarias - serragem, costaneiras, refugos, etc; sobras da indústria de compensados - rolo resto, lâminas, etc., sobras de madeira gerada de superfícies secas - maravalhas e refugos das indústrias de móveis, etc) e resíduos de culturas agrícolas.

No Brasil, utiliza-se principalmente madeira em toretes de espécies de rápido crescimento na fabricação de aglomerados, tais como do gênero *Pinus* e *Eucalyptus*.

Nos dias atuais a indústria utiliza quase que exclusivamente toretes de pequenos diâmetros das mais variadas origens e espécies, provenientes de plantios exclusivos para estes fins e também toretes de desbastes, resíduos de exploração, árvores caídas, etc.

Muitas fábricas utilizam toretes com diâmetros que variam de 3 cm a 5 cm (valor mínimo) até 25 cm (valor máximo). É possível produzir partículas de toretes com comprimentos que variam de 0,5 m a 6 m de comprimento, sendo a prática mais comum utilizar toretes de 2 m a 2,5 m.

Dentre as propriedades da madeira, a densidade é a que mais requer monitoramento no recebimento, pois está diretamente relacionada a parâmetros importantes do processo como, por exemplo, a compressibilidade e a quantidade de cola a ser empregada, permanentemente ajustados para garantir boa adesão interna ao painel.

4.2.2.2 Resinas e aditivos

A aplicação de resinas e aditivos é uma fase importante na fabricação de painéis aglomerados, tanto do ponto de vista econômico como da qualidade do produto (KELLY, 1977).

A quantidade de resina que se aplica às partículas de madeira depende das propriedades que se deseja para o painel e varia de acordo com a densidade da madeira, a geometrias das partículas e a porcentagem de finos presentes.

Como regra geral, todas as propriedades dos painéis aglomerados melhoram de maneira proporcional com o aumento do conteúdo de adesivo, em especial a resistência à tração perpendicular, porém o custo de produção aumenta consideravelmente (MALONEY, 1993).

A resina deve ser distribuída o mais uniformemente possível em toda a superfície disponível das partículas, o que se consegue pela pulverização ou atomização da resina em forma aquosa. Assim, a deposição e distribuição da resina nas partículas ocorrem em ambos os lados, em forma de gotículas pequenas e uniformes que, com a aplicação da pressão, passam a constituir quase que um filme contínuo na superfície. A resina uréia-formaldeído é a mais empregada na indústria de aglomerados, sendo utilizada normalmente na forma de emulsão com um conteúdo de 50% a 65% de sólidos. A dosagem é feita por peso ou volume de partículas disponíveis, sendo o peso o mais utilizado (LARA PALMA, 2009).

A viscosidade ideal para a aplicação de resina (pulverizada) é de aproximadamente 250 a 300 cP. Viscosidades muito baixas (resina mais diluída) promovem excessiva penetração da resina nas partículas através dos poros e viscosidades altas (resinas mais grossas) dificultam a aplicação e provocam o entupimento nos bicos aspersores das encoladeiras. A quantidade de resina utilizado nas indústrias depende do tipo de produto final desejado. A porcentagem média de resina recomendada pelos fabricantes é de 6% a 12% de uréia-formaldeído com base no peso seco das partículas (b.p.s.p) e de 3% a 5% b.p.s.p. de fenol-formaldeído. Valores médios recomendados para painéis de partículas de 3 camadas feitas com uréia-formaldeído é de 10% a 12% b.p.s.p. nas partículas da camada externa e de 6% a 8% nas partículas da camada interna (LARA PALMA, 2009).

Outro fator importante no processo de colagem é a umidade das partículas. A umidade das partículas que entram na encoladeira deve ser baixa e uniforme, em todo o material. Pode-se dizer que a soma da umidade das partículas e a da cola aplicada devem estar numa relação tal que permitam uma adequada elasticidade das partículas na prensa e seja também a mais adequada para o processo de cura da resina.

Ainda segundo o autor, alguns pesquisadores demonstraram experimentalmente que é possível produzir aglomerados de igual resistência com umidade de partículas no momento de entrada na prensa (já com a resina adicionada) variando entre 10% e 18%. Observaram que, nesta faixa de umidade, os painéis resultaram com boa resistência à flexão; com umidade de partículas menor que 8% a resistência diminuiu, devido principalmente a falta de flexibilidade necessária para um maior contato entre as superfícies. Umidade na faixa de 18% a 22% promove uma diminuição na resistência à flexão, devido à falta de cura da resina, motivada pelo excesso de água no processo.

Para melhorar as características dos painéis juntamente com a resina são adicionados aditivos químicos tais como: preservantes, hidrófobos e agentes retardantes de fogo. O aditivo mais comumente empregado é a parafina, que funciona como agente hidrófobo, reduzindo a absorção de água dos painéis. A parafina é adicionada na forma de emulsão em teores de aproximadamente 0,2% a 0,5% em relação ao peso seco das partículas (b.p.s.p.) (LARA PALMA, 2009).

4.2.3 Influência das variáveis nas propriedades dos painéis aglomerados

Os parâmetros controláveis no processo de produção do aglomerado podem ser divididos em três grupos: aqueles que são adicionados pela matéria-prima madeira, os que estão relacionados com o adesivo e seus aditivos e aqueles que formam parte do processo de transformação.

4.2.3.1 Densidade e espécie da madeira

A densidade da madeira tem influência significativa tanto nas propriedades do painel de madeira aglomerada como no processo produtivo. Painéis produzidos com espécies de madeira de baixa densidade têm maior resistência à flexão, à tração perpendicular, à tração superficial e maior módulo de elasticidade. A resistência ao arrancamento de parafuso, a absorção de água e o inchamento são pouco afetados por esse parâmetro (MOSLEMI, 1974).

De acordo com o mesmo autor, a razão para o fato da madeira de baixa densidade produzir painéis com maiores resistências, quando comparados com aqueles que utilizam madeira de maior densidade, é que um determinado peso de partículas de uma madeira de baixa densidade gera um maior volume e, consecutivamente, mais partículas que uma mesma quantidade de madeira de alta densidade. Quando estes volumes de madeira (partículas) são comprimidos para produção do painel, ocorre um maior contato relativo entre as partículas de madeira de baixa densidade (devido a maior taxa de compressão ou compactação), pois existem mais ligações por unidade de volume e maior comprimento de “sobreposição” entre as partículas, ocorrendo maior adesão entre elas.

Em resumo, madeiras menos densas contribuem em um aumento do comprimento de sobreposição entre as partículas (maior área de contato) o que resulta em forças maiores transmitidas pela linha de cola e, conseqüentemente, em maior resistência do painel.

A densidade é considerada por muitos autores uma das variáveis da madeira que também influi diretamente no processo geral de produção, pois madeiras mais leves requerem menor energia no processo de corte, secagem e transporte durante o processo de transformação.

A densidade da madeira, em conjunto com a compactação do colchão de partículas, afeta diretamente a densidade final do painel. Uma variação na densidade da madeira obriga a um ajuste na compactação do colchão para manter constante a densidade final do painel. Isto é importante quando são utilizados no processo, por exemplo, duas espécies de diferentes densidades, pois a espécie de menor densidade deverá ser comprimida em uma proporção maior que a espécie de densidade mais alta, ou seja, o volume de madeira a

ser incluída no painel de uma determinada densidade é inversamente proporcional à densidade da espécie. Por esta razão, ao incluir espécies de menor densidade é requerida uma maior compactação para conseguir um maior contato entre as partículas e uma melhoria na eficiência do adesivo (KELLY, 1977).

A densidade do painel está intimamente associada à densidade das madeiras empregadas na sua fabricação e à taxa de compressão necessária para a sua compactação. Essa é a variável que mais afeta as propriedades de resistência dos painéis formados (HILLIG, 2000).

De uma forma geral, a densidade da madeira influi no consumo de adesivo e no volume de partículas a serem comprimidas, o que reflete diretamente nas resistências mecânicas e no acabamento superficial dos painéis (VITAL *et al.*, 1974).

Segundo Mendes *et al.* (2010), painéis com maior densidade apresentarão propriedades físicas e mecânicas superiores, porém uma menor estabilidade dimensional. Para Kelly (1977), painéis com a mesma densidade, porém produzidos com madeiras de baixa densidade apresentarão propriedades mecânicas superiores aos produzidos com madeiras de alta densidade.

Maloney (1993) e Moslemi (1974) afirmaram que as espécies de madeira com densidade de até $0,55 \text{ g/cm}^3$ são as mais recomendadas para produção de painéis de partículas. No entanto, as espécies de maior densidade podem ser utilizadas em mistura com as de menor densidade, podendo, dessa forma, viabilizar o aproveitamento daquelas espécies. Ainda em referência à espécie, segundo Maloney (1993), as variações na densidade da madeira podem influenciar as operações de processamento como: geração de partículas, secagem, consumo de resina e prensagem dos painéis.

Durante o processo de prensagem do painel, o material é densificado até atingir a espessura final desejada. As propriedades físico-mecânicas do painel são altamente influenciadas pela relação entre a densidade do painel e a densidade da madeira utilizada, a qual é denominada de razão de compactação (MOSLEMI, 1974; MALONEY, 1993; KELLY, 1977).

De acordo com Kelly (1977), quanto maior a compactação, maior será o contato entre partículas e entre partículas e adesivo. Dessa forma, podem-se ter painéis com

a mesma densidade final, porém com taxas de compactação diferentes, em função da densidade da madeira.

Ainda segundo o mesmo autor, um grau de compactação mínimo das partículas de madeira é necessário para a consolidação do painel aglomerado durante o ciclo de prensagem. A razão de compactação é a relação entre a densidade do painel e a densidade da madeira utilizada, sendo considerada como faixa aceitável a que compreende os valores entre 1,3 a 1,6, para que ocorra um contato adequado entre as partículas de madeira e formação da ligação adesiva entre elas (MOSLEMI, 1974; MALONEY, 1993).

De acordo com Kawai e Sasaki (1993) citado por Iwakiri *et al.* (2000a), as propriedades mecânicas dos painéis produzidas com diferentes espécies apresentam uma relação direta e linear com a razão de compactação. Por outro lado, painéis com maior razão de compactação resultam em maior inchamento em espessura. Ainda segundo os autores, painéis produzidos com baixa densidade foram mais estáveis dimensionalmente.

Kerh e Schilling, citados por Vital (1973), estudando a possibilidade de utilização de várias espécies de madeira na produção de painéis aglomerados de três camadas, concluíram que as propriedades de absorção de água e inchamento em espessura foram influenciadas, principalmente, pela espécie de madeira.

As propriedades mecânicas dos painéis como módulo de ruptura (MOR), módulo de elasticidade (MOE) e tração perpendicular são, em grande parte, explicadas pela densidade da madeira utilizada. No caso da estabilidade dimensional, entretanto, outras características como orientação das partículas no colchão, estrutura anatômica da matéria-prima, qualidade da colagem, etc. interferem nesta propriedade com a mesma ou maior proporção que a densidade (HILLIG *et al.*, 2004).

El-Osta (1994), citado por Iwakiri *et al.* (2000b), avaliou a influência de diferentes proporções de mistura de madeira das espécies *Casuarina glauca* e *Salix safsaf* e constatou que, com a proporção de 1:1, as propriedades de flexão estática, tração perpendicular, inchamento em espessura e absorção de água melhoraram em comparação aos painéis produzidos com espécies individualmente.

Pesquisas realizadas por Iwakiri *et al.* (1996), em painéis produzidos com mistura de madeiras de *Pinus elliottii* e *Eucalyptus dunnii*, demonstraram que com o aumento na razão de compactação, em função da maior proporção de pinus no painel, resultou em aumento nos valores médios de absorção de água e inchamento em espessura. Por outro lado, a resistência à flexão estática não foi influenciada significativamente com a mistura de duas espécies no painel.

De uma forma geral, no mundo são numerosas as espécies que se utilizam para a produção de painéis aglomerados. A tecnologia disponível faz que a decisão de optar por uma ou outra espécie esteja mais relacionada com aspectos econômicos que tecnológicos. O mais importante é que no momento de decidir qual espécie vai ser utilizada no processo, devem-se ter presente os seguintes aspectos: existência da matéria-prima em volumes adequados, custo conveniente por volume, forma adequada para o processamento e baixos custos de armazenagem e transporte (MOSLEMI, 1974).

4.2.3.2 Geometria das partículas

A forma e o tamanho da partícula influem fortemente na transmissão das propriedades da madeira ao painel. A geometria da partícula (comprimento, espessura e largura da partícula) é uma das principais variáveis que afetam as propriedades dos painéis e o processo de manufatura. De fato, o desempenho dos painéis de partículas é, em grande parte, o reflexo das características das partículas. A resistência mecânica de um painel (a flexão, tração paralela e perpendicular à superfície do painel e ao de prego e parafusos) é fortemente afetada pela geometria das partículas. O parâmetro mais importante obtido da geometria das partículas é a relação entre o comprimento e espessura da partícula (coeficiente de esbeltez), cuja relação aproximada é medida em termos industriais práticos pela granulometria. Esta relação influencia fortemente a resistência à tração perpendicular e à flexão dos painéis. Para cada geometria de partícula está ainda associado outro parâmetro geométrico importante que é a área superficial específica da partícula, definida pela área de contato entre as partículas e a linha de cola.

Parte das propriedades físicas e mecânicas dos painéis aglomerados dependem da variação conjunta do comprimento e espessura da partícula, sendo o coeficiente de esbeltez a medida que melhor se correlaciona com as mudanças destas propriedades (POBLETE, 2001).

De acordo com Barros Filho (2009), na etapa de geração das partículas, onde se define a geometria das mesmas, define-se também o coeficiente de esbeltez, que será decisivo nas propriedades do painel, influenciando as propriedades mecânicas e dimensionais, características de acabamento de face e borda, aplicação de materiais de acabamento e usinabilidade.

Segundo Vital *et al.* (1992), partículas longas e finas produzem painéis com maior resistência à flexão estática e maior estabilidade dimensional, enquanto painéis fabricados com partículas curtas e espessas aumentam a sua resistência à tração perpendicular.

Segundo Moslemi (1974), quando do uso de partículas longas e finas e do emprego de uma mesma quantidade de adesivo, o valor da resistência à tração perpendicular é menor que o obtido com painéis produzidos com partículas curtas e espessas. A geometria da partícula determina a superfície específica do material que se deve recobrir com adesivo. Reduzindo-se a espessura das partículas conservando-se o comprimento, implica em um aumento da superfície específica.

4.2.3.3 Outras variáveis do processo

De acordo com Naumann *et al.* (2008), muitas variáveis do processo produtivo influenciam as propriedades de painéis de aglomerado. Algumas, como a velocidade de fechamento da prensa, a umidade do colchão, densidade do painel, o tipo, a quantidade e a qualidade do adesivo, o tempo e a temperatura de prensagem interagem entre si ou com algumas características da matéria-prima, como o tipo da madeira utilizada, sua densidade, a geometria das partículas, o pH da madeira e outros. Essas interações podem ocorrer simultaneamente e, às vezes, de forma não-linear, favorecendo ou prejudicando algumas propriedades dos painéis. A possibilidade de variar os fatores do processo (umidade,

quantidade e tipo de adesivo, pressão e temperatura) permite incluir na fabricação de painéis de partículas praticamente qualquer material lignocelulósico.

Segundo Iwakiri *et al.* (2005), a transferência de calor ao longo da espessura do painel se dá a partir do contato dos pratos quentes da prensa com a superfície do colchão. Neste momento se dá a evaporação da umidade da camada mais superficial e penetração do vapor em direção às camadas mais internas. Em contato com as partículas mais frias, o vapor condensa-se, transferindo calor, até que se atinja a temperatura para a cura total da resina.

Como consequência dessa transferência de calor das faces para o interior do painel, eles intrinsecamente apresentam um perfil de densidade que é a variação existente na distribuição da densidade a longo da espessura do painel. O efeito da combinação das variáveis no processo de prensagem sobre as características do painel pode ser analisado por meio do comportamento do perfil de densidade. Algumas propriedades como tração perpendicular, resistência ao arrancamento de parafuso e flexão estática estão diretamente associadas à composição do perfil (LARA PALMA, 2009).

Maloney (1993) explicando a formação do perfil de densidade cita o tempo de fechamento da prensa como fator mais importante. O tempo de fechamento da prensa é o tempo gasto do momento em que os pratos da prensa entram em contato com o colchão até o momento que este atinge a espessura final. Está diretamente relacionado ao perfil de densidade do painel. Quanto mais rápido for o fechamento da prensa, maior será o gradiente vertical de densidade, obtendo uma maior densificação das camadas mais externas em relação às camadas mais internas, uma vez que o tempo para a transferência de calor para as camadas mais internas será menor. Este perfil favorecerá a resistência à flexão estática. Por outro lado, quanto mais lento for o fechamento da prensa, menor será o gradiente vertical de densidade, implicando em maior resistência à tração perpendicular (Barros Filho, 2009).

Huang *et al.* (1976) citado por Eleotério (2000) utilizaram metodologia de raios-X e microdensitômetro para avaliar o perfil de densidade em aglomerados e encontraram que a resistência à flexão depende primariamente da resistência nas faces e que a resistência à tração perpendicular depende da densidade da camada central.

Segundo Barros Filho (2009), o teor de umidade das partículas é decisivo nas propriedades dos painéis, pois este teor influenciará diretamente na cura da resina, no tempo de prensagem e na pressão necessária para a consolidação do painel até a espessura desejada final. Teores acima do ideal poderão gerar bolhas de vapor durante o processo de prensagem; em contrapartida, teores abaixo do ideal poderão proporcionar uma secagem exagerada e ocasionar, em situações extremas, combustão e incêndio no secador.

Vários trabalhos evidenciaram que a quantidade de resina também está intimamente relacionada com as propriedades dos painéis. O tipo de adesivo, a quantidade e a composição da mistura de adesivo e aditivos determinam as propriedades e o uso que será dado ao aglomerado. Por exemplo, um aumento da quantidade do adesivo às partículas provoca um efeito positivo na resistência à flexão estática e à tração perpendicular do painel (OKINO *et al.*, 1997).

Chow e Redmond (1981) citado por Eleotério (2000) indicam que uma alta umidade relativa do ar e, conseqüentemente, alto teor de umidade de equilíbrio do painel resultam em redução da densidade o que diminui o módulo de elasticidade e a resistência à flexão.

Finalmente, é importante destacar que tanto as características dos insumos quanto as variáveis de produção do aglomerado são dependentes entre si. Portanto, quando se muda alguma delas, promovem-se alterações obrigatórias nas propriedades dos painéis.

4.3 Propriedades dos painéis de madeira aglomerada

Os resultados obtidos nos ensaios de caracterização tecnológica dos painéis foram comparados com os valores das normas nacional NBR 14810-2 (ABNT, 2006) e internacional EN 312-2 (EUROPEAN STANDARD, 2003).

As propriedades dos painéis especificadas por essas normas são discriminadas na Tabela 1.

Tabela 1. Valores das propriedades físicas e mecânicas dos painéis de aglomerado.

	Propriedades	NBR 14810-2:2006	EN 312-2:2003
Físicas	Densidade (kg/m ³)	551 - 750	551 - 750
	Absorção em 2h (%)	NC	NC
	Inchamento máximo em 2h (%)	8	8
Mecânicas	Tração perpendicular mínima (MPa)	0,35	0,35
	Tração superficial mínima (MPa)	1	NC
	Flexão estática mínima- MOE (MPa) ¹	NC	NC
	Flexão estática mínima- MOR (MPa) ¹	16	13
	Arrancamento de Parafuso Topo - Mínimo (N)	800	NC
	Arrancamento de Parafuso Face - Mínimo (N)	1020	NC

¹Os corpos-de-prova devem ser obtidos metade no sentido transversal e metade no longitudinal dos painéis.

² NC = Não consta a informação na Norma

4.3.1. Propriedades Físicas

4.3.1.1 Absorção de água e inchamento em espessura 2 horas

A absorção de água e inchamento em espessura 2 horas são respectivamente a expressão percentual da quantidade de água absorvida e inchamento em espessura, quando uma amostra condicionada a 20°C e 65% de umidade relativa (UR), que corresponde a uma umidade de equilíbrio de 12%, é imersa em água por 2 horas (ABNT, 2006).

O inchamento em espessura é o somatório das variações em espessura devidas às liberações das tensões de compressão impostas aos painéis durante a prensagem e do inchamento das partículas de madeira (Kelly, 1977).

Para Brito (2006), o inchamento em espessura é uma das propriedades mais importantes em termos de estabilidade dimensional dos painéis. Para esse autor bem como para Iwakiri *et al.* (1996), o inchamento em espessura pode ser afetado pela espécie da madeira, geometria das partículas, densidade dos painéis, nível de resina, nível de aditivos, eficiência da aplicação de cola e condição de prensagem.

4.3.1.2 Perfil de densidade

Conforme já comentado, o perfil de densidade é variação existente na distribuição da densidade ao longo da espessura do painel de partículas. O efeito da combinação das variáveis no processo de prensagem sobre as características do painel pode ser analisado por meio do comportamento do perfil de densidade (LARA PALMA, 2009)

Ainda segundo o autor, algumas propriedades como as ligações internas, resistência ao arrancamento de parafuso e flexão estática estão diretamente associadas à composição do perfil.

4.3.2. Propriedades Mecânicas

4.3.2.1 Módulo de Elasticidade (MOE)

De acordo com Iwakiri *et al.* (1996), o módulo de elasticidade (MOE) é o parâmetro utilizado na avaliação da rigidez de um material submetido a um determinado esforço.

Ele é afetado por diversas variáveis do processo de produção dos painéis, dentre as quais a densidade dos painéis, perfil de densidade, conteúdo de resina, razão de compactação, conteúdo de parafina e dimensões das partículas que refletem no coeficiente de esbeltez (Kelly, 1977).

4.3.2.2 Resistência à flexão estática

A resistência à flexão estática é avaliada pelo módulo de ruptura (MOR) à flexão.

Maloney (1993) define o módulo de ruptura (MOR) como o limite do material, submetido ao esforço máximo até a ruptura.

Segundo Iwakiri *et al.* (1996), como as camadas superficiais apresentam maior densificação do que as camadas internas, estas apresentam também maior

resistência à flexão. Sendo assim, as camadas superficiais do painel exercerão forte influência sobre o MOR.

4.3.2.3 Resistência à tração perpendicular

O ensaio de tração perpendicular mede o grau de adesão entre as partículas em amostras submetidas aos esforços de tração perpendicular. A ruptura ocorre normalmente no plano central de sua espessura, a qual corresponde a região de menor densidade e ligação entre as partículas (IWAKIRI *et al.*, 1996).

4.4 Resíduos das indústrias de base florestal

De acordo com a norma NBR 10004 (ABNT, 2004) os resíduos sólidos são “resíduos nos estados sólido e semi-sólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnica e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível”.

Definem-se como resíduo das indústrias de base florestal, as sobras que ocorrem no processamento mecânico, físico ou químico, e que não são incorporadas ao produto final. No caso da celulose, a casca, a lama de cal, o lodo biológico, o resíduo celulósico e a cinza de caldeira resultante da queima de biomassa, e que são produzidos ao longo do processo de produção, são genericamente classificados como resíduos. A geração de resíduos tem sido significativa no setor florestal. As fábricas de papel e celulose deparam-se com problemas de ordem ambiental, devido à grande quantidade de resíduos gerados, aproximadamente 48 t de resíduos para cada 100 t de celulose produzida. A opção por aterro sanitário para disposição final destes resíduos é inviável, em função dos altos custos para sua

implantação e manutenção, além da exigência de cuidados especiais no manuseio, tendo em vista os riscos de contaminação ambiental (BELLOTE *et al.*, 1998).

Considerando a Cadeia de Processamento Mecânico, Gonçalves (2000) classifica os processos de usinagem da madeira em abate, descascamento, desdobro, laminação, produção de partículas e beneficiamento. Cada um desses processos é formado por diversas operações, as quais definem o trabalho de transformação da forma da madeira num determinado processo, como por exemplo, as operações de corte, seja com uma serra de fita na serraria ou com uma seccionadora na indústria de móveis seriados.

São considerados resíduos florestais, aqueles gerados e deixados na floresta como resultado das atividades de extração da madeira, como por exemplo, toras curtas, galhos, madeira proveniente de trato cultural, entre outros. Calcula-se que cerca de 20% da massa da árvore é deixada no local de colheita, onde até recentemente, eram queimadas a céu aberto.

Segundo Roque e Valença (1998) apud Hillig *et al.* (2006), a indústria de base florestal pode ser dividida, de uma forma geral, de acordo com o produto final obtido que pode ser: lenha, postes, madeira serrada, lâminas de madeira, painéis colados, compensados, aglomerados, chapas duras de fibras, painéis de fibras de média densidade, celulose e papel. Desses produtos, a madeira serrada e os painéis de madeira são alguns insumos da cadeia produtiva madeira e móveis, os quais, por processos de usinagem, geram resíduos sólidos em várias etapas da cadeia.

Os resíduos gerados na etapa do desdobro são serragem ou pó de serra, costaneiras, lascas, maravalhas, resíduos do refilamento, aparas ou destopo e casca (IWAKIRI *et al.*, 2000a).

O beneficiamento da madeira em suas diversas fases gera resíduos, que pelos grandes volumes envolvidos, trazem problemas logísticos e ambientais para sua disposição adequada (PIERRE, 2003).

Por falta de uma destinação imediata, grandes quantidades desses resíduos são simplesmente empilhadas e encontram-se hoje em diversos estágios de decomposição. Muitas vezes, os resíduos são queimados em céu aberto, ou sofrem combustão espontânea com emissão de particulados finos para a atmosfera.

Brand e Hasegawa (2005) num trabalho para determinação da quantidade de resíduos madeiráveis gerados nas indústrias madeireiras em um raio de 150 km do município de Otacílio Costa - SC, verificaram que os resíduos gerados em maior quantidade pelas empresas da região são: cavaco com casca, resíduos de lâminas, serragem e rolo-resto. As atividades com maior representação na produção de resíduos são as serrarias e laminadoras, que se constituem em indústrias de transformação primária da madeira e que produzem em torno de 80% do volume total de resíduos.

Segundo Matoski *et al.* (2002), atividades de desdobro, de laminação das toras e de beneficiamento da madeira serrada nas indústrias acumulam perdas elevadas. Incluem-se também, como fatores que aumentam a geração de resíduos, a presença de defeitos como trincas, deterioração por fungos e insetos que podem ocorrer na madeira maciça. O processo de reaproveitamento de resíduos na indústria madeireira, sobretudo para a geração de energia, é bastante comum nas indústrias deste segmento. O custo elevado da madeira vem atingindo economicamente as indústrias que dela se utilizam como matéria-prima básica e indispensável.

A utilização mais comum dos resíduos do desdobro tem sido a queima direta e, mais recentemente, a produção de aglomerados e painéis *Medium Density Fiber* (MDF). Entretanto, não se utilizam integralmente esses resíduos devido os grandes volumes gerados e sua localização descentralizada.

As alternativas possíveis para sua destinação são a produção de energia, a compostagem, o uso como resíduo estruturante, o uso como lenha, a produção de materiais diversos, a produção de painéis (aglomerados, MDF, OSB e outros) entre outros.

Uma solução adotada pelas indústrias de produção de painéis é a utilização de resíduos como fonte de matéria-prima no processo de produção, como os resíduos industriais (resíduos de serrarias, fábricas de móveis e painéis), resíduos provenientes de exploração florestal (toras curtas, galhos, etc.), madeiras de qualidade inferior (não industrializáveis de outras formas), madeira proveniente de trato cultural de florestas plantadas e reaproveitamento de madeira sem serventia (demolições).

Matoski *et al.* (2002) em levantamento de resíduos gerados em uma indústria de móveis e esquadrias verificou que, apesar do reaproveitamento dos resíduos

gerados dentro da indústria para a fabricação de compensados sarrafeados e geração de energia, não há nenhum controle ou acompanhamento da quantidade de resíduos gerados.

4.5 Uso de resíduos das indústrias na produção de painéis aglomerados

Iwakiri *et al.* (2000a) produziram em laboratório painéis de madeira aglomeradas de *Eucalyptus saligna*, *E. citriodora* e *E. pilularis* e mistura destas espécies. As partículas de madeira foram obtidas a partir de costaneiras provenientes de desdobro de toras em serraria. A quantidade de resina uréi-formaldeído aplicada foi de 8 e 12% base peso seco das partículas. Os painéis foram produzidos à densidade nominal de 800 kg/m³ com as dimensões de 0,45 x 0,55 x 0,015 m e de acordo com o seguinte ciclo de prensagem: temperatura de prensagem 140°C, tempo de prensagem 8 min e pressão específica 40 kg/cm². Foram avaliadas as seguintes propriedades: absorção de água e inchamento em espessura após 2 e 24 horas de imersão em água, módulos de elasticidade e de ruptura em flexão estática e tração perpendicular. Os painéis demonstraram boa estabilidade dimensional e as propriedades de módulo de ruptura e tração perpendicular apresentaram valores médios bem acima do mínimo exigido pela norma CS 236-66. Com base nos resultados obtidos, pode-se recomendar a utilização destas espécies de eucalipto, tanto isoladas como misturadas, para produção industrial de painéis de madeira aglomerada.

Pesquisas realizadas por Iwakiri *et al.* (1996), para painéis produzidos com mistura de madeiras de *Pinus elliottii* e *Eucalyptus dunnii*, demonstraram que com o aumento na razão de compactação, em função da maior proporção de pinus no painel, resulta em aumento nos valores médios de absorção de água e inchamento em espessura. Por outro lado, a resistência à flexão estática não foi influenciada significativamente com a mistura de duas espécies no painel. Na pesquisa desenvolvida com a mistura de madeiras de *Pinus elliottii* e *Mimosa scabrella*, Iwakiri *et al.* (1995) concluíram que a mistura destas espécies, em proporção de 50% cada, resulta em painéis com melhores propriedades físico-mecânicas. Os autores ressaltam a importância destes resultados, tendo em vista a viabilidade de melhor aproveitamento da madeira de *Mimosa scabrella*, utilizada principalmente como lenha e fonte de carvão, um produto de maior valor agregado.

Em outra pesquisa, Iwakiri *et al.* (2000b) avaliaram a viabilidade de utilização da madeira de *Eucalyptus maculata*, *E. grandis* e *E. tereticornis*, na forma de resíduos de processamento em serrarias, para produção de painéis de madeira aglomerada. Foram produzidos 24 painéis, para um total de oito tratamentos definidos em função de três espécies e mistura proporcional destas e dois níveis de resina uréia-formaldeído (8 e 12%). Os painéis foram produzidos com densidade nominal de 750 kg/m³ com as dimensões de 0,45 x 0,55 x 0,015 m e de acordo com o seguinte ciclo de prensagem: temperatura de prensagem 140°C, tempo de prensagem 8 min. e pressão específica 40 kg/cm². As seguintes propriedades físico-mecânicas dos painéis foram analisadas: absorção de água e inchamento em espessura após 2 e 24 horas de imersão em água, tração perpendicular, módulo de elasticidade e módulo de ruptura em flexão estática. Os resultados dos ensaios indicaram que os painéis produzidos com a madeira destas espécies de eucalipto apresentam propriedades físico-mecânicas satisfatórias, em comparação com algumas espécies referenciais como *Pinus elliottii*, *Mimosa scabrella* e *Eucalyptus dunnii*, mencionadas na literatura. Com base nas propriedades mecânicas, o *Eucalyptus maculata* e o *Eucalyptus grandis* foram as espécies que apresentaram melhor comportamento para produção de painéis de madeira aglomerada.

Dacosta *et al.* (2005a) avaliaram as propriedades mecânicas de painéis de madeira aglomerada, confeccionados com resíduos de *Pinus elliottii* Engelm., resultantes do processamento mecânico da madeira. Os painéis foram produzidos com dois tipos de resíduos, cavaco e maravalha, utilizados puros ou misturados. O cavaco é a denominação atribuída à mistura dos resíduos do desdobro da madeira (mistura de cavacos, serragem e casca que foi processada em moinho de martelos) e a maravalha aos resíduos do beneficiamento da madeira. O adesivo utilizado foi à base de uréia-formaldeído em proporções de 4, 8 e 12% com base no peso seco das partículas de madeira, e as densidades nominais dos painéis foram de 600 e 700 kg/m³. Foram avaliadas as propriedades de flexão estática, tração perpendicular, arrancamento de parafuso, absorção de água e inchamento em espessura 2 horas. Foi observado que os corpos de prova de maravalha apresentaram menor inchamento em espessura. Os valores das propriedades de flexão estática aumentaram com a proporção de maravalha, com a densidade do painel, e com o teor de adesivo. Concluíram-se que, usando as partículas do tipo maravalha, misturadas com maiores percentagens de adesivo e maiores

densidades, são obtidos painéis com qualidade satisfatória. Os resultados evidenciaram que os painéis manufaturadas com partículas do tipo maravalha, que foram coladas com as proporções de 8 e 12% de adesivo, apresentaram qualidade satisfatória. O processo de redução do resíduo de serraria no moinho de martelo gerou um material de qualidade inferior, com partículas de dimensões variáveis e pouco resistentes, quando comparadas com aquelas geradas diretamente de toretes, as quais podem ser obtidas com dimensões definidas. Outro fator que influenciou na diminuição de resistência das propriedades estudadas provavelmente foi a presença de casca por ser esta um material pouco resistente e considerado como o principal entrave na utilização dos resíduos do processamento mecânico da madeira gerados por serrarias de pequeno e médio porte, que não realizam a operação de descascamento das toras na fabricação de painéis aglomerados. A variável que mais influenciou no MOR e MOE foi a densidade da chapa, seguida do teor de adesivo e da proporção e tipo de material.

Cabral *et al.* (2007) determinaram as propriedades de painéis de madeira aglomerada confeccionadas com partículas geradas de maravalhas e flocos de *Eucalyptus grandis*, *E. urophylla* e *E. cloeziana*. Quando necessário, para manter a densidade dos painéis em 700 kg/m^3 foram adicionadas partículas de *Pinus elliottii*. Os eucaliptos foram obtidos nos Municípios de Ponte Alta (Região do Vale do Rio Doce) e Três Marias (Região de Cerrado), em Minas Gerais. As densidades básicas das espécies procedentes do Município de Ponte Alta foram iguais a 550; 610; e 700 kg/m^3 , enquanto aquelas procedentes do Município de Três Marias foram iguais a 560; 580; e 690 kg/m^3 , respectivamente. A densidade do *Pinus elliottii*, cultivado no Município de Viçosa, foi de 450 kg/m^3 . As partículas para a confecção dos painéis foram obtidas pelo processamento de flocos ($0,48 \times 20 \times 90 \text{ mm}$) e maravalhas, em moinho de martelo, e selecionadas com peneiras manuais. Os coeficientes de esbeltez dessas partículas foram iguais a 19,87 e 4,66, respectivamente. Utilizou-se adesivo de uréia-formaldeído na proporção de 8% em relação à massa seca de madeira. Os painéis foram produzidos com densidade nominal de 700 kg/m^3 com as dimensões de $0,40 \times 0,40 \text{ m}$ e de acordo com o seguinte ciclo de prensagem: temperatura de prensagem 170°C , tempo de prensagem 8 min e pressão específica 32 kg/cm^2 . Os painéis confeccionados com partículas processadas de flocos e contendo maior quantidade de madeira de eucalipto apresentaram maior absorção de água, inchamento e expansão linear. Os valores médios de tração

perpendicular, módulo de ruptura e módulo de elasticidade foram maiores nos painéis confeccionadas com partículas de flocos processados. Os painéis confeccionados com madeiras do Cerrado apresentaram maiores resistências à compressão paralela, tração perpendicular e módulo de ruptura. Os painéis confeccionados com madeira oriunda do Cerrado apresentaram melhores médias e resultados para a maioria das propriedades físico-mecânicas quando comparadas com aquelas oriundas do Vale do Rio Doce. As propriedades dos painéis confeccionados com partículas oriundas de maravalhas foram, de modo geral, satisfatórias, mostrando grande probabilidade de seu uso na produção industrial de painéis de aglomerado. Porém, é recomendável cautela no uso de maravalha de *Eucalyptus grandis* para a fabricação de painéis de aglomerado, pois estas apresentaram médias inferiores ao valor mínimo estabelecido pela Norma, o que as torna impróprias ao uso onde haja necessidade de resistência à flexão estática mais elevada.

Pedrazzi *et al.* (2006) avaliaram a qualidade de painéis aglomerados fabricados com resíduos da madeira de *Eucalyptus saligna*, resultantes da picagem das toras para a confecção de cavacos utilizados na produção de celulose. Os painéis foram produzidas com dois tipos de resíduos, palitos e serragem, sendo utilizados puros. O adesivo usado foi à base de uréia-formaldeído em proporções de 4, 8 e 12%, com base no peso seco das partículas (b.p.s.p.), e as densidades nominais dos painéis foram de 550, 650 e 750 kg/m³. Foram avaliadas propriedades de flexão estática, tração perpendicular, arrancamento de parafusos, absorção de água e inchamento em espessura. Os valores obtidos das propriedades de flexão estática, tração perpendicular e arrancamento de parafusos aumentaram com a densidade do painel, assim como com o teor de adesivo, independentemente do tipo de resíduo. No caso da absorção de água, os valores aumentaram com a redução da densidade, tanto para painéis produzidos com resíduos na forma de palitos como para os na forma de serragem. Para inchamento em espessura, os valores aumentaram com a diminuição do teor de adesivo, sem considerar o do tipo de resíduo utilizado. Os resultados permitiram concluir que, usando-se tanto partículas tipo palitos quanto serragem com maiores percentagens de adesivo e maiores densidades, podem ser produzidos painéis com qualidade satisfatória.

Brito *et al.* (2006) avaliaram as propriedades físicas e mecânicas de painéis de madeira aglomerada utilizando partículas oriundas de madeira maciça (partículas

convencionais) e partículas oriundas de maravalhas (processadas), a dois teores de adesivo uréia-formaldeído, 6% e 8% (b.p.s.p.). Foram utilizadas quatro combinações de partículas convencionais/maravalhas processadas: 100/0, 50/50, 25/75, 0/100. A inclusão de maravalhas processadas na confecção dos painéis demonstrou ser viável. A adição de maravalhas melhorou a tração perpendicular dos painéis nas seguintes proporções de partículas convencionais/maravalhas: 50/50 e 0/100, para 6% de adesivo. Nos tratamentos com 8% de adesivo, a inclusão de maravalhas não resultou em melhoria na tração perpendicular dos painéis. A adição de maravalhas mostrou-se viável quanto à propriedade de inchamento em espessura nas seguintes proporções: partículas convencionais/maravalhas: 50/50 e 0/100, para 6% de adesivo. Para os tratamentos com 8% de adesivo, a adição de maravalhas mostrou-se viável quanto ao inchamento em espessura somente na proporção partículas convencionais/maravalhas 0/100. A adição de maravalhas às partículas convencionais demonstrou bom potencial para a produção de painéis de aglomerados. O aumento do teor de adesivo de 6% para 8% não contribuiu para melhorar as propriedades dos painéis. O acréscimo de adesivo de 6% para 8% não contribuiu de maneira significativa para a melhoria das propriedades estudadas.

Iwakiri *et al.* (2004) analisaram o comportamento da madeira de *Grevillea robusta* na produção de painéis de madeira aglomerada. Os painéis foram produzidos em densidades de 0,60 e 0,80 g/cm³ e conteúdo de resina uréia-formaldeído de 6 e 8%. Os resultados de propriedades físicas-mecânicas dos painéis fabricados com densidade de 0,80 g/cm³ e conteúdo de resina de 8% evidenciaram que a madeira de *Grevillea robusta* de 6 anos de idade e densidade básica 520 kg/m³ utilizada como fonte alternativa de matéria-prima para produção de painéis aglomerados.

Batista *et al.* (2007) analisaram as propriedades físicas e mecânicas dos painéis de madeira aglomerada de três camadas, utilizando-se madeira de *Pinus elliottii* Engelm e casca de *Eucalyptus pellita* F. Muell. As propriedades mecânicas avaliadas foram flexão estática (módulo de ruptura e módulo de elasticidade) e tração perpendicular, enquanto que as propriedades físicas foram inchamento em espessura e absorção de água. Avaliaram-se três diferentes composições de casca e madeira nas capas e no miolo: uma sem casca e duas com casca. Estudaram ainda a adição ou não de 1% de parafina (b.p.s.p.), resultando em seis

tratamentos com quatro repetições em cada. Dentre os tratamentos com casca e sem aplicação de parafina, foram observados maiores valores de MOR, MOE e tração perpendicular do que naqueles com casca e aplicação de parafina.

Rosa *et al.* (2009) avaliaram a qualidade de painéis aglomerados confeccionados com resíduos de porongo (*Lagenaria vulgari* L.). Na manufatura dos painéis foram utilizadas a resina uréia-formaldeído e parafina nas proporções de 8% e 1% respectivamente, com base no peso seco das partículas. O colchão de partículas foi prensado a frio em prensa manual e, a quente, em prensa hidráulica utilizando a temperatura dos pratos de 180°C e com carga de 30kgf/cm². Foram produzidos três painéis com massa específica nominal de 0,65 g/cm³, de onde foram retiradas as amostras para os ensaios físico-mecânicos. Os resultados obtidos foram comparados com os de painéis produzidos com partículas de madeira e com exigências da normativa ANSI (American National Standard Institute). Os painéis produzidos com resíduo de porongo apresentaram baixa qualidade quando comparado àqueles produzidos com madeira, apresentando elevada instabilidade dimensional e baixa resistência mecânica. Para todos os parâmetros avaliados, os painéis de porongo obtiveram valores abaixo daqueles exigidos. Tais aspectos inviabilizam sua utilização (pura) para manufatura de compostos aglomerados. Entretanto, uma possível utilização deste resíduo em conjunto com partículas madeiras poderia ser estudada.

Santos *et al.* (2009) analisaram, por meio das propriedades físicas e mecânicas, a influência das diferentes proporções do resíduo da madeira de candeia (*Eremanthus erythropappus*) associado às madeiras de eucalipto e pinus e dois teores de adesivo, sobre os painéis de partículas aglomeradas. Foram utilizados dois teores do adesivo uréia-formaldeído (8% e 12%) e madeiras de *Eucalyptus* spp e *Pinus* spp em 3 porcentagens de incorporação (25%, 50%, 75%) ao resíduo da madeira de candeia, gerado após a extração do óleo. O ciclo de prensagem dos painéis ocorreu sob aquecimento elétrico à temperatura de 160°C; pressão de 4 MPa e tempo de 8 min. As propriedades avaliadas, segundo as normas ASTM D 1037-92 e CSA 236-66, foram: tração perpendicular; flexão estática (módulo de elasticidade e módulo de ruptura); compressão paralela à superfície dos painéis; absorção de água e inchamento em espessura, após 2 e 24 horas de imersão. O resíduo da madeira de candeia mostrou-se viável na confecção dos painéis em todas as propriedades, exceto para

flexão estática. O aumento na porcentagem do resíduo da madeira de candeia proporcionou redução no MOE e MOR. O acréscimo de adesivo de 8% para 12% contribuiu para melhorar as propriedades de tração perpendicular e compressão paralela.

Em estudo recente, realizado por Mendes *et al.* (2010), avaliou-se o efeito da porcentagem de associação de bagaço de cana com a madeira de eucalipto em diferentes tipos e teores de adesivos na produção de painéis aglomerados. Os painéis foram produzidos com bagaço de cana em porcentagens de 25%, 50% e 75% complementados com a madeira de eucalipto, e com os adesivos uréia-formaldeído e fenol-formaldeído a 6%, 9% e 12% (com base na massa seca das partículas). Na prensagem dos painéis foi utilizada pressão de 4 MPa e temperatura de 160°C para uréia-formaldeído e 180°C para fenol-formaldeído, por um período de prensagem de 8 minutos. O adesivo UF mostrou-se estatisticamente igual ou superior a fenol-formaldeído em quase todas as propriedades avaliadas. O tratamento que obteve melhores resultados foi uréia-formaldeído a 12% e 75% de bagaço de cana, atendendo os valores estipulados pela norma CS 236-66, com exceção do módulo de elasticidade. Apesar disso, os painéis produzidos com uréia-formaldeído a 6% e 75% de bagaço de cana atenderam também a norma em todas as propriedades, com exceção do módulo de elasticidade, sendo a alternativa economicamente mais viável. Sugere-se a continuação de pesquisas nesta linha, incluindo a manipulação das variáveis de produção, e estudos sobre a interação entre a madeira de eucalipto e o bagaço de cana, afim de que todos os resultados se adequem aos valores propostos pela norma.

Em estudo realizado por Iwakiri *et al.* (1999) sobre a produção de painéis de madeira aglomerada de *Pinus elliotti* Engelm com inclusão de laminas de madeiras de 1,6mm de espessura, os resultados de absorção de água, inchamento em espessura e taxa de não retorno em espessura melhoram significativamente com a inclusão de lâminas. Este fato pode ser atribuído à redução na extensão de camadas de partículas submetidas à compressão, com a inclusão de camadas correspondentes às laminas. Os resultados de módulo de elasticidade e módulo de ruptura na direção perpendicular às fibras das lâminas da capa foram inferiores com a inclusão laminar em relação aos painéis constituídos com 100% de partículas. Na direção paralela às fibras, os módulos de elasticidade e de ruptura apresentaram valores superiores com a inclusão de 2 lâminas. Nos dois casos ficou comprovada a influência da

maior resistência da madeira à flexão na direção paralela à grã no comportamento global dos painéis. Verificou-se também que a tração perpendicular dos painéis foi superior com a inclusão de 2 e 3 lâminas na composição estrutural do painel. Os resultados globais demonstraram melhor comportamento dos painéis em termos de estabilidade dimensional e resistência mecânica com a inclusão de lâminas na sua composição estrutural.

4.6 Compilação da Revisão Bibliográfica

Diante do apresentado neste capítulo, os principais tópicos que resumem a revisão bibliográfica realizada são:

Dados gerais

- No Brasil, utiliza-se principalmente madeira em toretes de espécies de rápido crescimento na fabricação de aglomerados, tais como do gênero *Pinus* e *Eucalyptus*;
- Dentre as propriedades da madeira, a densidade é a que mais requer monitoramento no recebimento, pois está diretamente relacionada a parâmetros importantes do processo como, por exemplo, a compressibilidade e a quantidade de cola a ser empregada, permanentemente ajustados para garantir boa adesão interna ao painel.
- A quantidade de resina que se aplica às partículas de madeira depende das propriedades que se deseja para o painel e varia de acordo com a densidade da madeira, a geometrias das partículas e a porcentagem de finos presentes.

Influência das variáveis nas propriedades dos painéis aglomerados

- A densidade da madeira tem influência significativa tanto nas propriedades do painel de madeira aglomerada como no processo produtivo e está intimamente associada às variáveis do processo, sobretudo a taxa de compressão necessária para a sua compactação.
- A forma e o tamanho da partícula influem fortemente na transmissão das propriedades da madeira à chapa. A geometria da partícula (comprimento, espessura e largura da partícula)

é uma das principais variáveis que afetam as propriedades dos painéis e o processo de manufatura. Um dos parâmetros mais importantes relacionados à geometria das partículas é a relação entre o comprimento e espessura da partícula (coeficiente de esbeltez), monitorado indiretamente, em termos industriais práticos, pela granulometria. Esta relação influencia fortemente a resistência à tração perpendicular e à flexão dos painéis.

- Muitas variáveis do processo produtivo influenciam as propriedades de painéis de aglomerado. Algumas, como a velocidade de fechamento da prensa, a umidade do colchão, densidade do painel, o tipo, a quantidade e a qualidade do adesivo, o tempo e a temperatura de prensagem interagem entre si ou com algumas características da matéria-prima, como o tipo da madeira utilizada, sua densidade, a geometria das partículas, o pH da madeira e outros.

Importância deste trabalho

- Os trabalhos que utilizam resíduos para produção de aglomerados são realizados exclusivamente em escala laboratorial, sendo em sua maioria painéis de uma camada, não representando a realidade industrial de fabricação de painéis de 3 camadas;
- A prática da incorporação de resíduos na fabricação de painéis de aglomerado não foi implementada em nível industrial;
- A importância do trabalho proposto encontra-se no diferencial do uso de resíduos industriais madeireiros na produção industrial de painéis aglomerados de 3 camadas.

5. MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho de pesquisa foi desenvolvido na empresa Eucatex S.A. Indústria e Comércio localizada em Botucatu/SP, na Fazenda São Francisco de Assis, a 25 km do centro urbano, que produz painéis de madeira aglomerada utilizando prensa contínua.

Todos os insumos da pesquisa foram integralmente preparados e dosados na linha industrial da empresa, produzindo-se painéis na dimensão comercial 2750 mm x 1860 mm x 15mm.

Os painéis foram produzidos com madeira de *Eucalyptus grandis* e resíduos industriais florestais em diferentes proporções.

5.1 Matéria-prima utilizada na fabricação dos painéis aglomerados

5.1.1 Madeira e resíduos industriais madeireiros

Foi utilizada madeira na forma de torete de *Eucalyptus grandis*, proveniente de plantios próprios da empresa Eucatex no Município de Botucatu no estado de São Paulo.

Os resíduos industriais madeireiros utilizados na fabricação dos painéis aglomerados foram material reciclado e serragem.

O material de reaproveitamento, aqui referido como reciclado, foi composto de cavacos obtidos de paletes e resíduos sólidos de madeira dos gêneros pinus e

eucalipto, gerados por um picador mecânico. Todo o material reciclado foi coletado no município de Salto/SP e lá mesmo foram gerados os cavacos, posteriormente transportados à fábrica.

A serragem utilizada foi proveniente de serrarias da região de Itapeva/SP, resultante quase que exclusivamente do desdobro de madeiras de pinus.

Nesta etapa foram calculadas a densidade básica da madeira e a densidade aparente dos cavacos dos toretes, dos cavacos do material reciclado e da serragem.

A metodologia utilizada na determinação das densidades foi baseada nos procedimentos internos da empresa.

Para a densidade básica da madeira, foi utilizada a Norma Técnica da Eucatex (NTE) nº 100. Esta norma avalia a densidade básica a partir de uma porção do material (200g). O volume do material é obtido pela variação do peso da amostra (devidamente agrupada em rede plástica) quando imersa em água, com base Equação 1. A massa imersa é obtida por agrupamento da porção em rede plástica após saturado em água; a massa úmida após espalhar o material e remover superficialmente a água; a massa seca quando a amostra permanece em estufa $103^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ por 12 horas.

$$d_b = (M3 / M2 - M1) \quad (1)$$

Onde:

- d_b - densidade básica da madeira (kg/m^3);
- M3 - massa seca da amostra (kg), após amostra permanecer em estufa a $103^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ por 12 horas
- M2 - massa da amostra (kg), após saturação em água e remoção superficial da água;
- M1 - massa da amostra quando imersa em água, após saturação (kg).

A densidade aparente dos cavacos e da serragem foi realizada conforme prescrito na norma técnica da Eucatex (NTE) nº 242, utilizando-se a seguinte relação:

$$d_{ap} = (M / V) \times 1000 \quad (2)$$

onde:

d_{ap} - densidade aparente (kg/m³);

M - massa dos cavacos ou serragem em recipiente com volume definido (kg);

V - volume do recipiente (litros);

1000 - fator de conversão de litros para m³.

A taxa de compactação utilizada no processo industrial foi resgatada a partir da densidade básica da madeira, utilizando-se as equações descritas por Rezende (1997) para avaliação das densidades aparentes a 0% (d_0) e a 9% (d_9), sendo:

$$d_b = 0,98d_0 / (1 + 0,24d_0) \quad (3)$$

$$d_9 = 1,177d_0 - 0,04905d_0^2 \quad (4)$$

5.1.2 Resina e aditivos

A resina utilizada na produção dos painéis foi uréia-formaldeído, (marca Synteko) em solução aquosa com um conteúdo de sólidos de 66 a 68% para a camada interna do painel e de 64 a 66% para a camada externa. A viscosidade da resina utilizada para as partículas da camada interna variou de 250 a 450 cP e para a camada externa de 250 a 350 cP.

A quantidade de adesivo aplicado foi 7,5% em relação à base peso seco das partículas (b.p.s.p.) na camada interna e 9,5% b.p.s.p. na camada externa.

Os aditivos utilizados foram catalisador (NH₄CL) – cloreto de amônio – para acelerar a cura da resina e a emulsão de parafina. Para o catalisador, a 700 litros de água foram misturados 180 kg para a camada interna e 45 kg para a camada externa. A parafina (marca Isogama PRO 15802), aditivo que confere brilho e facilita o “deslizamento” da chapa, além de reduzir a higroscopicidade e, conseqüentemente, aumentar a estabilidade dimensional

da chapa, foi adicionada na forma de emulsão com uma concentração de 50%, aproximadamente. A quantidade de parafina sólida foi de aproximadamente 0,3 % a 0,5% b.p.s.p.

5.2 Fabricação dos painéis na linha de produção

Os painéis de madeira aglomerada com resíduos industriais madeireiros foram produzidos na linha de produção da Eucatex nos dias 04 e 05 de fevereiro de 2009.

Foram estabelecidos 5 tratamentos com diferentes composições de materiais, conforme descrito na Tabela 2. Decidiu-se realizar os tratamentos nas proporções definidas especialmente em função da restrita disponibilidade dos resíduos.

Tabela 2. Tratamentos experimentais realizados em linha de produção na Eucatex

Tratamento	Composição dos painéis
1	100% madeira de toretes de eucalipto
2	90% madeira de toretes de eucalipto / 10% serragem
3	85% madeira de toretes de eucalipto / 15% serragem
4	80% madeira de toretes de eucalipto / 20% reciclado
5	65% madeira de toretes de eucalipto / 20% reciclado / 15% serragem

Para cada tratamento foram produzidos 3 painéis (3 repetições). Os painéis de cada tratamento foram produzidos com intervalos de 5 horas entre um tratamento e outro, para não haver contaminação dos materiais entre tratamentos.

A produção dos painéis obedeceu uma sequência de operações representadas na Figura 2, onde destacam-se 4 etapas principais:

- Produção de cavacos a partir de toretes e dosagem dos cavacos (provenientes dos toretes e do material reciclado);
- Geração de partículas, adição da serragem, secagem e classificação;
- Aplicação de resina e aditivos;
- Formação do colchão e prensagem dos painéis.

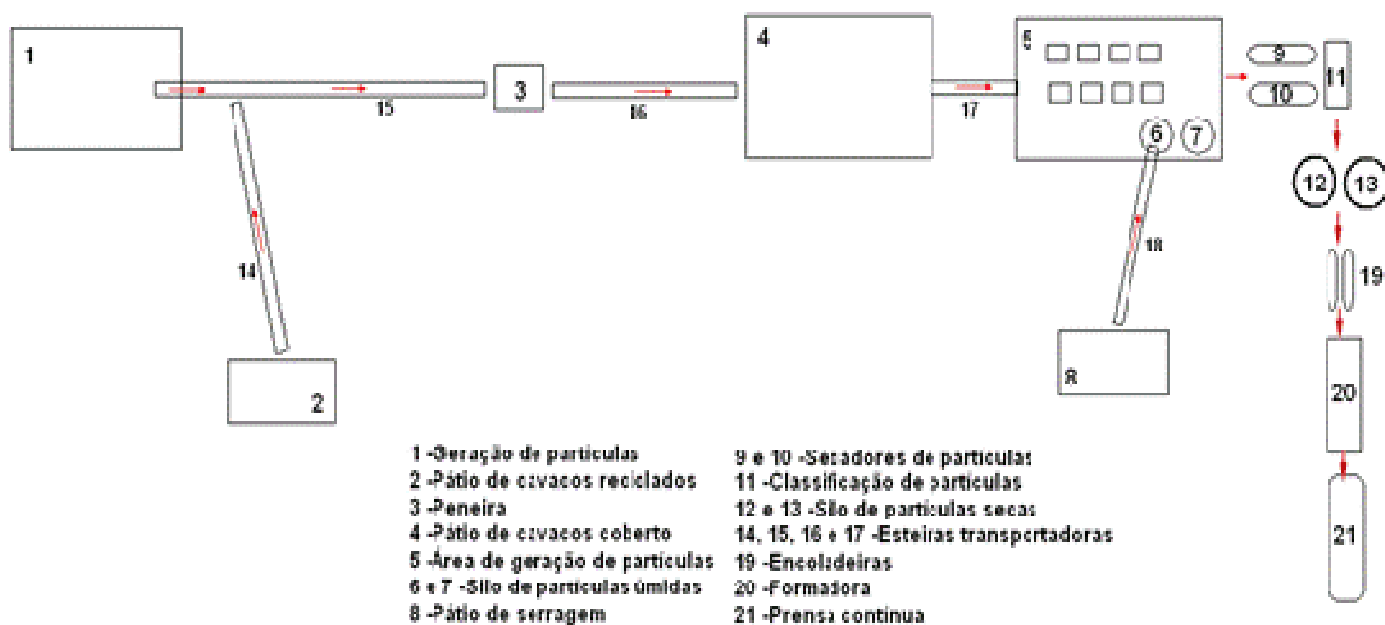


Figura 2 - Fluxograma de produção dos painéis.

5.2.1 Produção de cavacos a partir dos toretes e dosagem dos cavacos

O processo de fabricação teve início no recebimento da madeira (toretas) de *Eucalyptus grandis* no pátio da fábrica. As características mínimas da madeira exigidas pela empresa para ser utilizada na produção dos painéis aglomerados, e que foram utilizadas nesta pesquisa, são:

- Densidade básica entre 350 kg/m^3 e 550 kg/m^3 ;
- Teor de umidade entre 35% e 45%;
- Toras com 3,6 m de comprimento e diâmetro de 5 cm a 28 cm (resultado de um corte da floresta com 5 a 8 anos de idade).

A madeira com essas características foi descascada (a casca não é desejável no processo porque absorve muita resina, gera ondulações e compromete as propriedades mecânicas dos painéis) para posterior geração dos cavacos. O descascador de tambor utilizado (marca Fiji Kogyo) era composto de três seções com 27 facas, com

rendimento de 44 toneladas por dia. Na saída do descascador, os toretes foram transportados ao picador de discos para a produção dos cavacos.

Os toretes foram alimentados no picador (marca Carthage) a 45° em relação ao plano do disco que gera os cavacos. O picador era provido de 10 facas com um rendimento de 2,72 m³ de cavacos para cada m³ de madeira sólida.

Na Figura 3 observa-se o processo da transformação da madeira em cavacos.



Figura 3 – Produção de cavacos a partir dos toretes. a) toretes de madeira utilizadas no processo; b) transporte dos toretes para o descascador; c) visão interna do descascador; d) picador de discos.

Na saída deste picador (Figura 3-d) os cavacos do material reciclado foram adicionados (por dosagem) aos cavacos produzidos pelo picador.

Os cavacos do material reciclado estavam estocados em pátio descoberto e lateral da fábrica. Foram transportados a um alimentador, a partir do qual, por

meio de uma rosca e de uma esteira transportadora lateral, esse material era dosado e transportado à esteira alimentadora principal, que continha os cavacos produzidos pelo picador. Com o controle das velocidades das duas esteiras (principal e lateral) e da rotação da rosca, o cavaco do reciclado dosado corretamente.

As Figuras 4 e 5 ilustram o processo de alimentação e dosagem dos cavacos de reciclado.



Figura 4 – Etapas da dosagem do cavaco reciclado na linha de produção. a) Triturador do reciclado; b) Cavaco do reciclado; c) Alimentação do cavaco; d) Rosca dosando o cavaco de reciclado.



Figura 5 – Etapas da dosagem do cavaco de reciclado na linha de produção (cont.): a e b) Alimentação do cavaco de reciclado na esteira de saída do picador; c) Cavaco de reciclado na esteira após a dosagem; d) Esteira de alimentação (1), encontro das esteiras de ambos os cavacos (2) e a peneira (3).

O material resultante dessa mistura (cavacos de eucalipto + cavacos do material reciclado) foi classificado em uma peneira vibratória - classificador vibratório Beznner com abertura de peneira de 80mm - eliminando-se os cavacos grosseiros e a casca restante da operação de descascamento.

Todo o material, já classificado, foi estocado na parte inicial do pátio previamente preparada e reservada para o seu recebimento, evitando-se, com esse procedimento, contaminação ou dúvidas no controle do material para a realização do trabalho (Figura 6).



Figura 6 – Classificação e armazenamento da mistura de cavacos. a) peneira vibratória de classificação; b) Pátio coberto de armazenamento da mistura de cavacos.

5.2.2 Geração de partículas, adição da serragem, secagem e classificação

Todas as partículas geradas neste processo foram armazenadas em silos.

Nesta etapa do processo foi realizada a adição da serragem, que estava estocada em um pátio lateral coberto, localizado em frente à área de geração de partículas da fábrica. A dosagem nas percentagens determinadas para cada um dos tratamentos da pesquisa foi realizada por procedimento semelhante ao já descrito na mistura cavacos de eucalipto - cavacos de reciclado (Figura 7).

O material assim constituído – partículas geradas dos cavacos dos toretes e do material reciclado e serragem – foi encaminhado aos secadores.



Figura 7 – Adição da serragem às partículas. a) estocagem de serragem; b) até d) transporte da serragem dosada ao silo de partículas úmidas.

A temperatura do ar nos secadores, no local de entrada das partículas era de 250 a 500 °C e a temperatura na saída do secador era de 90 a 120 °C. A umidade de entrada das partículas no secador foi de 38 a 45% e a umidade das partículas na saída do secador foi de 1,8 a 2,2 %. O tempo de permanência das partículas no secador foi de 3 a 4 segundos e a velocidade de passagem das partículas dentro do secador foi de 4,8 m/s.

Na saída dos secadores, as partículas foram direcionadas a um silo de armazenamento intermediário, de onde foram encaminhadas para a classificação por meio de peneiras vibratórias. A classificação foi realizada em um conjunto de três peneiras marca PAL, que separam o material em quatro frações, segundo as aberturas das malhas das peneiras que o compõem, a saber:

- Abertura da malha para rejeito: > 8 mm;
- Abertura da malha das partículas CI: 1,5 à 8 mm;
- Abertura da malha das partículas CE: 0,4 à 1,5 mm;
- Abertura da malha do pó: 0,25 à 0,40 mm

O rejeito foi encaminhado aos refinadores, que transformam esse material em partículas menores, que são separadas, num quarto conjunto classificador, em pó, material para a camada interna (CI) e material para a camada externa (CE). O pó é utilizado como combustível. O material que passa na malha da CE é destinado diretamente ao “silo seco” e o que passa na malha da CI vai para o classificador a ar (marca PAL), que classifica as partículas por peso, separando, novamente, o material mais pesado (cerca de 10% do total), que retorna aos refinadores para ser reprocessado.

Nesta pesquisa, para as partículas componentes das duas camadas (CI e CE) foram realizadas análises granulométrica e dimensional.

Para a análise granulométrica das partículas foram realizadas coletas de material nos silos secos da CI e CE, sendo retiradas 50 g de partículas em 3 coletas. Foram utilizadas as peneiras com malhas 3,35mm, 2,00mm, 1,00mm, 0,425mm, 0,212mm e 0,125mm. Foram separadas as partículas retidas nas peneiras de 3,35 mm, 2,00 mm, 1,00 mm e 0,425 mm para as avaliações dimensionais (comprimento e espessura das partículas) já que, nesse conjunto de peneiras concentrou-se a maioria do material classificado (acima de 90%), porcentagem representativa para a amostragem. Na análise dimensional, com o uso de um paquímetro digital, avaliaram-se 80 partículas obtidas ao acaso do material retido em cada peneira.

O coeficiente de esbeltez, razão entre o comprimento e a espessura da partícula, foi determinado a partir dos valores médios da geometria das partículas.

Para a determinação da quantidade de partículas a analisar, utilizou-se o Teste “t” unilateral, de acordo com as seguintes relações:

$$E = 0,1\bar{x} \quad (5)$$

$$n = \left(\frac{t}{E} \right)^2 \quad (6)$$

onde:

\bar{x} - média da amostra

E - erro máximo na estimativa da média populacional

t - valor crítico associado ao grau de confiança desejado (estatística t – tabelado)
- desvio padrão populacional

n - tamanho da amostra (número de indivíduos na amostra)

5.2.3 Aplicação de resina e aditivos

Dos silos secos, o material da CI e CE foram encaminhados, separadamente, às encoladeiras, para aplicação do adesivo e aditivos, através de bicos pulverizadores.

A dosagem da resina foi feita em relação ao peso seco das partículas (b.p.s.p.). A umidade do material na saída das encoladeiras foi de 12% para a camada externa (CE) e de 6% para a camada interna (CI).

5.2.4 Formação do colchão e prensagem dos painéis

Das encoladeiras, as partículas foram direcionadas à formadora. Nesta etapa, as partículas com cola foram distribuídas em camadas, na forma de um colchão homogêneo, sobre uma fita metálica contínua, para serem conduzidas à prensa.

A formadora utilizada é composta por três fontes de deposição, na qual a primeira e a última adicionam partículas das camadas externas e a segunda, da camada interna. Para a deposição das partículas utiliza-se o princípio mecânico e pneumático.

A dosagem do material na esteira formadora é realizada sistematicamente por peso. Ao longo do processo, o operador da central de comandos (linha de produção) pode realizar a correção da dosagem (para obtenção de painel com as

características especificadas), adicionando mais material (partículas com cola), monitorando essa operação visualmente e por meio de avaliação de volume. Essa operação de correção é freqüente na linha de produção.

Após a formação do colchão e antes da operação de prensagem a quente, o colchão passou por um pré-aquecimento a alta freqüência, com o objetivo de aquecer uniformemente todo o material através de sua espessura e, desta forma, acelerar a cura da resina e diminuir o tempo de prensagem. Com este processo consegue-se aumentar a temperatura do colchão em cerca de 10°C.

O colchão sofreu uma pré-prensagem a frio, após o pré-aquecimento, com a finalidade eliminar o ar interno e, desta forma, reduzir sua espessura. Assim, consegue-se melhorar sua consistência e facilitar o processo de transporte e carregamento à prensa quente. A pré-prensa utilizada no processo apresenta duas fases: uma zona de compactação que reduz a altura do colchão de forma gradativa, evitando a quebra do material, e uma zona de pressão por meio de cilindros, que trabalham a uma pressão média de 12 MPa.

Após o colchão sofrer o pré-aquecimento e a prensagem a frio, seguiu para a prensa quente. O objetivo da prensagem a quente é comprimir o colchão de partículas, até atingir às dimensões finais do painel. Nesta etapa, ocorre a densificação do material, a consolidação do painel e a cura do adesivo, por meio da transferência de calor e a remoção da umidade, fenômenos já comentados.

A prensa utilizada pela fábrica é uma prensa contínua hidro-dinâmica (prensa HD), com as seguintes características: 25,7 metros de comprimento, placas de pressão de teflon com circulação de óleo térmico entre elas e seis zonas de distribuição de pressão gradativa e temperatura (variação de 198°C a 140°C). O tempo de prensagem foi de 3,2 segundos por milímetro de espessura do painel e a pressão específica foi de 3,2 a 3,4 MPa.

5.3 Ensaios físico-mecânicos em corpos-de-prova dos painéis

Após a fabricação dos painéis aglomerados de todos os tratamentos descritos na Tabela 2, eles foram encaminhados à uma área de ensaios da empresa para estabilização final, à temperatura ambiente.

Os painéis de todos os tratamentos foram seccionados em 4 faixas de 1860mm x 60 mm, para retirada de corpos-de-prova, conforme ilustrado na Figura 8. A seta ilustrada na Figura representa o sentido da produção na linha.

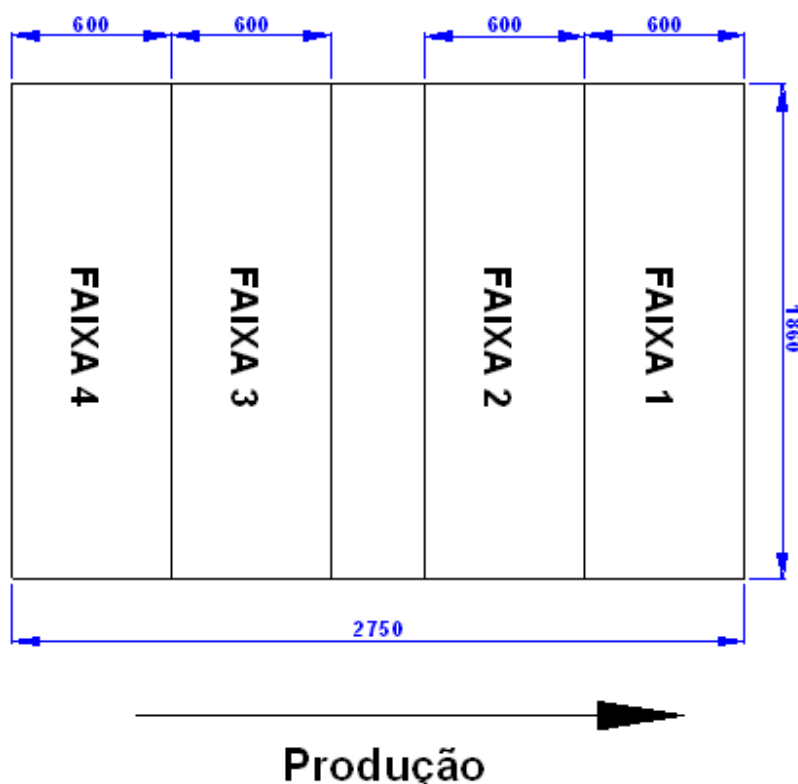


Figura 8 – Secção do painel aglomerado em 4 faixas.

As faixas 1 e 3 foram reservadas para a produção dos corpos-de-prova nas condições de temperatura e umidade ambiente - sem climatização. Eventuais diferenças entre os resultados dos corpos-de-prova das faixas 1 e 3 indicaria o efeito da posição em relação ao comprimento do painel (borda - faixa 1, ou meio, faixa 3) nos resultados.

Os ensaios físico-mecânicos desses corpos-de-prova foram realizados na empresa, com uso, na maioria dos ensaios, da Máquina Universal de Ensaio marca IMAL, com capacidade de 20kN (2tf), do Laboratório de Processo da Eucatex de Botucatu/SP (Figura 9).



Figura 9 – Máquina universal de ensaios marca IMAL, utilizada na realização de ensaios físico-mecânicos dos corpos-de-prova das faixas 1 e 3. a) vista geral da máquina; b) detalhe do sistema de medição de dimensões dos corpos-de-prova, com uso de transdutor digital.

De forma semelhante, as faixas 2 e 4 de cada um dos painéis foram utilizadas para a produção de corpos-de-prova que seriam ensaiados após submissão a processo de climatização. A climatização desses corpos-de-prova foi realizada em câmara climática (Figura 10) do Laboratório de Ensaio de Matérias do Departamento de Engenharia Rural - FCA/UNESP, nas condições de $65 \pm 5\%$ de umidade relativa e temperatura de $20 \pm 3^\circ\text{C}$, objetivando, ao final do processo de climatização, uma umidade de equilíbrio dos corpos-de-prova de $12,0 \pm 0,5\%$, quando seriam ensaiados.



Figura 10 – Disposição dos corpos-de-prova das faixas 2 e 4 na câmara climática do Laboratório da Madeira – FCA – UNESP – Botucatu/SP.

Os ensaios mecânicos dos corpos-de-prova climatizados das faixas 2 e 4 foram realizados em Máquina Universal de Ensaio (Figura 11), servo-hidráulica, marca EMIC, modelo DL 10000, com capacidade de 100 kN, pertencente ao Laboratório de Ensaio de Materiais do Departamento de Engenharia Rural - FCA/UNESP, Botucatu/SP.



Figura 11 – Máquina universal de ensaios EMIC-DL 10000 utilizada na realização dos ensaios mecânicos dos corpos-de-prova das faixas 2 e 4. a) vista geral do equipamento; b) detalhe da realização de ensaio

Assim, os corpos-de-prova receberam codificação constituída por três letras, referentes ao tratamento (T), faixa ao longo do comprimento (F) e repetição (R). O código T1F2R3 indicou corpo-de-prova do tratamento 1, faixa 2 e repetição 3.

Buscando avaliar, por fim, o eventual efeito da posição dos corpos-de-prova ao longo da largura do painel, para cada uma das faixas dos painéis foi adotado o plano de corte ilustrado na Figura 12.

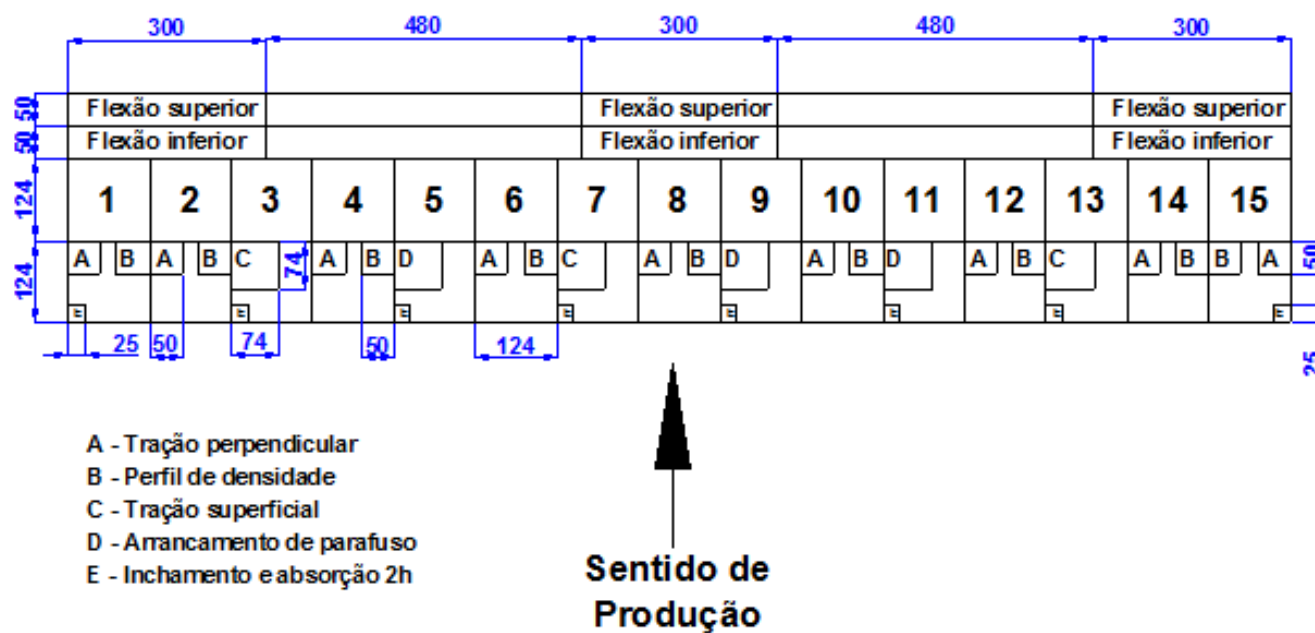


Figura 12 – Plano de corte dos corpos-de-prova para diversos ensaios físicos e mecânicos, adotado em cada uma das 4 faixas já descritas. As letras e números indicam corpos-de-prova para os seguintes ensaios:

A- tração perpendicular	B - perfil de densidade	C - tração superficial
D - arrancamento de parafuso	E - inchamento e absorção de água	
1 a 15 - densidade aparente	Flexão superior - flexão com a face superior do painel comprimida	
Flexão inferior - flexão com a face inferior do painel comprimida		

5.3.1 Ensaios físicos

Os ensaios físicos realizados em corpos-de-prova de todos os tratamentos foram:

- Determinação da densidade e perfil de densidade;
- Determinação do inchamento em espessura e absorção de água (2 horas).

Os ensaios seguiram, no geral, as metodologias preconizadas pela NBR 14810-3 (ABNT, 2006).

Para alguns ensaios as dimensões dos corpos-de-prova foram adotadas a partir da experiência da empresa. Por essa razão, diferiram ligeiramente do preconizado pela NBR 14810-3, sendo essas diferenças reportadas na Tabela 2, que sumariza os ensaios físico-mecânicos realizados. A Figura 12, já apresentada, ilustra os planos de corte dos corpos de prova.

5.3.2 Ensaios mecânicos

Os ensaios mecânicos realizados em corpos-de-prova de todos os tratamentos foram:

- Resistência ao arrancamento de parafusos (face e lado);
- Resistência à flexão (módulo de ruptura - MOR) e módulo de elasticidade (MOE) nas direções longitudinal e transversal do painel;
- Resistência à tração superficial;
- Resistência à tração perpendicular.

De maneira semelhante, seguiu-se, no geral, o preconizado pela NBR 14810-3 (ABNT, 2006), com alterações nas dimensões dos corpos-de-prova de alguns ensaios, em função da adoção do plano de corte dos corpos-de-prova adotado pela empresa (Figura 12).

A Tabela 3 sintetiza os ensaios físicos e mecânicos realizados e seus dados gerais.

Tabela 3 - Ensaios físicos e mecânicos realizados e dimensões dos corpos-de-prova (c.p.).

	Propriedades	Dimensões dos corpos-de-prova (c.p.)	Codificação (utilizada na Figura 12)	Número de repetições por posição ao longo da largura
Físicas	Perfil de Densidade	50 mm x 50 mm	B	9
	Inchamento e absorção de água	25 mm x 25 mm ⁽¹⁾	E	8
Mecânicas	Tração perpendicular	50 mm x 50 mm	A	9
	Tração superficial	74 mm x 74 mm ⁽²⁾	C	3
	Flexão estática transversal (c.p. na direção da largura do painel)	50 mm x 300 mm ⁽³⁾	Flexão superior e flexão inferior	3 superior e 3 inferior ⁽⁴⁾
	Flexão estática longitudinal (c.p. na direção do comprimento do painel)	50 mm x 300 mm ⁽³⁾	-	3 superior e 3 inferior ⁽⁴⁾
	Resistência ao arrancamento de parafuso (face e topo)	72 mm x 72 mm ⁽⁵⁾	D	3
<i>Notas</i>				
1 antes da imersão em água, as superfícies dos c.p. foram lixadas com lixa grana 80				
2 dimensões do c.p. (NBR 14810-3) - 50 mm x 50 mm				
3 dimensões do c.p. (NBR 14810-3) - 50 mm x 250 mm				
4 flexão superior (face superior comprimida no ensaio) e flexão inferior (face inferior comprimida no ensaio)				
5 dimensões do c.p. (NBR 14810-3) - face 150 mm x 75mm / topo 115 m x 65 mm				

5.4 Ensaios de determinação do perfil de densidade

A determinação do gradiente de densidade – variação de densidade ao longo da espessura - para os corpos-de-prova de todos os tratamentos e faixas (1 a 4) foi realizada com uso de equipamento marca IMAL, modelo DPX 200, de posse da empresa Eucatex.

O equipamento utiliza-se de raios-X através da espessura do painel para determinação dos perfis de densidade. Inicialmente os corpos de prova são medidos

(largura, comprimento e espessura) e pesados. Depois, são inseridos no gabinete (Figura 13) onde, por meio do raio-X, a massa dos corpos é avaliada, sendo determinada a densidade ao longo da espessura.

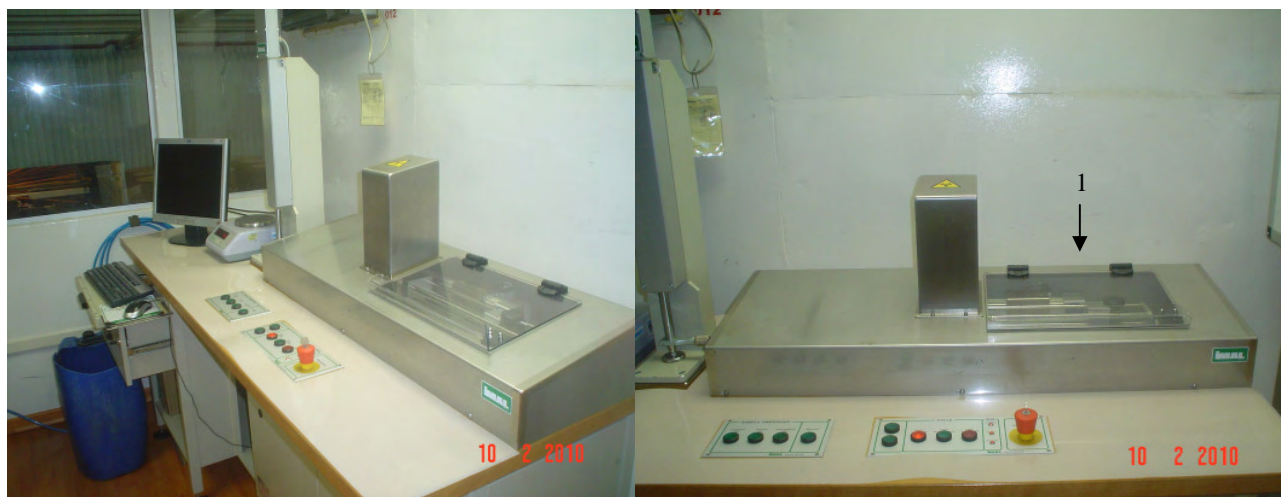


Figura 13 – Máquina para determinação do perfil de densidade dos painéis (1 - gabinete).

5.5 Modelo experimental e análise dos resultados

O modelo experimental utilizado foi o delineamento em parcelas subdivididas (faixas), considerando-se 5 tratamentos, 4 faixas (a longo do comprimento do painel) e 3 repetições.

A opção por cinco tratamentos foi detalhada na Tabela 2. As quatro faixas retratam o efeito da posição ao longo do comprimento (2 faixas – borda e centro do painel) e o efeito da umidade (2 faixas) no desempenho físico-mecânico do painel. Adotaram-se três repetições, número considerado adequado para um produto industrial.

Os resultados foram avaliados por meio de análises de variância (ANOVA) para a verificação dos efeitos dos tratamentos e faixas, considerando-se, também as interações com efeitos significativos a 5% de probabilidade.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Madeira e resíduos industriais florestais

O valor médio da densidade básica da madeira de *Eucalyptus grandis* calculada foi 459 kg/m³, obtido de médias diárias calculadas no período de tempo para produção dos painéis.

Com o uso das equações (3) e (4) e partindo-se da densidade básica reportada acima para a madeira de *Eucalyptus grandis*, obteve-se uma densidade aparente dessa madeira a 9% de 544 kg/m³. Considerando a densidade aparente nominal do painel com aproximadamente 9% de 650 kg/m³, a taxa de compactação encontrada foi 1,194. Este valor teve pequenas variações em função da densidade do material utilizado nos diversos tratamentos.

A Tabela 4 apresenta as densidades aparentes das matérias-primas utilizadas.

Tabela 4. Densidade aparente das matérias-primas.

Matéria-Prima	Densidade Aparente (kg/m ³)
Madeira <i>Eucalyptus grandis</i>	541
Cavaco de madeira de <i>Eucalyptus grandis</i>	240
Serragem	210
Cavaco de reciclado	180

Inicialmente os cavacos de reciclado foram gerados com as dimensões nominais médias de 25mm de comprimento, 0,7mm de espessura e 35mm de largura. Na Figura 14, observa-se o cavaco de madeira de *Eucalyptus grandis* e o cavaco do reciclado.

Figura 14 – Cavaco de madeira de *Eucalyptus grandis* (1) e o cavaco do reciclado (2).

Para avaliação da esbelteza das partículas separadas por tratamentos (T1 a T5) e por frações retidas nas peneiras (malhas de 3,35mm, 2,00mm, 1,00mm e 0,425mm)

foram mensuradas as suas espessuras e os seus comprimentos. Os resultados completos dessas mensurações são apresentados no Anexo A e estão sumarizados na Tabela 5.

Tabela 5. Média do coeficiente de esbeltez dos tratamentos T1 a T5.

Tratamento	Coeficiente de Esbeltez				Média
	3,35mm	2,00 mm	1,00 mm	0,425 mm	
1	23,51	24,17	32,90	30,50	27,77
2	22,80	25,31	28,17	30,50	26,69
3	22,76	25,93	23,19	25,33	24,30
4	25,89	22,98	25,97	35,15	27,50
5	25,82	25,73	32,09	29,99	28,41
Média	24,16	24,82	28,47	30,29	

Sabe-se que a classificação das partículas por meio das peneiras no processo de produção separa o material em quatro frações sendo: partículas acima de 8 mm (rejeito), de 1,5 a 8 mm (partículas da CI), de 0,4 a 1,5 mm (partículas da CE) e de 0,1 a 0,4 mm (pó).

Analisando a Tabela 5, conclui-se que o valor do coeficiente de esbeltez médio dos tratamentos foi 26,93; os maiores coeficientes de esbeltez foram observados nas partículas destinadas à camada externa (nas malhas 1,00 mm e 0,425 mm) e os menores coeficientes foram observados nas partículas mais grossas, destinadas à camada interna (nas malhas 3,35 mm e 2,00mm).

De acordo com Vital *et al.* (1992), partículas longas e finas (esbeltas) produzem painéis com maior resistência à flexão estática e maior estabilidade dimensional e partículas curtas e espessas aumentam a resistência à tração perpendicular.

Desta forma, com base na Tabela 5, observa-se que os tratamentos T1 e T5 possuem partículas mais longas e finas e os tratamentos T3 e T4 partículas mais curtas e espessas.

A análise granulométrica das camadas internas (CI) e camadas externas (CE) dos tratamentos é apresentada nas Tabelas 6 e 7.

Tabela 6. Análise granulométrica da CI (% retida)

	T1	T2	T3	T4	T5
> 3,35 mm	5,09	6,20	5,03	9,03	6,10
> 2,00 mm	11,69	12,91	11,07	18,67	14,69
> 1,00 mm	38,38	40,78	40,05	51,96	41,10
> 0,425 mm	37,95	33,93	36,24	14,51	32,07
> 0,212 mm	5,61	4,64	5,46	4,74	4,56
> 0,125 mm	0,30	0,40	0,58	0,35	0,42
< 0,125 mm	0,99	1,14	1,56	0,75	1,06

Na análise granulométrica da CI, as porcentagens de partículas retidas nos tratamentos foram similares, exceto no tratamento T4 no qual picos maiores de partículas foram observados nas malhas 3,35 mm, 2,00 mm e 1,00 mm, em função especialmente do uso de 20% de reciclado.

Tabela 7. Análise granulométrica da CE (% retida)

	T1	T2	T3	T4	T5
> 3,35 mm	-	-	-	-	-
> 2,00 mm	-	-	-	-	-
> 1,00 mm	1,33	1,24	1,39	1,36	1,35
> 0,425 mm	37,83	32,29	37,67	34,20	36,97
> 0,212 mm	43,85	44,86	44,46	45,93	45,86
> 0,125 mm	9,08	11,15	8,67	10,02	8,60
< 0,125 mm	7,91	10,46	7,81	8,48	7,21

Na análise granulométrica da CE, em todos os tratamentos observa-se que as porcentagens de partículas retidas nas malhas analisadas foram similares. Desta forma, conclui-se que não houve destaque quanto à friabilidade dos resíduos (friável – que se fragmenta facilmente).

6.2 Ensaio físicos dos painéis

No Anexo B são apresentados os resultados dos ensaios físicos e mecânicos realizados. As codificações utilizadas nas Tabelas desse anexo foram:

- CODG – Código;
- TRAT – Tratamento;
- FAIX – Faixa;
- REPT – Repetição;
- MORL – Módulo de Ruptura Longitudinal (MPa);
- MORT – Módulo de Ruptura Transversal (MPa);
- MOEL – Módulo de Elasticidade Longitudinal (MPa);
- MOET – Módulo de Elasticidade Transversal (MPa);
- TRÇP – Tração Perpendicular (MPa);
- TRCS – Tração Superficial (MPa);
- PRFF – Arrancamento de Parafuso – Face (N);
- PRFL – Arrancamento de Parafuso – Lado (N);
- DENS – Densidade (kg/m^3);
- ABSR – Absorção (%);
- INCH – Inchamento (%);
- PDME – Perfil de Densidade – Valor Máximo Esquerdo (kg/m^3);
- PDMN – Perfil de Densidade – Valor Mínimo (kg/m^3);
- PDMD – Perfil de Densidade – Valor Máximo Direito (kg/m^3);
- PDMI – Perfil de Densidade – Valor Médio (kg/m^3).

Os corpos-de-prova das faixas 1 e 3 foram analisados após atingir a umidade de equilíbrio de 9%. Os corpos-de-prova das faixas 2 e 4 foram climatizados em câmara climática nas condições de $65 \pm 5\%$ de umidade relativa e temperatura de $20 \pm 3^\circ\text{C}$, atingindo, em média, a umidade de equilíbrio de $12,5 \pm 0,5\%$.

6.2.1. Densidade dos painéis (DENS)

A Tabela 8 apresenta a análise de variância da densidade e a Tabela 9 sumariza os resultados médios obtidos nos tratamentos e faixas.

Tabela 8. Análise de Variância – Densidade (DENS).

Densidade	gl	F	Pr > F
Tratamento	4	33,70 *	<,0001
Faixa	3	3,75 *	0,0213
Tratamento*Faixa	12	1,72	0,1124

Tabela 9. Análise dos valores médios – Densidade (DENS).

Tratamento	Faixa								Média
	1	2	3	4					
1	650,40 A a	651,32 A a	649,24 A a	649,66 A a	650,16				
2	640,22 B a	639,53 B a	640,04 B a	639,60 B a	639,85				
3	638,55 B a	638,71 B a	634,04 B a	636,10 B a	636,85				
4	630,90 C a	633,67 B a	632,53 B a	633,01 B a	632,53				
5	635,84 B a	638,92 B a	636,69 B a	637,77 B a	637,30				
Média	639,18	640,43	638,51	639,23					

Notas:

- i) letras maiúsculas comparam valores médios dos tratamentos.
- ii) letras minúsculas comparam valores médios das faixas.
- iii) médias seguidas de pelo menos uma letra igual não diferem significativamente
- iv) DENS - densidade (kg/m³)

Os resultados apresentados na Tabela 8 demonstraram que, em geral, os valores de densidade dos painéis produzidos com 100% de madeira de *Eucalyptus grandis* (T1) são superiores aos valores de densidade daqueles produzidos com essa madeira mais adição de resíduos (T2 a T5).

Os valores médios de densidade variaram na faixa de 630,90 a 651,32 kg/m³. Na NBR 14810-2 (ABNT, 2006) e EN 312-2 (EUROPEAN STANDARD, 2003), a faixa de valor da densidade especificada é de 551 a 750 kg/m³. Desta forma, como a empresa

baseia-se na norma nacional, conforme citado no capítulo 5, todos os tratamentos estão conformes e dentro do especificado.

Na pesquisa realizada por Cabral *et al.* (2007) em painéis confeccionados com partículas geradas de maravalhas e flocos de *Eucalyptus grandis*, *E. urophylla* e *E. cloeziana*, com eventual adição de partículas de *Pinus eliotti* (para manter a densidade em 700 kg/m³), não houve diferença significativa, em nível de 5% de probabilidade, entre as densidades dos painéis, obtendo-se uma média geral de 700 kg/m³. Portanto, a combinação da madeira de *Pinus eliotti* com a madeira de eucalipto foi eficiente na homogeneização da densidade dos painéis.

Por meio da análise de variância, observou-se que o efeito tratamento e faixa interferiram na densidade dos painéis.

A análise estatística demonstra que houve estatisticamente diferença entre as densidades dos painéis produzidos com 100% de madeira de *Eucalyptus grandis* (T1) dos fabricados com essa madeira e adição de resíduos (T2 a T5), sendo os valores de T1 superiores aos demais tratamentos. Quanto às faixas, não houve diferença estatística dentro do mesmo tratamento, não verificando efeito do teor de umidade final do painel (9% e 13%, aproximadamente) na propriedade densidade.

Apesar de haver estatisticamente diferença entre as densidades dos painéis, os resultados estão dentro dos especificados em norma, dos critérios operacionais da empresa, não diferindo os valores em 3% entre os tratamentos. Por meio da experiência profissional e do *know how* da empresa, essa diferença não altera a qualidade do produto fabricado, atendendo todos os critérios estabelecidos pela fabricante e requeridos pelo cliente.

6.2.2. Absorção de água após 2 horas (ABSR)

A Tabela 10 apresenta a análise de variância da absorção de água após 2 horas dos painéis e a Tabela 11 sumariza os resultados médios obtidos nos tratamentos e faixas.

Tabela 10. Análise de Variância – Absorção de água 2 horas % (ABSR).

Absorção água 2 h	gl	F	Pr > F
Tratamento	4	1,11	0,4058
Faixa	3	11,20 *	<,0001
Tratamento*Faixa	12	1,61	0,1431

Tabela 11. Análise dos valores médios – Absorção de água 2 horas % (ABSR).

Tratamento	Faixa								Média
	1		2		3		4		
1	9,50	A a	8,54	A a	11,46	A a	8,78	A a	9,62
2	9,85	A a	9,31	A a	12,31	A a	9,54	A a	10,30
3	9,42	A a	8,66	A a	9,48	A a	7,62	A a	8,85
4	13,04	A a	7,10	A b	10,62	A ab	7,37	A b	9,56
5	11,13	A a	8,04	A a	10,11	A a	8,38	A a	9,49
Média	10,66		8,39		10,86		8,38		

Notas:

- i) letras maiúsculas comparam valores médios dos tratamentos.
- ii) letras minúsculas comparam valores médios das faixas.
- iii) médias seguidas de pelo menos uma letra igual não diferem significativamente
- iv) ABSR - absorção (%)

Os valores médios de absorção de água 2 horas variaram na faixa de 7,10 a 13,04 %. As faixas 2 e 4 apresentam um comportamento semelhante e revelaram valores de absorção de água inferiores às faixas 1 e 3, por utilizarem corpos-de-prova com umidade de equilíbrio média de 13%. Avaliando as faixas de umidade dos corpos-de-prova, os menores valores de absorção de água 2 horas na umidade de 9% foram verificados no tratamento T3 e na de 13%, no tratamento T4.

Nas normas citadas neste trabalho (NBR 14810-2:2006 e EN 312-2:2003), não há descrição da especificação desta propriedade. Na norma interna utilizada pela empresa, o valor máximo permitido é 15%. Desta forma, considera-se que todos os tratamentos estão conformes e dentro do especificado.

Comparando os valores obtidos deste estudo com os resultados obtidos por Iwakiri *et al.* (2000b) para painéis produzidos com *Eucalyptus maculata* (34,41%), *E.*

grandis (41,74%), *E. tereticornis* (24,75%) e mistura destes (21,56%) com 8% de resina uréia-formaldeído e para painéis produzidos em laboratório com espécies de *Pinus elliottii* e *Eucalyptus dunnii*, que apresentaram valores na faixa de 42,09 a 71,75% (Iwakiri *et al.*, 1996), observa-se que os valores destes pesquisadores estão muito altos e acima do especificado pela norma interna da empresa.

A mesma comparação dos resultados pode ser realizado com o estudo de Brito *et al.* (2006), que produziram painéis com quatro combinações de partículas convencionais/maravalhas processadas de *Pinus elliotti* Engelm.: 100/0, 50/50, 25/75, 0/100 com 8% de teor de resina (b.p.s.p.), obtendo os seguintes resultados de absorção de água 2 horas, respectivamente, 51,04%; 54,16%; 54,15%; 51,94%.

Na Tabela 12, constam os resultados de trabalhos de alguns pesquisadores, observando na maior parte dos estudos valores mais altos que os obtidos nos tratamentos estudados.

Tabela 12. Resultados dos trabalhos de pesquisadores referentes a absorção de água 2 horas.

Fonte	Material / Adições	Absorção de água 2 horas (%)	Observação
Iwakiri <i>et al.</i> (2000a)	100% <i>Eucalyptus saligna</i>	45,83	Painéis com 8% de resina uréia-formaldeído
	100% <i>Eucalyptus citriodora</i>	25,03	
	100% <i>Eucalyptus pilularis</i>	25,25	
	Misturas destas espécies	15,60	
Dacosta <i>et al.</i> (2005b)	100% Cavaco de <i>Pinus elliottii</i> Engelm.	22,14 a 34,96	Painéis com 8% de resina uréia-formaldeído.
	100% Maravalha de <i>Pinus elliottii</i> Engelm.	11,70 a 17,16	
	Cavaco e Maravalha de <i>Pinus elliottii</i> Engelm.	15,50 a 17,96	
Cabral <i>et al.</i> (2007)	100% <i>Eucalyptus grandis</i> (maravalha)	9,42	Painéis com 8% de resina uréia-formaldeído
	<i>Eucalyptus urophylla</i> e <i>Pinus</i> (maravalha)	9,08	
	<i>Eucalyptus cloeziana</i> e <i>Pinus</i> (maravalha)	8,38	
	100% <i>Eucalyptus grandis</i> (flocos)	10,64	
	<i>Eucalyptus urophylla</i> e <i>Pinus</i> (flocos)	9,69	
	<i>Eucalyptus cloeziana</i> e <i>Pinus</i> (flocos)	8,99	
Iwakiri <i>et al.</i> (2004)	100% madeira de <i>Grevillea robusta</i> - densidade painel 600 kg/m ³	15,81	Painéis com 8% de resina uréia-formaldeído
	100% maeira de <i>Grevillea robusta</i> - densidade painel 800 kg/m ³	27,70	
Santos <i>et al.</i> (2009)	25% <i>Eucalyptus spp</i> / 75% Madeira Candeia	48,85	Painéis com 8% de resina uréia-formaldeído
	50% <i>Eucalyptus spp</i> / 50% Madeira Candeia	54,70	
	75% <i>Eucalyptus spp</i> / 25% Madeira Candeia	55,23	
	25% <i>Pinus spp</i> / 75% Madeira Candeia	57,79	
	50% <i>Pinus spp</i> / 50% Madeira Candeia	54,01	
	75% <i>Pinus spp</i> / 25% Madeira Candeia	40,28	

Por meio da análise de variância, observou-se que o efeito faixa interferiu na absorção de água 2 horas dos painéis. A faixa 1 do tratamento T4 apresentou valor superior e significativamente diferente das faixas 2 e 4.

A análise estatística demonstra que não houve diferença na propriedade de absorção de água entre os tratamentos, mesmo apresentando uma diferença em valores de 16%.

Com base nos resultados obtidos e da análise estatística, observa-se que os valores estão dentro do especificado em norma interna e dos critérios operacionais da empresa, garantindo um produto com qualidade aceitável pelo mercado nacional.

6.2.3. Inchamento em espessura após 2 horas (INCH)

A Tabela 13 apresenta a análise de variância do inchamento em espessura após 2 horas dos painéis e a Tabela 14 sumariza os resultados médios obtidos nos tratamentos e faixas.

Tabela 13. Análise de Variância – Inchamento em espessura após 2 horas % (INCH).

Inchamento em espessura 2 h	gl	F	Pr > F
Tratamento	4	0,96	0,4682
Faixa	3	13,48 *	<,0001
Tratamento*Faixa	12	1,66	0,1262

Tabela 14. Análise dos valores médios – Inchamento em espessura após 2 horas % (INCH).

Tratamento	Faixa								Média
	1	2	3	4	5	6	7	8	
1	2,58	A a	1,98	A a	3,06	A a	1,86	A a	2,37
2	2,11	A a	2,37	A a	3,31	A a	2,37	A a	2,52
3	2,42	A a	2,03	A a	2,28	A a	1,89	A a	2,16
4	3,26	A a	1,80	A b	2,91	A ab	2,00	A ab	2,49
5	2,47	A a	2,00	A a	2,93	A a	2,20	A a	2,40
Média	2,57		2,04		2,90		2,06		

Notas:

- i) letras maiúsculas comparam valores médios dos tratamentos.
- ii) letras minúsculas comparam valores médios das faixas.
- iii) médias seguidas de pelo menos uma letra igual não diferem significativamente
- iv) INCH - inchamento (%)

Os valores médios de inchamento em espessura 2 horas variaram na faixa de 1,80 a 3,31%. As faixas 2 e 4 apresentam um comportamento semelhante ao já expresso na Tabela 10 e revelaram valores de absorção de água inferiores às faixas 1 e 3, por utilizarem

corpos-de-prova com umidade de equilíbrio média de 13%. Avaliando as faixas de umidade dos corpos-de-prova, os menores valores de inchamento em espessura 2 horas na umidade de 9% foram verificados no tratamento T3 e na de 13%, no tratamento T4, o mesmo encontrado na propriedade de absorção de água.

Os valores máximos destes ensaios estão especificados na NBR 14810-2 (2006) e EN 312-2 (EUROPEAN STANDARD, 2003), sendo determinado o valor de 8%, podendo estes valores de inchamento ser considerados melhores em comparação aos resultados obtidos por Iwakiri *et al.* (2000a), para painéis produzidos de *Eucalyptus saligna* (32,24%), *E. citriodora* (19,70%) e *E. pilularis* (15,98%) e misturas destas espécies (13,58%) com 8% de resina.

Em pesquisa realizada por Dacosta *et al.* (2005a), na produção de painéis com dois tipos de resíduos de *Pinus elliottii* Engelm.(cavaco e maravalha), utilizados puros ou misturados, com 8% de resina, seguem os resultados de inchamento em espessura 2 horas: cavacos (7,00 a 11,06%), maravalha (3,16 a 3,71%) e mistura 50% cada resíduo (4,55 a 7,14%). Foi observado que os corpos de prova de maravalha apresentaram menor inchamento em espessura porém ainda superiores aos obtidos neste trabalho.

Sobre isso, Maciel (2001) observou que os painéis elaborados com madeira de pinus menos sensíveis ao inchamento em espessura do que aquelas produzidas com madeira de eucalipto. Iwakiri *et al.* (1996), estudando a mistura de espécies de *Eucalyptus dunnii* e *Pinus elliottii*, observaram que, com o aumento da proporção de pinus no painel, se elevavam os valores médios de absorção de água e inchamento em espessura. Este fato não foi constatado neste trabalho, pois apesar dos resultados atenderem à norma, os tratamentos com madeira mais adição de resíduo de pinus apresentaram valores menores de absorção de água e inchamento em espessura do que quando comparado com o tratamento com 100% de *Eucalyptus grandis*.

Na Tabela 15, são apresentados os resultados de trabalhos de alguns pesquisadores, observando na maior parte dos estudos valores mais altos que os obtidos nos tratamentos avaliados deste trabalho.

Tabela 15. Resultados dos trabalhos de pesquisadores referentes a inchamento em espessura.

Fonte	Material / Adições	Inchamento em espessura 2 horas (%)	Observação
Iwakiri <i>et al.</i> (2000b)	100% <i>Eucalyptus maculata</i>	25,72	Painéis com 8% de resina uréia-formaldeído
	100% <i>Eucalyptus grandis</i>	30,60	
	100% <i>Eucalyptus tereticornis</i>	21,18	
	Misturas destas espécies	16,76	
Cabral <i>et al.</i> (2007)	100% <i>Eucalyptus grandis</i> (maravalha)	6,43	Painéis com 8% de resina uréia-formaldeído
	<i>Eucalyptus urophylla</i> e <i>Pinus</i> (maravalha)	6,12	
	<i>Eucalyptus cloeziana</i> e <i>Pinus</i> (maravalha)	5,79	
	100% <i>Eucalyptus grandis</i> (flocos)	6,67	
	<i>Eucalyptus urophylla</i> e <i>Pinus</i> (flocos)	6,23	
Iwakiri <i>et al.</i> (2004)	100% madeira de <i>Grevillea robusta</i> - densidade painel 600 kg/m ³	8,57	Painéis com 8% de resina uréia-formaldeído
	100% madeira de <i>Grevillea robusta</i> - densidade painel 800 kg/m ³	10,63	
Santos <i>et al.</i> (2009)	25% <i>Eucalyptus spp</i> / 75% Madeira Candeia	9,73	Painéis com 8% de resina uréia-formaldeído
	50% <i>Eucalyptus spp</i> / 50% Madeira Candeia	11,95	
	75% <i>Eucalyptus spp</i> / 25% Madeira Candeia	15,67	
	25% <i>Pinus spp</i> / 75% Madeira Candeia	13,85	
	50% <i>Pinus spp</i> / 50% Madeira Candeia	12,59	
	75% <i>Pinus spp</i> / 25% Madeira Candeia	10,33	

Por meio da análise de variância, observou-se que o efeito faixa interferiu no inchamento em espessura 2 horas dos painéis. A faixa 1 do tratamento T4 apresentou valor superior e significativamente diferente das faixas 2 e 4, assim como na propriedade de absorção de água.

A análise estatística demonstra que não houve diferença na propriedade de inchamento em espessura entre os tratamentos.

Os resultados estão dentro dos especificados em norma, dos critérios operacionais da empresa, não diferindo os valores em 1,2% entre os tratamentos.

6.3 Ensaios mecânicos dos painéis

Os resultados obtidos nos ensaios mecânicos estão reportados no Anexo B.

6.3.1. Módulo de Elasticidade (MOE)

As Tabelas 16 e 17 apresentam, respectivamente, a análise de variância do módulo de elasticidade longitudinal e transversal e as Tabelas 18 e 19 resumizam os resultados médios obtidos nos tratamentos e faixas.

Tabela 16. Análise de Variância – Módulo de Elasticidade Longitudinal (MOEL).

Módulo de Elasticidade Long.	gl	F	Pr > F
Tratamento	4	0,55	0,7005
Faixa	3	295,8 *	<,0001
Tratamento*Faixa	12	2,48 *	0,0218

Tabela 17. Análise de Variância – Módulo de Elasticidade Transversal (MOET).

Módulo de Elasticidade Transv.	gl	F	Pr > F
Tratamento	4	3,86 *	0,0096
Faixa	3	246,19 *	<,0001
Tratamento*Faixa	12	2,86 *	0,0063

Tabela 18. Análise dos valores médios – Módulo de Elasticidade Longitudinal (MOEL).

Tratamento	Faixa								Média
	1		2		3		4		
1	2535	A a	1771	A b	2919	A c	1867	A b	2273
2	2691	A a	1636	A b	2658	A a	1813	A b	2200
3	2645	A a	1831	A b	2573	A a	1862	A b	2228
4	2560	A a	1772	A b	2686	A a	1801	A b	2205
5	2784	A a	1685	A b	2723	A a	1689	A b	2220
Média	2643		1739		2712		1806		

Notas:

- i) letras maiúsculas comparam valores médios dos tratamentos.
- ii) letras minúsculas comparam valores médios das faixas.
- iii) médias seguidas de pelo menos uma letra igual não diferem significativamente ($p > 0,05$)
- iv) MOEL - Módulo de Elasticidade Longitudinal (MPa)

Tabela 19. Análise dos valores médios – Módulo de Elasticidade Transversal (MOET).

Tratamento	Faixa								Média
	1		2		3		4		
1	1888	A a	1377	A b	2090	A a	1280	A b	1659
2	1946	A a	1327	A b	1837	A a	1192	A b	1576
3	1997	A a	1447	A b	1857	A a	1411	A b	1678
4	1814	A a	1374	A b	1862	A a	1347	A b	1599
5	2019	A a	1332	A b	2025	A a	1342	A b	1679
Média	1933		1371		1934		1315		

Notas:

- i) letras maiúsculas comparam valores médios dos tratamentos.
- ii) letras minúsculas comparam valores médios das faixas.
- iii) médias seguidas de pelo menos uma letra igual não diferem significativamente ($p > 0,05$)
- iv) MOET - Módulo de Elasticidade Transversal (MPa)

Os valores médios MOEL são, no geral, 30% superiores aos obtidos no MOET. Essa ocorrência é explicada pela direção preferencial assumida pelas partículas depositadas no colchão, durante a formação dos painéis na linha de produção. As faixas 2 e 4, tanto no MOEL como no MOET, apresentam um comportamento semelhante ao já expresso nas Tabelas 11 e 14 e revelaram valores de módulo de elasticidade inferiores às faixas 1 e 3, por utilizarem corpos-de-prova com umidade de equilíbrio média de 13%.

Nos MOEL e MOET, os valores variaram na faixa de 1635 a 2919 MPa e de 1192 a 2090 MPa, respectivamente. Os maiores valores de MOEL e MOET foram verificados nos tratamentos T1 e T5, respectivamente e os menores valores foram identificados no tratamento T4 e T2, respectivamente.

Nas normas citadas neste trabalho, não há descrição da especificação desta propriedade. Na norma interna utilizada pela empresa, os valores mínimos requeridos para MOEL e MOET são, respectivamente, de 1560 e 1090 MPa. Desta forma, considera-se que todos os tratamentos estão conformes e dentro do especificado.

Os valores do módulo de elasticidade podem ser considerados similares aos resultados obtidos por Iwakiri *et al.* (2000b) para painéis produzidos em laboratório com *Eucalyptus maculata* (1500 MPa), *E. grandis* (1803 MPa), *E. tereticornis* (2164 MPa) e mistura destes (1739 MPa) com 8% de resina e em Iwakiri *et al.* (1995), para painéis para painéis produzidos *Eucalyptus dunnii* (2225 MPa).

No estudo de Dacosta *et al.* (2005), na produção de painéis com dois tipos de resíduos de *Pinus elliottii* Engelm. (cavaco e maravalha), utilizados puros ou misturados, resultantes do processamento mecânico da madeira, com 8% de resina, os resultados de módulo de elasticidade foram cavacos (650 a 656 MPa), maravalha (1050 a 1159 MPa) e mistura 50% cada resíduo (700 a 756 MPa). O cavaco foi o material que apresentou os resultados menos satisfatórios neste trabalho. Nos ensaios de MOR e MOE observou-se que só alguns tratamentos superaram o valor mínimo requerido no trabalho. Isso pode ser explicado, no caso do material cavaco, pela proporção de casca a qual influi na diminuição da resistência da superfície dos painéis. Apesar da maravalha apresentar melhores resultados, ainda assim os valores são menores do que aqueles normalmente observados para painéis similares feitos de partículas obtidas de madeira roliça. Isso sugere uma deterioração ou enfraquecimento da madeira durante o processo de produção das maravalhas pelas plainas.

Haselein (1989), Hillig (2000) e Albuquerque (2002) observaram também que um aumento na densidade do painel resulta em um aumento no MOE. Neste trabalho, observa-se o tratamento T1, que possui maior densidade, apresentou maior valor de MOEL.

Na Tabela 20, constam os resultados de trabalhos de alguns pesquisadores, na sua maioria com resultados similares aos obtidos neste estudo.

Tabela 20. Resultados dos trabalhos de pesquisadores referentes a módulo de elasticidade (MOE).

Fonte	Material / Adições	Módulo de Elasticidade (MPa)	Observação
Iwakiri <i>et al.</i> (2000a)	100% <i>Eucalyptus saligna</i>	2038	Painéis com 8% de resina uréia-formaldeído
	100% <i>Eucalyptus citriodora</i>	2114	
	100% <i>Eucalyptus pilularis</i>	2509	
	Misturas destas espécies	2246	
Iwakiri <i>et al.</i> (2004)	100% madeira de <i>Grevillea robusta</i> - densidade painel 600 kg/m ³	1434	Painéis com 8% de resina uréia-formaldeído
	100% madeira de <i>Grevillea robusta</i> - densidade painel 800 kg/m ³	2177	
Santos <i>et al.</i> (2009)	25% <i>Eucalyptus spp</i> / 75% Madeira Candeia	590	Painéis com 8% de resina uréia-formaldeído
	50% <i>Eucalyptus spp</i> / 50% Madeira Candeia	633	
	75% <i>Eucalyptus spp</i> / 25% Madeira Candeia	616	
Pedrazzi <i>et al.</i> (2006)	Palito <i>Eucalyptus saligna</i> - densidade painel 650 kg/m ³	1037	Painéis com 8% de resina uréia-formaldeído
	Palito <i>Eucalyptus saligna</i> - densidade painel 750 kg/m ³	1589	
	Serragem <i>Eucalyptus saligna</i> - densidade painel 650 kg/m ³	996	
	Serragem <i>Eucalyptus saligna</i> - densidade painel 750 kg/m ³	1450	

Por meio da análise de variância, observou-se que os efeitos faixa e tratamento*faixa interferiram nos MOEL e MOET.

A análise estatística demonstra que não houve diferença nas propriedades MOEL e MOET entre os tratamentos. Os resultados estão dentro dos especificados em norma interna, dos critérios operacionais da empresa, não diferindo os valores em 7% entre os tratamentos.

6.3.2. Módulo de Ruptura (MOR)

As Tabelas 21 e 22 apresentam, respectivamente, a análise de variância do módulo de elasticidade longitudinal e transversal e as Tabelas 23 e 24 sumarizam os resultados médios obtidos nos tratamentos e faixas.

Tabela 21. Análise de Variância – Módulo de Ruptura Longitudinal (MORL).

Módulo de Ruptura Long.	gl	F	Pr > F
Tratamento	4	0,94	0,4791
Faixa	3	440,89 *	<,0001
Tratamento*Faixa	12	2,74 *	0,0127

Tabela 22. Análise de Variância – Módulo de Ruptura Transversal (MORT).

Módulo de Ruptura Transv.	gl	F	Pr > F
Tratamento	4	2,60	0,1002
Faixa	3	195,35 *	<,0001
Tratamento*Faixa	12	1,85	0,0843

Tabela 23. Análise dos Valores médios – Módulo de Ruptura Longitudinal (MORL).

Tratamento	Faixa								Média
	1	2	3	4					
1	16,71	A a	13,10	A b	18,43	A c	14,16	A b	15,60
2	17,04	A a	13,12	A b	17,84	A a	13,47	A b	15,40
3	16,34	A a	13,47	A b	17,56	A a	13,73	A b	15,25
4	16,29	A a	12,98	A b	17,32	A a	13,61	A b	15,05
5	17,45	A a	12,71	A b	17,87	A a	12,97	A b	15,25
Média	16,75		13,08		17,80		13,61		

Notas:

- i) letras maiúsculas comparam valores médios dos tratamentos.
- ii) letras minúsculas comparam valores médios das faixas.
- iii) médias seguidas de pelo menos uma letra igual não diferem significativamente
- iv) MORL - Módulo de Ruptura Longitudinal (MPa)

Tabela 24. Análise dos Valores médios – Módulo de Ruptura Transversal (MORT).

Tratamento	Faixa								Média
	1		2		3		4		
1	14,80	A a	12,00	A b	15,06	A a	11,40	A b	13,32
2	14,47	A a	11,49	A b	14,37	A a	10,92	A b	12,82
3	14,27	A a	12,35	A b	14,27	A a	12,25	A b	13,28
4	14,31	A a	11,97	A b	14,43	A a	11,79	A b	13,12
5	14,67	A a	11,86	A b	14,39	A a	11,95	A b	13,21
Média	14,51		11,93		14,50		11,66		

Notas:

- i) letras maiúsculas comparam valores médios dos tratamentos.
- ii) letras minúsculas comparam valores médios das faixas.
- iii) médias seguidas de pelo menos uma letra igual não diferem significativamente
- iv) MORL - Módulo de Ruptura Transversal (MPa)

Os valores médios do módulo de ruptura longitudinal são, no geral, 20% superiores aos obtidos no módulo de ruptura transversal. Essa ocorrência é explicada pela direção preferencial assumida pelas partículas depositadas no colchão, durante a formação dos painéis na linha de produção. As faixas 2 e 4, tanto no MORL e MORT, apresentam um comportamento semelhante ao já expresso nas Tabelas 11 e 14 e revelaram valores de módulo de ruptura inferiores às faixas 1 e 3, por utilizarem corpos-de-prova com umidade de equilíbrio média de 13%.

Nos MORL e MORT, os valores variaram na faixa de 12,71 a 18,43 MPa e de 10,92 a 15,06 MPa, respectivamente. Os maiores valores de MORL e MORT foram verificados no tratamento T1 e os menores valores foram identificados no tratamento T4 e T2, respectivamente.

Os valores mínimos destes ensaios estão especificados nas normas nacional NBR 14810-2 (ABNT, 2006) e internacional EN 312-2 (EUROPEAN STANDARD, 2003), sendo 16 MPa e 13MPa, respectivamente. Os valores definidos pela norma interna da empresa para os MORL e MORT de 12 e 10 MPa, respectivamente. Desta forma, considera-se que todos os tratamentos estão conformes e dentro do especificado quando considerada a norma interna da empresa.

Os resultados do MOR podem ser considerados satisfatórios quando comparados aos valores obtidos por Iwakiri *et al.* (2000a), para painéis produzidos de

Eucalyptus saligna (12,70 MPa), *E. citriodora* (14,05 MPa) e *E. pilularis* (15,20 MPa) e misturas destas espécies (14,63 MPa) com 8% de resina.

No estudo de Dacosta *et al.* (2005), na produção de painéis com dois tipos de resíduos de *Pinus elliottii* Engelm.(cavaco e maravalha), utilizados puros ou misturados, resultantes do processamento mecânico da madeira, com 8% de resina, os resultados de módulo de ruptura foram cavacos (6,44 a 8,17 MPa), maravalha (9,02 a 9,41 MPa) e mistura 50% cada resíduo (7,50 a 8,03 MPa). As mesmas explicações citadas para os baixos valores obtidos no MOE no item anterior 6.3.1, justificam os baixos valores do MOR.

Haselein (1989), Hillig (2000) e Albuquerque (2002) observaram também que um aumento na densidade do painel resulta em um aumento no MOR. Neste trabalho, observa-se o tratamento T1, que possui maior densidade, apresentou maior valor de MORL, assim como citado no MOEL.

Na Tabela 25, constam os resultados de trabalhos de alguns pesquisadores, na sua maioria com resultados similares aos obtidos neste estudo.

Tabela 25. Resultados dos trabalhos de pesquisadores referentes a módulo de ruptura (MOR).

Fonte	Material / Adições	Módulo de Ruptura (MPa)	Observação
Iwakiri <i>et al.</i> (2000b)	100% <i>Eucalyptus maculata</i>	12,44	Painéis com 8% de resina uréia-formaldeído
	100% <i>Eucalyptus grandis</i>	13,16	
	100% <i>Eucalyptus tereticornis</i>	12,83	
	Misturas destas espécies	7,27	
Cabral <i>et al.</i> (2007)	100% <i>Eucalyptus grandis</i> (maravalha)	15,22	Painéis com 8% de resina uréia-formaldeído
	<i>Eucalyptus urophylla</i> e <i>Pinus</i> (maravalha)	16,45	
	<i>Eucalyptus cloeziana</i> e <i>Pinus</i> (maravalha)	17,58	
	100% <i>Eucalyptus grandis</i> (flocos)	17,57	
	<i>Eucalyptus urophylla</i> e <i>Pinus</i> (flocos)	16,83	
	<i>Eucalyptus cloeziana</i> e <i>Pinus</i> (flocos)	19,15	
Iwakiri <i>et al.</i> (2004)	100% madeira de <i>Grevillea robusta</i> - densidade painel 600 kg/m ³	10,10	Painéis com 8% de resina uréia-formaldeído
	100% madeira de <i>Grevillea robusta</i> - densidade painel 800 kg/m ³	17,36	
Santos <i>et al.</i> (2009)	25% <i>Eucalyptus spp</i> / 75% Madeira Candeia	6,20	Painéis com 8% de resina uréia-formaldeído
	50% <i>Eucalyptus spp</i> / 50% Madeira Candeia	6,79	
	75% <i>Eucalyptus spp</i> / 25% Madeira Candeia	7,42	
Pedrazzi <i>et al.</i> (2006)	Palito <i>Eucalyptus saligna</i> - densidade painel 650 kg/m ³	8,27	Painéis com 8% de resina uréia-formaldeído
	Palito <i>Eucalyptus saligna</i> - densidade painel 750 kg/m ³	9,36	
	Serragem <i>Eucalyptus saligna</i> - densidade painel 650 kg/m ³	6,24	
	Serragem <i>Eucalyptus saligna</i> - densidade painel 750 kg/m ³	9,89	

Por meio da análise de variância, observou-se que o efeito faixa interferiu nos MORL e MORT e o efeito tratamento*faixa no MORL.

Assim como observado no MOE, a análise estatística demonstra que não houve diferença nas propriedades MORL e MORT entre os tratamentos. Os resultados estão dentro do especificado em norma interna e dos critérios operacionais da empresa.

Comparando as propriedades módulos de ruptura e módulo de elasticidade por meio da Figura 15, observa-se forte associação entre as duas variáveis.

Conclui-se que eventual classificação dos painéis pelo módulo de ruptura poderia ser feita indiretamente com o uso do módulo de elasticidade, que é um parâmetro que pode ser diretamente obtido com o uso de ensaios não destrutivos, como o ensaio de ultra-som, por exemplo.

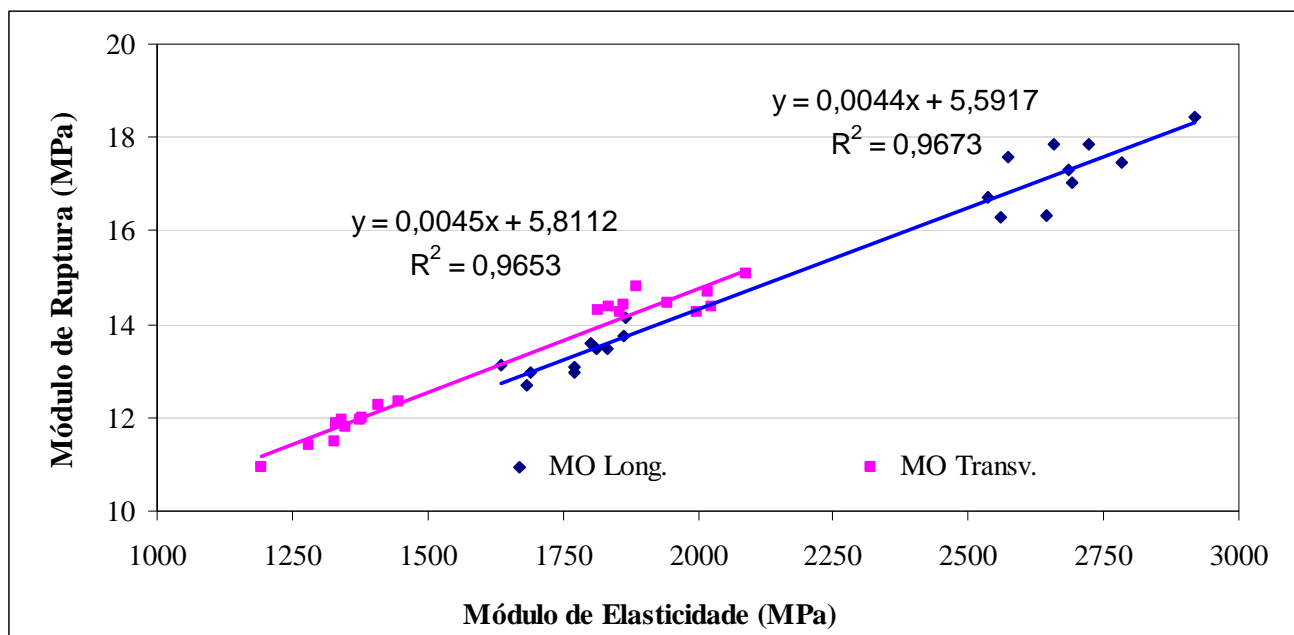


Figura 15. Correlação entre o módulo de elasticidade e o módulo de ruptura à flexão

6.3.3. Resistência a tração perpendicular (TRCP)

A Tabela 26 apresenta análise de variância da resistência a tração perpendicular e a Tabela 27 sumariza os resultados médios obtidos nos tratamentos e faixas.

Tabela 26. Análise de Variância – Tração Perpendicular (TRCP).

Tração Perpendicular	gl	F	Pr > F
Tratamento	4	1,48	0,2791
Faixa	3	498,46 *	<,0001
Tratamento*Faixa	12	1,79	0,0969

Tabela 27. Análise dos valores médios – Tração Perpendicular (TRCP).

Tratamento	Faixa								Média
	1		2		3		4		
1	0,59	A a	0,38	A b	0,59	A a	0,40	A b	0,49
2	0,56	A a	0,37	A b	0,58	A a	0,37	A b	0,47
3	0,54	A a	0,39	A b	0,55	A a	0,38	A b	0,47
4	0,56	A a	0,39	A b	0,54	A a	0,39	A b	0,47
5	0,55	A a	0,39	A b	0,56	A a	0,40	A b	0,48
Média	0,56		0,39		0,56		0,39		

Notas:

- i) letras maiúsculas comparam valores médios dos tratamentos.
- ii) letras minúsculas comparam valores médios das faixas.
- iii) médias seguidas de pelo menos uma letra igual não diferem significativamente
- iv) TRCP - Tração Perpendicular (MPa)

Os valores de resistência a tração perpendicular variaram na faixa de 0,37 a 0,59 MPa. Os maiores valores foram verificados no tratamento T1 e os menores valores foram identificados no T2. As faixas 2 e 4 apresentam um comportamento semelhante ao já expresso nas Tabelas 11 e 14 e revelaram valores de resistência a tração perpendicular inferiores às faixas 1 e 3, por utilizarem corpos-de-prova com umidade de equilíbrio média de 13%.

O valor mínimo desta propriedade está especificado na NBR 14810-2 (ABNT, 2006) e EN 312-2 (EUROPEAN STANDARD, 2003), sendo 0,35 MPa. A norma interna adota o mesmo valor da NBR 14810-2 (ABNT, 2006). Desta forma, considera-se que todos os tratamentos estão conformes e dentro do especificado quando considerada a norma interna da empresa.

Comparando os resultados deste trabalho com os obtidos por Iwakiri *et al.* (2000b), observam-se valores superiores para painéis produzidos em laboratório com *Eucalyptus maculata* (1,09 MPa), *E. grandis* (0,76 MPa), *E. tereticornis* (0,83 MPa) e mistura destes (0,75 MPa) com 8% de resina e em Iwakiri *et al.* (1995) e (1996), para painéis para painéis produzidos com *Pinus elliottii* (1,08 MPa), *Mimosa scabrella* (0,44 MPa) e *Eucalyptus dunnii* (0,81 MPa).

Em pesquisa realizada por Pedrazzi *et al.* (2006), seguem os resultados de tração perpendicular obtidos para painéis produzido com dois tipos resíduos da madeira de *Eucalyptus saligna* (palito e serragem) resultantes da picagem das toras para a confecção de

cavacos utilizados na produção de celulose, com 8% de resina e densidade 650 e 750 kg/m³: palito e 650 kg/m³ (0,14 MPa), palito e 750 kg/m³ (0,17 MPa), serragem e 650 kg/m³ (0,13 MPa) e serragem e 750 kg/m³ (0,19 MPa). Observa-se que são valores abaixo dos especificados em norma e os obtidos neste trabalho.

Foi constatado por Hillig (2000), que um aumento na densidade eleva o valor da tração perpendicular. Neste trabalho, observa-se que tratamento T1 (maior densidade) apresentou maior valor de tração perpendicular.

Na Tabela 28, constam os resultados de trabalhos de alguns pesquisadores. A grande parte dos resultados atendem ao especificado nas normas.

Tabela 28. Resultados dos trabalhos de pesquisadores referentes a resistência a tração perpendicular.

Fonte	Material / Adições	Tração Perpendicular (MPa)	Observação
Iwakiri <i>et al.</i> (2000a)	100% <i>Eucalyptus saligna</i>	1,00	Painéis com 8% de resina uréia-formaldeído
	100% <i>Eucalyptus citriodora</i>	0,81	
	100% <i>Eucalyptus pilularis</i>	0,76	
	Misturas destas espécies	1,13	
Dacosta <i>et al.</i> (2005)	100% Cavaco de <i>Pinus elliottii</i> Engelm.	0,19 a 0,20	Painéis com 8% de resina uréia-formaldeído
	100% Maravalha de <i>Pinus elliottii</i> Engelm.	0,16 a 0,20	
	Cavaco e Maravalha de <i>Pinus elliottii</i> Engelm.	0,12 a 0,20	
Iwakiri <i>et al.</i> (2004)	100% madeira de <i>Grevillea robusta</i> - densidade painel 600 kg/m ³	0,71	Painéis com 8% de resina uréia-formaldeído
	100% maeira de <i>Grevillea robusta</i> - densidade painel 800 kg/m ³	0,32	
Santos <i>et al.</i> (2009)	25% <i>Eucalyptus spp</i> / 75% Madeira Candeia	0,54	Painéis com 8% de resina uréia-formaldeído
	50% <i>Eucalyptus spp</i> / 50% Madeira Candeia	0,61	
	75% <i>Eucalyptus spp</i> / 25% Madeira Candeia	0,56	
	25% <i>Pinus spp</i> / 75% Madeira Candeia	0,63	
	50% <i>Pinus spp</i> / 50% Madeira Candeia	0,50	
	75% <i>Pinus spp</i> / 25% Madeira Candeia	0,64	

Por meio da análise de variância, observou-se que o efeito faixa interferiu na resistência a tração perpendicular dos painéis. A análise estatística demonstra que não houve diferença significativa entre os tratamentos.

Os resultados estão dentro dos especificados em norma e dos critérios operacionais da empresa. Por meio da experiência profissional e do *know how* da empresa, esta diferença nos resultados entre tratamentos não altera a qualidade do produto fabricado, atendendo todos os critérios estabelecidos e requeridos pelo cliente.

6.3.4. Resistência a tração superficial (TRCS)

A Tabela 29 apresenta análise de variância da resistência a tração superficial e a Tabela 30 sumariza os resultados médios obtidos nos tratamentos e faixas.

Tabela 29. Análise de Variância – Tração Superficial (TRCS).

Tração Superficial	gl	F	Pr > F
Tratamento	4	12,35 *	<,0001
Faixa	3	106,65 *	<,0001
Tratamento*Faixa	12	2,86 *	<0,0063

Tabela 30. Análise dos valores médios – Tração Superficial (TRCS).

Tratamento	Faixa								Média
	1	2	3	4					
1	1,38	0,83	1,45	0,82	A a	B b	A a	B b	1,12
2	1,38	0,88	1,44	0,99	A a	B b	A a	AB b	1,17
3	1,46	0,92	1,31	1,04	A a	B b	A a	AB b	1,18
4	1,56	1,00	1,28	1,05	A a	AB b	A ab	AB b	1,22
5	1,57	1,24	1,46	1,22	A a	A b	A ab	A b	1,37
Média	1,47	0,98	1,39	1,02					

Notas:

- i) letras maiúsculas comparam valores médios dos tratamentos.
- ii) letras minúsculas comparam valores médios das faixas.
- iii) médias seguidas de pelo menos uma letra igual não diferem significativamente
- iv) TRCS - Tração Superficial (MPa)

Os valores de resistência a tração superficial variaram na faixa de 0,82 a 1,57 MPa. Os maiores valores foram verificados no tratamento T5 e os menores valores foram identificados no T1. As faixas 2 e 4 apresentam um comportamento semelhante ao já expresso

nas Tabelas 11 e 11 e revelaram valores de resistência a tração superficial inferiores às faixas 1 e 3, por utilizarem corpos-de-prova com umidade de equilíbrio média de 13%.

Em função do painel estudado neste trabalho possuir 3 camadas (duas externas e uma interna), este ensaio torna-se particularmente importante para avaliação da camada externa (CE). Esta favorece a formação do colchão tanto devido a questão da granulometria, como da densidade e do teor de resina aplicado nesta camada.

Na norma interna utilizada pela empresa, o valor mínimo permitido é 0,90 MPa. Desta forma, considera-se que somente o tratamento T1 na condição de ensaio do corpo-de-prova à umidade de equilíbrio a 13% que não está conforme e de acordo com o especificado na norma interna. As demais interações (tratamento*faixa) estão dentro do especificado.

Por meio da análise de variância, observou-se que os efeitos tratamento, faixa e tratamento*faixa interferiram na resistência a tração superficial dos painéis. A análise estatística demonstra que houve diferença significativa entre os tratamentos nas faixas 2 e 4, sendo o tratamento T5 superior aos demais tratamentos.

6.3.5. Resistência ao arrancamento de parafuso

As Tabelas 31 e 32 apresentam, respectivamente, a análise de variância do módulo de elasticidade longitudinal e transversal e as Tabelas 33 e 34 sumarizam os resultados médios obtidos nos tratamentos e faixas.

Tabela 31. Análise de Variância – Arrancamento de Parafuso - Face (PRFF).

Arrancamento Parafuso - Face	gl	F	Pr > F
Tratamento	4	2,04	0,1069
Faixa	3	210,07 *	<,0001
Tratamento*Faixa	12	1,74	0,0952

Tabela 32. Análise de Variância – Arrancamento de Parafuso - Lado (PRFL).

Arrancamento Parafuso - Lado	gl	F	Pr > F
Tratamento	4	0,88	0,4856
Faixa	3	104,44 *	<,0001
Tratamento*Faixa	12	2,59 *	0,0119

Tabela 33. Análise dos valores médios – Arrancamento de Parafuso - Face (PRFF).

Tratamento	Faixa								Média
	1	2	3	4					
1	1191,93	A a	850,77	A b	1155,76	A a	897,30	A b	1023,00
2	1159,68	A a	850,88	A b	1108,57	A a	859,60	A b	994,68
3	1097,35	A a	903,51	A b	1117,40	A a	861,34	A b	994,90
4	1132,00	A a	896,97	A b	1071,42	A a	815,03	A b	978,86
5	1112,17	A a	850,34	A b	1132,00	A a	861,45	A b	988,99
Média	1138,63		870,50		1117,03		858,94		

Notas:

- i) letras maiúsculas comparam valores médios dos tratamentos.
- ii) letras minúsculas comparam valores médios das faixas.
- iii) médias seguidas de pelo menos uma letra igual não diferem significativamente ($p > 0,05$)
- iv) PRFF - Arrancamento de Parafuso - Face (N)

Tabela 34. Análise dos valores médios – Arrancamento de Parafuso - Lado (PRFL).

Tratamento	Faixa								Média
	1	2	3	4					
1	938,82	AB a	598,53	A b	952,87	A a	662,92	A b	788,28
2	887,82	AB a	561,04	A b	934,46	A a	584,47	A b	741,95
3	769,92	B ab	675,67	A b	966,38	A a	591,88	A ab	750,96
4	1008,22	A a	589,22	A b	879,70	A a	546,11	A b	755,99
5	1004,19	A a	585,88	A b	910,37	A a	608,44	A b	777,22
Média	921,79		602,21		928,76		598,77		

Notas:

- i) letras maiúsculas comparam valores médios dos tratamentos.
- ii) letras minúsculas comparam valores médios das faixas.
- iii) médias seguidas de pelo menos uma letra igual não diferem significativamente ($p > 0,05$)
- iv) PRFL - Arrancamento de Parafuso - Lado (N)

Os valores médios do arrancamento de parafuso face (PRFF) são, no geral, 25% superiores aos obtidos no arrancamento de parafuso lado (PRFL), pois a resistência na face do painel está diretamente relacionada a CE, constituída de maior densidade e porcentagem de aplicação de resina (9,5%) quando comparada a CI (menor densidade e aplicação de 7,5%). As faixas 2 e 4, tanto no PRFF e PRFL, apresentam um comportamento semelhante ao já expresso nas Tabelas 11 e 14 e revelaram valores de arrancamento de

parafuso inferiores às faixas 1 e 3, por utilizarem corpos-de-prova com umidade de equilíbrio média de 13%.

Nos PRFF e PRFL, os valores variaram na faixa de 815,03 a 1191,93 N e de 546,11 a 1008,22 N, respectivamente. Os maiores valores de PRFF e PRFL foram verificados no tratamento T1 e os menores valores foram identificados no tratamento T4 e T5, respectivamente.

Os valores mínimos estão especificados na NBR 14810-2 (ABNT, 2006), sendo 1020 N (PRFF) e 800 N (PRFL), estes adotados pela empresa.

Desta forma, considera-se que todos os tratamentos da condição de umidade de equilíbrio do corpo-de-prova de 9% estão conformes e dentro do especificado quando considerada a norma interna da empresa. Todos os valores apresentados das faixas 2 e 4 estão abaixo do valor mínimo requerido.

De acordo com Dacosta *et al.* (2005) e Pedrazzi *et al.* (2006), no teste de arrancamento de parafusos, foi observado que, com o aumento da densidade, esta propriedade apresentou uma maior resistência. Neste trabalho, observa-se que tratamento T1 (maior densidade) apresentou maior valor de arrancamento de parafuso face.

Na Tabela 35, constam os resultados de trabalhos de alguns pesquisadores.

Tabela 35. Resultados dos trabalhos de pesquisadores referentes a resistência ao arrancamento de parafuso.

Fonte	Material / Adições	Arrancamento de Parafuso (MPa)	Observação
Dacosta <i>et al.</i> (2005)	100% Cavaco de <i>Pinus elliottii</i> Engelm.	558 a 598	Painéis com 8% de resina.
	100% Maravalha de <i>Pinus elliottii</i> Engelm.	539 a 735	
	Cavaco e Maravalha de <i>Pinus elliottii</i> Engelm.	451 a 725	
Pedrazzi <i>et al.</i> (2006)	Palito <i>Eucalyptus saligna</i> - densidade painel 650 kg/m ³	686	Painéis com 8% de resina.
	Palito <i>Eucalyptus saligna</i> - densidade painel 750 kg/m ³	706	
	Serragem <i>Eucalyptus saligna</i> - densidade painel 650 kg/m ³	520	
	Serragem <i>Eucalyptus saligna</i> - densidade painel 750 kg/m ³	696	

Por meio da análise de variância, observou-se que o efeito faixa interferiu nos PRFF e PRFL e o efeito tratamento*faixa no PRFL.

A análise estatística demonstra que não houve diferença significativa entre tratamentos no PRFF, porém no PRFL observa-se na faixa 1 esta diferença, no qual o tratamento T3 possui valores 25% mais baixos em comparação aos tratamentos T4 e T5.

6.4 Ensaios de determinação do perfil de densidade

As Tabelas 36 a 39 apresentam as análises de variância do perfil de densidade e as Tabelas 40 a 43 sumarizam os resultados médios obtidos nos tratamentos e faixas.

Tabela 36. Análise de Variância – Perfil de densidade – Valor médio (PDMI).

Perfil de Densidade Médio	gl	F	Pr > F
Tratamento	4	6,84 *	0,0064
Faixa	3	12,35 *	<,0001
Tratamento*Faixa	12	1,30	0,2671

Tabela 37. Análise de Variância – Perfil de densidade – Valor mínimo (PDMN).

Perfil de Densidade Mínimo	gl	F	Pr > F
Tratamento	4	17,79 *	0,0002
Faixa	3	4,05 *	0,0158
Tratamento*Faixa	12	4,36 *	0,0005

Tabela 38. Análise de Variância – Perfil de densidade – Valor máximo esquerdo (PDME).

Perfil de Densidade Máx. Esq.	gl	F	Pr > F
Tratamento	4	30,34 *	<,0001
Faixa	3	294,68 *	<,0001
Tratamento*Faixa	12	6,41 *	<,0001

Tabela 39. Análise de Variância – Perfil de densidade – Valor máximo direito (PDMD).

Perfil de Densidade Máx. Dir.	gl	F	Pr > F
Tratamento	4	10,65 *	0,0013
Faixa	3	204,16 *	<,0001
Tratamento*Faixa	12	3,86 *	0,0013

Tabela 40. Análise dos valores médios – Perfil de densidade – Valor médio (PDMI).

Tratamento	Faixa								Média
	1		2		3		4		
1	641,44	A a	617,74	A a	639,70	A a	617,08	A a	628,99
2	628,07	A a	608,59	A a	629,56	A a	608,41	A a	618,66
3	616,52	A a	611,11	A a	627,44	A a	606,96	A a	615,51
4	615,33	A a	604,26	A a	615,67	A a	585,44	A a	605,18
5	621,26	A a	622,04	A a	618,67	A a	618,19	A a	620,04
Média	624,53		612,75		626,21		607,22		

Notas:

- i) letras maiúsculas comparam valores médios dos tratamentos.
- ii) letras minúsculas comparam valores médios das faixas.
- iii) médias seguidas de pelo menos uma letra igual não diferem significativamente ($p > 0,05$)
- iv) PDMI - Perfil de Densidade Médio (kg/m^3)

Tabela 41. Análise dos valores médios – Perfil de densidade – Valor mínimo (PDMN).

Tratamento	Faixa								Média
	1		2		3		4		
1	554,41	A a	540,63	A b	551,07	A ab	541,15	A ab	546,81
2	545,41	A a	534,30	A a	539,48	A a	533,52	AB a	538,18
3	525,44	B a	531,56	A a	538,74	AB a	534,30	AB a	532,51
4	528,56	B a	525,56	A a	529,41	B a	525,37	B a	527,22
5	532,11	B a	537,67	A a	528,63	B a	531,55	AB a	532,49
Média	537,19		533,94		537,47		533,18		

Notas:

- i) letras maiúsculas comparam valores médios dos tratamentos.
- ii) letras minúsculas comparam valores médios das faixas.
- iii) médias seguidas de pelo menos uma letra igual não diferem significativamente ($p > 0,05$)
- iv) PDMN - Perfil de Densidade Mínimo (kg/m^3)

Tabela 42. Análise dos valores médios – Perfil de densidade – Valor máximo esquerdo (PDME).

Tratamento	Faixa								Média
	1		2		3		4		
1	843,15	A a	781,11	A b	829,96	A a	774,52	AB b	807,19
2	823,04	AB a	771,07	A b	827,15	A a	767,67	AB b	797,23
3	808,37	B a	766,63	AB b	827,96	A a	760,59	B b	790,89
4	803,26	B a	751,70	B b	803,63	B a	756,34	B b	778,73
5	814,15	B a	783,89	A b	804,48	B a	781,52	A b	796,01
Média	818,39		770,88		818,64		768,13		

Notas:

- i) letras maiúsculas comparam valores médios dos tratamentos.
- ii) letras minúsculas comparam valores médios das faixas longitudinais.
- iii) médias seguidas de pelo menos uma letra igual não diferem significativamente ($p > 0,05$)
- iv) PDME - Perfil de Densidade Máximo Esquerdo (kg/m^3)

Tabela 43. Análise dos valores médios – Perfil de densidade – Valor máximo direito (PDMD).

Tratamento	Faixa								Média
	1		2		3		4		
1	832,81	A a	770,52	AB b	834,33	A a	758,85	A b	799,13
2	821,26	AB a	760,96	B b	827,18	AB a	767,15	A b	794,14
3	808,85	AB a	759,70	B b	820,96	AB a	760,22	A b	787,44
4	804,18	B a	752,93	B b	806,89	B a	757,96	A b	780,24
5	814,89	AB a	790,00	A ab	814,89	AB a	780,63	A b	800,10
Média	816,40		766,82		820,65		764,96		

Notas:

- i) letras maiúsculas comparam valores médios dos tratamentos.
- ii) letras minúsculas comparam valores médios das faixas.
- iii) médias seguidas de pelo menos uma letra igual não diferem significativamente ($p > 0,05$)
- iv) PDMD - Perfil de Densidade Máximo Direito (kg/m^3)

Foram realizados os ensaios do perfil de densidade obtendo os valores médio (PDMI), máximo direito (PDMD), máximo esquerdo (PDME) e mínimo (PDMN).

No anexo C estão os gráficos de perfil de densidade dos tratamentos para verificação da similaridade entre eles. Observa-se pequeno gradiente entre a CI e CE, característico de um perfil de densidade de painel destinado à indústria moveleira. Há necessidade de bom desempenho da CI (interior do painel) devido a utilização final, especialmente quanto as propriedades de arrancamento de parafuso e módulo de elasticidade e ruptura.

Analisando os valores dos perfis de densidade separadamente, comparando os valores mínimos e máximos de cada análise, há uma diferença de aproximadamente 10% entre os valores. Ou seja, no PDMI a diferença entre os valores dos tratamentos dentro desta medição é de 10%. Essa diferença se repete nas demais análises dos perfis de densidade.

Seguem os valores médios de cada análise:

- PDMI: 585 a 641 kg/m^3 ;
- PDMN: 525 a 544 kg/m^3 ;
- PDME: 751 a 843 kg/m^3 ;
- PDMD: 752 a 834 kg/m^3 .

As faixas 2 e 4 em todos as análises de perfis de densidade apresentam um comportamento semelhante ao já expresso nas Tabelas 11 e 14 e revelaram valores inferiores às faixas 1 e 3, por utilizarem corpos-de-prova com umidade de equilíbrio média de 13%.

Os maiores valores de perfis de densidade foram verificados no tratamento T1 e os menores valores foram identificados no tratamento T4.

Nas normas citadas neste trabalho, não há descrição da especificação do perfil ideal de densidade. Na norma interna utilizada pela empresa, os valores, no geral, devem estar na faixa de 550 a 850 kg/m³.

Comparando os valores de máximo esquerdo e máximo direito por meio da Figura 16, observa-se que são similares e possuem picos de densidade próximos. Interpretando a equação, observa-se que houve forte associação entre as duas variáveis e simetria do perfil de densidade ao longo da espessura do painel, devido principalmente a fabricação do colchão ser realizado em Prensa contínua. Esse fato identifica a correta formação do painel, atendendo os critérios de qualidade requeridos pela empresa.

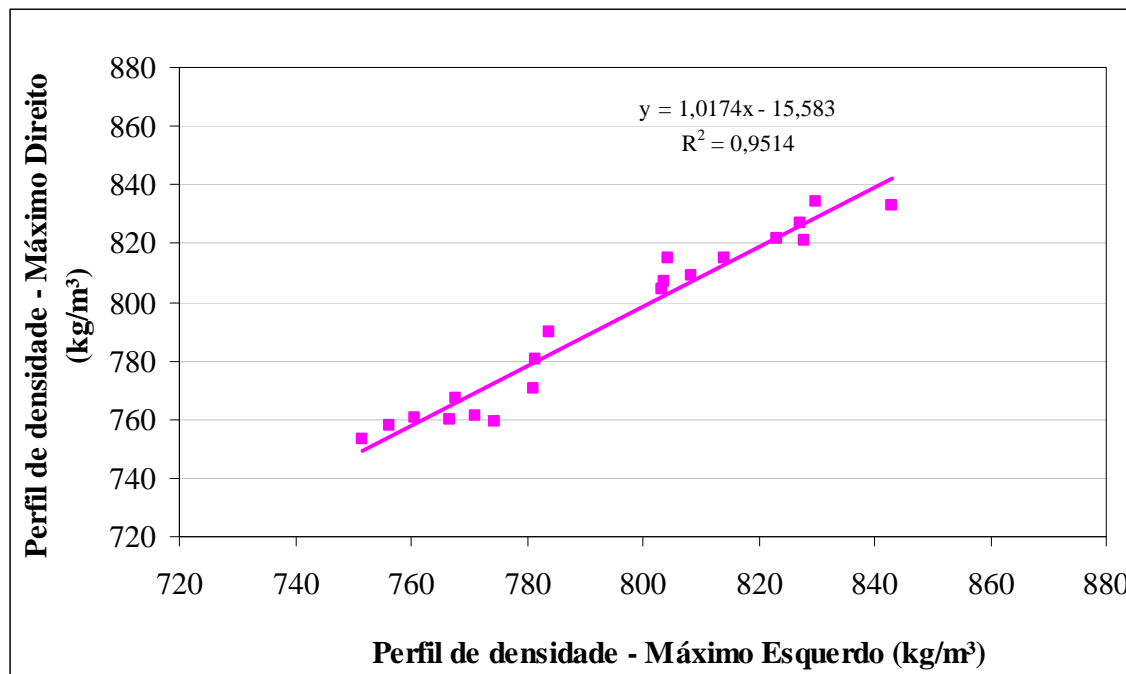


Figura 16. Comparação dos Valores Máximo Direito e Máximo Esquerdo do perfil de densidade.

Por meio da análise de variância, observou-se que no geral os efeitos tratamento, faixa e tratamento*faixa interferiram nos perfis de densidades analisados.

A análise estatística demonstra que não houve diferença significativa entre tratamentos PDMI. Já nos demais, houve diferença significativa entre os tratamentos, especialmente entre o tratamento T1 e os demais tratamentos, sendo os valores superiores.

6.5 Compilação dos resultados

Diante do discutido neste capítulo, pode-se resumir os resultados obtidos como segue:

Dados gerais

- A densidade básica da madeira de *Eucalyptus grandis* foi 459 kg/m³ e densidade aparente a 12%, obtida com uso de equações gerais de conversão (Rezende, 1997) foi de 540,9 kg/m³;
- As densidades aparentes dos cavacos de madeira de *Eucalyptus grandis*, serragem e reciclado foram, respectivamente, de 240 kg/m³, 210 kg/m³ e 180 kg/m³;
- O valor do coeficiente de esbeltez médio dos tratamentos foi 26,90; os maiores coeficientes de esbeltez foram observados nas partículas destinadas à camada externa (nas malhas 1,00 mm e 0,425 mm) e os menores coeficientes foram observados nas partículas mais grossas, destinadas à camada interna (nas malhas 3,35 mm e 2,00mm).

Propriedades físicas

- Os valores de densidade dos painéis produzidos com 100% de madeira de *Eucalyptus grandis* (T1) foram superiores aos valores de densidade daqueles produzidos com essa madeira mais adição de resíduos (T2 a T5), havendo diferença estatisticamente significativa entre esses resultados. A diferença da umidade entre os corpos-de-prova de diferentes faixas dos painéis não interferiram nesta propriedade;

- Os valores médios de absorção de água 2 horas variaram entre 7,10 e 13,04% e de inchamento em espessura 2 horas entre 1,80 e 3,31%. As faixas 2 e 4 apresentaram um comportamento semelhante e revelaram valores de absorção de água e inchamento em espessura inferiores às faixas 1 e 3, por utilizarem corpos-de-prova com umidade de equilíbrio média de 13%.

Propriedades mecânicas

- Os valores médios do módulo de elasticidade longitudinal foram, no geral, 30% superiores aos obtidos para o módulo de elasticidade transversal e os módulos de ruptura longitudinal foram 20% superiores aos módulos de ruptura transversais. Essa ocorrência é explicada pela direção preferencial assumida pelas partículas depositadas no colchão, durante a formação dos painéis na linha de produção. As faixas 2 e 4 apresentaram um comportamento semelhante e revelaram valores tanto do módulo de elasticidade como do módulo de ruptura inferiores às faixas 1 e 3, por utilizarem corpos-de-prova com umidade de equilíbrio média de 13%.
- A resistência à tração superficial apresentou os maiores valores no tratamento T5;
- Verificou-se a similaridade entre os perfis de densidade dos tratamentos e o pequeno gradiente de densidade entre a camada interna (CI) e a camada externa (CE), revelando-se um perfil de densidade característico de painel destinado à indústria moveleira;
- Nos perfis de densidade, os maiores valores foram mensurados no tratamento T1 e os menores valores foram mensurados no tratamento T4;
- Nos perfis de densidade, comparando os picos esquerdo e direito de um mesmo perfil, pode-se caracterizar a sua simetria com a correta formação do painel, atendendo os critérios de qualidade requeridos pela empresa.

Comparações entre os tratamentos estudados

- O tratamento T1 com 100% de madeira de *Eucalyptus grandis* apresentou os maiores resultados na maioria das propriedades, sendo inferior apenas no ensaio de inchamento em

espessura 2 horas e absorção em água 2 horas quando comparado ao tratamento 3 e módulo de elasticidade transversal e tração superficial quando ao tratamento 5;

- O efeito tratamento interferiu significativamente nos ensaios de densidade, módulo de elasticidade transversal, tração superficial e perfil de densidade (médio, máximo esquerdo, mínimo e máximo direito);
- O tratamento T5, com uso de 20% de reciclado e 15% de serragem apresentou maiores valores de tração superficial e módulo de elasticidade transversal, diferindo dos demais tratamentos;
- O tratamento T3, com uso de 90% de madeira de *Eucalyptus grandis* e 10% de serragem apresentou os maiores valores de inchamento em espessura 2 horas e absorção de água 2 horas, não diferindo estatisticamente dos demais tratamentos.

7 CONCLUSÕES

Neste trabalho avaliaram-se as propriedades físicas e mecânicas de painéis aglomerados com adição de resíduos industriais madeireiros tendo como conclusão principal que os painéis estudados tiveram bom desempenho físico-mecânico, atendendo a todas as especificações técnicas estabelecidas pelas normas técnicas, mesmo nos tratamentos com as maiores proporções de adições. Dessa forma, os resultados de desempenho obtidos permitiram a indicação de uso desses resíduos, na forma de adição, em escala industrial de produção desses painéis.

Dos resultados já sumarizados no capítulo anterior, cabem destaque:

- O efeito tratamento interferiu significativamente nos ensaios de densidade, módulo de elasticidade transversal, tração superficial e perfil de densidade (médio, máximo esquerdo, mínimo e máximo direito);
- Os valores de densidade dos painéis produzidos com 100% de madeira de *Eucalyptus grandis* (T1) foram superiores aos valores de densidade daqueles produzidos com essa madeira mais adição de resíduos (T2 a T5), havendo diferença estatisticamente significativa entre esses resultados.
- O tratamento T1 com 100% de madeira de *Eucalyptus grandis* apresentou os maiores resultados na maioria das propriedades, sendo inferior apenas no ensaio de inchamento em espessura 2 horas e absorção em água 2 horas quando comparado ao tratamento 3 e módulo de elasticidade transversal e tração superficial quando ao tratamento 5;

Como outras conclusões, não houve efeito da posição ao longo do painel nas propriedades físicas e mecânicas.

Houve efeito significativo do teor de umidade final do painel nas propriedades físicas e mecânicas com tendência generalizada de redução das propriedades mecânicas quando o teor de umidade aumentava de 9% para 13%.

Na continuidade dessa linha de pesquisa, sugere-se a avaliação do desempenho físico-mecânico de painéis industriais produzidos com maiores proporções de resíduos industriais florestais, fazendo-se, para isso, adaptação dos equipamentos industriais ora utilizados.

8 REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE PAINÉIS DE MADEIRA. Nossos produtos. Disponível em: <<http://www.abipa.org.br/produtosMDP.php>>. Acesso em: 27 jan. 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004**: resíduos sólidos: classificação. São Paulo, 2004. 71 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14810-1**: chapas de madeira aglomerada: parte 1: terminologia. São Paulo, 2006. 5 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14810-2**: chapas de madeira aglomerada: parte 2: requisitos. São Paulo, ABNT 2006. 4 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14810-3**: chapas de madeira aglomerada: parte 3: métodos de ensaio. São Paulo, 2006. 51 p.

ALBUQUERQUE, C. E. C. de. **Interações de variáveis no ciclo de prensagem de aglomerados**. 2002. 150 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais)-Universidade Federal de Paraná, Curitiba, 2002.

BARROS FILHO, R. M. **Painéis aglomerados a base de bagaço de cana-de-açúcar e resinas uréia-formaldeído e melamina-formaldeído**. 2009. 99 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais)-Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2009.

BATISTA, D. C. et al. Fabricação de aglomerados de três camadas com madeira de *Pinus elliotti* Engelm e casca de *Eucalyptus pellita* F. Muell. **Cerne**, Lavras, v. 13, n. 2, p. 178-187, abr./jun. 2007.

BELLOTE, A. F. J. et al. Resíduos da indústria de celulose em plantios florestais. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 37, p. 99-106, jul./dez. 1998.

BONDUELLE, G. M.; CHIES, D.; MARTINS, D. G. O processo de fabricação de painéis compensados no Estado do Paraná analisado por meio dos rendimentos e dos resíduos gerados. In: CONGRESSO IBERO-AMERICANO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS FLORESTAIS, 2., 2002, Curitiba. **Anais...** Curitiba: UFPR, 2002. p. 124.

BRAND, M. A.; HASSEGAWA, M. **Determinação da quantidade de resíduos madeiráveis gerados nas indústrias madeireiras em um raio de 150 km do município de Otacílio Costa**. Lages: Universidade do Planalto Catarinense, 2005. 67 p. (Relatório técnico).

BRITISH STANDARD INSTITUTION. **EN 312**: particleboards: specifications. London, 2003. 22 p.

BRITO, E. O. et al. Chapas de madeira aglomerada utilizando partículas oriundas de madeira maciça e de maravalhas. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 72, p. 17-21, dez. 2006.

CABRAL, C. P. E. et al. Propriedades de chapas de aglomerado confeccionadas com misturas de partículas de *Eucalyptus* spp e *Pinus elliotti*. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 31, n. 5, p. 897-905, 2007.

DACOSTA, L. P. E. Propriedades físicas de chapas de partículas aglomeradas fabricadas com resíduos do processamento mecânico da madeira de *Pinus elliottii* Engelm. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 15, n. 4, p. 421-429, 2005a.

DACOSTA, L. P. E. Qualidade dos painéis de partículas aglomeradas fabricadas com resíduos do processamento mecânico da madeira de *Pinus elliottii* Engelm. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 15, n. 3, p. 311-322, 2005b.

ELEOTÉRIO, J. R. **Propriedades físicas e mecânicas de painéis MDF de diferentes densidades e teores de resina**. 2000. 117 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira)-Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2000.

GONÇALVES, M. T. T. **Processamento da madeira**. Bauru: O Autor, 2000. 242 p.

HASELIEN, C. R. **Análise de parâmetros para a fabricação de chapas de partículas de madeira aglomeradas de madeira de eucalipto (*Eucalyptus grandis* W. Hill ex-Maiden) e embaúba (*Cecropia sp.*)**. 1989. 75 f. Tese (Mestrado em Ciência Florestal)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1989.

HILLIG, E. et al. Resíduos de madeira da indústria madeireira: caracterização e aproveitamento. In: [ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO](#), 26., 2006, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: ENEGEP, 2006. p. 1-7.

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

HILLIG, E.; HASELEIN, C. R.; SANTINI, E. J. Estabilidade dimensional de chapas aglomeradas estruturais (*flakeboards*) fabricadas com madeira de *Pinus*, eucalipto e acácia-negra. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 65, p. 80-94, jun. 2004.

IWAKIRI, S. et al. Mistura de espécies na produção de chapas de partículas estruturais “waferboard”. **Revista do Setor de Ciências Agrárias**, Curitiba, v. 14, n. 1-2, p. 107-114, 1995.

IWAKIRI, S. et al. Produção de chapas de madeira aglomerada de *Pinus elliotti* Engelm com inclusão laminar. **Cerne**, Lavras, v. 5, n. 2, p. 86-94, 1999.

IWAKIRI, S. et al. Produção de chapas de partículas de madeira aglomerada de *Pinus elliottii* (Engelm) e *Eucalyptus dunnii* (Maid). **Revista do Setor de Ciências Agrárias**, Curitiba, v. 15, n. 1, p. 33-41, 1996.

IWAKIRI, S. et al. Produção de painéis de madeira aglomerada de alta densificação com diferentes tipos de resinas. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 68, p. 39-43, ago. 2005.

IWAKIRI, S. et al. Produção de painéis de madeira aglomerada de *Grevillea robusta* A. Cunn. Ex R.Br. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 28, n. 6, p. 883-887, 2004.

IWAKIRI, S. et al. Resíduos de serrarias na produção de painéis de madeira aglomerada de eucalipto. **Scientia Agraria**, Piracicaba, v. 1, n. 1-2, p. 23-28, 2000a.

IWAKIRI, S. et al. Utilização de resíduos de serraria na produção de chapas de madeira aglomerada de *Eucalyptus saligna*, *Eucalyptus citriodora* e *Eucalyptus pilularis*. **Floresta e Ambiente**, Curitiba, v. 7, n. 1, p. 251-256, jan./dez. 2000b.

KELLY, M. **Critical literature review of relationships between parameters and physical properties of particleboard**. Washington, DC: USDA Forest Service, 1977. 64 p. (General technical report, FPL-10).

LARA PALMA, H. A. **Painéis de madeira**. Botucatu: UNESP, Faculdade de Ciências Agrônomicas, 2009. 2009. 40 f. Apostila de aula.

MACIEL, A. S. **Chapas de partículas aglomeradas de madeira de *Pinus elliottii* ou *Eucalyptus grandis*, em mistura com poliestireno e polietileno tereftalato**. 2001. 115 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001.

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

MATOSKI, S. L. S.; SILVA, D. A.; MATOSKI, A. Análise da geração de resíduos dentro de uma indústria de móveis e esquadrias: um estudo de caso. In: CONGRESSO IBERO-AMERICANO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS FLORESTAIS, 2., 2002, Curitiba. **Anais...** Curitiba: UFPR, 2002. p. 128.

MATTOS, R. L. G.; GONÇALVES, R. M.; CHAGAS, F. B. **Painéis de madeira no Brasil: panorama e perspectivas**. 2008. Disponível em: <http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/bndes/bndes_pt/Institucional/Publicacoes/Consulta_Expressa/Setor/Produtos_Florestais/200803_1.html>. Acesso em: 5 dez. 2009.

MENDES, R. F. Painéis aglomerados produzidos com bagaço de cana em associação com madeira de eucalipto. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 38, n. 86, p. 285-295, jun. 2010.

MERCADO de produtos florestais. Disponível em:
<<http://www.abraflor.org.br/estatisticas/ABRAF10-BR/capitulo03.pdf>>. Acesso em: 3 nov. 2010.

MOSLEMI, A. A. **Particleboard**: materials. Illinois: Gary Gore, 1974. v. 1, 245 p.

NAUMANN, R. B. et al. Propriedades de chapas fabricadas com partículas de madeira de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake e de *Schizolobium amazonicum* Herb. **Revista Árvores**, Viçosa, v. 32, n. 6, p. 1143-1150, 2008.

OKINO, E. Y. A. et al. Resistência físico-mecânica de chapas aglomeradas de bagaço de cana-de-açúcar modificado quimicamente. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 2, p. 35-42, dez. 1997.

PEDRAZI, C. et al. Qualidade de chapas de partículas de madeira aglomerada fabricadas com resíduos de uma indústria de celulose. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 16, n. 2, p. 201-212, 2006.

PIERRE, F. C. **Análise econômico energética de utilização de resíduos florestais para geração de energia térmica**: um estudo de caso. 2003. 90 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura)-Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2003.

POBLETE, H. W. **Tableros de partículas**. Valdivia: El Kultrín, 2001. 177 p.

REZENDE, M. A. **Uma abordagem não convencional sobre as principais características físicas da madeira, com ênfase para retratibilidade, massa específica e técnica de atenuação da radiação gama**. 1997. 138 f. Tese (Livre Docência)-Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1997.

ROSA, C. A. M. et al. Utilização do resíduo de porongo (*Lagenaria vulgaris* L.) na manufatura de chapas aglomeradas. In: CONGRESSO NORDESTINO DE ENGENHARIA FLORESTAL, 2., 2009, Piauí. **Anais...** Campina Grande, 2009. p. 1-4.

SANTOS, R. C et al. Chapas de partículas aglomeradas produzidas a partir de resíduos gerados após a extração do óleo da madeira candeia (*Eremanthus erythropappus*). **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 37, n. 84, p. 437-446, dez. 2009.

VITAL, B. R. **Effects of species and panel densities on properties of hardwood particleboard**. 1973. 111 p. Thesis (Magister Science in Wood Tecnology)-School of Forestry Science, University of Wisconsin, Madison, 1973.

VITAL, B. R.; HASELEIN, C. R.; DELLA LUCIA, R. M. Efeito da geometria das partículas nas propriedades dos painéis de madeira aglomerada de *Eucalyptus grandis* (Hill ex-Maiden). **Revista Árvore**, Viçosa, v. 16, n. 1, p. 88-96, 1992.

VITAL, B.; KEHMANN, W.; BOONE, R. How species and board densities affect properties of exotic hardwood particleboards. **Forest Product Journal**, Madison, v. 24, n. 12, p. 37-45, 1974.

ANEXO A

Tabela A1 – Resultados das medições de espessura e comprimento das partículas do Tratamento 1.

TRATAMENTO 1												
	Malha 3,35			Malha 2,00			Malha 1,00			Malha 0,425		
	ESP.	COMP.	Coef.	ESP.	COMP.	Coef.	ESP.	COMP.	Coef.	ESP.	COMP.	Coef.
	(mm)	(mm)	Esbel.	(mm)	(mm)	Esbel.	(mm)	(mm)	Esbel.	(mm)	(mm)	Esbel.
1	0,72	19,09	26,51	0,83	24,56	29,59	0,51	16,85	33,04	0,36	6,55	18,19
2	0,77	36,09	46,87	0,70	17,51	25,01	0,44	18,16	41,27	0,47	5,97	12,70
3	1,21	17,52	14,48	0,76	23,27	30,62	0,13	17,12	131,69	0,43	5,22	12,14
4	0,85	15,44	18,16	1,24	12,71	10,25	0,50	16,21	32,42	0,50	8,90	17,80
5	1,16	26,75	23,06	0,51	22,09	43,31	0,69	10,74	15,57	0,56	7,95	14,20
6	1,41	23,55	16,70	1,09	15,62	14,33	0,89	17,71	19,90	0,27	8,51	31,52
7	1,19	28,10	23,61	1,73	10,48	6,06	0,87	11,99	13,78	0,21	11,04	52,57
8	0,60	25,72	42,87	0,83	20,88	25,16	0,43	19,99	46,49	0,30	13,39	44,63
9	1,18	37,88	32,10	0,88	19,79	22,49	0,39	13,87	35,56	0,39	5,45	13,97
10	0,85	27,34	32,16	1,04	17,85	17,16	0,64	8,22	12,84	0,35	7,83	22,37
11	1,27	23,15	18,23	0,81	12,82	15,83	0,38	10,12	26,63	0,53	6,20	11,70
12	0,76	26,08	34,32	0,60	20,45	34,08	0,23	10,38	45,13	0,38	7,42	19,53
13	0,91	17,68	19,43	1,17	10,99	9,39	0,91	18,85	20,71	0,22	10,64	48,36
14	1,96	24,79	12,65	0,96	11,14	11,60	0,34	12,44	36,59	0,18	6,30	35,00
15	1,42	17,15	12,08	0,94	18,73	19,93	0,67	8,65	12,91	0,19	3,98	20,95
16	0,72	23,57	32,74	0,79	18,08	22,89	0,78	11,92	15,28	0,25	12,82	51,28
17	0,59	29,75	50,42	0,83	16,21	19,53	0,28	15,72	56,14	0,39	5,42	13,90
18	1,37	17,74	12,95	0,71	19,77	27,85	0,43	15,68	36,47	0,39	12,75	32,69
19	1,52	22,69	14,93	1,06	17,71	16,71	0,28	14,16	50,57	0,32	15,42	48,19
20	1,62	15,65	9,66	0,49	14,99	30,59	0,87	9,50	10,92	0,23	7,15	31,09
21	0,58	18,08	31,17	1,03	24,39	23,68	0,53	14,01	26,43	0,29	7,00	24,14
22	0,94	27,37	29,12	0,75	16,25	21,67	0,70	16,45	23,50	0,25	12,60	50,40
23	1,06	22,29	21,03	0,61	14,42	23,64	0,43	17,71	41,19	0,29	6,27	21,62
24	0,90	23,24	25,82	1,16	24,94	21,50	0,86	26,12	30,37	0,28	7,70	27,50
25	0,66	21,64	32,79	0,53	15,82	29,85	0,95	16,43	17,29	0,33	8,06	24,42
26	0,95	22,08	23,24	0,95	25,36	26,69	0,50	21,62	43,24	0,35	10,76	30,74
27	0,29	22,08	76,14	1,11	16,16	14,56	0,71	12,83	18,07	0,15	6,68	44,53
28	0,76	27,77	36,54	0,93	21,05	22,63	0,17	20,37	119,82	0,50	9,36	18,72
29	1,14	17,30	15,18	0,83	21,58	26,00	0,54	14,72	27,26	0,23	4,93	21,43
30	1,31	21,91	16,73	0,95	18,70	19,68	0,93	12,19	13,11	0,47	6,81	14,49
31	1,45	25,00	17,24	0,60	15,53	25,88	0,53	16,27	30,70	0,13	4,48	34,46
32	0,75	17,05	22,73	0,72	19,48	27,06	0,58	10,08	17,38	0,18	5,13	28,50
33	0,52	19,93	38,33	0,85	13,98	16,45	0,31	12,76	41,16	0,12	5,89	49,08
34	0,62	25,23	40,69	0,81	21,79	26,90	0,38	15,73	41,39	0,50	9,05	18,10
35	0,71	24,76	34,87	1,10	19,89	18,08	0,64	12,03	18,80	0,17	6,52	38,35
36	1,71	16,94	9,91	0,65	17,25	26,54	0,57	7,85	13,77	0,25	7,77	31,08
37	0,78	24,29	31,14	0,89	24,67	27,72	0,60	14,35	23,92	0,25	5,88	23,52
38	1,18	15,83	13,42	0,36	15,12	42,00	1,17	13,09	11,19	0,12	9,57	79,75
39	0,58	16,77	28,91	0,41	13,45	32,80	0,44	15,81	35,93	0,21	5,07	24,14
40	1,42	19,46	13,70	0,60	19,45	32,42	0,56	10,20	18,21	0,47	6,18	13,15

(continuação)

	TRATAMENTO 1											
	Malha 3,35			Malha 2,00			Malha 1,00			Malha 0,425		
	ESP. (mm)	COMP. (mm)	Coef. Esbel.	ESP. (mm)	COMP. (mm)	Coef. Esbel.	ESP. (mm)	COMP. (mm)	Coef. Esbel.	ESP. (mm)	COMP. (mm)	Coef. Esbel.
41	0,89	17,03	19,13	0,57	17,72	31,09	0,63	14,26	22,63	0,43	11,19	26,02
42	0,56	24,28	43,36	0,71	18,70	26,34	0,75	18,48	24,64	0,19	7,11	37,42
43	1,06	20,07	18,93	1,12	20,04	17,89	0,51	9,26	18,16	0,28	10,24	36,57
44	1,56	15,16	9,72	0,70	17,43	24,90	0,72	9,89	13,74	0,36	9,51	26,42
45	1,43	19,53	13,66	1,09	14,60	13,39	0,34	9,83	28,91	0,22	6,97	31,68
46	1,49	18,37	12,33	0,85	18,59	21,87	0,88	16,41	18,65	0,42	6,47	15,40
47	0,60	25,19	41,98	0,85	26,00	30,59	0,65	14,45	22,23	0,26	6,12	23,54
48	0,84	23,49	27,96	0,64	17,46	27,28	0,36	10,66	29,61	0,26	8,35	32,12
49	0,88	15,24	17,32	0,60	17,11	28,52	0,77	8,50	11,04	0,11	7,53	68,45
50	1,08	20,96	19,41	1,18	11,88	10,07	0,39	10,63	27,26	0,47	6,21	13,21
51	1,34	28,15	21,01	0,64	17,45	27,27	0,26	14,10	54,23	0,27	5,53	20,48
52	1,21	23,88	19,74	0,99	15,41	15,57	0,21	10,26	48,86	0,29	5,64	19,45
53	0,54	20,63	38,20	1,10	15,23	13,85	0,79	8,36	10,58	0,20	3,94	19,70
54	0,65	17,06	26,25	0,79	23,49	29,73	0,37	6,40	17,30	0,36	4,21	11,69
55	1,22	22,15	18,16	0,82	18,38	22,41	0,13	16,32	125,54	0,24	5,23	21,79
56	0,67	16,22	24,21	1,27	25,47	20,06	0,48	16,80	35,00	0,16	12,33	77,06
57	1,22	20,89	17,12	0,74	17,69	23,91	0,19	11,06	58,21	0,32	9,13	28,53
58	1,13	16,77	14,84	0,94	16,76	17,83	0,15	12,09	80,60	0,29	4,10	14,14
59	1,07	23,60	22,06	0,71	18,18	25,61	0,62	12,50	20,16	0,33	12,37	37,48
60	0,95	12,82	13,49	0,85	17,20	20,24	0,43	14,64	34,05	0,35	5,41	15,46
61	1,04	14,57	14,01	0,83	15,04	18,12	0,55	16,16	29,38	0,23	6,39	27,78
62	0,89	26,46	29,73	0,47	17,43	37,09	0,25	11,00	44,00	0,22	8,28	37,64
63	1,12	27,76	24,79	1,05	28,65	27,29	0,60	17,60	29,33	0,60	6,85	11,42
64	1,45	15,84	10,92	0,52	15,09	29,02	0,40	9,72	24,30	0,20	4,53	22,65
65	1,00	19,93	19,93	1,58	23,10	14,62	0,15	14,41	96,07	0,49	11,41	23,29
66	1,14	10,48	9,19	0,48	23,02	47,96	0,37	7,62	20,59	0,54	6,34	11,74
67	1,31	27,14	20,72	1,22	18,53	15,19	0,44	19,81	45,02	0,41	7,53	18,37
68	0,89	22,62	25,42	0,40	13,00	32,50	0,57	9,66	16,95	0,19	18,02	94,84
69	1,22	19,75	16,19	0,53	13,05	24,62	0,62	21,66	34,94	0,22	15,92	72,36
70	1,76	17,28	9,82	1,02	19,44	19,06	0,54	16,53	30,61	0,33	12,27	37,18
71	1,09	38,13	34,98	1,28	16,26	12,70	0,69	17,35	25,14	0,17	5,04	29,65
72	1,97	20,15	10,23	0,48	24,09	50,19	0,61	6,86	11,25	0,23	4,35	18,91
73	0,56	26,82	47,89	0,42	12,31	29,31	0,57	7,25	12,72	0,12	7,16	59,67
74	0,84	18,18	21,64	0,54	15,84	29,33	0,23	5,51	23,96	0,43	15,37	35,74
75	0,69	17,08	24,75	0,66	18,67	28,29	0,31	7,88	25,42	0,33	9,01	27,30
76	1,10	13,44	12,22	0,55	12,83	23,33	0,21	11,28	53,71	0,17	11,94	70,24
77	0,82	11,95	14,57	1,05	14,00	13,33	0,86	7,20	8,37	0,30	6,23	20,77
78	0,92	10,00	10,87	1,11	21,93	19,76	0,74	6,53	8,82	0,12	3,85	32,08
79	1,18	17,63	14,94	0,88	26,87	30,53	0,21	11,86	56,48	0,47	6,59	14,02
80	0,96	15,80	16,46	0,46	20,58	44,74	0,32	8,65	27,03	0,23	6,10	26,52

Tabela A2 – Resultados das medições de espessura e comprimento das partículas do Tratamento 2.

TRATAMENTO 2												
	Malha 3,35			Malha 2,00			Malha 1,00			Malha 0,425		
	ESP. (mm)	COMP. (mm)	Coef. Esbel.	ESP. (mm)	COMP. (mm)	Coef. Esbel.	ESP. (mm)	COMP. (mm)	Coef. Esbel.	ESP. (mm)	COMP. (mm)	Coef. Esbel.
1	0,69	27,24	39,48	0,51	19,09	37,43	0,47	7,87	16,74	0,21	4,99	23,76
2	1,25	14,00	11,20	0,71	26,51	37,34	0,40	12,46	31,15	0,68	4,93	7,25
3	1,15	22,03	19,16	0,65	17,88	27,51	0,69	14,38	20,84	0,27	6,73	24,93
4	0,64	24,13	37,70	0,64	25,30	39,53	0,34	11,86	34,88	0,43	8,78	20,42
5	1,10	35,72	32,47	1,16	13,34	11,50	0,53	8,63	16,28	0,36	5,84	16,22
6	1,34	21,50	16,04	0,53	11,60	21,89	0,63	7,17	11,38	0,22	8,51	38,68
7	1,08	25,63	23,73	1,21	14,51	11,99	0,31	10,57	34,10	0,13	9,31	71,62
8	1,50	11,46	7,64	1,00	21,45	21,45	0,51	11,24	22,04	0,28	11,49	41,04
9	1,02	12,48	12,24	0,38	13,59	35,76	1,02	16,68	16,35	0,35	5,99	17,11
10	0,82	14,04	17,12	0,73	18,41	25,22	0,45	7,32	16,27	0,51	5,80	11,37
11	0,98	20,03	20,44	0,63	12,39	19,67	0,32	7,91	24,72	0,34	5,21	15,32
12	0,73	24,98	34,22	0,50	16,56	33,12	0,34	12,92	38,00	0,48	4,76	9,92
13	1,30	22,90	17,62	0,76	14,51	19,09	0,85	10,48	12,33	0,29	6,06	20,90
14	1,12	26,39	23,56	0,93	16,03	17,24	0,47	13,83	29,43	0,26	8,71	33,50
15	1,14	20,06	17,60	0,83	17,77	21,41	0,79	6,43	8,14	0,22	13,13	59,68
16	0,98	22,66	23,12	0,85	18,21	21,42	0,21	8,25	39,29	0,22	6,67	30,32
17	1,16	16,29	14,04	1,07	14,82	13,85	0,42	15,35	36,55	0,14	8,20	58,57
18	0,34	26,52	78,00	0,96	6,94	7,23	0,29	7,83	27,00	0,70	8,42	12,03
19	0,89	22,41	25,18	0,57	20,00	35,09	0,74	13,24	17,89	0,13	6,75	51,92
20	0,89	26,68	29,98	0,90	9,08	10,09	0,43	12,66	29,44	0,90	5,97	6,63
21	1,29	27,53	21,34	0,83	13,84	16,67	0,98	13,62	13,90	0,19	10,95	57,63
22	1,22	13,86	11,36	0,74	18,63	25,18	0,36	12,30	34,17	0,22	4,93	22,41
23	0,58	15,46	26,66	0,87	22,37	25,71	0,30	8,07	26,90	0,34	4,20	12,35
24	0,74	25,84	34,92	0,75	19,87	26,49	0,62	8,30	13,39	0,11	7,15	65,00
25	0,82	11,48	14,00	0,99	9,51	9,61	0,37	6,26	16,92	0,18	5,41	30,06
26	1,17	13,96	11,93	0,60	14,94	24,90	0,74	6,87	9,28	0,22	3,81	17,32
27	0,81	20,72	25,58	1,13	13,15	11,64	0,60	7,76	12,93	0,36	7,35	20,42
28	0,86	30,76	35,77	0,60	15,77	26,28	0,37	9,14	24,70	0,11	6,98	63,45
29	1,00	32,19	32,19	1,84	15,95	8,67	0,22	10,03	45,59	0,23	6,70	29,13
30	0,68	28,77	42,31	0,74	26,95	36,42	0,25	7,62	30,48	0,15	4,88	32,53
31	1,14	26,27	23,04	0,70	12,52	17,89	0,20	8,35	41,75	0,19	4,32	22,74
32	1,09	29,28	26,86	0,68	9,52	14,00	0,27	13,07	48,41	0,27	4,93	18,26
33	2,28	19,74	8,66	0,99	14,42	14,57	0,33	9,20	27,88	0,11	8,20	74,55
34	1,71	17,33	10,13	0,56	12,65	22,59	0,37	8,02	21,68	0,22	11,06	50,27
35	0,50	9,78	19,56	0,74	25,62	34,62	0,50	18,72	37,44	0,80	9,11	11,39
36	0,42	13,02	31,00	0,46	25,33	55,07	0,44	16,56	37,64	0,24	8,06	33,58
37	1,65	17,62	10,68	0,79	18,18	23,01	0,69	15,33	22,22	0,29	5,82	20,07
38	0,52	11,25	21,63	0,67	22,23	33,18	0,46	14,47	31,46	0,43	7,20	16,74
39	0,63	29,49	46,81	0,41	25,79	62,90	0,47	15,41	32,79	0,20	11,78	58,90
40	0,89	20,80	23,37	0,83	17,92	21,59	0,35	8,72	24,91	0,22	6,88	31,27

(continuação)

	TRATAMENTO 2											
	Malha 3,35			Malha 2,00			Malha 1,00			Malha 0,425		
	ESP. (mm)	COMP. (mm)	Coef. Esbel.	ESP. (mm)	COMP. (mm)	Coef. Esbel.	ESP. (mm)	COMP. (mm)	Coef. Esbel.	ESP. (mm)	COMP. (mm)	Coef. Esbel.
41	0,52	17,88	34,38	0,77	11,92	15,48	0,74	15,71	21,23	0,90	10,77	11,97
42	0,92	23,08	25,09	1,11	13,72	12,36	0,36	10,01	27,81	0,46	6,02	13,09
43	0,80	16,80	21,00	0,41	14,07	34,32	0,76	12,05	15,86	0,49	5,42	11,06
44	0,99	22,35	22,58	0,84	18,20	21,67	0,34	8,80	25,88	0,27	3,80	14,07
45	1,53	17,20	11,24	0,40	24,28	60,70	0,27	14,97	55,44	0,14	7,13	50,93
46	0,50	25,20	50,40	1,20	19,34	16,12	0,44	4,78	10,86	0,29	8,38	28,90
47	0,73	14,96	20,49	0,57	18,38	32,25	0,45	10,07	22,38	0,40	6,91	17,28
48	0,59	19,33	32,76	0,56	13,85	24,73	0,75	9,36	12,48	0,36	8,91	24,75
49	0,92	15,73	17,10	0,63	13,66	21,68	0,43	12,09	28,12	0,59	14,51	24,59
50	1,20	24,07	20,06	0,73	23,19	31,77	0,97	12,69	13,08	0,35	6,97	19,91
51	1,23	15,83	12,87	0,54	19,27	35,69	0,36	12,09	33,58	0,36	10,44	29,00
52	1,00	28,41	28,41	1,13	16,60	14,69	0,25	11,79	47,16	0,16	2,94	18,38
53	0,94	21,77	23,16	1,04	15,36	14,77	0,38	9,52	25,05	0,05	6,94	138,80
54	0,99	24,56	24,81	0,43	11,93	27,74	0,46	12,27	26,67	0,14	4,79	34,21
55	1,57	19,31	12,30	0,43	17,42	40,51	0,35	15,61	44,60	0,16	3,31	20,69
56	0,38	16,17	42,55	0,57	12,38	21,72	1,48	9,59	6,48	0,21	3,40	16,19
57	1,62	12,81	7,91	0,36	14,10	39,17	0,32	15,42	48,19	0,33	3,13	9,48
58	1,44	22,83	15,85	0,45	15,64	34,76	0,57	10,92	19,16	0,27	2,25	8,33
59	1,28	18,54	14,48	0,58	14,62	25,21	0,52	12,55	24,13	0,23	4,92	21,39
60	1,37	21,73	15,86	0,38	17,76	46,74	0,78	8,37	10,73	0,17	3,42	20,12
61	1,26	16,55	13,13	0,85	29,28	34,45	0,54	7,38	13,67	0,30	4,71	15,70
62	0,84	25,46	30,31	1,11	14,50	13,06	0,45	8,22	18,27	0,11	6,34	57,64
63	1,36	21,50	15,81	1,18	18,39	15,58	0,41	17,30	42,20	0,41	5,26	12,83
64	0,58	18,99	32,74	0,63	14,15	22,46	0,89	15,91	17,88	0,09	5,07	56,33
65	0,82	12,07	14,72	0,72	18,86	26,19	0,42	9,24	22,00	0,22	4,47	20,32
66	0,87	13,14	15,10	0,81	21,53	26,58	0,27	10,85	40,19	0,11	3,41	31,00
67	1,76	14,00	7,95	0,61	20,30	33,28	0,48	16,75	34,90	0,24	4,37	18,21
68	0,90	8,07	8,97	0,95	16,00	16,84	0,27	20,71	76,70	0,18	6,38	35,44
69	1,77	10,38	5,86	0,61	17,16	28,13	0,37	13,58	36,70	0,28	6,98	24,93
70	0,41	16,72	40,78	0,77	15,87	20,61	0,62	12,85	20,73	0,31	7,38	23,81
71	0,42	19,36	46,10	0,55	15,38	27,96	0,23	17,63	76,65	0,33	8,02	24,30
72	1,50	16,20	10,80	0,79	16,03	20,29	0,23	17,96	78,09	0,41	4,96	12,10
73	1,13	17,38	15,38	0,72	26,58	36,92	0,60	14,85	24,75	0,30	6,47	21,57
74	0,60	11,83	19,72	0,52	12,03	23,13	0,41	10,81	26,37	0,29	7,94	27,38
75	1,06	18,68	17,62	1,00	13,39	13,39	0,36	13,29	36,92	0,08	3,39	42,38
76	1,14	13,25	11,62	0,87	15,04	17,29	0,39	13,55	34,74	0,21	5,42	25,81
77	0,89	25,49	28,64	0,63	17,90	28,41	0,47	7,13	15,17	0,17	7,81	45,94
78	1,04	30,01	28,86	0,73	17,26	23,64	0,41	7,97	19,44	0,29	7,18	24,76
79	1,36	21,12	15,53	0,59	14,87	25,20	0,35	11,96	34,17	0,27	4,38	16,22
80	1,14	14,57	12,78	1,08	22,16	20,52	0,30	8,35	27,83	0,21	5,74	27,33

Tabela A3 – Resultados das medições de espessura e comprimento das partículas do Tratamento 3.

TRATAMENTO 3												
	Malha 3,35			Malha 2,00			Malha 1,00			Malha 0,425		
	ESP. (mm)	COMP. (mm)	Coef. Esel.	ESP. (mm)	COMP. (mm)	Coef. Esel.	ESP. (mm)	COMP. (mm)	Coef. Esel.	ESP. (mm)	COMP. (mm)	Coef. Esel.
1	1,49	18,34	12,31	0,43	21,81	50,72	0,29	7,27	25,07	0,42	7,68	18,29
2	0,77	26,01	33,78	0,66	9,98	15,12	0,42	9,79	23,31	0,50	9,34	18,68
3	0,98	26,42	26,96	0,78	9,19	11,78	0,73	7,28	9,97	0,21	4,91	23,38
4	0,78	19,02	24,38	0,45	22,40	49,78	0,51	4,15	8,14	0,40	6,89	17,23
5	0,65	11,97	18,42	0,48	17,89	37,27	0,48	4,25	8,85	0,38	9,90	26,05
6	1,16	10,96	9,45	1,13	20,93	18,52	0,58	8,73	15,05	0,30	6,82	22,73
7	0,54	18,93	35,06	0,53	15,44	29,13	0,51	7,26	14,24	0,19	3,68	19,37
8	1,22	18,78	15,39	0,69	17,88	25,91	0,46	6,96	15,13	0,37	3,31	8,95
9	0,96	25,10	26,15	0,67	19,24	28,72	0,59	9,74	16,51	0,28	6,23	22,25
10	1,28	19,86	15,52	0,48	17,05	35,52	0,73	10,45	14,32	0,30	6,57	21,90
11	0,63	23,80	37,78	0,48	4,46	9,29	0,45	10,80	24,00	0,19	3,76	19,79
12	0,52	24,81	47,71	0,53	23,09	43,57	0,55	12,71	23,11	0,28	3,83	13,68
13	0,78	22,43	28,76	0,90	13,75	15,28	0,47	10,79	22,96	0,57	3,51	6,16
14	0,73	18,77	25,71	0,85	16,95	19,94	0,39	11,49	29,46	0,17	4,45	26,18
15	1,08	25,78	23,87	1,13	16,42	14,53	0,34	11,93	35,09	0,60	7,41	12,35
16	1,35	17,08	12,65	1,17	9,52	8,14	0,47	17,39	37,00	0,24	12,03	50,13
17	1,54	15,44	10,03	1,14	19,95	17,50	0,58	9,60	16,55	0,44	7,71	17,52
18	1,04	21,09	20,28	1,05	9,02	8,59	0,38	11,98	31,53	0,24	5,49	22,88
19	0,72	16,10	22,36	0,70	22,97	32,81	0,34	11,82	34,76	0,32	5,40	16,88
20	0,71	9,20	12,96	1,46	14,71	10,08	0,51	12,95	25,39	0,47	3,52	7,49
21	1,41	18,76	13,30	0,58	12,80	22,07	0,62	11,84	19,10	0,13	7,90	60,77
22	1,25	25,99	20,79	0,46	12,09	26,28	0,36	14,96	41,56	0,19	3,05	16,05
23	1,03	27,50	26,70	1,15	18,28	15,90	0,78	11,78	15,10	0,27	5,81	21,52
24	0,59	18,24	30,92	0,28	22,48	80,29	0,30	6,95	23,17	0,25	3,75	15,00
25	1,26	24,21	19,21	0,55	23,00	41,82	0,58	4,05	6,98	0,12	3,47	28,92
26	0,97	12,91	13,31	0,78	16,45	21,09	0,64	11,41	17,83	0,80	4,23	5,29
27	0,89	23,88	26,83	0,91	16,44	18,07	0,51	8,33	16,33	0,39	5,79	14,85
28	1,10	20,71	18,83	0,94	25,42	27,04	0,33	9,35	28,33	0,17	2,79	16,41
29	0,53	21,44	40,45	1,08	23,94	22,17	1,10	8,79	7,99	0,28	5,75	20,54
30	1,25	27,90	22,32	0,57	22,23	39,00	0,52	11,83	22,75	0,21	4,88	23,24
31	0,63	21,69	34,43	0,50	18,84	37,68	0,34	5,75	16,91	0,31	6,04	19,48
32	0,78	18,75	24,04	0,75	14,44	19,25	0,65	8,29	12,75	0,19	4,08	21,47
33	0,68	22,45	33,01	0,53	22,05	41,60	0,58	10,51	18,12	0,34	4,60	13,53
34	0,64	23,97	37,45	0,60	15,76	26,27	0,74	6,26	8,46	0,13	5,08	39,08
35	1,18	26,31	22,30	0,72	14,55	20,21	0,59	15,02	25,46	0,50	7,41	14,82
36	0,70	24,26	34,66	0,67	14,53	21,69	0,58	7,59	13,09	0,19	2,75	14,47
37	1,50	25,02	16,68	0,58	21,72	37,45	0,65	8,46	13,02	0,29	19,61	67,62
38	0,68	10,61	15,60	0,66	15,79	23,92	0,28	7,58	27,07	0,20	7,07	35,35
39	1,45	23,18	15,99	0,67	16,51	24,64	0,55	10,97	19,95	0,20	3,75	18,75
40	0,82	17,21	20,99	0,98	20,76	21,18	0,43	9,77	22,72	0,38	6,43	16,92

(continuação)

	TRATAMENTO 3											
	Malha 3,35			Malha 2,00			Malha 1,00			Malha 0,425		
	ESP. (mm)	COMP. (mm)	Coef. Esbel.	ESP. (mm)	COMP. (mm)	Coef. Esbel.	ESP. (mm)	COMP. (mm)	Coef. Esbel.	ESP. (mm)	COMP. (mm)	Coef. Esbel.
41	0,99	24,95	25,20	0,31	16,20	52,26	0,71	5,57	7,85	16,00	5,09	0,32
42	1,06	15,24	14,38	0,85	17,33	20,39	0,20	10,44	52,20	0,23	4,19	18,22
43	1,21	16,40	13,55	1,03	16,48	16,00	0,47	22,53	47,94	0,28	5,04	18,00
44	0,57	19,67	34,51	0,45	9,71	21,58	0,44	7,91	10,22	0,30	3,17	10,57
45	0,97	29,90	30,82	0,73	15,11	20,70	0,60	9,87	7,70	0,25	6,28	25,12
46	0,61	25,07	41,10	0,84	23,22	27,64	0,61	7,75	8,89	0,25	3,39	13,56
47	1,05	14,24	13,56	0,22	13,97	63,50	0,44	9,47	21,52	0,27	5,81	21,52
48	1,17	20,56	17,57	1,14	24,04	21,09	0,53	12,42	23,43	0,28	3,98	14,21
49	1,48	13,17	8,90	0,93	8,81	9,47	0,27	9,45	35,00	0,18	3,37	18,72
50	1,56	8,85	5,67	0,62	16,77	27,05	0,78	15,86	20,33	0,16	8,34	52,13
51	0,72	18,20	25,28	0,53	18,48	34,87	0,74	12,38	16,73	0,16	2,80	17,50
52	0,93	16,48	17,72	0,59	20,74	35,15	0,48	6,55	13,65	0,27	3,11	11,52
53	0,75	13,05	17,40	0,72	9,76	13,56	0,33	9,19	27,85	0,45	3,92	8,71
54	0,76	12,73	16,75	1,08	13,79	12,77	0,39	5,64	14,46	0,32	5,19	16,22
55	0,79	15,17	19,20	1,09	14,89	13,66	0,21	9,13	43,48	0,19	7,05	37,11
56	1,05	23,46	22,34	1,18	12,33	10,45	0,52	7,63	14,67	0,12	5,93	49,42
57	0,91	12,96	14,24	0,58	9,01	15,53	0,31	7,46	24,06	0,29	9,85	33,97
58	1,36	15,02	11,04	0,41	21,41	52,22	0,52	3,79	7,29	0,19	10,86	57,16
59	0,87	6,65	7,64	0,45	10,68	23,73	0,47	8,28	17,62	0,23	9,06	39,39
60	0,56	19,61	35,02	0,66	14,27	21,62	0,38	9,51	25,03	0,21	8,11	38,62
61	0,94	16,57	17,63	0,47	12,46	26,51	0,56	8,37	14,95	0,38	5,26	13,84
62	1,23	22,30	18,13	0,65	20,64	31,75	0,48	5,07	10,56	0,15	6,42	42,80
63	0,90	19,91	22,12	0,96	21,21	22,09	0,30	9,52	31,73	0,30	6,27	20,90
64	1,21	13,52	11,17	0,65	11,04	16,98	0,62	10,01	16,15	0,26	5,19	19,96
65	1,22	20,76	17,02	0,58	12,81	22,09	0,39	7,64	19,59	0,16	5,45	34,06
66	1,22	16,68	13,67	0,77	17,91	23,26	0,44	14,24	32,36	0,12	10,66	88,83
67	0,84	20,98	24,98	0,62	17,94	28,94	0,29	5,81	20,03	0,14	3,28	23,43
68	1,30	23,25	17,88	1,28	10,96	8,56	0,50	11,03	22,06	0,32	4,07	12,72
69	0,76	12,86	16,92	1,41	9,06	6,43	0,27	13,91	51,52	0,19	4,24	22,32
70	1,01	10,98	10,87	0,37	21,61	58,41	0,44	6,57	14,93	0,44	8,83	20,07
71	0,98	25,47	25,99	0,64	10,13	15,83	0,51	6,25	12,25	0,37	1,92	5,19
72	0,99	23,93	24,17	0,60	17,87	29,78	0,29	6,28	21,66	0,21	4,40	20,95
73	0,94	21,32	22,68	0,55	12,09	21,98	0,34	8,27	24,32	0,14	8,88	63,43
74	0,96	26,35	27,45	0,97	23,75	24,48	0,15	6,57	43,80	0,51	3,44	6,75
75	0,80	24,14	30,18	0,57	15,48	27,16	0,87	11,99	13,78	0,31	13,24	42,71
76	0,26	23,77	91,42	0,83	16,69	20,11	0,24	20,06	83,58	0,20	7,74	38,70
77	1,22	25,44	20,85	0,99	22,74	22,97	0,25	17,70	70,80	0,29	11,42	39,38
78	0,83	17,73	21,36	1,09	19,19	17,61	0,50	10,14	20,28	0,43	6,02	14,00
79	1,04	19,07	18,34	0,52	18,76	36,08	0,38	8,55	22,50	0,09	8,79	97,67
80	0,81	23,55	29,07	0,42	12,68	30,19	0,19	11,68	61,47	0,26	5,46	21,00

Tabela A4 – Resultados das medições de espessura e comprimento das partículas do Tratamento 4.

	TRATAMENTO 4											
	Malha 3,35			Malha 2,00			Malha 1,00			Malha 0,425		
	ESP. (mm)	COMP. (mm)	Coef. Esbel.	ESP. (mm)	COMP. (mm)	Coef. Esbel.	ESP. (mm)	COMP. (mm)	Coef. Esbel.	ESP. (mm)	COMP. (mm)	Coef. Esbel.
1	0,62	40,42	65,19	0,98	19,80	20,20	0,80	6,95	8,69	0,32	6,81	21,28
2	1,14	11,83	10,38	0,60	24,21	40,35	0,48	8,26	17,21	0,24	4,38	18,25
3	0,84	20,99	24,99	1,08	8,09	7,49	0,43	6,25	14,53	0,28	7,31	26,11
4	1,16	25,76	22,21	0,61	17,69	29,00	0,43	4,51	10,49	0,20	5,67	28,35
5	0,62	20,29	32,73	1,01	20,38	20,18	0,40	8,94	22,35	0,08	6,32	79,00
6	0,74	20,05	27,09	0,79	14,48	18,33	0,24	7,52	31,33	0,16	5,77	36,06
7	1,12	17,44	15,57	0,56	12,85	22,95	0,48	8,35	17,40	0,10	3,93	39,30
8	0,72	20,80	28,89	0,95	17,19	18,09	0,74	8,33	11,26	0,15	7,50	50,00
9	0,42	24,56	58,48	0,65	20,36	31,32	0,12	9,82	81,83	0,21	5,02	23,90
10	1,30	9,96	7,66	0,84	13,36	15,90	0,24	9,65	40,21	0,11	7,45	67,73
11	1,42	23,69	16,68	0,43	10,77	25,05	0,53	4,06	7,66	0,28	5,06	18,07
12	0,98	19,57	19,97	0,59	15,59	26,42	0,21	6,24	29,71	0,21	8,74	41,62
13	0,76	24,32	32,00	0,65	9,44	14,52	0,37	10,94	29,57	0,16	4,88	30,50
14	0,98	19,15	19,54	0,41	7,07	17,24	0,41	9,07	22,12	0,31	5,52	17,81
15	0,87	22,61	25,99	0,87	19,07	21,92	0,33	11,63	35,24	0,15	7,41	49,40
16	0,83	28,88	34,80	0,76	15,46	20,34	0,17	11,85	69,71	0,18	4,78	26,56
17	1,38	29,43	21,33	0,64	5,65	8,83	0,51	8,11	15,90	0,14	3,34	23,86
18	1,48	24,42	16,50	0,96	18,55	19,32	0,61	14,49	23,75	0,15	4,49	29,93
19	1,41	21,63	15,34	0,72	13,85	19,24	0,18	7,24	40,22	0,15	6,33	42,20
20	0,56	23,19	41,41	0,68	12,00	17,65	0,51	6,15	12,06	0,37	12,94	34,97
21	1,08	16,49	15,27	1,33	9,75	7,33	0,38	16,37	43,08	0,16	7,19	44,94
22	0,84	22,12	26,33	1,31	20,17	15,40	0,63	7,42	11,78	0,23	7,35	31,96
23	0,72	20,52	28,50	1,09	23,32	21,39	0,56	10,66	19,04	0,18	4,97	27,61
24	0,80	27,36	34,20	1,11	23,87	21,50	0,38	12,00	31,58	0,50	6,56	13,12
25	0,60	20,97	34,95	0,74	15,12	20,43	0,50	8,09	16,18	0,13	3,94	30,31
26	0,87	24,85	28,56	1,45	20,62	14,22	0,34	4,35	12,79	0,18	6,61	36,72
27	1,18	13,42	11,37	0,78	11,26	14,44	0,34	4,11	12,09	0,39	6,21	15,92
28	1,15	25,17	21,89	0,96	11,01	11,47	0,51	8,11	15,90	0,14	8,02	57,29
29	0,49	28,46	58,08	0,91	18,62	20,46	0,44	9,49	21,57	0,23	5,58	24,26
30	0,76	16,38	21,55	0,69	28,17	40,83	0,36	9,34	25,94	0,09	2,67	29,67
31	0,96	16,36	17,04	0,69	14,89	21,58	0,67	10,34	15,43	0,14	5,71	40,79
32	0,90	20,84	23,16	0,47	17,12	36,43	0,46	13,91	30,24	0,26	9,31	35,81
33	0,55	14,88	27,05	0,73	14,39	19,71	0,72	12,98	18,03	0,20	5,40	27,00
34	0,55	24,94	45,35	0,79	20,11	25,46	0,40	9,76	24,40	0,37	5,97	16,14
35	1,26	15,44	12,25	0,48	20,75	43,23	0,42	8,63	20,55	0,13	3,81	29,31
36	0,87	34,08	39,17	0,67	17,08	25,49	0,45	7,78	17,29	0,21	6,96	33,14
37	0,77	22,04	28,62	0,51	7,00	13,73	0,42	7,15	17,02	0,31	4,69	15,13
38	0,90	10,12	11,24	0,70	26,71	38,16	0,26	14,91	57,35	0,31	7,38	23,81
39	0,77	45,68	59,32	0,82	15,93	19,43	0,41	6,13	14,95	0,18	5,26	29,22
40	0,78	23,23	29,78	0,24	8,74	36,42	0,46	4,92	10,70	0,18	11,53	64,06

(continuação)

	TRATAMENTO 4											
	Malha 3,35			Malha 2,00			Malha 1,00			Malha 0,425		
	ESP. (mm)	COMP. (mm)	Coef. Esbel.	ESP. (mm)	COMP. (mm)	Coef. Esbel.	ESP. (mm)	COMP. (mm)	Coef. Esbel.	ESP. (mm)	COMP. (mm)	Coef. Esbel.
41	0,66	14,25	21,59	0,91	19,44	21,36	0,28	12,09	43,18	0,16	3,31	20,69
42	0,59	17,10	28,98	0,44	3,81	8,66	0,35	7,72	22,06	0,19	6,66	35,05
43	1,04	25,48	24,50	0,38	11,85	31,18	0,49	4,54	9,27	0,22	3,89	17,68
44	0,45	12,68	28,18	0,64	8,37	13,08	0,79	10,98	13,90	0,20	7,85	39,25
45	0,91	18,17	19,97	0,47	7,95	16,91	0,17	8,81	51,82	0,23	6,33	27,52
46	0,92	23,64	25,70	1,34	10,87	8,11	0,68	10,08	14,82	0,19	4,96	26,11
47	1,51	22,40	14,83	0,51	22,05	43,24	0,27	5,36	19,85	0,27	3,72	13,78
48	0,45	20,37	45,27	0,70	17,22	24,60	0,75	7,10	9,47	0,36	3,65	10,14
49	1,00	26,29	26,29	0,30	17,06	56,87	0,19	18,52	97,47	0,16	5,41	33,81
50	0,63	34,90	55,40	0,21	10,52	50,10	0,15	11,78	78,53	0,31	8,93	28,81
51	0,84	25,87	30,80	0,92	21,39	23,25	0,27	9,27	34,33	0,11	6,69	60,82
52	1,17	15,84	13,54	0,71	19,83	27,93	0,18	9,27	51,50	0,22	6,14	27,91
53	1,10	23,99	21,81	1,19	12,45	10,46	0,37	12,29	33,22	0,23	8,80	38,26
54	1,05	24,19	23,04	1,08	13,95	12,92	0,41	10,52	25,66	0,13	8,57	65,92
55	0,95	23,67	24,92	0,51	11,02	21,61	0,53	11,37	21,45	0,26	11,98	46,08
56	0,89	22,80	25,62	0,20	7,35	36,75	0,40	7,30	18,25	0,27	5,03	18,63
57	0,96	27,11	28,24	0,67	19,08	28,48	0,27	7,76	28,74	0,32	4,78	14,94
58	0,70	18,87	26,96	0,53	20,33	38,36	0,40	14,52	36,30	0,08	5,38	67,25
59	0,95	30,23	31,82	0,39	11,10	28,46	0,39	5,81	14,90	0,14	8,88	63,43
60	1,19	23,88	20,07	0,77	5,91	7,68	0,88	8,42	9,57	0,16	3,73	23,31
61	1,04	23,98	23,06	0,75	18,73	24,97	0,42	13,15	31,31	0,40	10,68	26,70
62	0,91	20,35	22,36	0,80	18,96	23,70	0,32	9,59	29,97	0,36	9,40	26,11
63	0,99	24,17	24,41	0,26	15,14	58,23	0,44	12,72	28,91	0,14	8,56	61,14
64	1,53	17,24	11,27	0,80	14,70	18,38	0,67	11,19	16,70	0,10	8,94	89,40
65	1,27	16,71	13,16	0,90	8,80	9,78	0,40	15,07	37,68	0,18	4,67	25,94
66	0,66	26,83	40,65	0,75	17,21	22,95	0,31	10,35	33,39	0,33	9,16	27,76
67	0,54	22,64	41,93	0,44	17,52	39,82	0,63	9,22	14,63	0,25	4,49	17,96
68	1,77	31,14	17,59	0,98	21,16	21,59	0,39	9,76	25,03	0,13	7,52	57,85
69	0,79	12,12	15,34	1,10	10,47	9,52	0,28	8,56	30,57	0,22	11,37	51,68
70	0,68	16,80	24,71	0,79	9,62	12,18	0,64	5,02	7,84	0,14	7,71	55,07
71	1,35	11,97	8,87	0,66	11,57	17,53	0,42	3,95	9,40	0,27	5,88	21,78
72	1,10	17,17	15,61	1,09	11,24	10,31	0,63	15,27	24,24	0,26	10,72	41,23
73	0,83	13,80	16,63	1,20	18,71	15,59	0,35	10,97	31,34	0,20	8,02	40,10
74	1,07	17,54	16,39	0,86	10,29	11,97	0,53	12,48	23,55	0,09	6,92	76,89
75	0,52	16,86	32,42	0,57	12,03	21,11	0,52	9,87	18,98	0,15	6,25	41,67
76	0,95	21,89	23,04	0,55	23,92	43,49	0,50	12,19	24,38	0,20	4,44	22,20
77	1,84	24,00	13,04	1,05	24,61	23,44	0,43	7,66	17,81	0,12	6,60	55,00
78	1,25	22,69	18,15	0,72	16,34	22,69	1,11	11,13	10,03	0,16	2,80	17,50
79	0,93	23,99	25,80	0,41	16,20	39,51	0,34	13,56	39,88	0,16	3,78	23,63
80	0,96	24,36	25,38	51,00	21,35	0,42	0,35	3,78	10,80	0,13	2,85	21,92

Tabela A5 – Resultados das medições de espessura e comprimento das partículas do Tratamento 5.

	TRATAMENTO 5											
	Malha 3,35			Malha 2,00			Malha 1,00			Malha 0,425		
	ESP. (mm)	COMP. (mm)	Coef. Esel.	ESP. (mm)	COMP. (mm)	Coef. Esel.	ESP. (mm)	COMP. (mm)	Coef. Esel.	ESP. (mm)	COMP. (mm)	Coef. Esel.
1	0,69	13,20	19,13	0,87	16,66	19,15	0,93	11,13	11,97	0,28	6,26	22,36
2	1,12	30,47	27,21	0,48	22,40	46,67	0,52	12,09	23,25	0,21	4,35	20,71
3	0,75	9,56	12,75	0,81	20,84	25,73	0,30	9,87	32,90	0,31	5,12	16,52
4	1,12	13,84	12,36	0,63	19,04	30,22	0,38	13,13	34,55	0,30	5,44	18,13
5	0,91	17,75	19,51	0,51	19,62	38,47	0,29	11,76	40,55	0,17	4,30	25,29
6	0,83	7,51	9,05	1,13	19,14	16,94	0,39	11,85	30,38	0,14	6,78	48,43
7	0,39	30,07	77,10	0,72	21,07	29,26	0,45	13,37	29,71	0,30	5,89	19,63
8	1,25	23,00	18,40	0,55	15,89	28,89	0,80	15,10	18,88	0,21	4,89	23,29
9	0,59	20,24	34,31	0,67	15,70	23,43	0,53	6,48	12,23	0,31	7,67	24,74
10	0,87	20,20	23,22	1,03	20,49	19,89	0,42	7,92	18,86	0,21	5,87	27,95
11	0,64	20,48	32,00	1,05	14,37	13,69	0,53	11,90	22,45	0,32	7,44	23,25
12	0,63	21,05	33,41	0,75	21,58	28,77	0,71	11,87	16,72	0,28	4,90	17,50
13	1,17	20,03	17,12	0,88	23,72	26,95	0,40	11,95	29,88	0,16	6,93	43,31
14	0,84	21,03	25,04	0,80	11,19	13,99	0,46	10,99	23,89	0,25	5,98	23,92
15	0,27	11,21	41,52	1,00	10,89	10,89	0,42	7,48	17,81	0,27	4,75	17,59
16	0,84	22,91	27,27	0,29	16,81	57,97	0,90	12,63	14,03	0,26	3,62	13,92
17	0,63	14,54	23,08	1,07	16,85	15,75	0,45	18,36	40,80	0,19	4,39	23,11
18	0,97	26,46	27,28	0,79	13,12	16,61	0,37	10,13	27,38	0,26	7,31	28,12
19	0,82	7,09	8,65	0,73	14,76	20,22	1,06	14,17	13,37	0,28	9,05	32,32
20	1,20	20,77	17,31	1,10	16,21	14,74	0,33	8,61	26,09	0,30	3,81	12,70
21	0,92	26,05	28,32	1,07	14,81	13,84	0,38	29,25	76,97	0,27	4,99	18,48
22	1,19	17,73	14,90	1,68	10,85	6,46	0,51	22,17	43,47	0,19	5,81	30,58
23	2,31	14,93	6,46	0,88	11,18	12,70	0,22	15,88	72,18	0,43	3,85	8,95
24	0,80	23,41	29,26	1,09	10,35	9,50	0,50	19,13	38,26	0,27	9,65	35,74
25	0,79	13,01	16,47	0,75	20,65	27,53	0,93	20,20	21,72	0,32	9,44	29,50
26	0,67	16,59	24,76	0,35	32,37	92,49	0,47	9,83	20,91	0,29	11,69	40,31
27	1,21	17,83	14,74	1,27	19,12	15,06	0,40	14,91	37,28	0,34	5,62	16,53
28	1,30	29,76	22,89	1,08	13,72	12,70	0,65	15,94	24,52	0,32	8,72	27,25
29	0,90	20,77	23,08	0,48	13,81	28,77	0,44	16,13	36,66	0,32	4,33	13,53
30	0,44	13,72	31,18	0,46	15,58	33,87	0,58	11,87	20,47	0,34	5,72	16,82
31	0,39	12,69	32,54	0,73	15,30	20,96	0,89	15,87	17,83	0,19	8,01	42,16
32	0,83	22,77	27,43	0,68	21,04	30,94	0,32	12,76	39,88	0,21	5,15	24,52
33	1,12	25,14	22,45	0,43	10,72	24,93	0,29	11,93	41,14	0,38	6,41	16,87
34	0,74	21,28	28,76	1,07	14,41	13,47	0,44	8,02	18,23	0,39	7,13	18,28
35	0,55	26,10	47,45	0,50	11,74	23,48	0,27	14,54	53,85	0,18	6,83	37,94
36	1,93	8,80	4,56	0,44	11,76	26,73	0,35	23,04	65,83	0,20	3,49	17,45
37	1,98	17,45	8,81	0,83	13,28	16,00	0,29	13,53	46,66	0,22	3,82	17,36
38	0,71	20,73	29,20	1,50	15,65	10,43	0,53	10,19	19,23	0,28	3,89	13,89
39	1,05	22,27	21,21	0,31	10,75	34,68	0,66	11,00	16,67	0,14	8,00	57,14
40	1,72	21,00	12,21	0,65	19,00	29,23	0,67	9,01	13,45	0,22	9,04	41,09

(continuação)

	TRATAMENTO 5											
	Malha 3,35			Malha 2,00			Malha 1,00			Malha 0,425		
	ESP. (mm)	COMP. (mm)	Coef. Esbel.	ESP. (mm)	COMP. (mm)	Coef. Esbel.	ESP. (mm)	COMP. (mm)	Coef. Esbel.	ESP. (mm)	COMP. (mm)	Coef. Esbel.
41	0,53	18,97	35,79	0,57	32,83	57,60	0,66	8,04	12,18	0,23	9,65	41,96
42	1,10	21,16	19,24	0,51	18,55	36,37	0,64	11,95	18,67	0,20	14,54	72,70
43	0,85	22,70	26,71	1,04	14,38	13,83	0,38	16,52	43,47	0,33	7,72	23,39
44	1,20	20,75	17,29	0,65	10,56	16,25	0,94	26,21	27,88	0,36	9,80	27,22
45	0,87	20,72	23,82	1,69	11,89	7,04	0,64	10,27	16,05	0,21	4,55	21,67
46	1,08	22,45	20,79	0,47	23,35	49,68	0,68	15,96	23,47	0,22	7,46	33,91
47	0,78	28,14	36,08	0,41	29,10	70,98	0,53	15,75	29,72	0,54	7,73	14,31
48	0,75	19,83	26,44	0,45	14,76	32,80	0,41	16,38	39,95	0,13	5,09	39,15
49	1,60	23,66	14,79	0,47	20,94	44,55	0,34	15,67	46,09	0,10	4,94	49,40
50	0,70	21,38	30,54	1,05	14,95	14,24	0,71	13,94	19,63	0,60	12,91	21,52
51	0,95	18,29	19,25	0,45	16,99	37,76	0,44	14,72	33,45	0,32	6,59	20,59
52	0,66	23,94	36,27	0,92	15,09	16,40	0,69	18,55	26,88	0,26	6,78	26,08
53	0,94	23,00	24,47	1,33	13,88	10,44	0,16	10,06	62,88	0,23	6,81	29,61
54	1,04	26,70	25,67	0,95	19,92	20,97	0,20	10,37	51,85	0,38	6,19	16,29
55	1,02	20,07	19,68	1,00	17,47	17,47	0,77	16,74	21,74	0,20	9,60	48,00
56	1,48	27,23	18,40	0,58	14,05	24,22	0,24	13,88	57,83	0,18	6,40	35,56
57	1,01	22,64	22,42	0,74	7,76	10,49	0,48	18,99	39,56	0,37	4,44	12,00
58	0,54	16,62	30,78	0,64	13,10	20,47	0,19	13,33	70,16	0,40	10,71	26,78
59	0,97	23,94	24,68	0,36	13,37	37,14	0,64	23,34	36,47	0,19	7,26	38,21
60	0,83	15,23	18,35	1,22	9,70	7,95	0,60	12,96	21,60	0,12	6,95	57,92
61	0,68	28,89	42,49	0,66	14,37	21,77	0,47	27,00	57,45	0,38	5,96	15,68
62	0,88	30,03	34,13	0,79	17,88	22,63	0,32	16,13	50,41	0,09	3,49	38,78
63	1,04	20,74	19,94	0,76	17,78	23,39	0,26	17,34	66,69	0,24	6,32	26,33
64	0,35	25,07	71,63	0,71	12,30	17,32	0,46	11,49	24,98	0,42	13,63	32,45
65	0,79	19,82	25,09	0,94	15,49	16,48	0,35	15,41	44,03	0,22	16,31	74,14
66	0,78	22,58	28,95	0,96	18,30	19,06	1,04	11,54	11,10	0,26	5,60	21,54
67	0,95	18,02	18,97	0,66	17,94	27,18	0,29	11,16	38,48	0,12	4,92	41,00
68	1,29	24,54	19,02	0,56	22,10	39,46	0,57	11,76	20,63	0,22	4,94	22,45
69	0,44	14,97	34,02	0,45	21,55	47,89	0,56	9,94	17,75	0,23	6,65	28,91
70	0,74	24,14	32,62	1,00	12,55	12,55	0,35	8,07	23,06	0,32	6,82	21,31
71	1,03	27,06	26,27	0,35	14,54	41,54	0,48	10,58	22,04	0,08	4,01	50,13
72	0,87	12,15	13,97	0,43	15,21	35,37	0,53	12,83	24,21	0,32	7,82	24,44
73	0,81	31,92	39,41	0,71	19,15	26,97	0,42	18,84	44,86	0,15	3,88	25,87
74	0,94	31,25	33,24	1,38	11,72	8,49	0,36	7,08	19,67	0,37	5,46	14,76
75	1,22	17,01	13,94	0,77	16,54	21,48	0,52	18,92	36,38	0,52	10,55	20,29
76	1,11	16,64	14,99	0,57	11,78	20,67	0,44	7,22	16,41	0,30	7,12	23,73
77	0,36	6,53	18,14	0,58	19,60	33,79	0,53	23,41	44,17	0,40	5,74	14,35
78	1,19	19,69	16,55	0,42	10,28	24,48	0,50	14,44	28,88	0,23	6,18	26,87
79	0,40	29,02	72,55	0,83	13,43	16,18	0,65	17,11	26,32	0,39	4,40	11,28
80	0,40	18,25	45,63	0,35	18,46	52,74	0,30	11,76	39,20	0,35	8,79	25,11

ANEXO B

Tabela B1 – Resultados dos ensaios físicos e mecânicos dos Tratamentos T1, T2 e T3.

CODG	TRAT	FAIX	REPT	MORL	MORT	MOEL	MOET	TRÇP	TRCS	PRFF	PRFL	DENS	ABSR	INCH	PDME	PDMN	PDMD	PDMI
T1F1R1	1	1	1	16,80	14,84	2551,62	1952,86	0,58	1,35	1202,94	912,34	652,07	8,71	2,31	839,00	555,67	825,22	641,67
T1F1R2	1	1	2	16,21	14,63	2448,87	1818,32	0,59	1,37	1204,90	957,45	648,27	9,04	2,43	842,44	552,89	844,89	645,67
T1F1R3	1	1	3	17,11	14,95	2605,71	1892,68	0,59	1,43	1167,96	946,66	650,87	10,91	3,01	848,00	554,67	828,33	637,00
T1F2R1	1	2	1	13,24	11,94	1734,33	1391,50	0,40	0,91	817,54	623,04	651,53	8,80	2,14	776,89	539,67	764,89	614,67
T1F2R2	1	2	2	12,59	11,98	1706,00	1391,50	0,38	0,79	892,40	542,96	651,74	8,61	1,94	786,00	543,67	779,33	623,11
T1F2R3	1	2	3	13,48	12,07	1873,17	1349,00	0,37	0,79	842,38	629,58	650,69	8,40	1,87	780,44	538,56	767,33	615,44
T1F3R1	1	3	1	18,13	15,31	3006,82	2168,42	0,59	1,51	1160,44	870,49	650,27	10,28	2,28	832,22	554,22	838,11	643,00
T1F3R2	1	3	2	18,08	15,08	3008,90	2211,86	0,57	1,51	1150,64	974,44	648,27	15,76	4,33	828,56	552,00	828,33	637,44
T1F3R3	1	3	3	19,08	14,78	2742,38	1889,31	0,60	1,34	1156,19	1013,67	649,20	8,51	2,56	829,11	547,00	836,56	638,67
T1F4R1	1	4	1	13,78	11,77	1772,67	1294,83	0,41	0,84	875,40	755,76	649,69	9,03	1,85	778,78	542,44	763,56	621,11
T1F4R2	1	4	2	14,06	11,09	1907,00	1257,00	0,41	0,70	945,35	586,43	649,16	8,81	1,93	774,22	539,00	758,00	617,89
T1F4R3	1	4	3	14,64	11,35	1920,17	1288,33	0,39	0,92	871,15	646,58	650,13	8,68	1,81	770,56	542,00	755,00	612,22
T2F1R1	2	1	1	16,67	14,34	2742,25	1966,66	0,55	1,27	1163,06	796,29	641,60	9,16	2,23	816,22	539,56	810,33	626,00
T2F1R2	2	1	2	16,66	15,09	2518,63	1875,19	0,56	1,37	1157,17	828,33	638,00	9,40	2,26	827,56	553,00	824,78	629,89
T2F1R3	2	1	3	17,80	13,99	2812,39	1994,95	0,57	1,50	1158,81	1038,84	641,07	11,09	1,84	825,33	543,67	828,67	628,33
T2F2R1	2	2	1	13,16	11,11	1676,17	1237,17	0,37	0,88	845,98	590,68	639,19	9,98	2,52	775,67	528,67	761,67	608,44
T2F2R2	2	2	2	12,55	11,57	1521,67	1392,17	0,38	0,87	896,65	528,57	637,47	9,28	2,45	768,78	541,56	751,67	608,67
T2F2R3	2	2	3	13,65	11,78	1709,00	1351,67	0,38	0,89	810,02	563,88	641,94	8,80	2,15	768,78	532,67	769,56	608,67
T2F3R1	2	3	1	17,24	13,74	2597,48	1870,44	0,58	1,39	1160,11	970,85	638,80	17,09	4,55	820,67	540,00	829,22	629,89
T2F3R2	2	3	2	17,80	14,69	2580,74	1813,12	0,56	1,47	1064,99	896,65	639,27	9,01	2,19	827,11	538,89	824,22	627,22
T2F3R3	2	3	3	18,48	14,67	2797,49	1829,06	0,59	1,45	1100,62	935,87	642,07	11,04	3,18	833,67	539,56	828,11	631,56
T2F4R1	2	4	1	12,85	11,27	1736,00	1215,33	0,35	0,99	863,30	574,34	638,66	10,12	2,53	759,44	531,89	750,33	603,00
T2F4R2	2	4	2	14,11	10,78	1901,17	1206,00	0,38	0,99	878,01	554,07	637,81	9,23	2,24	777,22	537,22	773,89	610,00
T2F4R3	2	4	3	13,80	10,71	1801,50	1156,00	0,36	0,99	837,48	625,00	642,33	9,42	2,21	766,33	531,44	777,22	612,22
T3F1R1	3	1	1	15,79	14,16	2477,52	1866,27	0,52	1,41	1167,63	617,81	637,47	10,33	2,65	806,89	523,33	813,56	616,00
T3F1R2	3	1	2	17,19	13,77	2810,72	2050,39	0,53	1,55	1045,71	742,03	643,31	8,45	2,51	796,67	519,67	794,89	607,78
T3F1R3	3	1	3	16,05	14,88	2648,03	2074,64	0,58	1,42	1078,72	949,93	634,87	9,65	2,09	821,56	533,33	818,11	625,78
T3F2R1	3	2	1	13,34	12,04	1810,50	1440,50	0,38	0,98	928,03	681,88	639,53	8,53	1,98	769,67	535,89	761,00	610,89
T3F2R2	3	2	2	14,04	12,46	1888,33	1456,00	0,42	0,74	890,76	726,99	636,82	8,91	2,12	770,00	530,78	769,11	615,00
T3F2R3	3	2	3	13,01	12,55	1793,00	1444,17	0,39	1,06	891,74	618,14	639,78	8,63	2,03	760,22	528,00	749,00	607,44
T3F3R1	3	3	1	17,52	14,47	2514,09	1814,13	0,55	1,22	1148,67	990,79	633,67	9,75	2,08	828,00	534,44	820,11	627,00
T3F3R2	3	3	2	18,00	14,06	2669,02	1849,99	0,56	1,28	1118,93	974,12	634,33	9,46	2,33	822,67	538,67	824,56	626,78
T3F3R3	3	3	3	17,16	14,27	2535,12	1905,37	0,55	1,44	1084,60	934,24	634,13	9,46	2,44	833,22	543,11	818,22	628,56
T3F4R1	3	4	1	14,17	12,51	1929,50	1456,83	0,37	0,97	801,20	602,78	635,35	7,75	1,83	764,11	531,00	766,11	608,78
T3F4R2	3	4	2	12,98	12,26	1786,83	1408,33	0,41	1,04	888,47	546,22	637,75	7,51	1,76	754,33	536,78	756,89	605,11
T3F4R3	3	4	3	14,03	11,98	1868,17	1367,17	0,38	1,10	894,36	626,64	635,22	7,74	2,08	763,33	535,11	757,67	607,00

Tabela B2 – Resultados dos ensaios físicos e mecânicos dos Tratamentos T4 e T5.

CODG	TRAT	FAIX	REPT	MORL	MORT	MOEL	MOET	TRÇP	TRÇS	PRFF	PRFL	DENS	ABSR	INCH	PDME	PDMN	PDMD	PDMI
T4F1R1	4	1	1	16,39	14,19	2444,55	1867,88	0,58	1,60	1188,88	1034,26	631,67	14,96	3,35	804,56	534,56	803,44	616,56
T4F1R2	4	1	2	15,98	14,43	2505,02	1776,05	0,55	1,35	1090,16	968,23	628,29	13,93	3,70	804,67	528,44	806,56	617,33
T4F1R3	4	1	3	16,49	14,31	2730,94	1797,69	0,55	1,72	1116,97	1022,17	632,73	10,56	2,73	800,56	522,67	802,56	612,11
T4F2R1	4	2	1	12,73	11,86	1723,17	1356,17	0,39	0,96	879,65	584,80	635,88	7,35	1,80	754,89	527,78	758,11	605,33
T4F2R2	4	2	2	13,42	12,10	1862,83	1383,33	0,38	1,04	900,90	577,28	630,31	7,24	1,79	749,78	519,44	747,78	603,22
T4F2R3	4	2	3	12,78	11,95	1730,83	1382,83	0,39	1,02	910,37	607,68	634,83	6,86	1,80	750,44	529,44	752,89	604,22
T4F3R1	4	3	1	16,74	14,32	2479,77	1789,75	0,59	1,28	1103,89	894,19	634,47	9,50	2,49	799,89	534,67	812,78	620,22
T4F3R2	4	3	2	17,36	14,30	2632,16	1800,02	0,55	1,32	1012,04	944,04	631,20	11,63	3,48	801,00	522,33	799,11	610,67
T4F3R3	4	3	3	17,84	14,68	2945,31	1995,37	0,49	1,25	1098,33	800,87	631,93	10,80	2,76	810,00	531,22	805,78	616,11
T4F4R1	4	4	1	13,70	12,09	1811,17	1383,50	0,39	1,02	802,50	634,81	634,19	7,45	1,99	753,67	525,67	746,44	604,78
T4F4R2	4	4	2	13,28	11,55	1779,67	1312,67	0,39	1,08	867,23	482,48	632,32	7,62	2,33	748,78	522,44	749,33	536,11
T4F4R3	4	4	3	13,83	11,73	1811,67	1346,00	0,38	1,06	775,37	521,05	632,51	7,13	1,69	766,56	528,00	778,11	615,44
T5F1R1	6	1	1	17,99	15,90	2910,25	2161,28	0,59	1,55	1142,46	1064,01	639,20	11,59	2,61	818,22	536,89	819,78	628,11
T5F1R2	6	1	2	17,05	14,51	2613,85	1855,60	0,55	1,46	1111,08	935,87	636,33	9,38	2,51	802,44	524,56	807,00	612,11
T5F1R3	6	1	3	17,30	13,61	2828,32	2040,26	0,53	1,70	1082,97	1012,69	632,00	12,70	2,30	821,78	534,89	817,89	623,56
T5F2R1	6	2	1	13,05	11,77	1729,17	1296,83	0,41	1,12	812,96	495,23	642,08	8,62	1,90	791,56	540,22	795,00	624,56
T5F2R2	6	2	2	12,55	11,80	1648,17	1336,00	0,40	1,31	849,90	611,27	640,54	7,72	1,88	785,33	533,22	786,11	618,44
T5F2R3	6	2	3	12,53	12,01	1675,67	1362,00	0,36	1,28	888,15	651,15	634,15	8,06	2,22	774,78	539,56	788,89	623,11
T5F3R1	6	3	1	18,42	14,84	2886,16	2143,63	0,56	1,33	1206,53	967,25	639,53	13,08	2,71	800,44	527,67	814,89	619,56
T5F3R2	6	3	2	17,22	14,49	2796,63	2084,90	0,55	1,56	1055,18	845,00	635,20	8,90	3,61	803,22	529,67	812,22	617,11
T5F3R3	6	3	3	17,96	13,84	2487,28	1845,37	0,56	1,49	1134,29	918,87	635,33	8,59	2,46	809,78	528,56	817,56	619,33
T5F4R1	6	4	1	13,30	12,17	1665,83	1343,00	0,41	1,29	886,19	671,75	642,10	9,05	2,51	785,89	539,56	788,89	623,11
T5F4R2	6	4	2	13,16	11,17	1763,33	1246,17	0,40	1,21	869,51	574,01	636,10	8,25	2,21	779,67	531,33	777,56	617,00
T5F4R3	6	4	3	12,44	12,50	1637,50	1436,67	0,39	1,17	828,65	579,57	635,10	7,91	1,87	779,00	523,78	775,44	614,44

ANEXO C

Figura C1 – Perfil de Densidade do Tratamento 1.

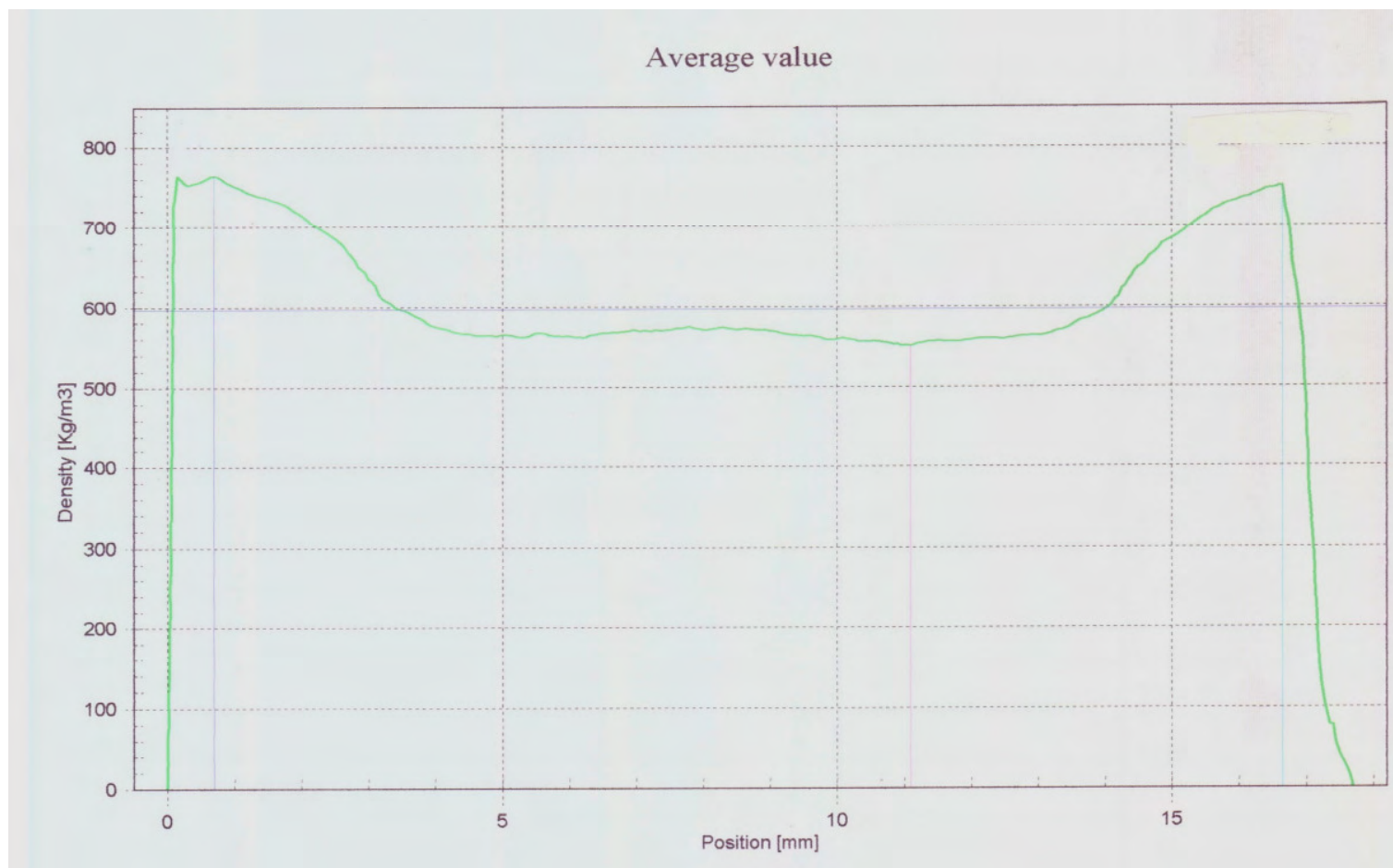


Figura C2 – Perfil de Densidade do Tratamento 2.

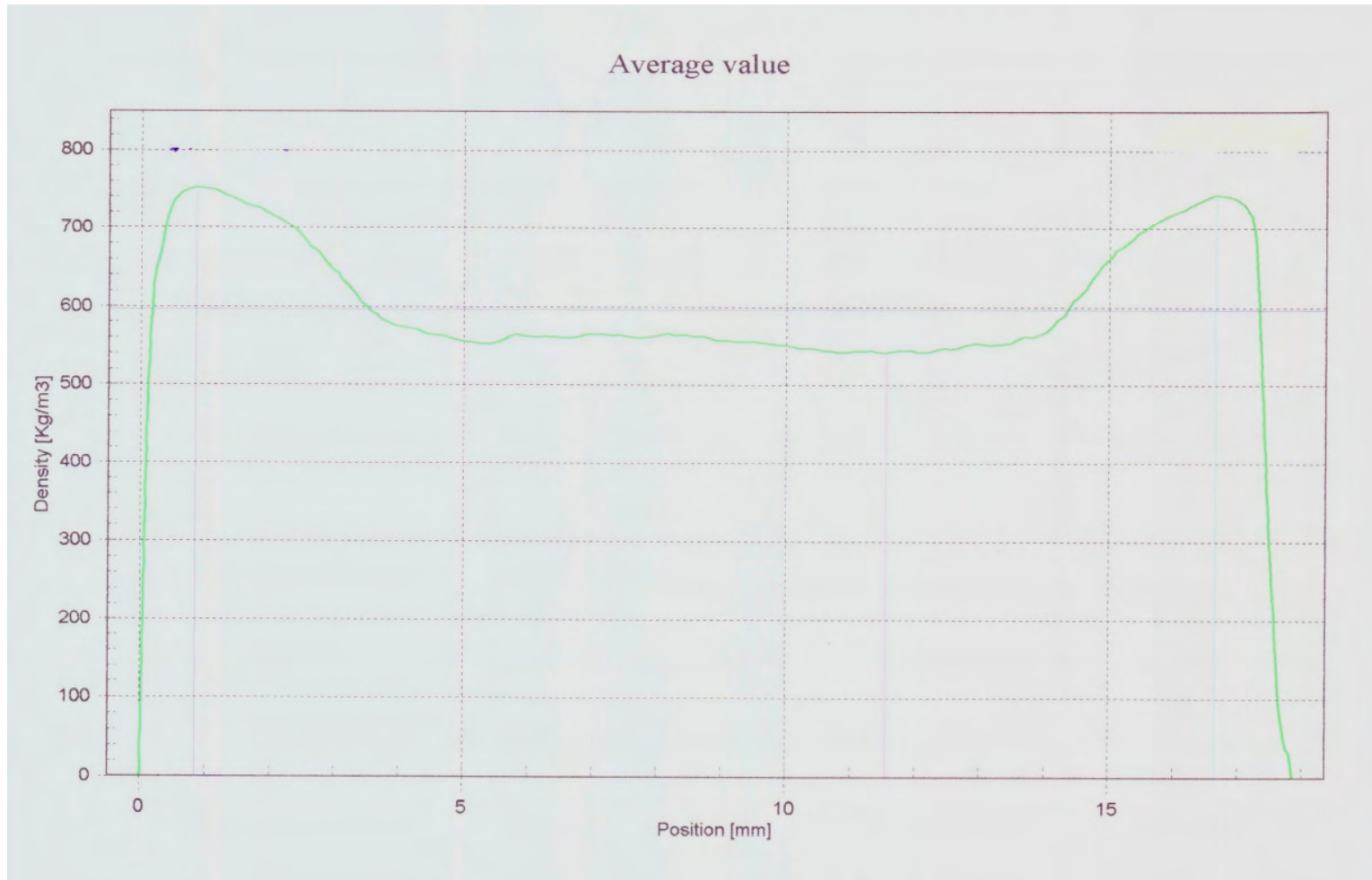


Figura C3 – Perfil de Densidade do Tratamento 3.

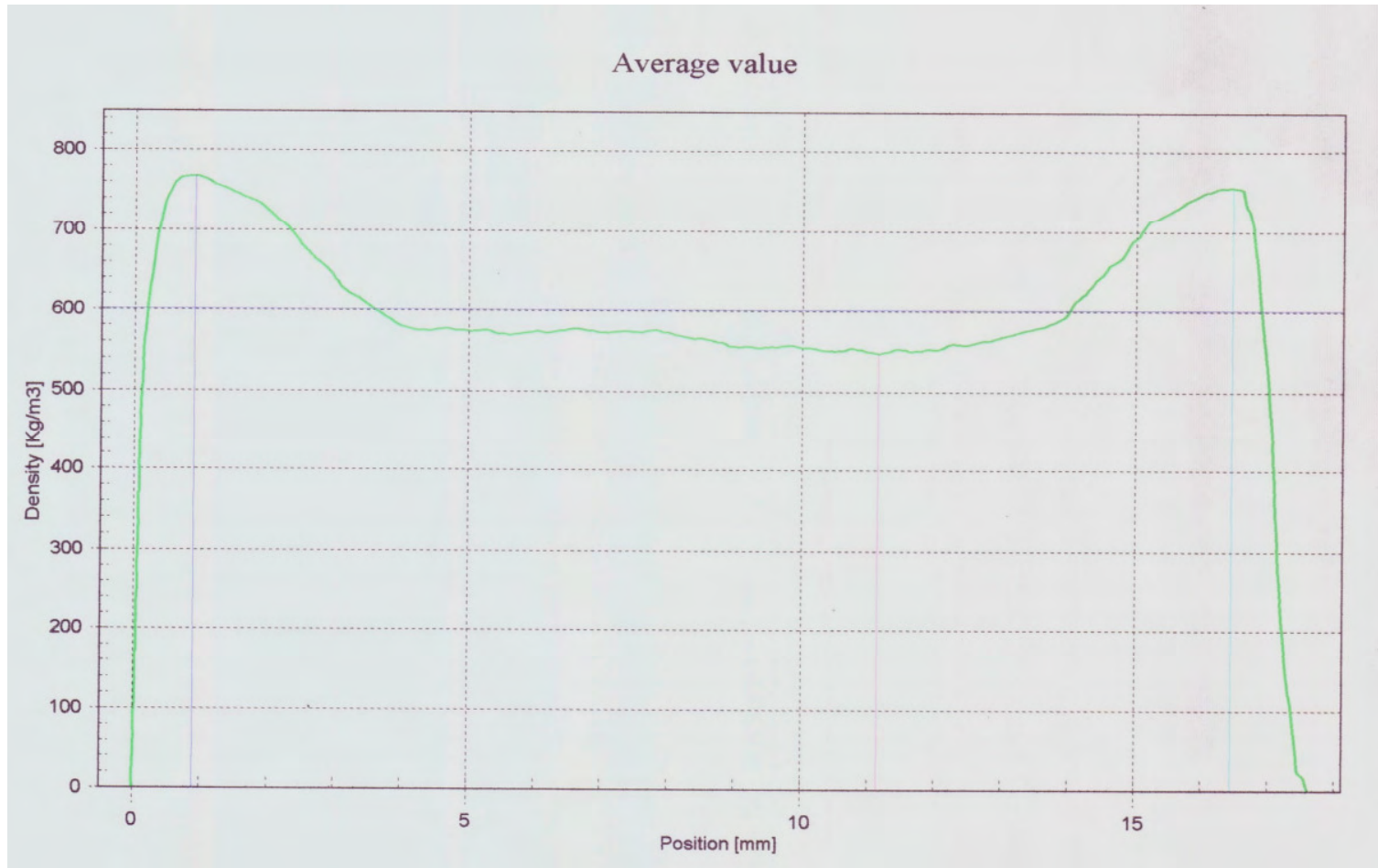


Figura C4 – Perfil de Densidade do Tratamento 4.

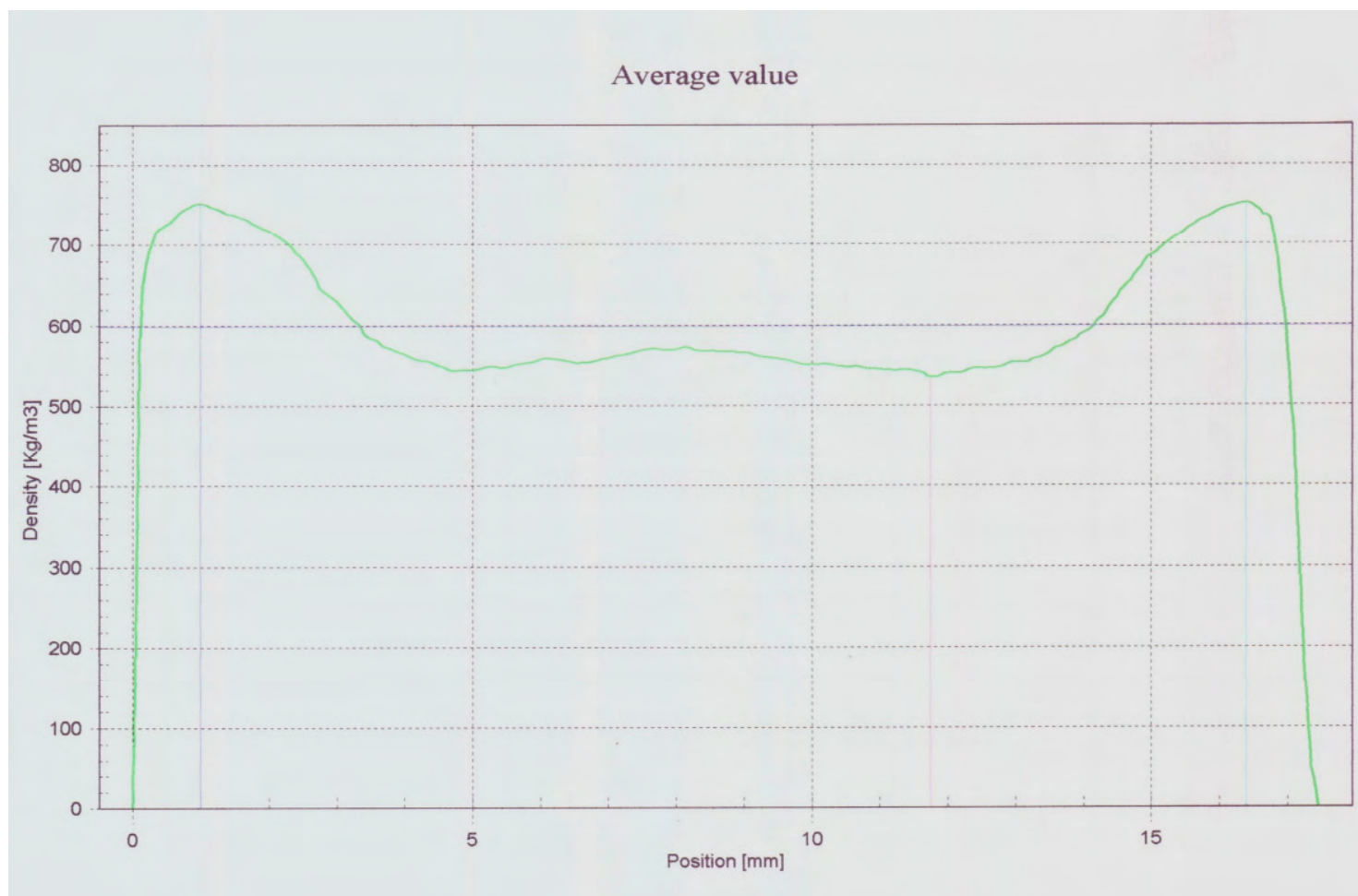


Figura C5 – Perfil de Densidade do Tratamento 5.

