

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

Joel Telles de Souza

**RESÍDUOS MADEIREIROS DA INDÚSTRIA ERVATEIRA PARA
PRODUÇÃO DE PAINÉIS MDP**

Santa Maria, RS

2016

Joel Telles de Souza

**RESÍDUOS MADEIREIROS DA INDÚSTRIA ERVATEIRA PARA PRODUÇÃO DE
PAINÉIS MDP**

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

Orientador: Prof. Dr. Clovis Roberto Haselein

Santa Maria, RS
2016

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Souza, Joel Telles de
Resíduos madeireiros da indústria ervateira para
produção de painéis MDP / Joel Telles de Souza.- 2016.
140 p.; 30 cm

Orientador: Clovis Roberto Haselein
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-
Graduação em Engenharia Florestal, RS, 2016

1. Resíduos 2. Painéis aglomerados 3. Propriedades
físicas 4. Propriedades mecânicas 5. Propriedades não
destrutivas I. Haselein, Clovis Roberto II. Título.

©2016

Todos os direitos autorais reservados a Joel Telles de Souza. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita com autorização por escrito do autor.

Endereço: Avenida Roraima, nº 1000, prédio 44, sala 5006. Santa Maria, RS, Brasil, CEP: 97105-900;

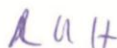
Endereço Eletrônico: joel.telles@yahoo.com.br

Joel Telles de Souza

**RESÍDUOS MADEIREIROS DA INDÚSTRIA ERVATEIRA PARA PRODUÇÃO DE
PAINÉIS MDP**

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

Aprovado em 16 de dezembro de 2016:



Clovis Roberto Haselein, Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)



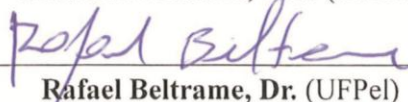
Éverton Hillig, Dr. (UNICENTRO)



Ivanor Müller, Dr. (UFSM)



Cristiane Pedrazzi, Dra. (UFSM)



Rafael Beltrame, Dr. (UFPel)

Santa Maria, RS, Brasil.
2016

AGRADECIMENTOS

À Deus, pela capacitação concedida na concretização de mais esta etapa em minha vida.

À minha esposa Siméia (que aguarda pacientemente o término desta etapa), pela companhia em momentos difíceis, pela força, carinho, amor e por sua compreensão nos dias em que fiquei ausente.

Aos meus familiares pelo incentivo, confiança e orações.

Ao meu orientador Prof. Clovis Roberto Haselein, pela paciência, orientações, sugestões e confiança durante a elaboração deste trabalho.

À prof^a. Ana Lúcia Mateus, pelo fundamental apoio na análise estatística dos dados.

À empresa Duratex, de Taquari – RS, por toda infraestrutura oferecida, sem a qual não seria possível a realização deste trabalho. Meus sinceros agradecimentos a todos os funcionários, em especial ao Gilberto Bulling.

À Ervateira Barão de Cotegipe, pelo fornecimento do material utilizado para esta pesquisa.

À Universidade Federal de Santa Maria e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, que possibilitaram a realização do doutorado.

À Universidade do Oeste de Santa Catarina, pela compreensão e liberações nos momentos finais desta etapa.

Aos colegas e funcionários de laboratório, em especial ao meu grande amigo Walmir Marques de Menezes, pela amizade, solidariedade, incentivo e ajuda, com certeza será um amigo para vida toda.

Por fim, a todos os amigos que de alguma forma contribuíram e acreditaram na conclusão deste trabalho.

Obrigado!

RESUMO

RESÍDUOS MADEIREIROS DA INDÚSTRIA ERVATEIRA PARA PRODUÇÃO DE PAINÉIS MDP

AUTOR: Joel Telles de Souza
ORIENTADOR: Dr. Clovis Roberto Haselein

Os painéis MDP (Medium Density Particleboard) foram desenvolvidos com o intuito de fornecer alternativas para a utilização de resíduos produzidos pela atividade madeireira. Tem como precursor o painel de madeira aglomerada. Pode ser considerado uma evolução do aglomerado em termos de processo produtivo e qualidade do produto final. O presente estudo tem como objetivo avaliar a viabilidade da utilização de resíduos madeireiros da industrialização da erva-mate (*Ilex paraguariensis* A. St. Hil.), para a manufatura de painéis MDP, em combinação com diferentes proporções de madeira de *Eucalyptus grandis* e *Pinus elliottii*, coladas com ureia-formaldeído. Para realização deste trabalho, foram utilizados resíduos madeireiros de erva-mate, oriundas de Barão de Cotegipe - RS e partículas de madeira de pinus e eucalipto, oriundas do abate de árvores de plantios florestais da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). Todo o processo de produção dos painéis MDP ocorreu nas instalações do Laboratório de Produtos Florestais da UFSM, já os ensaios físicos de absorção d'água (AB) e inchamento em espessura (IE), assim como os ensaios mecânicos de módulo de elasticidade (MOE) e módulo de ruptura (MOR) de flexão estática, arrancamento de parafusos (AP), tração perpendicular à superfície do painel (TP) e Resistência superficial (RS), ocorreram no laboratório da Duratex, em Taquari – RS. Os testes não destrutivos de ultrassom e colorimetria foram realizados na Engenharia Industrial Madeireira, Universidade Federal de Pelotas (UFPel). Nas diferentes camadas dos painéis MDP, as partículas de camada externa (CE) tiveram um coeficiente de esbeltez médio muito semelhante para as três espécies estudadas, já para a camada interna (CI), onde as partículas são maiores, a mesma semelhança se manteve para pinus e eucalipto, no entanto para erva-mate, este coeficiente ficou abaixo. A densidade aparente (DA) média e o teor de umidade equilíbrio dos painéis produzidos não variaram significativamente a 5% de probabilidade de erro. A modelagem de misturas mostrou que a AB e o IE, são determinados por modelos quadráticos, tanto para 2 horas quanto para 24 horas de imersão. Já nas propriedades mecânicas a modelagem se manifestou da seguinte maneira: MOR de flexão estática, AP e TP são determinados pelo modelo linear, enquanto, MOE de flexão estática e RS são determinados por modelo quadrático. Os perfis de densidade dos painéis MDP tiveram comportamento semelhante ao que ocorre no MDP comercial, com altos valores de DA na CE e mais baixos na CI. Esta tramitação ocorreu de maneira gradual entre as camadas. O método de avaliação não destrutiva utilizando ultrassom pode ser utilizado na predição das propriedades físicas dos painéis MDP e para as propriedades mecânicas de flexão estática. Por fim, a colorimetria apresentou uma coloração rosada para painéis de eucalipto e uma coloração amarelada para os produzidos com pinus e erva-mate. Sendo assim, conclui-se que, o resíduo madeireiro de erva-mate em combinação com as espécies comumente utilizadas em painéis comerciais, pinus e eucalipto, pode ser utilizado em painéis MDP sem prejudicar a qualidade dos mesmos. O uso de métodos não destrutivos colaboraram de maneira significativa para responder os questionamentos do presente trabalho.

Palavras-chave: Resíduos. Painéis aglomerados. Propriedades físicas. Propriedades mecânicas. Propriedades não destrutivas.

ABSTRACT

WOOD WASTE OF THE MATE TEA INDUSTRY FOR MDP BOARDS PRODUCTION

AUTHOR: JOEL TELLES DE SOUZA
ADVISOR: DR. CLOVIS ROBERTO HASELEIN

MDP (Medium Density Particleboard) boards have been developed in order to provide options for the use of waste produced by logging activity. It has the wooden particle board as a precursor. It can be considered an evolution of the particle board in terms of production process and quality of final product. The current study aims at assessing the use feasibility of wood waste of the mate tea (*Ilex paraguariensis* A. St. Hil.) industrialization, for MDP boards manufacture, combining different proportions of wood of *Eucalyptus grandis* and *Pinus elliottii*, glued with urea-formaldehyde. In order to carry out this study, wood waste of mate tea from Barão de Cotegipe – RS and wood particles of pine and eucalyptus from forest planting felling cycle of the Federal University of Santa Maria (UFSM) have been used. All production process of MDP boards occurred at the Laboratory of Forest Products of the UFSM, whereas the physical tests of water absorption (WA), swelling in thickness (ST), mechanical tests of elasticity module (EMO) and rupture module (RMO) of static bending, screws pulling (SP), perpendicular traction to the board surface (PT) and surface resistance (SR) occurred at the Duratex laboratory in Taquari – RS. Nondestructive tests of ultrasound and colorimetry have been carried out at the Wood Industrial Engineering, Federal University of Pelotas (UFPEl). At the different layers of MDP boards, particles from the outer layer (OL) had an average slenderness coefficient very similar for the three species analyzed, whereas to the inner layer (IL), where the particles are bigger, the same similarity appeared for pine and eucalyptus, for mate tea, though, this coefficient was low. The average apparent density (AP) and equilibrium moisture content of the boards produced have not significantly varied with 5% of error probability. Modeling of mixtures showed that WA and ST are determined by quadratic models, as for 2 hours as for 24 hours of immersion. In the mechanical properties, modeling presented itself in the following way: RMO of static bending, SP and PT are determined by the linear model, whereas EMO of static bending and SR are determined by the quadratic model. The density profiles of the MDP boards had a behavior similar to what happens in the commercial MDP, with high values of AD in the OL and lower values in the IL. This proceeding happened gradually between the layers. The nondestructive assessment method using ultrasound can be used in predicting the physical properties of MDP boards and mechanical properties of static bending. Ultimately, colorimetry presented a pinkish coloration for eucalyptus boards and a yellowish coloration for boards produced with pine and mate tea. Thus, we concluded that mate tea wood waste combined with the species commonly used in commercial boards, pine and eucalyptus, can be used in MDP boards without affecting their quality. The use of nondestructive methods collaborated meaningfully for answering the questions of the current study.

Key words: Waste. Particle boards. Physical properties. Mechanical properties. Nondestructive properties.

LISTA DE FIGURAS

INTRODUÇÃO

Figura 1 –	Árvore adulta de erva-mate	23
Figura 2 –	Ramos de erva-mate	24
Figura 3 –	Ocorrência natural da erva-mate	26
Figura 4 –	Fluxograma do processo de industrialização da erva-mate para chimarrão e chá mate tostado (queimado)	27
Figura 5 –	Raídos de erva-mate sendo desfeitos para o processo de sapeco	29
Figura 6 –	Sapeco da erva-mate de forma manual	29
Figura 7 –	Sapegador mecânico usado no processamento da erva-mate	30
Figura 8 –	Estrutura do secador de erva-mate em esteira	31
Figura 9 –	Secador rotativo para secagem de Erva-Mate	32
Figura 10 –	Soque ou triturador mecânico	33
Figura 11 –	Fluxograma simplificado do processo produtivo com as principais etapas envolvidas na fabricação dos painéis aglomerados	36
Figura 12 –	Resíduo madeireiro de erva-mate antes de ser processado em moinho de martelos. Tamanho mínimo dos resíduos fornecidos pela empresa (a) e tamanho máximo (b)	45
Figura 13 –	Resíduo madeireiro de erva-mate após o processamento e peneiragem. Descarte das partículas mais finas – pó (a); partículas da camada externa (b) e partículas da camada interna (c)	45
Figura 14 –	Partículas de <i>Eucalyptus grandis</i> (à esquerda em coloração rosada) e <i>Pinus elliottii</i> (à direita em coloração amarelada), após o processamento e peneiragem. Descarte das partículas mais finas – pó (a); partículas da camada externa (b) e partículas da camada interna (c)	46
Figura 15 –	Sequência do processamento para obtenção das partículas de <i>Eucalyptus grandis</i> e <i>Pinus elliottii</i> utilizadas na confecção dos painéis	47
Figura 16 –	Secagem das partículas em estufa	48
Figura 17 –	Formação do colchão (a) e visualização das 3 camadas após a pré-prensagem (b)	49
Figura 18 –	Processo de produção dos painéis MDP. Tambor rotativo (a); prensagem do colchão em caixa formadora com temperatura ambiente (b); prensagem definitiva a quente em prensa hidráulica (c); barras de aço com altura de 15 mm (d)	50

CAPÍTULO 1

Figura 1 –	Equipamento utilizado para o banho termostático (a); corpos de prova submersos sob uma película d'água de 25mm (b); à esquerda balança analítica e à direita medidor de bancada (c); detalhe da medição de um corpo de prova (d)	58
Figura 2 –	Densitômetro de raios X (a); detalhe do posicionamento do corpo de prova antes de ser introduzido na câmara (b) e formação do gráfico de perfil de densidade (c)	59
Figura 3 –	Delineamento experimental centróide simplex para três componentes	60

Figura 4 – Gráfico ternário da absorção d’água após 2 horas de imersão dos painéis, em função da mistura erva-mate, pinus e eucalipto	66
Figura 5 – Gráfico ternário da absorção d’água após 24 horas de imersão dos painéis, em função da mistura erva-mate, pinus e eucalipto.....	67
Figura 6 – Gráfico ternário do inchamento em espessura após 2 horas de imersão dos painéis, em função da mistura erva-mate, pinus e eucalipto	68
Figura 7 – Gráfico ternário do inchamento em espessura após 24 horas de imersão dos painéis, em função da mistura erva-mate, pinus e eucalipto	69
Figura 8 – Perfil desejado para o inchamento em espessura após 2 horas de imersão dos painéis, em função da proporção de 50% para as espécies de erva-mate e pinus	70
Figura 9 – Perfil desejado para o inchamento em espessura após 2 horas de imersão dos painéis, em função da proporção de 33,33% para cada espécie, erva-mate, pinus e eucalipto	71
Figura 10 – Perfil de densidade aparente ao longo da espessura dos painéis MDP, por densitometria de raios-X	73
Figura 11 – Gráfico ternário da MáxE dos painéis, em função da mistura erva-mate, pinus e eucalipto	76
Figura 12 – Gráfico ternário da MáxD dos painéis, em função da mistura erva-mate, pinus e eucalipto	77
Figura 13 – Gráfico ternário da Mín dos painéis, em função da mistura erva-mate, pinus e eucalipto	78
Figura 14 – Relação entre MáxE, MáxD e Mín ao longo do perfil e densidade aparente média.....	79

CAPÍTULO 2

Figura 1 – Realização do ensaio de flexão estática	88
Figura 2 – Ensaio de arrancamento de parafusos na face (a); ensaio de arrancamento parafusos no topo (b)	89
Figura 3 – Ensaio de tração perpendicular à superfície do painel (a); ensaio de resistência superficial (b)	90
Figura 4 – Delineamento experimental centróide simplex para três componentes	91
Figura 5 – Gráfico ternário do módulo de elasticidade dos painéis, em função da mistura erva-mate, pinus e eucalipto	96
Figura 6 – Gráfico ternário do módulo de ruptura dos painéis, em função da mistura erva-mate, pinus e eucalipto	97
Figura 7 – Gráfico ternário do arrancamento de parafusos na face dos painéis, em função da mistura erva-mate, pinus e eucalipto	100
Figura 8 – Gráfico ternário do arrancamento de parafusos no topo dos painéis, em função da mistura erva-mate, pinus e eucalipto	101
Figura 9 – Gráfico ternário da tração perpendicular à superfície dos painéis, em função da mistura erva-mate, pinus e eucalipto	104
Figura 10 – Gráfico ternário da resistência superficial dos painéis, em função da mistura erva-mate, pinus e eucalipto	105

CAPÍTULO 3

Figura 1 – Equipamento de ultrassom com transdutores de pontos secos (a); Ensaio de propagação direta (b)	113
Figura 2 – Colorímetro digital da marca Konica Minolta, modelo CR-400/401	114
Figura 3 – Representação do sistema colorimétrico CIELAB 1976	114
Figura 4 – Estimativa da absorção d'água após 2 e 24 horas de imersão, em função do módulo de elasticidade dinâmico obtido por meio do ultrassom	119
Figura 5 – Estimativa do inchamento em espessura após 2 e 24 horas de imersão, em função do módulo de elasticidade dinâmico obtido por meio do ultrassom	119
Figura 6 – Estimativa do módulo de elasticidade estático e do módulo de ruptura, em função do módulo de elasticidade dinâmico obtido por meio do ultrassom	122
Figura 7 – Imagem da superfície dos painéis MDP, para os 11 tratamentos avaliados	125

LISTA DE TABELAS

INTRODUÇÃO

Tabela 1 – Tratamentos utilizados no experimento	51
--	----

CAPÍTULO 1

Tabela 1 – Tratamentos utilizados no experimento	60
Tabela 2 – Coeficiente de esbeltez das partículas da camada interna e externa, das espécies em estudo	63
Tabela 3 – Valores médios da densidade aparente e o teor de umidade de equilíbrio, nos tratamentos avaliados	64
Tabela 4 – Valores médios da absorção d'água após 2 e 24 horas e inchamento em espessura após 2 e 24 horas, nos tratamentos avaliados	64
Tabela 5 – Modelos simplificados para a absorção d'água e inchamento em espessura dos painéis, utilizando-se apenas os coeficientes significativos pelo teste “t” ..	65
Tabela 6 – Valores médios do perfil de densidade nos tratamentos avaliados	72
Tabela 7 – Modelos simplificados para densidade nas diferentes camadas do MDP, utilizando-se apenas os coeficientes significativos pelo teste “t”	74
Tabela 8 – Matriz de correlação de Pearson entre as propriedades físicas e a densidade aparente ao longo do perfil dos painéis	79

CAPÍTULO 2

Tabela 1 – Tratamentos utilizados no experimento	91
Tabela 2 – Valores médios de módulo de elasticidade e módulo de ruptura, nos tratamentos avaliados	93
Tabela 3 – Modelos simplificados para o módulo de elasticidade e módulo de ruptura dos painéis, utilizando-se apenas os coeficientes significativos pelo teste “t” ..	94
Tabela 4 – Valores médios de arrancamento de parafusos na face e topo, nos tratamentos avaliados	98
Tabela 5 – Modelos simplificados para o arrancamento de parafusos na face e arrancamento de parafusos no topo dos painéis, utilizando-se apenas os coeficientes significativos pelo teste “t”	99
Tabela 6 – Valores médios de tração perpendicular à superfície do painel e resistência superficial, nos tratamentos avaliados	101
Tabela 7 – Modelos simplificados para a tração perpendicular à superfície do painel e resistência superficial, utilizando-se apenas os coeficientes significativos pelo teste “t”	103

CAPÍTULO 3

Tabela 1 –	Tratamentos utilizados no experimento	116
Tabela 2 –	Valores médios do módulo de elasticidade dinâmico e as propriedades físicas, nos tratamentos avaliados	117
Tabela 3 –	Matriz de correlação de Pearson entre o módulo de elasticidade dinâmico e as propriedades físicas dos painéis	118
Tabela 4 –	Valores médios do módulo de elasticidade dinâmico e as propriedades mecânicas de flexão estática, nos tratamentos avaliados	120
Tabela 5 –	Matriz de correlação de Pearson entre o módulo de elasticidade dinâmico e as propriedades mecânicas de flexão estática dos painéis	120
Tabela 6 –	Valores médios do módulo de elasticidade dinâmico e as propriedades mecânicas, nos tratamentos avaliados	122
Tabela 7 –	Matriz de correlação de Pearson entre o módulo de elasticidade dinâmico e as propriedades mecânicas dos painéis	123
Tabela 8 –	Valores médios dos parâmetros colorimétricos pelo Teste de Scott – Knott, nos tratamentos avaliados	123

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	19
1.1	REVISÃO DE LITERATURA	21
1.1.1	A erva-mate (<i>Ilex paraguariensis</i> A. St. Hil.)	21
1.1.1.1	<i>Histórico</i>	22
1.1.1.2	<i>Aspectos botânicos</i>	23
1.1.1.3	<i>Aspectos ecológicos</i>	25
1.1.1.4	<i>Clima</i>	25
1.1.1.5	<i>Distribuição geográfica</i>	25
1.1.2	Processo de industrialização da erva-mate	26
1.1.2.1	<i>Ciclo do Cancheamento</i>	28
1.1.2.1.1	Colheita	28
1.1.2.1.2	Sapeco	28
1.1.2.1.3	Secagem	31
1.1.2.1.4	Moagem	32
1.1.2.2	<i>Ciclo do beneficiamento</i>	34
1.1.3	Resíduos de erva-mate	34
1.1.4	Matéria-prima para produção de painéis	35
1.1.5	Painéis aglomerados	36
1.1.6	Mistura de eucalipto, pinus e outras espécies florestais para produção de painéis aglomerados	38
1.1.7	Resíduos de erva-mate para produção de painéis aglomerados	39
1.1.8	Painéis aglomerados em três camadas (MDP)	40
1.1.9	Adesivo à base de ureia-formaldeído	42
1.1.10	Planejamento em rede centróide simplex	43
1.2	MATERIAL E MÉTODOS	44
1.2.1	Coleta e preparo da matéria-prima	44
1.2.1.1	<i>Partículas de <i>Ilex paraguariensis</i> A. St. Hil.</i>	44
1.2.1.2	<i>Partículas de <i>Eucalyptus grandis</i> W. Hill ex Maiden e <i>Pinus elliottii</i> Engelm.</i>	46
1.2.1.3	<i>Adesivo</i>	47
1.2.2	Processo de produção dos painéis MDP	47
1.2.3	Delineamento experimental	50
1.2.4	Ensaio físicos, mecânicos e não destrutivos	51
2	CAPÍTULO I – CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DO MDP PRODUZIDO COM PARTÍCULAS DE MADEIRA DE <i>Ilex paraguariensis</i>, <i>Pinus elliottii</i> E <i>Eucalyptus grandis</i>	53
2.1	INTRODUÇÃO	53
2.2	MATERIAL E MÉTODOS	56
2.2.1	Coleta e preparo da matéria-prima	56
2.2.2	Processo de produção dos painéis MDP	56
2.2.3	Características das partículas	56
2.2.4	Ensaio físicos	57
2.2.4.1	<i>Densidade e teor de umidade</i>	57
2.2.4.2	<i>Absorção d'água e inchamento em espessura</i>	57
2.2.4.3	<i>Perfil de densidade</i>	58
2.2.5	Delineamento experimental	59
2.2.6	Análise estatística dos dados	60

2.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	62
2.3.1	Características das partículas e painéis	62
2.3.2	Absorção d'água e inchamento em espessura	64
2.3.3	Análise do perfil de densidade	71
2.4	CONCLUSÕES.....	80
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	81
3	CAPÍTULO II – PROPRIEDADES MECÂNICAS DO MDP PRODUZIDO COM PARTÍCULAS DE MADEIRA DE <i>Ilex paraguariensis</i>, <i>Pinus elliottii</i> E <i>Eucalyptus grandis</i>	85
3.1	INTRODUÇÃO.....	85
3.2	MATERIAL E MÉTODOS	87
3.2.1	Coleta e preparo da matéria-prima	87
3.2.2	Processo de produção dos painéis MDP	88
3.2.3	Ensaio mecânicos	88
3.2.3.1	<i>Flexão estática</i>	88
3.2.3.2	<i>Arrancamento de parafusos (AP)</i>	89
3.2.3.3	<i>Tração perpendicular à superfície do painel (TP)</i>	89
3.2.3.4	<i>Resistência superficial (RS)</i>	90
3.2.4	Delineamento experimental	90
3.2.5	Análise estatística dos dados	92
3.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	93
3.3.1	Flexão estática	93
3.3.2	Arrancamento de parafuso	97
3.3.3	Tração perpendicular à superfície do painel e Resistência superficial	101
3.4	CONCLUSÕES.....	105
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	106
4	CAPÍTULO III – PROPRIEDADES NÃO DESTRUTIVAS DO MDP PRODUZIDO COM PARTÍCULAS DE MADEIRA DE <i>Ilex paraguariensis</i>, <i>Pinus elliottii</i> E <i>Eucalyptus grandis</i>	109
4.1	INTRODUÇÃO.....	109
4.2	MATERIAL E MÉTODOS	112
4.2.1	Coleta e preparo da matéria-prima	112
4.2.2	Processo de produção dos painéis MDP	112
4.2.3	Ensaio não destrutivo com ultrassom	112
4.2.4	Ensaio de colorimetria	113
4.2.5	Delineamento experimental	115
4.2.6	Análise estatística dos dados	116
4.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	117
4.3.1	Estimativa das propriedades físicas por meio do ultrassom	117
4.3.2	Estimativa das propriedades mecânicas por meio do ultrassom	119
4.3.3	Avaliação colorimétrica	123
4.4	CONCLUSÕES.....	126
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	126
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	131
5.1	CONCLUSÕES GERAIS	131
5.2	RECOMENDAÇÕES.....	131
	REFERÊNCIAS	133

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, observa-se uma forte tendência de evitar a formação de resíduos em qualquer atividade produtiva e, quando isso não é possível, procura-se aproveitar este material residual de alguma outra maneira. Além disso, com o paradigma atual da sociedade de se produzir de maneira ecológica, faz-se necessária a utilização de matérias-primas que não causem grandes impactos ao ambiente e que ao mesmo tempo conservem a qualidade do produto final.

Em vista disso, os painéis MDP (Medium Density Particleboard - Painéis de Partículas de Média Densidade) foram desenvolvidos com o intuito de fornecer alternativas para a utilização de resíduos produzidos pela atividade madeireira. Pela composição simples (madeira, adesivo e parafina), baixa complexidade de fabricação, e baixo custo, o MDP ganhou rapidamente a aceitação dos consumidores no mundo inteiro (SOUZA, 2012).

O MDP pode ser considerado uma evolução do aglomerado em termos de processo produtivo e qualidade do produto final. As partículas são posicionadas de forma diferenciada, com as maiores dispostas na região central do painel e as mais finas nas superfícies externas formando três camadas. As partículas são aglutinadas e compactadas entre si com resina sintética através da ação conjunta de pressão e calor em prensa contínua de última geração. É o resultado da evolução da tecnologia de prensas contínuas e pertence a uma nova geração de painéis de partículas de média densidade (ABIPA, 2016).

Além da madeira de *Pinus* spp. e *Eucalyptus* spp., os painéis MDP podem incorporar resíduos resultantes de outras espécies florestais, dentre estas, pode-se destacar a erva-mate (*Ilex paraguariensis* A. St. Hil.). Na região sul do Brasil, esta cultura desempenha um importante papel socioeconômico, principalmente nas pequenas propriedades agrícolas. É a principal atividade econômica em inúmeros municípios, notadamente na microrregião denominada Alto Uruguai, localizada no extremo norte do Rio Grande do Sul.

O processo de industrialização da erva-mate consiste do sapeco, secagem e cancheamento. No sapeco retira-se a umidade superficial, elimina-se enzimas e impede-se a decomposição. A secagem é feita através de secador mecânico, onde ocorre a completa desidratação. E por fim o cancheamento, que nada mais é do que a trituração do material por meio de um picador mecânico. Em seguida, a erva é peneirada, o material de menor granulometria é coletado e passa a denominar-se erva cancheada. Esta pode ser usada diretamente como matéria-prima para a produção de chás ou, após passar por um processo de soque, como chimarrão.

A produção de resíduos madeireiros na cultura da erva-mate fica por conta do material que não passa pela peneira, composto por partes de ramos de diversos tamanhos, denominados talos e palitos. Estes resíduos são de baixo custo e de difícil venda, sendo utilizados, algumas vezes, na queima em caldeiras para geração de energia. Isso implica em dois problemas principais: primeiro, de ordem ambiental, caso o material seja descartado para lixões, ou ainda, queimado a céu aberto, prática ainda utilizada em muitos casos, que gera dióxido de carbono, metano e gases tóxicos formados pela própria carbonização. Outro problema é de ordem econômica, pois a não utilização desse material constitui uma forma de desperdício, uma vez que a ele poderia ser agregado valor para então servir de incremento na renda do produtor.

O Brasil apresenta uma produção anual de erva-mate em torno de 513 mil toneladas (IBGE, 2012). Por sua vez, o Rio Grande do Sul contribui com 48% desta produção, sendo 15% produzidas na microrregião denominada Alto Uruguai, onde se situam 42 das principais ervateiras do Rio Grande do Sul (MOSELE, 2002). Estima-se que o resíduo corresponde a aproximadamente 6% da produção em massa, ou seja, aproximadamente 30 mil toneladas/ano. Mas este valor residual é ainda maior, pois ocorre variação em algumas regiões e empresas. Determinadas regiões costumam efetuar a poda com maior diâmetro de galho, gerando portanto maior quantidade de resíduos. Leva-se em consideração também, que as empresas que trabalham com exportação, devem fornecer a erva isenta de talos e palitos, gerando uma produção de resíduos em torno de 30%. Portanto a geração de resíduos madeireiros provenientes da industrialização da erva-mate, certamente, não baixa das 50 mil toneladas/ano.

Foram encontrados alguns trabalhos que apresentaram utilizações distintas para este resíduo, como por exemplo, a adição de palitos de erva-mate como cobertura morta, obtendo-se aumento na produtividade das erveiras (LOURENÇO et al.; 2001), ou ainda, a produção de carvão vegetal a partir do resíduo de erva-mate, com o intuito de remover contaminantes orgânicos em meio aquoso (GONÇALVES et al.; 2007). Entretanto, a utilização deste resíduo para produção de MPD é ainda desconhecida, apenas Guiotoku et al. (2008), estudaram a utilização de palitos de erva-mate em aglomerados quanto a absorção e inchamento d'água.

As fábricas de painéis MDP possuem um consumo muito alto de resíduos de madeira, portanto esse volume de partículas de erva-mate poderia ser utilizado para suprir parte desta demanda. Nesse sentido, este trabalho se propõe a utilizar este resíduo em combinação com os dois principais gêneros utilizados na produção de painéis, o *Pinus* e o *Eucalyptus*. Não há estudos em relação à mistura de partículas destes gêneros com resíduos de erva-mate.

Sendo assim, o presente estudo tem como objetivo avaliar a viabilidade da utilização de resíduos madeireiros da industrialização da erva-mate (*Ilex paraguariensis* A. St. Hil.), para a manufatura de painéis MDP, em combinação com diferentes proporções de madeira de *Eucalyptus grandis* e *Pinus elliottii*, coladas com ureia-formaldeído.

Mais especificamente, objetiva-se testar a influência da adição de partículas de madeira de erva-mate na produção de painéis quanto à: absorção d'água, inchamento em espessura, tração perpendicular à superfície do painel e resistência superficial, arrancamento de parafusos (face e topo), além de determinar o efeito dos diferentes tratamentos nas propriedades de flexão estática. O presente trabalho também avaliou as propriedades não destrutivas por meio de ultrassom, além de avaliar a qualidade da superfície do painel através dos ensaios de colorimetria.

Para alcançar tais objetivos, o estudo foi dividido em capítulos:

Capítulo 1 – Características físicas do MDP produzido com partículas de madeira de *Ilex paraguariensis*, *Pinus elliottii* e *Eucalyptus grandis*;

Capítulo 2 – Propriedades mecânicas do MDP produzido com partículas de madeira de *Ilex paraguariensis*, *Pinus elliottii* e *Eucalyptus grandis*;

Capítulo 3 – Propriedades não destrutivas do MDP produzido com partículas de madeira de *Ilex paraguariensis*, *Pinus elliottii* e *Eucalyptus grandis*.

1.1 REVISÃO DE LITERATURA

1.1.1 A erva-mate (*Ilex paraguariensis* A. St. Hil.)

A erva-mate é uma planta da família das aquifoliáceas, natural da América do Sul. Seu cultivo e beneficiamento possuem grande importância econômica na região Sul do Brasil. Suas folhas são utilizadas no preparo de chás e bebidas, tendo o chimarrão, uma infusão de folhas e talos de erva-mate em água quente, como a sua forma mais comum de consumo (COELHO et al. 2002).

Devido à sua composição química, também é empregada no setor farmacêutico, de cosméticos e alimentício. Utilizada pelos índios como bebida tônica e estimulante, diversas

pesquisas sobre suas propriedades nutricionais e medicinais foram realizadas (SCHINELLA et al., 2000; BENDLIN, 2003; MEJIA et al., 2005).

No Rio Grande do Sul onde é costume ritualístico e cultural importante, a espécie é a árvore símbolo do Estado (BERGER, 2006). Segundo o mesmo autor, a erva-mate compõe um dos sistemas agrofloretais mais antigos da Região Sul do Brasil e desempenha um importante papel socioeconômico, ocorrendo de forma nativa em solos ácidos e com baixa fertilidade e quando cultivada possuem solos com melhor fertilidade. A comercialização dos produtos oriundos da erva-mate tem aumentado entre os países integrantes do Mercosul constituindo em uma excelente opção para os pequenos proprietários rurais.

1.1.1.1 Histórico

O primeiro relato do consumo da erva-mate foi feito em 1554, pelo general paraguaio Irala, ao observar índios do Guairá consumindo, em um pequeno porongo e com um canudo de taquara, uma bebida feita com folhas. O produto consumido era constituído por folhas tostadas e fragmentadas, o que levou os colonizadores espanhóis a concluírem, equivocadamente, que a bebida era proveniente de uma planta de pequeno porte, considerando-a como folhas de uma erva, e denominaram-na “erva do Paraguai”. Quanto ao termo mate, a opinião mais aceita é que seja originário da língua indígena quíchua, do termo “mati”, que significa cuia, cabaça ou porongo, recipiente, feito do fruto maduro da cucurbitácea, *Legenaria vulgaris*, no qual é preparada e bebida a infusão de folhas de erva-mate (DA CROCE; FLOSS, 1999; MACCARI JUNIOR, 2005).

O impulso definitivo na economia ervateira surgiu no século XVII na época da Companhia de Jesus e seus 30 povos das Missões de Guarani, situados na faixa ao longo dos rios Paraguai e Uruguai, onde, por orientação dos jesuítas, os indígenas iniciaram as plantações de erva-mate. Paralelamente à implantação dos ervais, os jesuítas definiram preceitos sobre a época da colheita de sementes, do preparo e do cultivo (MAZUCHOWSKI, 1991; DA CROCE; FLOSS, 1999).

A erva-mate teve expressiva contribuição na formação socioeconômica do Brasil, sendo considerada a mais importante indústria extrativista depois da borracha. Os bandeirantes que, de 1628 a 1632, percorreram as regiões de Guairá, conheceram o uso do mate através de contatos com povos indígenas, e regressaram trazendo índios guaranis prisioneiros e com eles o hábito da bebida (MAZUCHOWSKI, 1991; DA CROCE; FLOSS, 1999).

O nome científico da erva-mate, *Ilex paraguariensis*, foi dado pelo botânico francês August de Saint Hillaire que percorreu o Brasil entre 1816 a 1822 e coletou amostras de erva-mate nas proximidades de Curitiba. Quanto ao nome específico *Ilex paraguariensis*, o botânico assim denominou por considerar a planta exatamente igual a erva do Paraguai (BRAGAGNOLO et al., 1980; MAZUCHOWSKI, 1991).

Em dois de dezembro de 1927, através do decreto nº 54 foi criado em Joinville, Santa Catarina, o Instituto do Mate devido à importância socioeconômica da planta e, com o objetivo de aperfeiçoar, defender e divulgar o produto no País e no exterior (DA CROCE; FLOSS, 1999).

1.1.1.2 Aspectos botânicos

A erva-mate, de nome científico, *Ilex paraguariensis* A. St. Hil., pertence à família das aquifoliáceas da qual fazem parte cerca 550 a 600 espécies, sendo a maioria do gênero *Ilex* (MAZUCHOWSKI, 1991). No Brasil existem 68 espécies desse gênero sendo que apenas cinco podem ser utilizadas para o beneficiamento (MACCARI JUNIOR, 2005).

A árvore da erva-mate (Figura 1), apresenta porte semelhante ao da laranjeira, possuindo tronco acinzentado, geralmente com 20 a 25 cm de diâmetro, podendo chegar aos 50 cm. Apresenta ramos cilíndricos e subcilíndricos. A altura é variável sendo influenciada pelas condições do local, pelo manejo e pela idade da planta, podendo atingir até 15 metros, mas quando podadas não passa de 7 metros (BRAGAGNOLO et al., 1980; MAZUCHOWSKI, 1991).

Figura 1 – Árvore adulta de erva-mate.



As folhas (Figura 2) são verde-escuras na parte de cima e mais claras na parte inferior e possuem comprimento médio de 5 a 8 cm e, largura de 4 a 5 cm (MACCARI JUNIOR, 2005). Segundo Coelho et al. (2002) as características morfológicas das folhas como área e espessura sofrem grande influência das condições ambientais como intensidade de luz e suprimento de água. Além da heterogeneidade das dimensões das folhas, a proporção folha/ramo também é um fator variável que deve ser considerado no processamento da erva-mate, pois cada uma destas partes da planta possui comportamento diferenciado durante o processo (PERALTA; SCHMALKO, 2003; MACCARI JUNIOR, 2005).

Figura 2 – Ramos de erva-mate.



Fonte: Bendlin (2003).

A cultura da erva-mate é uma espécie que sofre pouco com as oscilações do clima, quando comparada aos outros cultivos agrícolas em geral, o que a torna uma espécie de grande importância na fixação do homem ao campo (VIDOR et al., 2002).

Os ervais podem ser nativos ou cultivados, sendo nativos aqueles que são formados e mantidos pela natureza. A erva-mate cultivada é considerada mais amarga do que a nativa. No Brasil a maior parte da erva-mate extraída provém de ervais nativos (ROCHA JUNIOR, 2001; PAGLIOSA, 2009).

1.1.1.3 Aspectos ecológicos

A erva-mate é uma espécie clímax, tolerante à sombra. Seu crescimento se dá nas associações mais evoluídas dos pinhais. É uma espécie característica da Floresta Ombrófila Mista (Floresta com Araucária), sempre em associações nitidamente evoluídas com a *Araucária angustifolia* (CARVALHO, 2003).

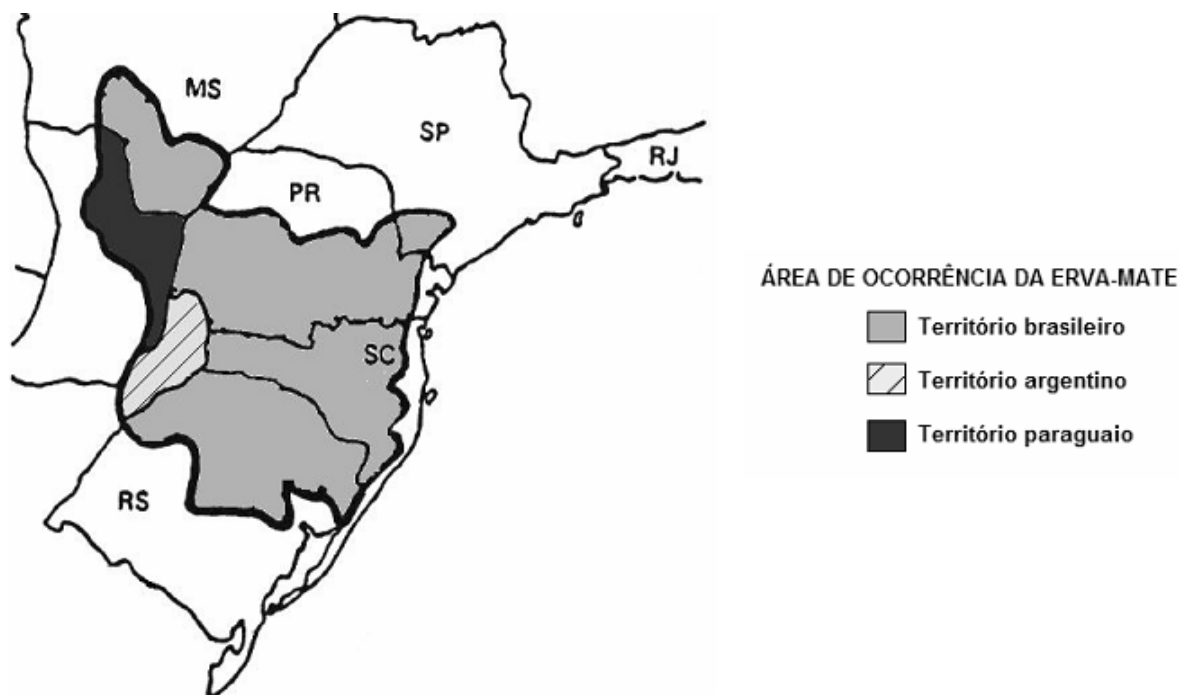
1.1.1.4 Clima

Segundo a classificação de Köppen, o clima predominante para o desenvolvimento dessa espécie é o temperado úmido (Cfb), seguido pelo subtropical úmido (Cfa), ocorrendo ainda em menor grau em clima subtropical de altitude (Cwa) e (Cwb) e em clima tropical (Aw). As chuvas são distribuídas uniformemente na maior parte da sua área, com precipitações médias de 1.200 a 1.500 mm ao ano, apresentando uma temperatura média de 13,2°C a 21,9°C (CARVALHO, 2003).

1.1.1.5 Distribuição geográfica

A área de dispersão natural da erva-mate abrange aproximadamente 540.000 km², compreendendo territórios do Brasil, Argentina e Paraguai, situados entre as latitudes 21° e 30° sul e longitudes 48°30' e 56°10' oeste com altitudes variáveis entre 500 e 1000 metros. No Brasil, sua área de dispersão inclui a região centro-oeste do Rio Grande do Sul, quase todo o estado de Santa Catarina. Avança pela região centro-sul do Paraná, estendendo-se a nordeste para o estado de São Paulo, limitando-se neste estado à pequena zona situada à região sudeste. Por outro lado, a oeste do Paraná segue em direção à região do sul Mato Grosso do Sul, abrangendo ainda parte da Província de Misiones na Argentina e a parte oriental do Paraguai, situada na região da Serra de Amanhay-Mbaracayú (REITZ; EDWIN, 1967; CORRÊA, 1969; OLIVEIRA; ROTTA, 1985; SANTOS, 1985; MAZUCHOWSKI, 1989; EMATER, 1991; VALDUGA, 1995), conforme mostra a Figura 3.

Figura 3 – Ocorrência natural da erva-mate.



Fonte: Oliveira e Rotta (1985).

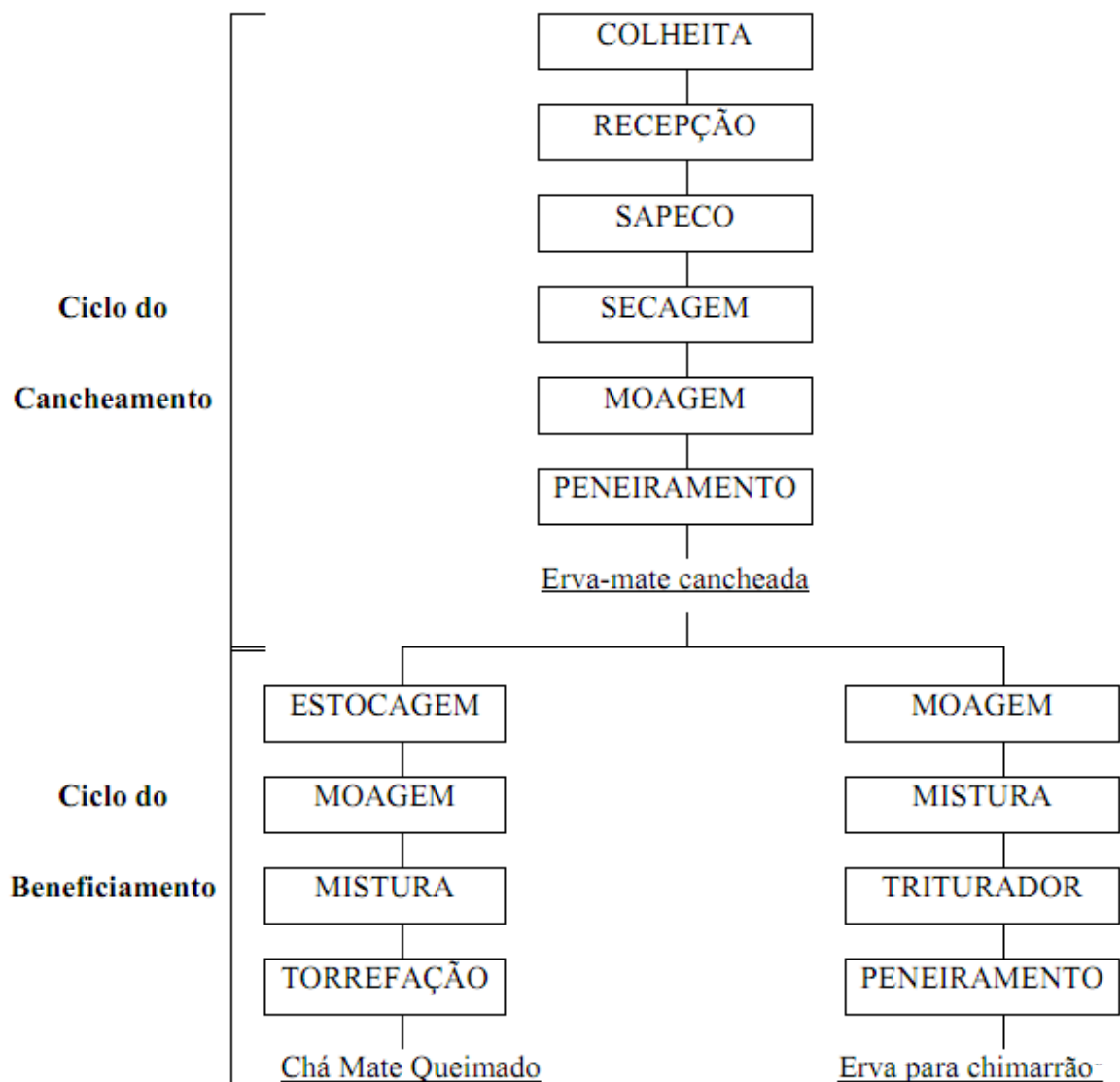
Pontos isolados com ocorrência da espécie, correspondendo a pequenas manchas de matas com ocorrência do pinheiro-do-paraná (*Araucaria angustifolia*), são encontrados na região de Campos do Jordão, a leste de São Paulo, região sudeste de Minas Gerais e sul do Rio Grande do Sul (OLIVEIRA; ROTTA, 1985; MAZUCHOWSKI, 1989).

Basicamente, a erva-mate cresce espontaneamente em regiões constituídas por matas de *Araucaria angustifolia* e matas subtropicais do sul do Brasil (OLIVEIRA; ROTTA, 1985; BOUGARDT, 2000).

1.1.2 Processo de industrialização da erva-mate

O processamento da erva-mate, segundo a resolução nº 485 do INM - Instituto Nacional do Mate (INM, 1955), é constituído por dois ciclos: o do cancheamento que compreende as etapas de colheita, sapeco, secagem, trituração e peneiramento; e ciclo do beneficiamento no qual são realizadas as etapas de retificação da secagem, limpeza e trituração da planta cancheada a várias granulometrias e, peneiramento para composição dos diferentes tipos de produtos (MACCARI JUNIOR, 2005). A Figura 4 ilustra em fluxograma as etapas do processamento do chimarrão e do chá mate tostado.

Figura 4 – Fluxograma do processo de industrialização da erva-mate para chimarrão e chá mate tostado (queimado).



Fonte: Maccari Junior (2005).

Segundo o mesmo autor, o ciclo do beneficiamento do chá mate tostado tem como produto uma erva-mate tostada, sem talos e com maior granulometria do que a erva-mate para chimarrão. O ciclo do beneficiamento do tererê é muito semelhante ao do chimarrão, diferindo apenas na etapa de trituração que resulta em uma erva-mate com maior granulometria.

1.1.2.1 Ciclo do Cancheamento

1.1.2.1.1 Colheita

A primeira colheita da erva-mate, normalmente, é feita após 3 ou 4 anos do plantio. Essa operação é realizada através da poda manual dos ramos com talos de diâmetro menor do que 10 cm, caso os galhos removidos sejam muito grossos a erva pode necessitar de mais 3 ou 4 anos para que nova poda possa ser feita (BRAGAGNOLO et al., 1980; PAGLIOSA, 2009).

O instrumento mais utilizado é o facão, porém outros instrumentos como o podão e a tesoura comum de podar também são utilizados. Caso seja utilizado o facão este deve estar bem afiado e o corte deve ser feito de baixo para cima para evitar lascas no galho (MAZUCHOWSKI, 1991).

A época mais apropriada para a colheita é durante o período de safra, compreendido entre os meses de maio a setembro, em especial entre junho e agosto. Nesse período, a erva sofre menos danos, pois não há brotação, as folhas estão maduras e está em repouso fisiológico. Durante a safrinha, constituída pelos meses fora do período de safra e concentrada entre dezembro e fevereiro, a colheita é realizada embora haja alguns inconvenientes, devido a fatores climáticos como a insolação que prejudica o desenvolvimento da planta podada, além de menor rendimento, pois a folha é menos espessa e possui umidade mais elevada (MAZUCHOWSKI, 1991; MACCARI JUNIOR, 2005).

1.1.2.1.2 Sapeco

O sapeco, uma das mais importantes etapas do processamento, tem por objetivo principal a inativação das enzimas polifenoloxidase e peroxidase, responsáveis pelo escurecimento enzimático, impedindo assim que ocorram alterações indesejáveis na cor, sabor e aroma da erva-mate (MAZUCHOWSKI, 1991; ESMELINDRO et al., 2002; CABRAL-MALHEIROS, 2007). O sapeco deve ser realizado logo após a colheita. Os ramos de erva-mate chegam na indústria agrupados na forma de raídos. Se essa operação não for realizada em 24 horas, os raídos devem ser desfeitos e os ramos espalhados em camadas delgadas para evitar murchamento (Figura 5) (MAZUCHOWSKI, 1991).

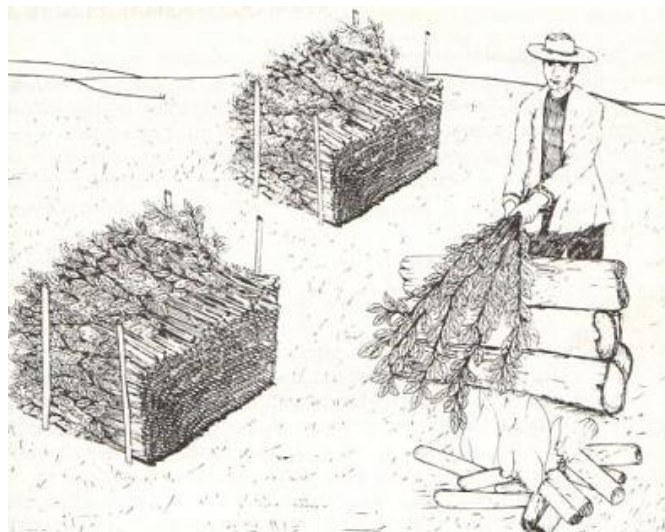
Figura 5 – Raídos de erva-mate sendo desfeitos para o processo de sapeco.



Fonte: autor.

O sapeco era, primordialmente, realizado pelos índios, no local de colheita, através da exposição rápida dos ramos da erva-mate ao calor obtido através da combustão da madeira (Figura 6). O sapeco manual era uma das principais causas do alto índice de tuberculose entre ervateiros, pois era realizado a céu aberto e, no inverno, a diferença de temperatura entre a proximidade da fogueira e o ambiente era muito elevada (MAZUCHOWSKI, 1991).

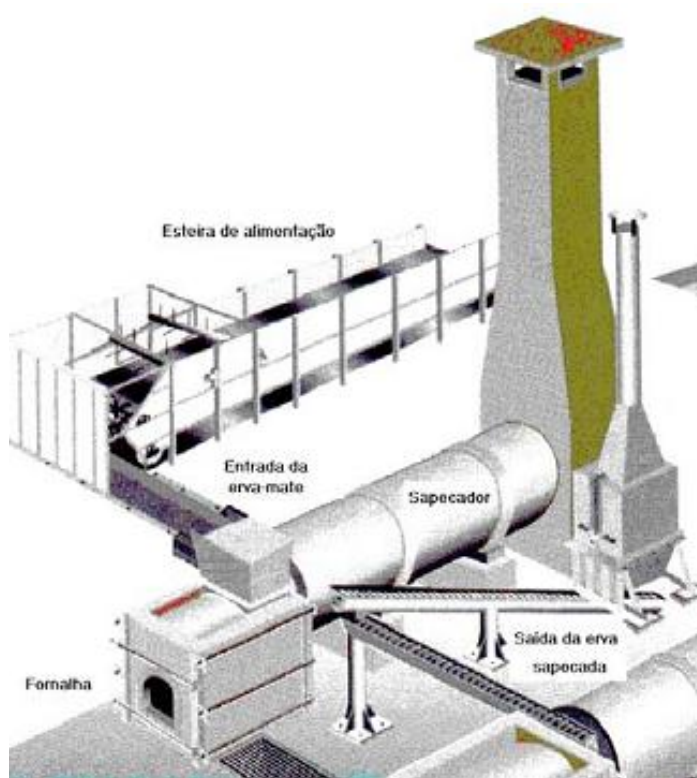
Figura 6 – Sapeco da erva-mate de forma manual.



Fonte: Mazuchowski (1991).

Atualmente o sapeco é realizado em um sapecador mecânico, formado por um cilindro metálico rotativo e inclinado ligado em uma de suas extremidades a uma fornalha cujas chamas são formadas pela combustão da madeira ou gás propano. O cilindro tem em média de 1,8 a 2,5 m de diâmetro e de 6 a 9 m de comprimento (NUÑHEZ; KÄNZIG, 1995; SCHMALKO; ALZAMORA, 2001; MACCARI JUNIOR, 2005; PERALTA; SCHMALKO, 2007; VIEIRA, 2009). Neste processo de maior tecnologia, a erva é transportada por esteira até a entrada do sapecador. Dentro do sapecador passa pela chama da fornalha, movendo-se ao longo do cilindro, saindo na extremidade oposta a erva sapecada (Figura 7) (GAZETA GRUPO DE COMUNICAÇÕES, 1999; ANDRADE, 1999).

Figura 7 – Sapecador mecânico usado no processamento da erva-mate.



Fonte: Gazeta Grupo de Comunicações (1999) e Andrade (1999).

A temperatura no sapecador varia de 400 a 620°C na entrada e de 120 a 200°C na saída, com tempo de residência variando de 2 a 7 minutos (NUÑHEZ; KÄNZIG, 1995; SCHMALKO et al., 2002; VIEIRA et al., 2008).

1.1.2.1.3 Secagem

Na secagem, as folhas e os talos da erva-mate sofrem uma nova desidratação até atingir o teor de umidade de aproximadamente 3 % e 11 a 28 %, respectivamente (SCHMALKO; ALZAMORA, 2001; PERALTA; SCHMALKO, 2007).

Os secadores mais empregados no século passado eram o carijo, a furna e o barbaquá. Entretanto estes secadores eram todos de operação lenta (BRAGAGNOLO et al., 1980). A evolução do processo levou ao uso de novos modelos, como o secador de esteira e o secador giratório ou rotativo.

No secador de esteira não há o contato direto da fumaça da fornalha com a erva-mate. As folhas são dispostas sobre a esteira em camadas de 30 a 80 cm, a esteira se move lentamente ao longo do secador por um tempo médio de secagem de 3 a 6 horas a uma temperatura de 80 a 130°C (ESMELINDRO et al., 2002; MACCARI JUNIOR, 2005).

O secador de esteira é descrito como uma estrutura de alvenaria, com dois pavimentos de 4 metros de altura, 3,5 a 4 metros de largura e 25 a 30 metros de comprimento, com uma esteira em cada pavimento. Contudo os secadores de esteira podem apresentar variações na altura e números dos pavimentos e também no número de esteiras de acordo com a indústria (NUÑEZ; KÄNZIG, 1995; MACCARI JUNIOR, 2005). Na Figura 8, por exemplo, é possível observar um secador tipo esteira, com 4 pavimentos.

Figura 8 – Estrutura do secador de erva-mate em esteira.



Fonte: Maccari Junior (2005).

O secador rotativo é constituído por um cilindro metálico rotativo com dimensões variáveis, que possui aletas em seu interior para facilitar o deslocamento da erva-mate (Figura 9). Sua estrutura é similar a do equipamento utilizado no sapeco (ESMELINDRO et al., 2002).

Segundo o mesmo autor, anteriormente a secagem, os ramos de erva-mate passam por um picador para diminuir seu tamanho e facilitar a secagem. O tempo de contato com o calor e a fumaça, provenientes da fornalha, é de 5 minutos para as folhas e 15 minutos para os talos à temperatura média de 350°C na entrada a 110°C na saída do secador.

Existem, também, secadores no formato cilíndricos não giratórios, denominados secadores de tambor. Nesses secadores a erva-mate é transportada ao longo do secador por dispositivos giratórios internos de movimentação (MACCARI JUNIOR, 2005).

Figura 9 – Secador rotativo para secagem de Erva-Mate.



Fonte: autor.

1.1.2.1.4 Moagem

A moagem ou trituração da erva-mate é também denominada cancheamento. O termo cancheamento deriva de “cancha” nome do equipamento utilizado antigamente para fragmentar as folhas e talos da erva-mate. Segundo Mazuchowski (1991) a cancha consistia

em um tabuleiro circular, de 4 a 5 metros de diâmetro, com piso de tijolos, ladrilhos ou tábuas, e paredes laterais ou tabiques reforçados, de 70 a 80 cm de altura.

Antigamente, essa operação era realizada de forma manual ou por tração animal. Atualmente a fragmentação da erva-mate é realizada em um triturador mecânico, denominado “soque”, feito de madeira de alta densidade ou de ferro (MENDES, 2005; VIEIRA, 2009). As folhas e talos da erva-mate são fragmentados devido aos choques sucessivos ocasionados pelos soques (Figura 10).

Figura 10 – Soque ou triturador mecânico.



Fonte: autor.

Após a moagem, a erva é peneirada para a separação dos talos e folhas, passando a ser chamada de erva cancheada. A erva-mate cancheada é, então, armazenada e serve de matéria-prima para o beneficiamento do chá, tererê e chimarrão (BRAGAGNOLO et al., 1980; ESMELINDRO et al., 2002). Na Argentina a erva-mate cancheada é armazenada por um período de 9 meses, a temperatura ambiente ou em câmaras a 60°C, durante 30 a 60 dias, para sofrer maturação e desenvolver a coloração amarela (SCHMALKO; ALZAMORA, 2001; PERALTA; SCHMALKO, 2007). No Brasil, ocorre a preferência pela erva-mate não estacionada que possui a cor verde.

1.1.2.2 Ciclo do beneficiamento

O ciclo do beneficiamento, constituído por poucas etapas, possui como objetivo principal a correção ou retificação da umidade, a separação e, em seguida, a mistura das folhas e talos para se adequar aos padrões de mercado (MENDES, 2005). No ciclo de beneficiamento do chimarrão a erva-mate é submetida a uma nova trituração para reduzir a granulometria. Em seguida, é feita uma mistura das proporções folha e talos, e por final, o produto é enviado para o setor de embalagem.

Segundo a Portaria nº 234, de 25 de março de 1998, a erva-mate para chimarrão era classificada de acordo com a proporção de folhas em PN-1, PN-2 e PN-3 possuindo 70, 60 e 50% de folhas, respectivamente (BRASIL, 1998). Em 2002 ocorreu a revogação dessa resolução e, atualmente a proporção utilizada é determinada pela própria indústria e cabe ao consumidor escolher o produto adequado à sua preferência (BRASIL, 2002).

1.1.3 Resíduos de erva-mate

Durante o processo de industrialização (sapeco, secagem e cancheamento), quantidades significativas de um subproduto são geradas. Atualmente o principal emprego do resíduo é como fonte de energia (queimado nas caldeiras) e/ou como adubo orgânico (MOSELE, 2002).

Lourenço et al. (2001), buscaram a utilização destes resíduos como cobertura morta na própria cultura da erva-mate e observaram um aumento da produtividade dos ervais.

Gonçalves et al. (2007), prepararam carvões a partir do resíduo da produção de erva-mate e testaram a remoção de compostos orgânicos em água. Foi utilizado como matéria-prima diferentes tipos de resíduos sólidos de erva-mate empregada na produção do chimarrão. Os carvões obtidos de diferentes resíduos de erva-mate apresentaram área superficial específica mais elevada que a de materiais carbonáceos obtidos por pirólise comumente relatados na literatura, além disso, os carvões apresentaram boas capacidades máximas de adsorção.

Segundo Guiotoku et al. (2008) torna-se necessário desenvolver potenciais aplicações tecnológicas para o resíduo da erva-mate que possa principalmente agregar valor aos subprodutos obtidos e, conseqüentemente, ampliar o mercado para esta matéria-prima.

1.1.4 Matéria-prima para produção de painéis

Os painéis aglomerados e MDP podem ser produzidas a partir de qualquer material ligno-celulósico que lhes confirmam alta resistência mecânica e massa específica pré-estabelecida. Além da madeira, podem ser utilizadas na confecção de compósitos aglomerados outras fontes de fibras, como bagaço de cana-de-açúcar (OKINO et al., 1997; TEIXEIRA et al., 1997), bambu (CALEGARI et al., 2007), casca de arroz (HIZIROGLU et al., 2005; SOUZA, 2012), aparas de papel reciclado (CALEGARI et al., 2004), dentre outros. Entretanto, a qualidade final do produto, pode ser limitada pela escolha do material.

Nos últimos anos, a pressão ambiental para reaproveitamento de resíduos é cada vez maior, o que fez com que pesquisadores, a exemplo de Dacosta (2004), Pedrazzi (2005) e Iwakiri et al. (2000), estudassem as características de painéis aglomerados produzidos com a utilização desses resíduos. A utilização de resíduos de madeira, como maravalhas, costaneiras, serragem e outros, agregam valor ao material e otimiza o processo produtivo. Aliado a isso, há a possibilidade da mescla de madeiras com resíduos, com o intuito da obtenção de painéis com melhores características físico-mecânicas, além de dar um destino mais nobre e menos poluente para esses materiais (MELO, 2009).

Um material deixa de ser resíduo pela sua valorização como matéria-prima, para produção de novos produtos. Nesse caso, o resíduo passa a ser tratado como subproduto do processo produtivo (VALLE, 1995).

Os resíduos gerados pela agroindústria podem constituir importante fonte de matéria-prima para produção de componentes construtivos, dependendo das quantidades disponíveis e dispersão geográfica (JOHN, 1996).

A fibra de coco é uma das mais exploradas no nordeste brasileiro, com estimativa de produção superior a 2 milhões de toneladas/ano, o que representa apenas o uso de pequena parte dos 500 milhões de frutos beneficiados em igual período. Grande parte desse material se transforma em lixo, que provoca grave degradação ambiental, pela sua difícil decomposição natural. Agopyan (1991) sugeriu um protótipo de habitação, cujos painéis de vedação vertical foram construídos com escória reforçada com fibras de coco.

Para Teixeira et al. (1997), o uso de produtos a base de materiais ligno-celulósicos como compensados, aglomerados e painéis de fibras cresce a cada ano, e a tendência é ter sua demanda aumentada devido à crescente escassez na oferta de madeira. Isso tem intensificado o estudo sobre o melhor aproveitamento de resíduos florestais e agrícolas, além de resíduos

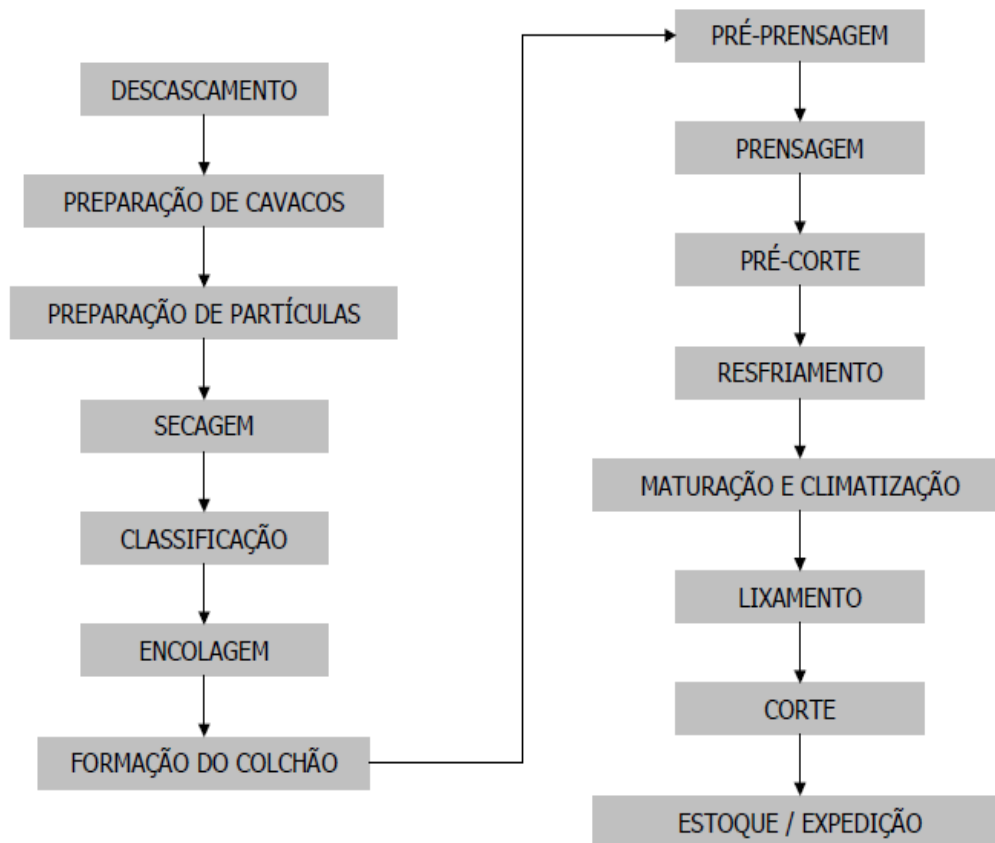
urbanos, como plásticos, papel de jornal e de revista, papelão e outros, para a produção de painéis.

Segundo Maloney (1993), entre outras variedades de painéis, os aglomerados têm a vantagem de apresentar um menor rigor quanto à escolha de matéria-prima, quando comparada a outras variedades de painéis.

1.1.5 Painéis aglomerados

Os painéis de madeira aglomerados são confeccionados a partir de partículas de materiais ligno-celulósicos, onde a madeira é a principal matéria-prima, com a adição de algum aglutinante (adesivo) e consolidado por meio da aplicação de calor e pressão. Geralmente, além do adesivo, é adicionada parafina junto à mistura das partículas para melhorar a estabilidade dimensional dos painéis (MALONEY, 1993). O fluxograma do processo contínuo de fabricação dos painéis aglomerados pode ser observado na Figura 11.

Figura 11 - Fluxograma simplificado do processo produtivo com as principais etapas envolvidas na fabricação dos painéis aglomerados.



Para Gonçalves (2012), os painéis aglomerados são produtos fabricados com fragmentos de madeira ou outros materiais lignocelulósicos, mediante aglutinação com adesivos sintéticos, naturais ou mistos, submetidos à prensagem a quente para completa cura do adesivo.

Esse tipo de painel surgiu na década de 40, com o objetivo de viabilizar a utilização de resíduos de madeira e a otimização da matéria-prima, escassa durante e logo após a II Guerra Mundial. Ao término da guerra, o processo produtivo e os equipamentos utilizados para a produção desses painéis foram modernizados e aperfeiçoados. Devido à multiplicidade de aplicações, o uso desse produto foi consolidado inicialmente na indústria moveleira e, em seguida, na construção civil, a partir do desenvolvimento dos painéis de partículas estruturais Wafer board e OSB (HASELEIN, 1989; IWAKIRI et al., 2005).

No Brasil, os painéis aglomerados só começaram a ser produzidos na década de 60. Na época, por se tratar de um produto novo no mercado nacional, o aglomerado passou por inúmeros questionamentos, principalmente, quanto às limitações técnicas, como alta absorção d'água, inchamento em espessura, usinabilidade das bordas e problemas quanto à fixação de parafusos. Com o passar do tempo, a incorporação de novas tecnologias no processo, como uso de parafina, controle do gradiente de massa específica e sistemas de parafusamento mais eficientes, visando minimizar tais problemas, o aglomerado tornou-se uma das principais matérias-primas utilizadas pelo setor moveleiro nacional (IWAKIRI et al., 2005).

Para Mendes (2011), o crescimento do setor de painéis aglomerados no mercado nacional se destaca pela modernização do parque fabril, o surgimento de novos produtos e/ou melhorias de painéis, e o aumento da demanda dos setores de construção civil e de móveis, que são os principais consumidores de painéis de madeira.

De acordo com o presidente da Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas (ABRAF), fatores que contribuíram durante a crise mundial há poucos anos atrás refletiram na lenta recuperação do comércio mundial e dos preços internacionais dos produtos de base florestal. Entretanto, em 2013, a conjuntura proporcionou oportunidades para a consolidação do Brasil como uma das principais potências da indústria mundial de base florestal. Entre os produtos florestais que tiveram destaque em 2012, os segmentos de compensados e painéis industrializados tiveram crescimento nas exportações e no consumo interno. O primeiro teve um aumento de 13,5% na comercialização, já o setor de painéis industrializados cresceu 12,8% em suas exportações e consumo interno (ABRAF, 2014).

A Associação Brasileira da Indústria de Painéis de Madeira (ABIPA) (2014) afirma que, novos investimentos aconteceram nos últimos anos, com valores aproximados de US\$

1,2 bilhão em instalação de novas unidades industriais para os variados tipos de painéis reconstituídos, que proporcionaram um aumento da capacidade instalada, em 2012, de 10,3 milhões de metros cúbicos para, aproximadamente, 10,9 milhões de metros cúbicos anuais em 2014.

1.1.6 Mistura de eucalipto, pinus e outras espécies florestais para produção de painéis aglomerados

No Brasil, a madeira para produção de painéis aglomerados vem de florestas plantadas e de empresas produtoras, e entre estas algumas utilizam madeira de pinus na sua linha de produção, outras empregam apenas eucalipto e algumas combinam pinus e eucalipto em proporções variáveis. No mundo, 50% das indústrias deste produto empregam madeira de coníferas como matéria-prima principal, e outras empregam mais de uma espécie de madeira em suas linhas de produção (BNDES, 2000).

As espécies de maior densidade podem ser utilizadas em mistura com as de menor densidade, em proporções variáveis, conforme a magnitude da diferença em densidade entre as espécies (MOSLEMI, 1974; MALONEY, 1993). El-Osta et al. (1994) avaliou a influência de diferentes proporções de mistura de madeira das espécies *Casuarina glauca* e *Salix safsafe* e constatou que, com a proporção de 1:1, as propriedades de flexão estática, tração perpendicular à superfície do painel, inchamento em espessura e absorção d'água melhoraram em comparação aos painéis produzidos com espécies individualmente.

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 d'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 carvão, em produto de maior valor agregado.

Segundo Iwakiri et al. (2000) as espécies de *Eucalyptus maculata*, *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus tereticornis* apresentaram menor absorção d'água e inchamento em espessura

dos painéis, em comparação com *Pinus elliottii*, *Mimosa scabrella* e *Eucalyptus dunnii*. Os mesmos autores também relatam que: os painéis de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus tereticornis* apresentaram melhor estabilidade dimensional em relação aos painéis de *Eucalyptus maculata*; para todas as espécies de eucalipto estudadas, os valores médios de tração perpendicular à superfície do painel estão acima do valor mínimo de referência exigido pela norma americana CS 236-66 (1968); os resultados também foram satisfatórios com relação aos painéis produzidos com *Pinus elliottii* e *Mimosa scabrella*; o módulo de elasticidade dos painéis de *Eucalyptus maculata* e *Eucalyptus grandis* foi superior ao dos painéis produzidos com *Eucalyptus tereticornis*; para o módulo de ruptura, os painéis de *Eucalyptus maculata*, *Eucalyptus grandis* e a mistura das espécies estudadas apresentaram valores médios superiores em relação aos painéis de *Eucalyptus tereticornis*; entre as espécies estudadas o *Eucalyptus maculata* e o *Eucalyptus grandis* foram as que apresentaram melhor comportamento para produção de painéis de madeira aglomerada; e a espécie *Eucalyptus tereticornis* poderá ser utilizada em mistura com as demais espécies estudadas.

Hillig (2000), estudando painéis aglomerados estruturais com diferentes proporções de pinus, eucalipto e acácia-negra, concluiu de maneira geral que, a mistura de espécies trouxe vantagens quanto à qualidade do produto. Segundo o mesmo autor a acácia tende a produzir painéis de alta densidade e mostrou problemas de prensagem. Enquanto que o eucalipto apresentou dificuldades na redução da madeira em partículas. Já o pinus, por sua vez, apresentou os resultados menos satisfatórios de inchamento em espessura e absorção d'água.

1.1.7 Resíduos de erva-mate para produção de painéis aglomerados

Para Guiotoku et al. (2008), uma das alternativas viáveis para utilização dos palitos de erva-mate é a produção de painéis de aglomerados. Segundo os autores, o resíduo de palitos de erva-mate apresentou potencial para utilização na produção de painéis reconstituídos. Os painéis de palitos apresentaram maior estabilidade dimensional e maior absorção d'água que o painel comercial de pinus testado. O tratamento do palito de erva-mate com álcali resultou em painéis com melhores propriedades de inchamento e absorção d'água, quando comparados àqueles sem tratamento prévio.

Carvalho et al. (2015), estudaram a adição de resíduos da poda da erva-mate na produção de painéis aglomerados. Estes autores verificaram que os painéis produzidos com este resíduo, apresentaram menor umidade de equilíbrio higroscópico e menor absorção d'água, após 24 h de imersão. Além disso, a remoção da casca não interferiu nas propriedades

dos painéis em relação aos sem casca, sendo, assim, desnecessário o descascamento. Entretanto, os painéis puros de erva-mate, assim como as misturas desses com partículas de *Pinus caribaea*, apresentaram valores de módulo de ruptura na flexão estática inferiores ao estipulado pela norma brasileira de comercialização.

1.1.8 Painéis aglomerados em três camadas (MDP)

Fabricação de painéis aglomerados em três camadas é uma prática bastante empregada pela indústria, pois permite manipular teor de resina, umidade e tamanho das partículas nas camadas superficiais para facilitar o acabamento e revestimento. Além disso, pode melhorar algumas propriedades do painel e efetivamente evitar estrutura desbalanceada através da espessura, já que isso pode ocorrer em painéis formados com camada simples (XU et al., 2005).

De acordo com Nirdosha e Setunge (2006), resíduos de serraria proveniente de madeira de folhosas não são os preferidos tradicionalmente pela indústria do MDP pela maior densidade da madeira e pelo teor de extrativos. No entanto, os autores demonstraram que podem ser produzidos painéis satisfatórios utilizando-se parâmetros de processamento adequados, tais como, teor de umidade e resina das camadas de superfície e miolo, teor de endurecedor, pressão e temperatura de prensagem.

Partículas de diferentes tamanhos, embora possuem diferentes valores de inchamentos, podem ser úteis para fabricação de painéis MDP. No entanto estas partículas precisam ser dimensionadas e desintegradas em partículas menores, especialmente se usadas na superfície de painéis de três camadas, neste caso devem ser acabadas por moagem em uma fração fina de maneira que os painéis tenham superfícies lisas para receber acabamentos e laminação (HRÁZSKÝ; KRÁL, 2003).

É bem conhecido que a espécie de madeira e o tamanho das partículas influenciam nas propriedades de flexão estática dos painéis aglomerados de três camadas. De acordo com Medved e Resnik (2003), o módulo de ruptura do MDP aumenta, com o aumento da área específica da partícula, aumento da taxa de compactação e aumento densidade da camada de superfície.

Construção em três camadas melhora o módulo de elasticidade, o módulo de ruptura e a tração perpendicular à superfície do painel e efetivamente evita estrutura desbalanceada da camada simples na direção da espessura em painéis fabricados com fibras de *Hibiscus cannabinus* (XU et al., 2005). Para Sedano-Mendonza et al. (2010), o teor de umidade das

camadas de superfície e miolo dos colchões de partículas em painéis aglomerados colados com tanino-formaldeído, influencia marcadamente a tração perpendicular à superfície do painel.

Misturas de partículas de madeira e de bagaço de cana-de-açúcar foram investigados por Ghalehno et al. (2011). Tratamentos com 40% de bagaço de cana e 12% de adesivo na camada de superfície foram considerados combinações ótimas de fabricação.

Trianoski et al. (2011), concluíram que exceto para partículas de madeira de *Grevillea robusta* todas as demais quatro espécies estudadas (*Acrocarpus fraxinifolius*, *Melia azedarach*, *Schizolobium parahyba* e *Toona ciliata*) indicaram viabilidade técnica de utilização em conjunto com o *Pinus taeda*, em painéis aglomerados de três camadas, ampliando a diversificação de uso da matéria-prima nos processos industriais.

Painéis de madeira aglomerada de três camadas, utilizando-se madeira de *Pinus elliottii* e casca de *Eucalyptus pellita*, foram confeccionadas por Batista et al. (2007). Avaliaram-se três diferentes composições de casca e madeira nas capas e no miolo: uma sem casca e duas com casca. Dentre os tratamentos com casca e sem aplicação de parafina, foram observados maiores valores de módulo de elasticidade, módulo de ruptura e tração perpendicular à superfície do painel do que naqueles com casca e aplicação de parafina.

Warmbier et al. (2010), fabricaram painéis de três camadas utilizando partículas de *Salix viminalis* para o miolo e partículas industriais de pinus para as camadas de superfície. Tamanhos médios de partículas proporcionaram melhores propriedades do que as pequenas. Os testes de tração perpendicular à superfície do painel e inchamento em espessura foram prejudicadas pela presença de *Salix* na camada de miolo. Painéis aglomerados de três camadas com partículas de madeira de *Maclura pomifera* e *Juniperus virginiana* L., que são consideradas espécies invasoras, apresentaram propriedades de flexão estática e inchamento em espessura adequados (HIZIROGLU, 2007). No entanto, os painéis apresentaram superfícies ásperas para a aplicação de acabamentos.

Doosthoseini e Abdolzadeh (2009) investigaram a utilização de fibras de madeira nas camadas de superfície. Os resultados indicaram que o teor de umidade teve o efeito mais proeminente nas propriedades dos painéis. Já misturas de bagaço de cana-de-açúcar com partículas de madeira foram investigadas por Tabarsa (2011) para produção de painéis de uma e três camadas. Resultados mostraram que painéis de três camadas foram melhores que de camada simples.

Estudos foram conduzidos por Nasser (2012) objetivando a utilização de materiais resultantes de podas de 7 espécies florestais. Os constituintes químicos da madeira tiveram os

maiores efeitos nas propriedades dos painéis. Resultados indicaram necessidade de futuras pesquisas para possibilitar a obtenção de painéis resistentes e estáveis, principalmente adequados para a aplicação de acabamentos de superfície.

Hrázský e Král (2003) trataram do problema da quantidade máxima de serragem que pode ser adicionada a partículas convencionais, em painéis de três camadas. Concluíram que até 25% pode ser adicionado de forma que os painéis atendam a todos os valores de propriedades físicas e mecânicas previstos pelo padrão considerado.

Adição de pó de polietileno de baixa densidade (LDPE) na camada do miolo de painéis aglomerados foi investigada por Ayrilmis et al. (2012). O inchamento em espessura e absorção d'água diminuíram significativamente com a adição de LDPE, enquanto que módulo de elasticidade e módulo de ruptura foram influenciados positivamente.

Sackey et al. (2008), observou que painéis de camada simples e com perfil de densidade uniforme, contendo misturas com maior teor de fração grossa de partículas (maior que 2 mm) e menor fração de partículas finas (entre 1 e 2 mm), do que suprimentos de partículas industriais, apresentaram maiores valores de tração perpendicular à superfície do painel e resistência ao arrancamento de parafusos. Em painéis de três camadas de baixa densidade, substituindo 20% do total de partícula finas por grossas, aumentou a tração perpendicular à superfície do painel em 40% e arrancamento de parafusos em 18%. Os resultados indicaram que não somente a quantidade de finos, mas a fração de tamanhos também influenciaram fortemente na compactação e na tração perpendicular à superfície do painel.

1.1.9 Adesivo à base de ureia-formaldeído

O adesivo ureia-formaldeído também é conhecido como aminoresina, por ser produto da reação entre grupos amina ou amida com aldeídos, geralmente o formaldeído. Tostes et al. (2004) destacam que adesivos a base de ureia-formaldeído são muito utilizados nas indústrias de painéis de madeira. Segundo Roffael e Schneider (1983), 90% de todos os painéis aglomerados produzidos no mundo utilizam esse tipo de resina.

Dentre as principais vantagens da utilização desse adesivo, Maloney (1993) e Pizzi e Mittal (1994) destacam: baixo custo; rápida reação em prensa quente; fácil manuseio; incolor; dureza; não inflamável e; solúvel em água (satisfatório para produções em grande escala). Como principais desvantagens, apresentam uma baixa resistência à umidade e proporciona a liberação de formaldeído, o que pode ocasionar problemas a saúde humana. Uma das

alternativas para melhoria da estabilidade dimensional seria a adição de fenol, melamina ou até tanino, na composição do adesivo. Já a liberação de formaldeído pode ser reduzida baixando a proporção deste produto em relação à quantidade de ureia utilizada.

Seus principais usos incluem a colagem de vigas laminadas, trabalhos em marcenaria e fabricação de moveis e, em larga escala, a fabricação de aglomerados, MDP, MDF e compensados, podendo ser utilizados em todas as situações em que não fique exposto diretamente a umidade e a temperaturas superiores a 50°C (HASELEIN; PAULESKI, 2003).

1.1.10 Planejamento em rede centróide simplex

Uma das alternativas para introdução de novas espécies em painéis aglomerados em escala comercial, seria a sua utilização em mistura com as espécies tradicionais. De acordo com Iwakiri et al. (2010) a mistura de diferentes espécies na composição do painel aglomerado é muito importante no sentido de ampliar a oferta de matéria-prima para estas indústrias que requerem grandes volumes de madeira. Segundo os mesmos autores, diferentes características físico-químicas das espécies podem ser consorciadas através da mistura homogênea das partículas de madeira para viabilizar o processo de colagem e formação do painel.

Para estudar o efeito da composição de uma mistura na variável resposta de um ensaio, pode-se utilizar a modelagem de misturas (HILLIG et al., 2006). Nesse caso, segundo Barros Neto et al. (2001), duas considerações são importantes: as propriedades de uma mistura são determinadas pelas proporções de seus componentes e as proporções dos diversos componentes são dependentes. Esse método, conhecido como “planejamento em rede simplex”, é utilizado especialmente para misturas de três componentes (CORNELL, 2002). Nesse caso, em razão da particularidade das misturas ternárias serem representadas por apenas uma mistura, o planejamento é conhecido como “centróide simplex” (HILLIG et al., 2003).

Experimentos que utilizam modelagem de misturas são frequentes nos setores de pesquisa química e biológica para encontrar soluções que expressem o comportamento de uma variável dependente em função da proporção de cada componente da mistura (BORSATO et al., 2010). Para fazer um bom uso dos métodos de otimização é necessário que os resultados sejam utilizados como um ponto de partida para a tomada de decisão. Os métodos de otimização têm sido aplicados de maneira variada na indústria de processos químicos, térmicos e gerenciamento para redução de custos. Em relação à obtenção de formulações ótimas, os delineamentos de mistura, podem gerar várias respostas simultaneamente o que pode dificultar a busca da solução ótima (ARTEAGA et al., 1994).

Hillig et al. (2003), analisaram a viabilidade da utilização do planejamento centróide simplex para modelagem de experimentos com misturas de espécies de madeira na confecção de painéis aglomerados. Para tanto, os modelos foram ajustados aos dados das misturas de espécies de acácia negra, eucalipto e pinus e comparados ao modelo ampliado. As propriedades mecânicas e a densidade dos painéis foram explicados pelo modelo linear, enquanto que, para as propriedades de estabilidade dimensional, o modelo quadrático foi o mais adequado. A modelagem mostrou-se um método adequado de análise de misturas de espécies, permitindo reduzir o número de tratamentos com as mesmas conclusões obtidas utilizando o modelo completo.

1.2 MATERIAL E MÉTODOS

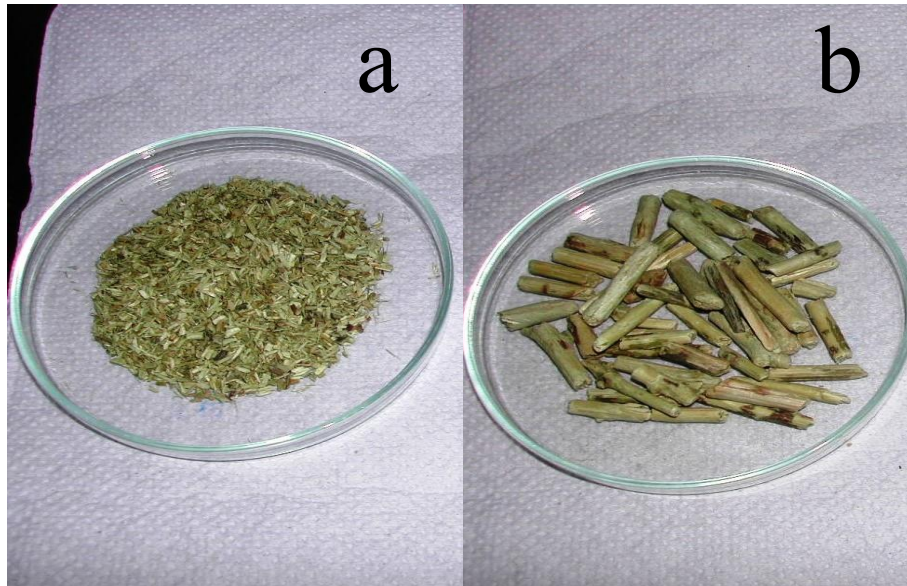
1.2.1 Coleta e preparo da matéria-prima

Para realização deste trabalho, foram utilizadas partículas de madeira de *Ilex paraguariensis* A. St. Hil., *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden, *Pinus elliottii* Engelm e adesivo à base de ureia-formaldeído.

1.2.1.1 Partículas de *Ilex paraguariensis* A. St. Hil.

O resíduo madeireiro de erva-mate foi cedido pela empresa Ervateira Barão de Cotegipe Ltda., da cidade de Barão de Cotegipe, estado do Rio Grande do Sul. O resíduo era constituído de talos e palitos de diversos tamanhos, isento de casca, conforme apresentado na Figura 12. Este material foi transportado para o Laboratório de Produtos Florestais (LPF) da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), na cidade de Santa Maria - RS, onde foi processado em moinho de martelos equipado de peneira com orifícios de 8,0 mm de diâmetro, para as partículas de camada interna (Figura 13c); e peneira de 1,0 mm de diâmetro, para as partículas de camada externa (Figura 13b). Por fim, o material foi submetido à peneiragem com abertura de malha de 0,150 mm, para descarte das partículas mais finas (Figura 13a). As partículas utilizadas foram as que não passaram pela malha da peneira.

Figura 12 – Resíduo madeireiro de erva-mate antes de ser processado em moinho de martelos. Tamanho mínimo dos resíduos fornecidos pela empresa (a) e tamanho máximo (b).



Fonte: autor.

Figura 13 – Resíduo madeireiro de erva-mate após o processamento e peneiragem. Descarte das partículas mais finas – pó (a); partículas da camada externa (b) e partículas da camada interna (c).



Fonte: autor.

1.2.1.2 Partículas de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden e *Pinus elliottii* Engelm

Ambas as espécies foram obtidas em povoamentos florestais homogêneos de aproximadamente 15 anos, localizados no Campus da UFSM.

Foram selecionadas três árvores de cada espécie, de fuste reto e boas condições fitossanitárias. Após o abate, foi retirado de cada árvore as duas primeiras toras com comprimento de 2,70 m cada. Posteriormente, procedeu-se ao desdobro das toras com a retirada de tabuas de 5 cm de espessura, as quais foram resserradas com cortes perpendiculares à grã, para obtenção de blocos com 5 cm de espessura (sentido tangencial), 7 cm de comprimento (sentido longitudinal) e largura variável (sentido radial) de acordo com o diâmetro e a posição de obtenção das tábuas na tora.

Esses blocos de madeira foram imersos em água por dez dias, com o objetivo de saturar a madeira, facilitando assim o corte e a obtenção de lascas inteiras. A obtenção das lascas foi realizada em flaker (moinho de facas), com corte ajustado para 0,55 mm de espessura, obtendo-se dimensões finais das lascas de aproximadamente 50 x 70 x 0,55 mm. Após, este material foi submetido à secagem ao ar por 15 dias, sendo posteriormente reduzido a partículas em moinho de martelos, equipado de peneira com orifícios de 8,0 mm de diâmetro, para as partículas de camada interna (Figura 14c); e peneira de 1,0 mm de diâmetro, para as partículas de camada externa (Figura 14b). Por fim, o material foi peneirado com abertura de malha de 0,150 mm, para descarte das partículas mais finas (Figura 14a). As partículas utilizadas foram as que não passarem pela malha da peneira. O esquema completo utilizado para obtenção das partículas de madeira pode ser observado na Figura 15.

Figura 14 – Partículas de *Eucalyptus grandis* (à esquerda em coloração rosada) e *Pinus elliottii* (à direita em coloração amarelada), após o processamento e peneiragem. Descarte das partículas mais finas – pó (a); partículas da camada externa (b) e partículas da camada interna (c).

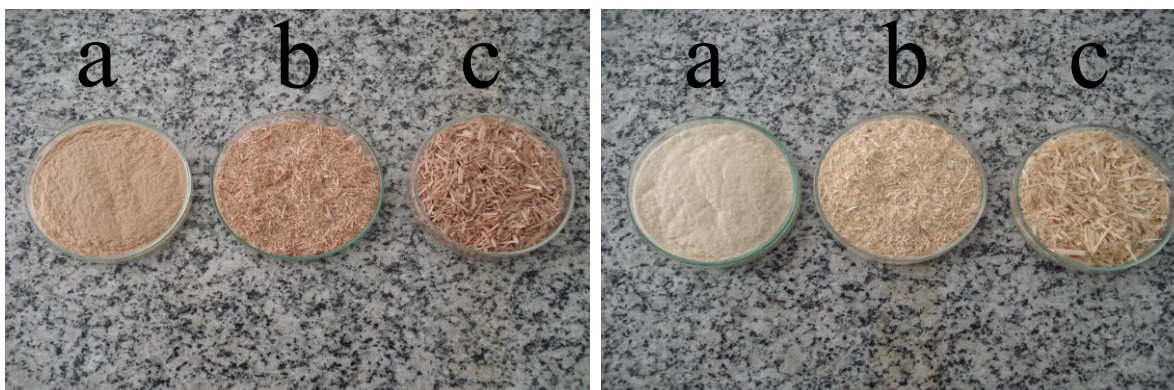
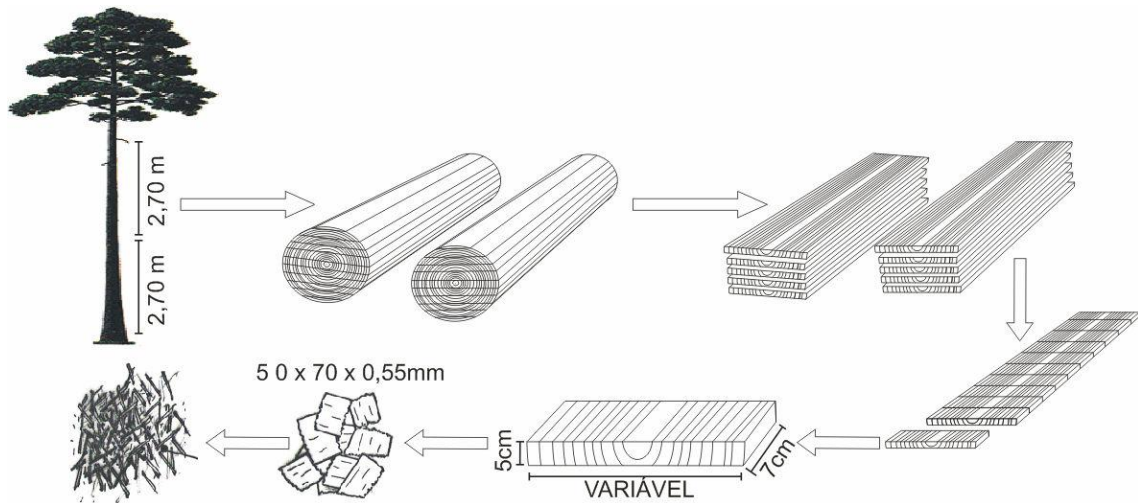


Figura 15 – Sequência do processamento para obtenção das partículas de *Eucalyptus grandis* e *Pinus elliottii* utilizadas na confecção dos painéis.



Fonte: Melo (2009).

1.2.1.3 Adesivo

Foi utilizado adesivo à base de ureia-formaldeído, doado pela empresa Duratex S.A., de Taquari – RS. Tal adesivo, foi industrialmente produzido com um teor de sólidos de aproximadamente 65%.

1.2.2 Processo de produção dos painéis MDP

Após a preparação das partículas, as mesmas foram condicionadas em estufa a 60°C durante pelo menos 24 horas, até alcançar a umidade de equilíbrio de aproximadamente 3%. Para o monitoramento e determinação do teor de umidade das partículas, foram utilizadas pelo menos 6 amostras em cada estufada, uma para cada prateleira (Figura 16). As partículas foram armazenadas em sacos plásticos bem vedados para impedir a entrada de umidade. Além disso, antes de haver a mistura das partículas com a parafina e o adesivo, as mesmas foram aquecidas a 45°C para facilitar a interação entre partícula/parafina/adesivo.

Figura 16 – Secagem das partículas em estufa.



Fonte: autor.

Como se trata de painel MDP em camadas, a composição do mesmo foi pré-estabelecida da seguinte maneira:

- Camada externa (CE): 86% de partículas, 13% de adesivo e 1% de parafina;
- Camada interna (CI): 91% de partículas, 8% de adesivo e 1% de parafina.

Para ambas as camadas, trabalhou-se com uma massa específica de $0,65 \text{ g/cm}^3$ a um teor de umidade de equilíbrio de 8%.

As partículas aquecidas de cada camada foram imediatamente levadas a um tambor rotativo (Figura 18a) e misturadas nas diferentes proporções. O adesivo e a parafina na forma líquida foram aplicados por meio de pistola acionada por compressor de ar, com pressão de 8 kgf/cm^2 e vazão de 50 g/minuto .

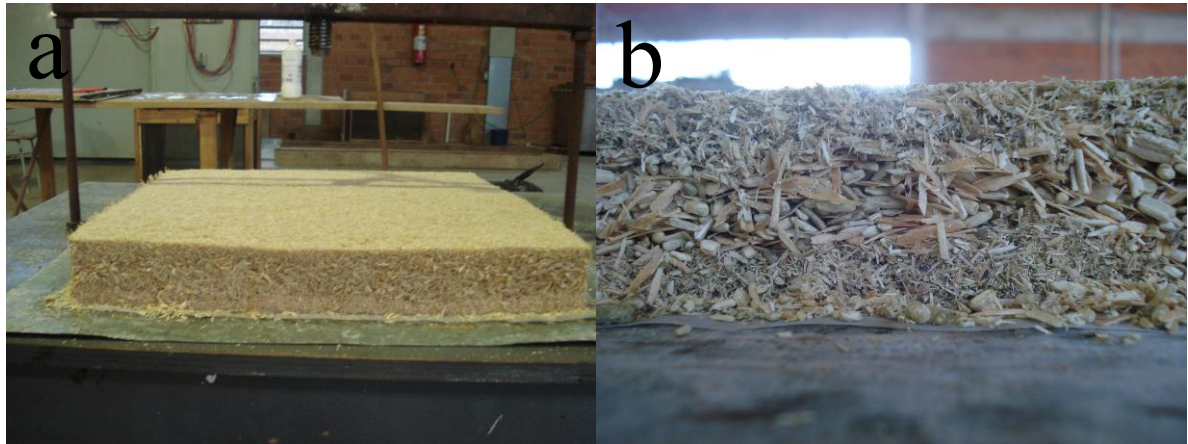
Juntamente com o adesivo e a parafina, foi aplicada a água necessária para ajustar o teor de umidade do colchão a aproximadamente 12% para CE e 8%, para CI.

Gerada a mistura que dava origem ao colchão, a mesma era pesada e levada a um molde de madeira de $50 \times 50 \times 20 \text{ cm}$, onde foi realizada uma pré-prensagem manual a temperatura ambiente por aproximadamente 2 minutos (Figura 18b). Nesta etapa procedeu-se da seguinte maneira para a formação do colchão:

- CE = 44%: $\left\{ \begin{array}{l} \text{- Inferior: 21\%} \\ \text{- Superior: 23\%} \end{array} \right.$
- CI = 56%

Após a prensagem a temperatura ambiente, foi possível visualizar perfeitamente a formação das 3 camadas do MDP (Figura 17).

Figura 17 – Formação do colchão (a) e visualização das 3 camadas após a pré-prensagem (b).



Fonte: autor.

O colchão foi então para a prensagem definitiva, realizada em prensa hidráulica (marca OMECO) com capacidade para aplicação de carga de 100 toneladas e pratos com dimensões de 60 x 60 cm (Figura 18c). Foi aplicada uma pressão específica de 30 kgf/cm² e a temperatura dos pratos ajustada para 180°C. O tempo de fechamento da prensa foi de 40 segundos e o tempo total de prensagem aplicado para promover a evaporação da água e a cura do adesivo foi de 12 minutos.

A espessura do painel foi estabelecida por duas barras de aço com altura de 1,50 cm (Figura 18d), as quais foram colocadas nas laterais do colchão, limitando o fechamento da prensa. Após a prensagem, os painéis foram identificados, lixados e tiveram suas bordas aparadas, passando para as dimensões 49 x 49 x 1,50 cm. Estes foram dispostos em câmara climatizada (20°C e 65% de umidade relativa) até atingir peso constante.

Figura 18 – Processo de produção dos painéis MDP. Tambor rotativo (a); prensagem do colchão em caixa formadora com temperatura ambiente (b); prensagem definitiva a quente em prensa hidráulica (c); barras de aço com altura de 15 mm (d).



Fonte: autor.

1.2.3 Delineamento experimental

Objetivando avaliar o efeito das partículas de erva-mate na manufatura de painéis MDP, foi combinando 11 diferentes proporções de partículas de *Ilex paraguariensis*, com *Eucalyptus grandis* e *Pinus elliottii*, coladas com ureia-formaldeído.

Portanto foram avaliados 11 tratamentos (Tabela 1), com 4 repetições cada, perfazendo um total de 44 painéis MDP, com as dimensões de 49 x 49 x 1,50 cm, todos confeccionados com massa específica nominal de 0,65 g/cm³.

Tabela 1 – Tratamentos utilizados no experimento.

Tratamentos	Partículas (%)		
	Erva-mate	Pinus	Eucalyptus
T1	0	100	0
T2	25	75	0
T3	50	50	0
T4	75	25	0
T5	100	0	0
T6	0	0	100
T7	25	0	75
T8	50	0	50
T9	75	0	25
T10	33,33	33,33	33,33
T11	0	50	50

1.2.4 Ensaio físicos, mecânicos e não destrutivos

Após a climatização dos painéis, os corpos de prova (CPs) foram dimensionados para os ensaios propostos no presente estudo e novamente levados a câmara climatizada, onde permaneceram até o momento dos testes.

A metodologia de cada ensaio realizado foi detalhada nos seus respectivos capítulos.

2 CAPÍTULO I – CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DO MDP PRODUZIDO COM PARTÍCULAS DE MADEIRA DE *Ilex paraguariensis*, *Pinus elliottii* E *Eucalyptus grandis*

2.1 INTRODUÇÃO

O painel MDP (Medium Density Particleboard) é um produto amplamente empregado na fabricação de móveis, em função de suas características tecnológicas, custo competitivo e escala de produção (IWAKIRI et al., 2005). Atualmente, o MDP é uma das principais matérias-primas para o setor moveleiro brasileiro (ABIPA, 2002).

A densidade é um fator fundamental na determinação das propriedades físicas que caracterizam diferentes espécies de madeiras, diferentes árvores de uma dada espécie e diferentes regiões de uma mesma árvore (MACIEL, 2001). O mesmo autor cita que a densidade da madeira tem relação direta com a densidade do painel. Segundo Maloney (1993), esta característica é considerada a propriedade física da madeira mais importante relacionada à espécie, sendo fator determinante na utilização da matéria-prima para a confecção de painéis. Iwakiri et al. (2005) classificam os painéis de madeira aglomerada considerando a densidade dos mesmos como baixa (até 0,59 g/cm³), média (de 0,59 a 0,80 g/cm³) e alta densidade (acima de 0,80 g/cm³).

A absorção d'água e inchamento em espessura 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, que corresponde a uma umidade de equilíbrio de 12%, é imersa em água por 2 ou 24 horas (ABNT, 2006).

Segundo Albuquerque (2002), a absorção d'água decresce com o aumento da densidade do painel, mas este decréscimo é menor quando em condições de umidades relativas altas. Afirmam ainda que o efeito da densidade do painel no inchamento em espessura deve-se mais à umidade relativa de exposição. Em MDP, empregando-se resinas fenólicas ou uréicas, o menor incremento em absorção d'água deve ocorrer em painéis com alta densidade formados com partículas finas. Segundo o mesmo autor, usando-se partículas grossas, em painéis menos densos, ocorre uma maior absorção d'água, e em painéis mais densos, um maior inchamento em espessura. Os painéis MDP se contraem sob as mesmas condições da madeira sólida, entretanto, a intensidade dessas alterações dimensionais nos painéis é muito maior na direção da espessura.

A razão de compactação (definida como o quociente da densidade do painel pela da madeira) é outra variável fundamental na confecção dos particulados e que desfavorece as propriedades físicas, em virtude da maior quantidade de partículas sofrendo compressão. Quando a água entra nesta estrutura, causa liberação dessas forças, promovendo maiores inchamento em espessura e absorção d'água (GUIMARÃES JÚNIOR, 2008).

O inchamento em espessura constitui-se em uma das propriedades mais importantes em termos de estabilidade dimensional em painéis. Esta propriedade pode ser afetada pela espécie da madeira, geometria das partículas, densidade dos painéis, teor de resina, teor de parafina, eficiência na aplicação da cola, e condições de prensagem (BRITO et al., 2006).

O perfil de densidade dos painéis MDP é também um bom indicativo de qualidade. Enquanto que para painéis aglomerados estruturais como o OSB, perfis na forma de U são os preferidos pela maior resistência mecânica, para painéis convencionais voltados para a indústria moveleira, perfis na forma de M são mais comuns, pela maior estabilidade dimensional e melhores propriedades de colagem. Devido às influências significativas que os perfis exercem sobre muitas propriedades dos painéis, grande interesse tem sido demonstrado no seu controle. Alterações nos perfis podem ser obtidas principalmente por controle na velocidade de fechamento da prensa e teores de umidade das camadas externas (HASELEIN, 1998). A simulação do desenvolvimento do perfil de densidade em uma prensa contínua de 28 metros de comprimento foi apresentada por Thoemen et al. (2006), com perfis típicos na forma de M.

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).

May (1987), estudando painéis com perfil de densidade, constatou que a taxa de absorção d'água é menor na camada de superfície quando comparada ao miolo. Para Boehme e Munz (1987) o desgaste das ferramentas na usinagem das camadas de superfície são maiores do que na camada central.

A influência do material e do processamento foram estudadas por Hansel et al. (1988) para painéis de partículas de três camadas. Os resultados indicaram que os perfis podem ser variados amplamente pelo controle desses parâmetros. Para tempos de fechamentos da prensa longos Suchsland et al. (1987) encontram um pico de densidade mais distante da superfície do que para tempos de fechamentos rápidos.

Thai (2002), observou que o inchamento em espessura dos painéis aumenta com o aumento do pico de densidade que ocorre próximo das superfícies superior e inferior do painel. Segundo o mesmo autor, a absorção d'água diminui com aumento deste pico de densidade.

Pico de densidade pode ser aumentado com uma pequena redução na densidade do miolo do painel usando colchões com diferentes distribuições de umidade (WONG et al., 1998).

O perfil e a variação dos valores de densidade aparente ao longo da espessura dos painéis MDP de madeira são parâmetros importantes na avaliação das variáveis do processo, e da matéria-prima e determina a sua qualidade e uso final (WANG et al., 2006). A aplicação de metodologia de análise e de obtenção do perfil da densidade aparente dos painéis, por densitometria de raio X, tem sido relatada na literatura especializada por inúmeros autores (BUCUR, 2003; WANG et al., 2006; TOMAZELLO FILHO et al., 2010). O perfil de densidade aparente dos painéis de partículas de madeira, obtido pela densitometria de raio X, permite inferir sobre as diferentes etapas do processo, como nos parâmetros de fabricação do painel (teor de umidade, densidade da madeira, geometria das partículas), ciclo de prensagem no laboratório e na indústria etc. (WANG et al., 2004; BELINI et al., 2012). A técnica possibilita, da mesma forma, analisar comparativamente os painéis OSB, compensado, MDF e MDP, evidenciando a distribuição da densidade em várias resoluções espaciais, com variação de 0,60 a 0,80 g/cm³ (CHEN et al., 2010). A densitometria de raio X permite, ainda, a detalhada caracterização tecnológica da madeira e de painéis de madeira, além da detecção de alterações anatômica e física, como a induzida por fungos de podridão branca e do efeito das práticas silviculturais na qualidade da madeira (TOMAZELLO FILHO et al., 2010). Wang et al. (2007) relataram que a técnica de raio X é capaz de revelar a distribuição de densidade em várias resoluções espaciais, sendo importante porque permite mostrar a relação entre as propriedades do painel e sua densidade aparente, sempre medida em uma área conhecida de uma amostra específica.

Eleotério (2000) e Tomazzelo Filho et al. (2010) estudaram perfis de densidade em painéis MDF de eucalipto utilizando densitômetro de raios x. Os valores de densidade foram determinados a cada 20 µm, ao longo da espessura dos painéis, no sentido paralelo à sua superfície. Os painéis foram caracterizados pela densidade máxima na face superior-inferior, densidade mínima observada na região interna do painel e densidade média determinada através da média dos valores, ao longo da espessura do painel. Os resultados indicaram similaridade dos perfis e dos valores de densidade média, mínimo e máximo dos painéis MDF

de eucalipto obtidos em laboratório e em linha de produção. Comportamento claramente distinto aos painéis MDP, por se tratar de uma camada homogênea de fibras.

Por fim, para Tomazzelo Filho et al. (2010), os principais fatores que influenciam o perfil de densidade são a espécie utilizada, o tamanho das partículas e sua distribuição, o teor de umidade e sua distribuição, a temperatura de prensagem e o tempo de fechamento da prensa.

Dessa forma, o presente estudo teve como objetivo a avaliação tecnológica das propriedades físicas, em painéis com três camadas compostas por resíduos madeireiros da erva-mate (*Ilex paraguariensis*), *Eucalyptus grandis* e *Pinus elliottii*.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

2.2.1 Coleta e preparo da matéria-prima

As informações referentes à coleta e preparação das partículas madeireiras de erva-mate, *Eucalyptus grandis* e *Pinus elliottii*, bem como a aquisição do adesivo à base de ureia-formaldeído, seguem os procedimentos descritos no Material e métodos, subseção 1.2.1.

2.2.2 Processo de produção dos painéis MDP

A produção dos painéis MDP, características das diferentes camadas, bem como equipamentos utilizados, seguem os procedimentos descritos no Material e métodos, subseção 1.2.2.

2.2.3 Características das partículas

Foram selecionadas de maneira aleatória cem partículas de cada espécie, tanto para camada interna (CI) quanto para camada externa (CE), para o cálculo do coeficiente de esbeltez (Coef. Esb.), representado pela relação entre o comprimento e a espessura da partícula. Ginzel e Peraza (1966) explicam que o coeficiente de esbeltez das partículas pode ser associado à densidade básica da madeira, originando o Coef. Esb. DB, que foi calculado conforme Equação 1. Hillig (2000) acrescenta que esta equação pressupõe a influência da densidade básica da espécie na resistência das partículas produzidas.

$$\text{Coef. Esb. DB} = \frac{\text{Comprimento da partícula}}{\text{Espessura da partícula} \times \text{DB}} \quad (1)$$

Onde:

Coef. Esb. DB: Coeficiente de esbeltez associado à densidade básica da madeira;

DB: Densidade básica da madeira.

2.2.4 Ensaios físicos

Os ensaios físicos assim como o tamanho dos corpos de prova para cada teste, foram desenvolvidos conforme a norma ABNT NBR 14810-2 (2006). Todos estes testes foram realizados no laboratório da empresa Duratex S/A, planta de Taquari – RS.

2.2.4.1 Densidade e teor de umidade

Foram confeccionadas amostras de 5 x 5 x 1,5 cm, em largura, comprimento e espessura. Todas as dimensões foram tomadas e o peso ao teor de umidade de equilíbrio, e novamente o peso após secas em estufa (105°C). Esses dados foram utilizados para o cálculo da densidade aparente (DA) e do teor de umidade de equilíbrio (T_{Ueq}) de cada amostra.

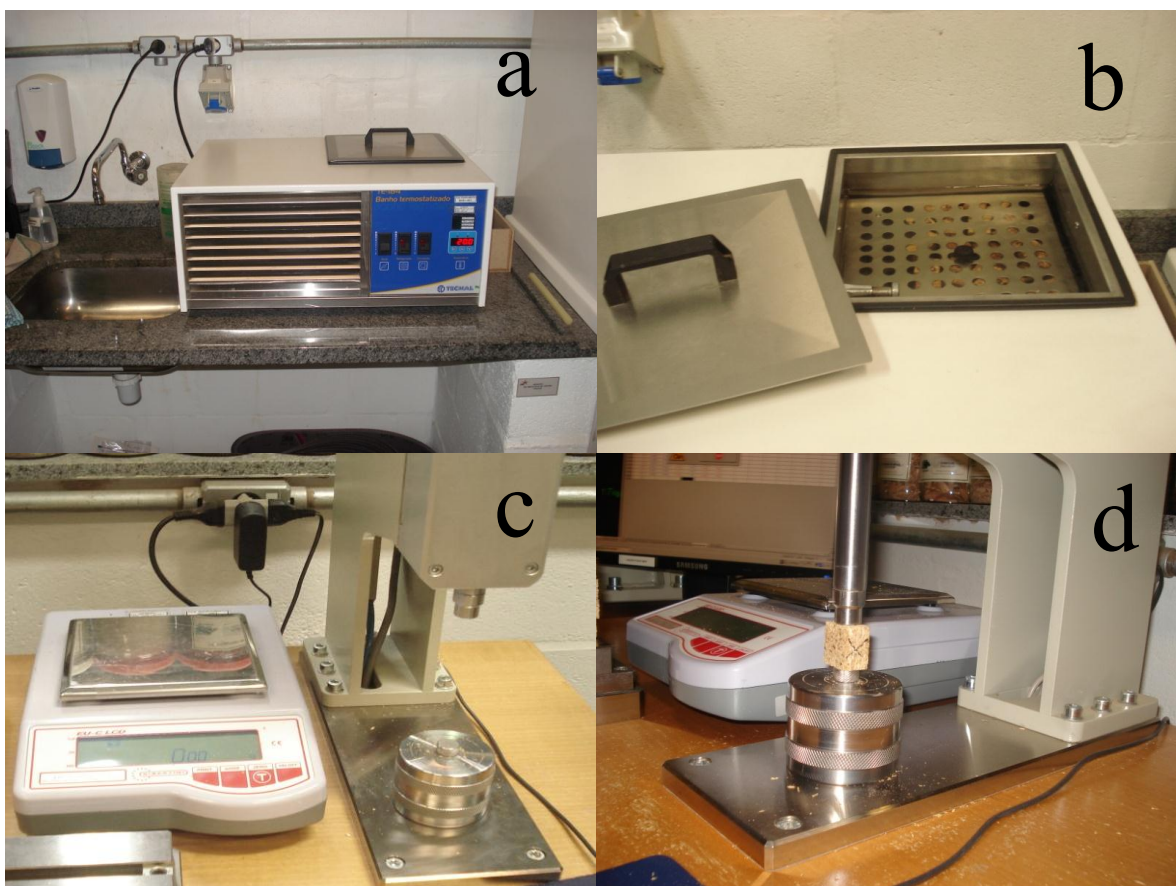
2.2.4.2 Absorção d'água e inchamento em espessura

Para realização destes testes, corpos de prova de 2,5 x 2,5 x 1,5 cm foram submetidos a banho termostático (Figura 1a), em água com temperatura regulada para 20°C. O material foi disposto horizontalmente e mantido submerso a mesma profundidade (25,0 mm) por meio de uma grade (Figura 1b).

A determinação das dimensões reais de largura, comprimento e espessura e o peso, foram determinados através de medidor de bancada eletrônico com precisão de 0,1 mm (Figura 1c e 1d) e balança analítica eletrônica com precisão de 0,1 g (Figura 1c), respectivamente. Estas medidas foram coletadas ao T_{Ueq} e após condicionamento de 2 e 24 horas em submersão.

De posse destes dados foi possível calcular a absorção d'água e inchamento em espessura após 2 e 24 horas (AB 2H, AB 24H, IE 2H, IE 24H, respectivamente).

Figura 1 – Equipamento utilizado para o banho termostático (a); corpos de prova submersos sob uma película d'água de 25mm (b); à esquerda balança analítica e à direita medidor de bancada (c); detalhe da medição de um corpo de prova (d).



Fonte: autor.

2.2.4.3 Perfil de densidade

A metodologia utilizada é similar aquela proposta por Eleotério (2000) e Tomazzelo Filho et al. (2010). Corpos de prova de 5 x 5 x 1,5 cm foram analisados com densitômetro de raios X Grecon DA-X (Figura 2a) (voltagem de 33 kV, corrente entre 0-1 mA, ângulo de radiação de 11°, colimação inicial e final dos feixes de 100 e de 50 μm , respectivamente). Os valores de DA foram determinados a cada 20 μm , ao longo da espessura dos painéis, no sentido paralelo à sua superfície.

Para a realização deste ensaio, os corpos de prova foram previamente submetidos a medidas de espessura, comprimento e largura. Logo foram posicionados dentro da câmara (Figura 2b) promovendo as medidas do gradiente de densidade através da utilização de raios X, em um curto intervalo de tempo. Os resultados foram finalizados gerando os dados e plotagens de gráficos que representam a DA nos pontos avaliados (Figura 2c).

Figura 2 - Densitômetro de raios X (a); detalhe do posicionamento do corpo de prova antes de ser introduzido na câmara (b) e formação do gráfico de perfil de densidade (c).



Fonte: autor.

Sendo assim, os painéis MDP foram caracterizados quanto a DA pela, média dos valores ao longo da espessura do painel (Média); média máxima lado esquerdo face superior/inferior (MáxE); média máxima lado direito face superior/inferior (MáxD); média do valor mínimo presente no centro do painel (Mín).

2.2.5 Delineamento experimental

Objetivando avaliar o efeito das partículas madeireiras de erva-mate na manufatura de painéis MDP, foi combinado 7 diferentes proporções de partículas de *Ilex paraguariensis*, com *Eucalyptus grandis* e *Pinus elliottii*, coladas com ureia-formaldeído. Portanto foram avaliados 7 tratamentos de painéis MDP (Tabela 1), com densidade nominal de $0,65 \text{ g/cm}^3$.

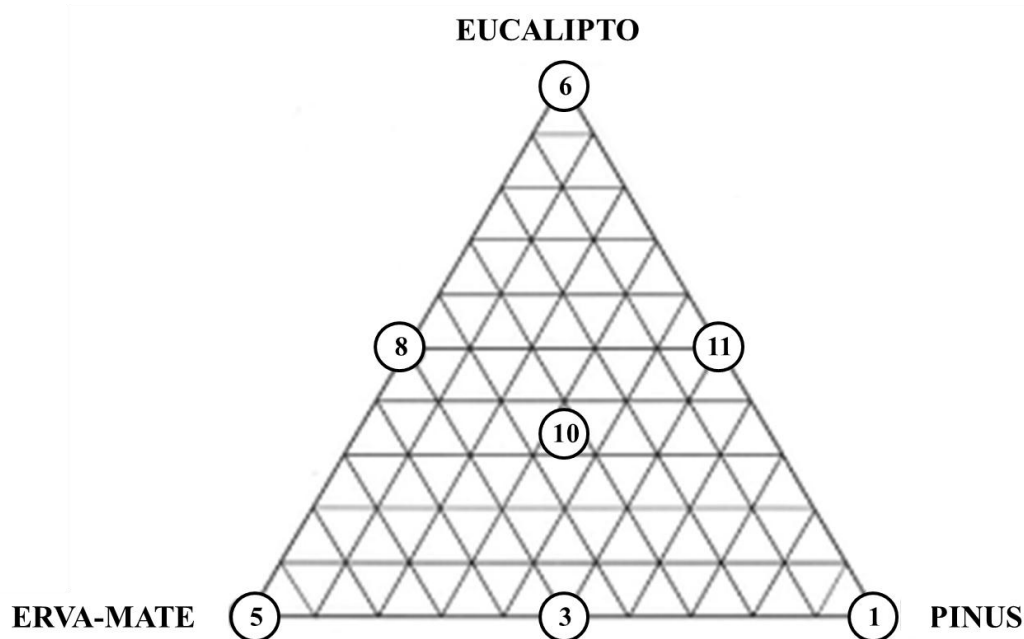
Para o delineamento centróide simplex, apenas os tratamentos com quantidades de 0; 33,33; 50 e 100% de erva-mate, pinus e eucalipto foram utilizados, sendo portanto os tratamentos T1, T3, T5, T6, T8, T10 E T11 (Figura 3).

Para cada mistura, foram realizadas quatro repetições. Destaca-se que a mistura 1 é 100% pinus; mistura 5, 100% erva-mate; mistura 6, 100% eucalipto; mistura 3, 8 e 11, proporções iguais de duas espécies e mistura 10, proporções iguais das três espécies.

Tabela 1 – Tratamentos utilizados no experimento.

Tratamentos	Partículas (%)		
	Erva-mate	Pinus	Eucalipto
T1	0	100	0
T3	50	50	0
T5	100	0	0
T6	0	0	100
T8	50	0	50
T10	33,33	33,33	33,33
T11	0	50	50

Figura 3 – Delineamento experimental centróide simplex para três componentes.



Fonte: Adaptado de Borsato et al. 2010.

2.2.6 Análise estatística dos dados

O modelo experimental utilizado é conhecido como planejamento em rede centróide simplex. Nesse delineamento, o modelo mais simples para uma mistura é o modelo linear ou

aditivo, que procura explicar o comportamento de uma propriedade apenas com os resultados obtidos com a utilização de cada componente individualmente, isto é, prever o comportamento de qualquer mistura sem realizar nenhuma mistura. Numa mistura de três componentes, pode-se ter, além deste, modelos quadráticos que consideram os efeitos das interações de dois componentes e modelos cúbicos que consideram os efeitos das interações dos três componentes.

Sendo assim, os modelos utilizados foram expressos nas Equações derivadas 2, 3 e 4, respectivamente.

$$Y_i = b_1.X_1 + b_2.X_2 + b_3.X_3 \quad (2)$$

$$Y_i = b_1.X_1 + b_2.X_2 + b_3.X_3 + b_{12}.X_1.X_2 + b_{13}.X_1.X_3 + b_{23}.X_2.X_3 \quad (3)$$

$$Y_i = b_1.X_1 + b_2.X_2 + b_3.X_3 + b_{12}.X_1.X_2 + b_{13}.X_1.X_3 + b_{23}.X_2.X_3 + b_{123}.X_1.X_2.X_3 \quad (4)$$

Onde:

Y_i = Variável resposta;

b_i = Coeficientes;

X_i = Proporção de cada espécie na mistura.

Para a determinação dos coeficientes, foram utilizadas as sete misturas mínimas necessárias para o modelo cúbico, conforme Tabela 1 e Figura 3.

Na avaliação dos modelos, foram testados modelos cúbicos para todas as propriedades analisadas, realizada análise da variância, e descartados os coeficientes não-significativos pelo teste “t”. A partir deste ajuste, utilizou-se as misturas mínimas necessárias para estimar o modelo cúbico, quadrático ou linear. Para derivação dos coeficientes, utilizou-se o software Statistica.

Os resultados dos ensaios físicos foram também submetidos à análise de correlação de Pearson a 5% de probabilidade de erro.

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.3.1 Características das partículas e painéis

A densidade básica dos ramos da erva-mate e da madeira de pinus e eucalipto foi de 390, 520 e 550 kg/m³, respectivamente. Valor muito semelhante foi encontrado por Carvalho et al. (2015), estes autores estudando a adição de ramos de erva-mate em painéis, observaram uma densidade básica de 400 kg/m³ nestes resíduos. O mesmo ocorreu com Oliveira et al. (2006) que encontraram valores entre 430 e 560 kg/m³ para *Pinus taeda* com 9 e 20 anos. Entretanto, Silva et al. (2004) observaram a densidade média para *Eucalyptus grandis* em 410 kg/m³, valor distinto ao obtido no presente estudo.

Kollmann e Côté (1968) afirmam que as variações da densidade estão relacionadas às diferenças nas estruturas celulares, tendências hereditárias, influências fisiológicas e mecânicas, assim como fatores ambientais que afetam a estrutura e, conseqüentemente, sua densidade.

O teor de umidade das partículas, após a secagem de 24 horas a 50°C, variou de 2,35 a 2,91% sendo necessária a adição de água para a correção da umidade para 3%. O mesmo procedimento foi adotado por Morais (2011), que obteve variação 2,23 a 2,86% nas partículas do seu estudo.

O Coef. Esb. médio observado nas partículas de CI, por espécie, foi de 4,63 para a erva-mate, 7,92 para o pinus e 11,34 para o eucalipto; enquanto que para a CE foi de 9,98 para a erva-mate, 10,11 para o pinus e 13,55 para o eucalipto (Tabela 2). Nota-se que a geometria das partículas de erva-mate na CI foi distinta das demais espécies. Isso ocorreu devido à uma parte dos ramos descartados no processo de industrialização da erva-mate, ter diâmetro igual e/ou menor que a peneira com orifícios de 8,0 mm de diâmetro, utilizada no processamento do material, assim algumas partículas tiveram formato circular ou semicircular no seu diâmetro, resultando em um Coef. Esb. mais baixo. Morais (2011) obteve valores semelhantes para o Coef. Esb. de pinus e eucalipto, sendo 9,51 e de 10,85 respectivamente. 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.

Para CE, o Coef. Esb. médio das partículas de erva-mate ficou mais próximo das partículas de pinus e eucalipto, já que a peneira utilizada para esta camada possui orifícios de 1,0 mm de diâmetro, o suficiente para triturar todos os ramos descartados na indústria.

Hillig (2000) cita que o Coef. Esb. DB deve ser similar ao Coef. Esb., ou seja, a espécie de menor densidade deve ter uma relação comprimento/espessura menor. Este comportamento foi observado no presente estudo, conforme Tabela 2. O referido autor cita que este ajuste provavelmente possibilitaria a produção de partículas melhores.

Tabela 2 – Coeficiente de esbeltez das partículas da camada interna e externa, das espécies em estudo.

Camadas	Espécie *	Coef. Esb.	Coef. Esb. DB
CI	Erva-mate	4,63	11,88
	Pinus	7,92	15,23
	Eucalipto	11,34	20,62
CE	Erva-mate	9,98	16,57
	Pinus	10,11	17,22
	Eucalipto	13,55	22,63

Onde: * = Cada valor é uma média de 100 medições; CI = Camada interna; CE = Camada externa; Coef. Esb. = Coeficiente de esbeltez; Coef. Esb. DB = Coeficiente de esbeltez associada a densidade básica.

A densidade nominal dos painéis em camadas produzidos neste estudo foi de 650,00 kg/m³, classificadas como de média densidade. Entretanto, foram observados valores de DA variando entre 635,50 kg/m³ e 662,60 kg/m³ (Tabela 3). Essa variação, embora não significativa a 5% de probabilidade de erro, também foi observada por Hillig (2000) e Dacosta (2004). Segundo estes autores, isso ocorre no processo manual de manufatura dos painéis em laboratório, especialmente nas fases de montagem do colchão e/ou na adição de adesivos e outros aditivos. Hillig (2000) acrescenta que estas variações são comuns, por se tratar de variáveis de difícil controle. Iwakiri (1989) relata ainda que o material utilizado, o teor de umidade das partículas e as diferenças de densidade entre partículas também podem proporcionar variações na densidade final do painel.

Já o TUEq das amostras variou entre 7,86 e 8,94% (Tabela 3), havendo um padrão de variação semelhante entre todos os tratamentos, não sendo observadas diferenças significativas entre eles. Melo (2009) afirma que essa baixa variabilidade proporciona uma maior confiabilidade nos demais resultados obtidos, já que a umidade do painel pode interferir significativamente em suas propriedades.

Tabela 3 – Valores médios da densidade aparente e o teor de umidade de equilíbrio, nos tratamentos avaliados.

Tratamentos	Partículas (%)			DA (Kg/m ³)	TUEq (%)
	Erva-mate	Pinus	Eucalipto		
T1	0	100	0	642,24	8,58
T3	50	50	0	652,46	7,86
T5	100	0	0	635,50	8,02
T6	0	0	100	662,60	8,37
T8	50	0	50	649,80	7,89
T10	33,33	33,33	33,33	651,29	8,48
T11	0	50	50	647,68	8,94

Onde: DA = Densidade aparente; TUEq = Teor de umidade de equilíbrio.

2.3.2 Absorção d'água e inchamento em espessura

A Tabela 4 apresenta os resultados médios da absorção d'água e inchamento em espessura dos painéis confeccionados com a mistura das diferentes espécies, erva-mate, pinus e eucalipto.

Tabela 4 – Valores médios da absorção d'água após 2 e 24 horas e inchamento em espessura após 2 e 24 horas, nos tratamentos avaliados.

Tratamentos	Partículas (%)			AB 2H (%)	AB 24H (%)	IE 2H (%)	IE 24H (%)
	Erva-mate	Pinus	Eucalipto				
T1	0	100	0	14,05	57,75	5,92	37,11
T3	50	50	0	24,41	71,60	9,66	35,65
T5	100	0	0	48,35	85,93	12,98	39,10
T6	0	0	100	10,56	33,13	3,23	24,93
T8	50	0	50	33,37	72,40	14,86	39,94
T10	33,33	33,33	33,33	24,27	60,05	8,19	30,05
T11	0	50	50	8,58	38,84	3,23	25,39

Onde: AB 2H = Absorção d'água após 2 horas; AB 24H = Absorção d'água após 24 horas; IE 2H = Inchamento em espessura após 2 horas; IE 24H = Inchamento em espessura após 24 horas.

Na Tabela 5, são apresentados os modelos simplificados, nos quais foram descartados os coeficientes não-significativos pelo teste “t” de student, a 5% de probabilidade de erro, para as propriedades de absorção d'água e inchamento em espessura.

Tabela 5 – Modelos simplificados para a absorção d'água e inchamento em espessura dos painéis, utilizando-se apenas os coeficientes significativos pelo teste “t”.

Modelo	F	P	R²
AB 2H = 48,16*EM + 13,75*P + 10,36*E - 23,05*EM*P + 19,57*EM*E	7,15	0,0002**	0,823
AB 24H = 86,04*EM + 57,91*P + 33,24*E + 49,33*EM*E - 28,65*P*E	39,8	0,0000**	0,934
IE 2H = 12,95*EM + 5,88*P + 3,21*E + 27,52*EM*E	41,54	0,0000**	0,773
IE 24H = 39,35*EM + 37,47*P + 25,17*E + 26,81*EM*E - 27,64*P*E	3,68	0,0141**	0,221

Onde: ** = Significativo ao nível de 5% de probabilidade de erro; F = Valor de F calculado; P = Probabilidade; R² = Coeficiente de determinação; EM = Erva-mate; P = Pinus; E = Eucalipto; AB 2H = Absorção d'água após 2 horas; AB 24H = Absorção d'água após 24 horas; IE 2H = Inchamento em espessura após 2 horas; IE 24H = Inchamento em espessura após 24 horas.

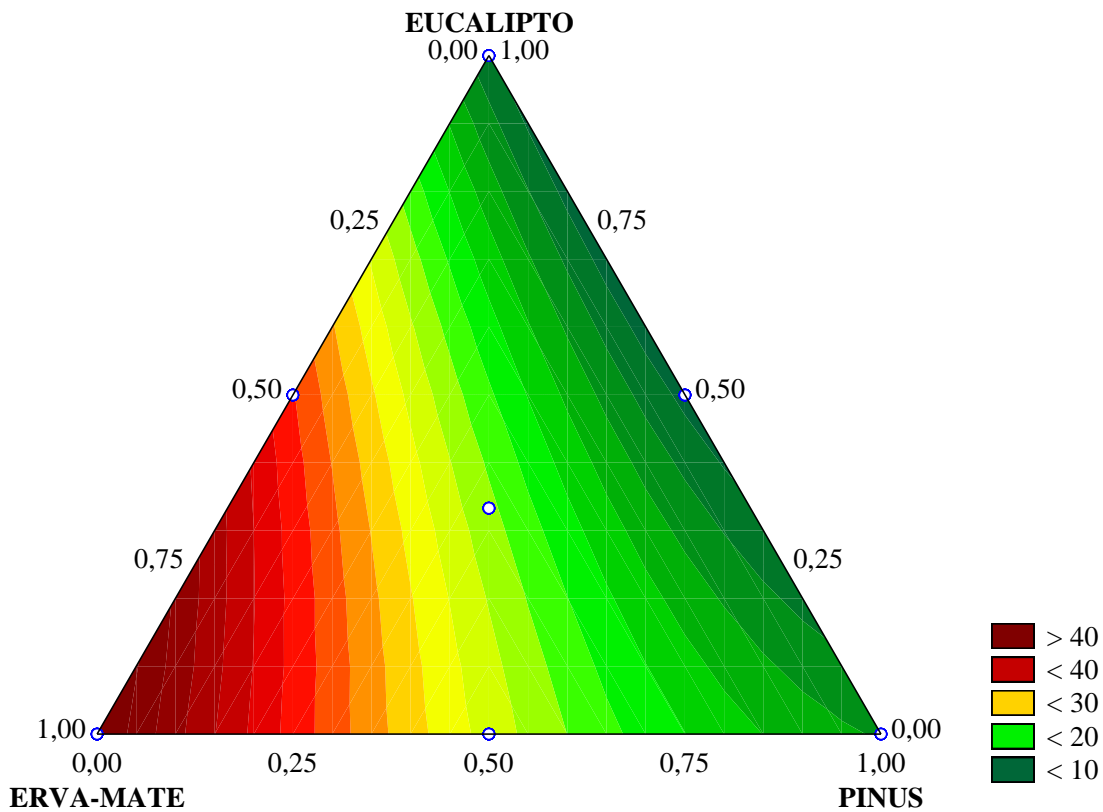
Todos os modelos das variáveis absorção d'água e inchamento em espessura, apresentaram efeito de interação binária, ou seja, os modelos foram quadráticos. Os coeficientes lineares interagiram de maneira sinérgica, por serem positivos, entretanto para os coeficientes quadráticos, além da interação sinérgica houve também interação antagônica (coeficientes negativos). Sendo assim, tais propriedades físicas não são afetadas somente pelas características individuais de cada componente da mistura. Hillig et al. (2003), estudando modelagem de misturas em painéis com diferentes proporções de eucalipto, pinus e acácia negra, também observaram interação entre as misturas binárias, contudo somente para absorção d'água.

A análise dos resultados permitiu verificar que a AB 2H aumenta com o acréscimo da proporção de partículas de erva-mate. No modelo simplificado, o coeficiente linear para o teor de erva-mate tem valor maior (48,16) que os coeficientes derivados para o pinus (13,75) e eucalipto (10,36). Isso certamente ocorre devido a baixa densidade deste resíduo, 390 kg/m³, aliado a alta porosidade. Carvalho et al. (2015) também observou baixa densidade e explica ser devido a origem deste resíduo: ramos novos da colheita da erva-mate. O alto valor de AB 2H em função do acréscimo da proporção de partículas de erva-mate também foi observado por Guiotoku et al. (2008). Por outro lado, houve semelhança entre os valores dos coeficientes lineares de pinus e eucalipto, sendo esse último ligeiramente inferior.

Quanto aos coeficientes quadráticos houve interação entre erva-mate e pinus de maneira antagônica e erva-mate e eucalipto de maneira sinérgica. Como se deseja uma menor taxa de absorção, pode-se dizer então que a mistura entre erva-mate e pinus até certas proporções traz um efeito benéfico para esta propriedade.

A Figura 4 apresenta o gráfico ternário da AB 2H em razão da mistura dos três componentes. O referido gráfico representa a área de maior absorção d'água, a região com maior tonalidade vermelha, conforme esta tonalidade diminui e migra para região amarela e verde, diminui-se a absorção. Desta maneira à medida que se aumenta a proporção de pinus ou eucalipto e diminui a proporção de erva-mate obtêm-se melhores valores de AB 2H. Entretanto é possível visualizar que a mistura erva-mate e pinus é mais favorável que erva-mate e eucalipto.

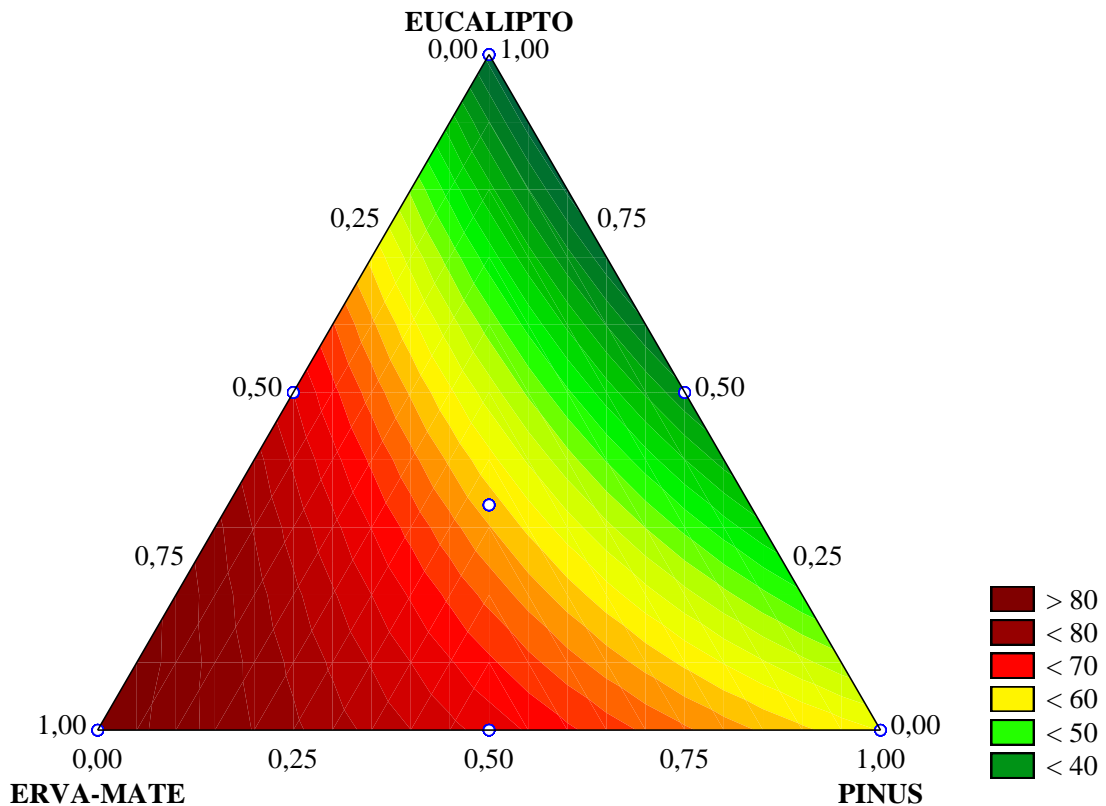
Figura 4 - Gráfico ternário da absorção d'água após 2 horas de imersão dos painéis, em função da mistura erva-mate, pinus e eucalipto.



Fonte: autor.

Para a AB 24H, observou-se comportamento semelhante à AB 2H, exceto para o coeficiente quadrático de pinus e eucalipto com interação antagônica, tal coeficiente não foi significativo a 5% de probabilidade de erro para AB 2H. Além disso, na AB 24 H não houve interação entre pinus e erva-mate, o que pode ser confirmado através do gráfico ternário da Figura 5, onde a região verde se concentra mais entre a mistura pinus e eucalipto, com melhores valores para este último.

Figura 5 – Gráfico ternário da absorção d'água após 24 horas de imersão dos painéis, em função da mistura erva-mate, pinus e eucalipto.



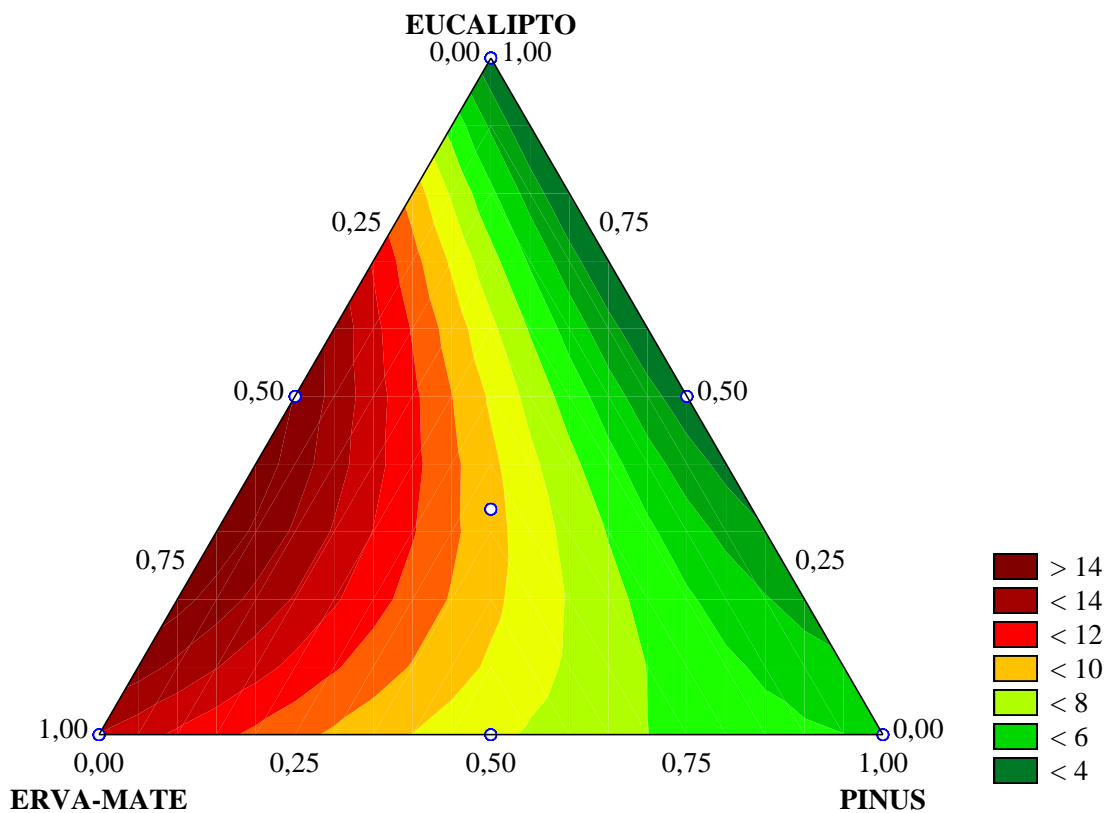
Fonte: autor.

A adição de partículas de erva-mate causou aumento do IE 2H e IE 24H, sendo o efeito mais pronunciado para o IE 2 H, pois seu o coeficiente linear calculado para a erva-mate teve maior superioridade ao de pinus e eucalipto do que no IE 24 H. Guiotoku et al. (2008), analisando painéis de partículas de erva-mate e tendo como testemunha painéis comerciais de pinus, também visualizaram em um dos seus tratamentos com erva-mate maiores valores de inchamento em espessura. Os mesmos autores também citam que o inchamento sempre é maior após 24 horas de imersão para todas as amostras testadas. Após esse período, as amostras apresentam o maior percentual de inchamento.

Carvalho et al. (2015), estudando painéis puros e com misturas, entre erva-mate e pinus, não encontraram diferença significativa para IE 2H e IE 24H. Resultado distinto ao encontrado no presente estudo. Certamente o Coef. Esb. mais baixo das partículas de erva-mate desta pesquisa, influenciaram nos valores para IE 2H e IE 24H. De acordo com Vital et al. (1992), partículas longas e finas (esbeltas) produzem painéis com maior estabilidade dimensional.

Verificou-se ainda, que houve somente um coeficiente quadrático para IE 2H, entre erva-mate e eucalipto, tal interação teve efeito sinérgico na mistura. A Figura 6 apresenta o gráfico ternário desta propriedade, em função da mistura dos três componentes. Pode-se observar portanto, as linhas curvas formadas pelo modelo quadráticos de interação binária, com tendência de aumento dos valores de IE 2H em função do acréscimo das proporções de erva-mate (região vermelha).

Figura 6 – Gráfico ternário do inchamento em espessura após 2 horas de imersão dos painéis, em função da mistura erva-mate, pinus e eucalipto.

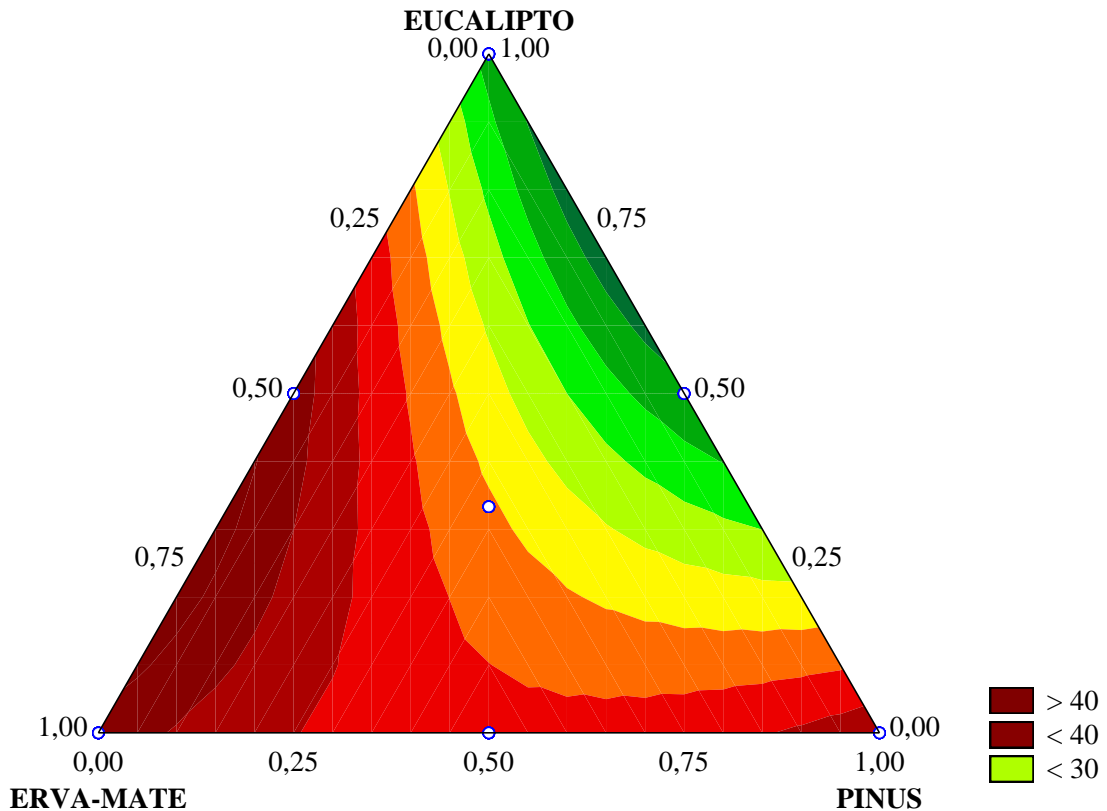


Fonte: autor.

Por fim, os coeficientes quadráticos para IE 24H, houve sinergia de interação entre erva-mate e eucalipto, enquanto que as espécies de pinus e eucalipto interagiram antagonicamente. Portanto para se obter menores taxas de imersão em 24 horas, a melhor mistura ocorre entre pinus e eucalipto, apresentando maior eficiência para a última espécie. Este comportamento é apresentado de maneira elucidativa na Figura 7, através do gráfico ternário para IE 24H. A região verde se concentra entre a mistura pinus e eucalipto, entretanto a maior tonalidade desta cor se concentra em eucalipto, onde ocorrem as menores taxas de inchamento.

Hillig et al. (2003), não observaram interação binária para IE 2H e IE 24H. Estes autores também estudaram modelagem de misturas em painéis, entretanto com diferentes proporções de eucalipto, pinus e acácia negra.

Figura 7 – Gráfico ternário do inchamento em espessura após 24 horas de imersão dos painéis, em função da mistura erva-mate, pinus e eucalipto.



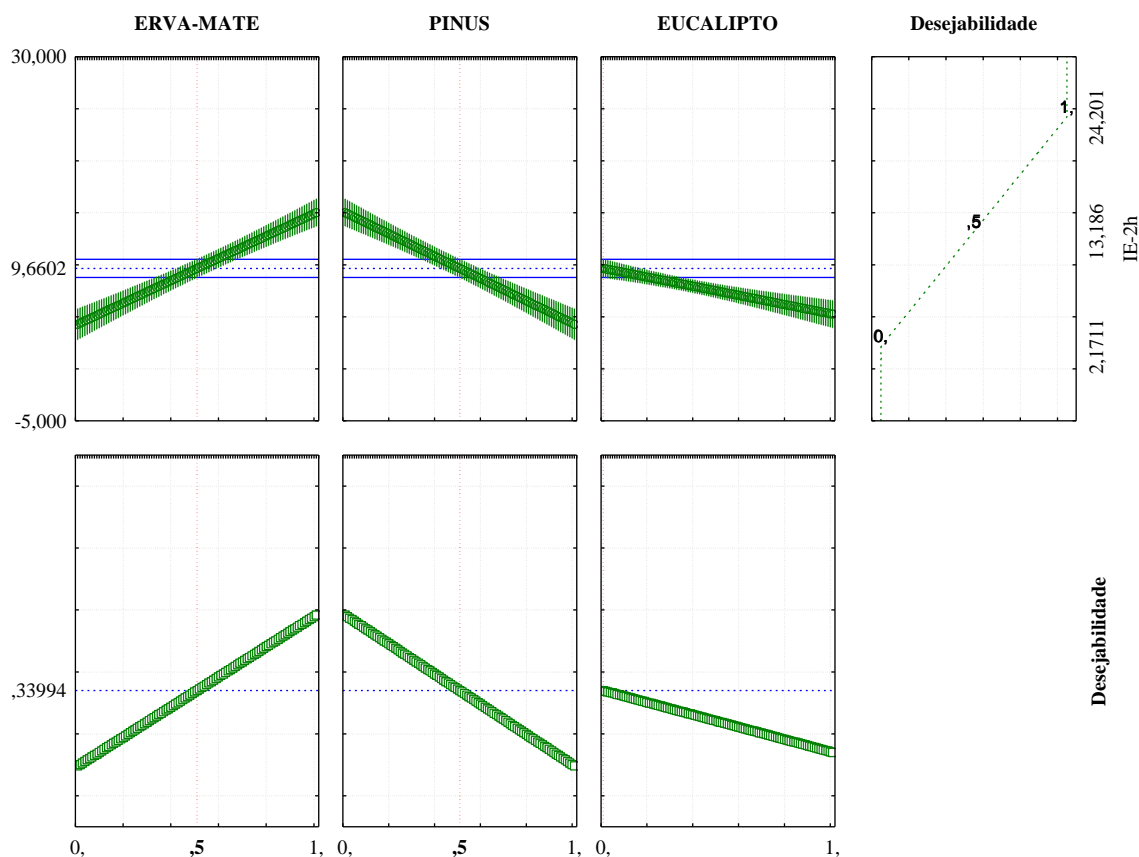
Fonte: autor.

Retornando para a Tabela 4, é possível observar que os valores de absorção d'água e inchamento em espessura tiveram variação de 8,58 a 48,35% e 3,23 a 14,86%, respectivamente, para 2 horas de imersão. Sendo o valor mínimo para o tratamento 11 com 50% de eucalipto e 50% de pinus. Para 24 horas de imersão a variação foi de 33,13 a 85,93% e 24,93 a 39,94% para absorção d'água e inchamento em espessura, respectivamente. Neste caso, os valores mínimos foram para o tratamento 6, com 100% de eucalipto. Os painéis fabricados com partículas madeireiras de erva-mate em grande proporção tiveram tendência a possuir valores superiores para IE 24H e AB 2 e 24 H de imersão. Entretanto, este resíduo apresentou valores eficientes de IE 2H para alguns tratamentos.

A norma brasileira ABNT NBR 14810-2 (2006), somente normatiza o IE 2H, determinando um IE máximo de 8% em 2 horas de imersão. Alguns tratamentos ficaram dentro do exigido ou se assemelharam com a norma, sendo eles, tratamento 1, 3, 6, 10 e 11. Dentre estes tratamentos, os que possuem proporções de erva-mate são, o 3, com 50% de erva-mate e 50% de pinus, e o 10, com 33,33% para os 3 componentes da mistura, erva-mate, pinus e eucalipto.

Observando a Figura 8, verifica-se que os três primeiros perfis são relativos à variação das proporções de partículas para as três espécies, sendo 50% para erva-mate, 50% para pinus e 0% para eucalipto. Nota-se que essa proporção, representada pelo tratamento 3, apresentou IE 2H de 9,66%, semelhante ao exigido pela norma brasileira. O quarto perfil mostra a faixa de variação dos dados, com valor mínimo de 2,17% e máximo de 24,20%. Os três últimos perfis mostram a desejabilidade individual para cada fator e a desejabilidade global, igual a 0,3399. Este valor é correspondente a proporção de 50% de erva-mate e 50% de pinus.

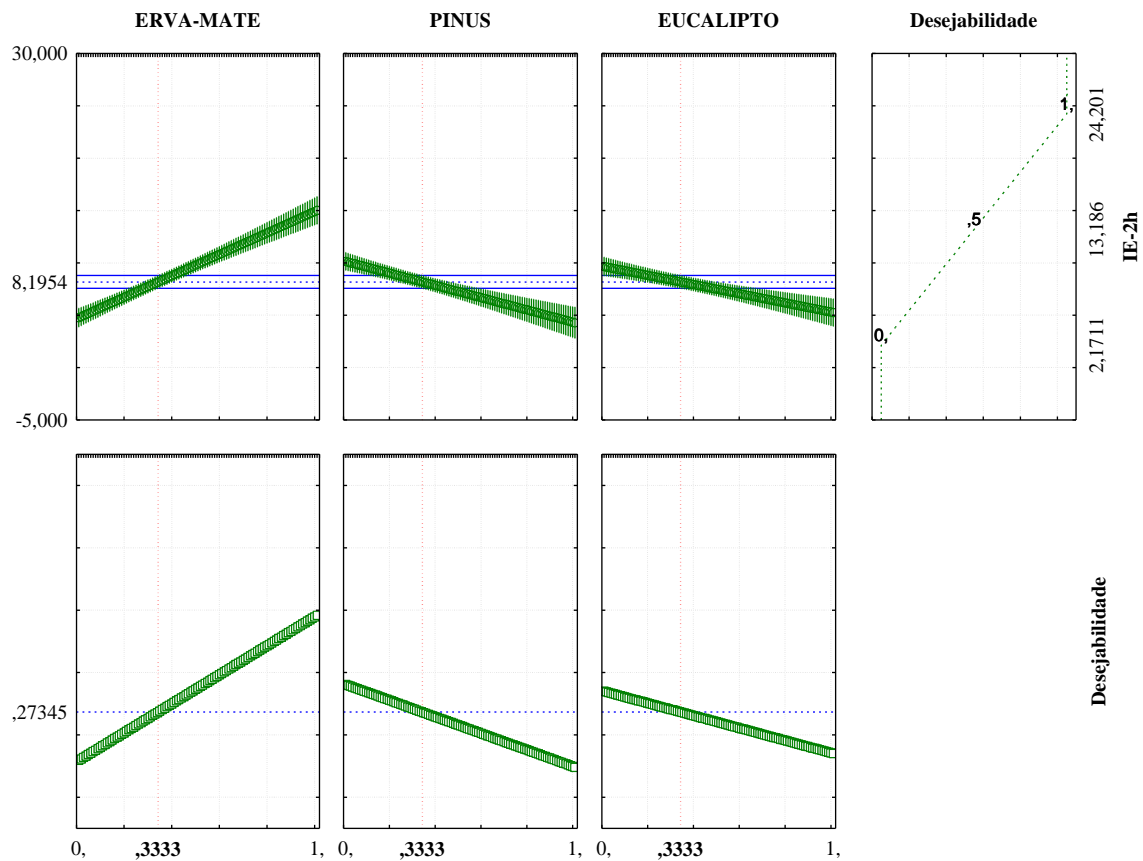
Figura 8 - Perfil desejado para o inchamento em espessura após 2 horas de imersão dos painéis, em função da proporção de 50% para as espécies de erva-mate e pinus.



Fonte: autor.

Conforme a Figura 9, o tratamento 10 com 33,33% de partículas para cada uma das espécies estudadas, apresentou ainda maior eficiência, com 8,19% de IE 2H, muito próximo ao exigido pela norma brasileira (8%). No quarto perfil observa-se a mesma faixa de variação dos dados da Figura 8. Já a desejabilidade individual para cada fator e a desejabilidade global, foi igual a 0,2734, correspondente a proporção de 33,33% para cada uma das espécies, erva-mate, pinus e eucalipto.

Figura 9 – Perfil desejado para o inchamento em espessura após 2 horas de imersão dos painéis, em função da proporção de 33,33% para cada espécie, erva-mate, pinus e eucalipto.



Fonte: autor.

2.3.3 Análise do perfil de densidade

A Tabela 6 apresenta os resultados médios de DA, nas três camadas dos painéis confeccionados com a mistura das diferentes espécies, erva-mate, pinus e eucalipto, analisados por densitometria de raios-X.

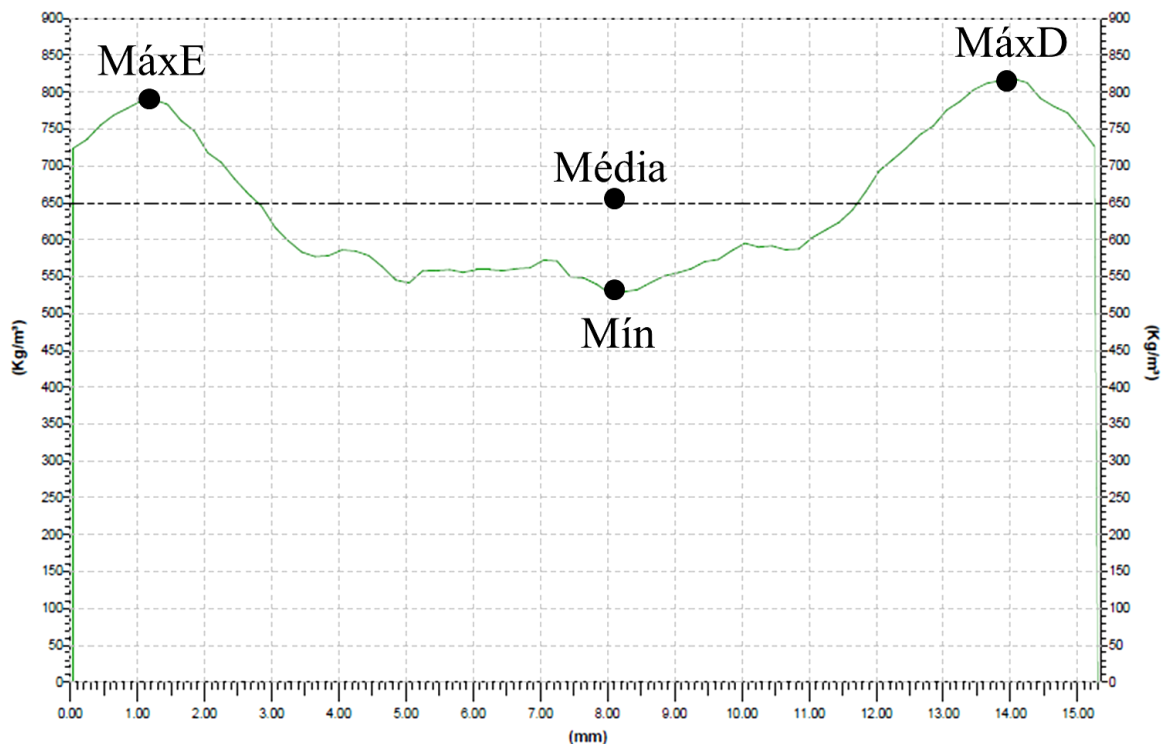
Tabela 6 – Valores médios do perfil de densidade nos tratamentos avaliados.

Tratamentos	Partículas (%)			DA (kg/m ³)			
	Erva-mate	Pinus	Eucalipto	Média	MáxE	MáxD	Mín
T1	0	100	0	642,24	779,58	809,67	516,50
T3	50	50	0	652,46	849,92	878,58	507,67
T5	100	0	0	635,50	801,67	821,08	542,50
T6	0	0	100	662,60	844,75	885,17	535,00
T8	50	0	50	649,80	796,83	793,25	552,33
T10	33,33	33,33	33,33	651,29	731,75	734,08	514,17
T11	0	50	50	647,68	740,83	748,25	535,83

Onde: DA = densidade aparente; Média = Média dos valores de densidade ao longo da espessura do painel; MáxE = Média máxima de densidade lado esquerdo face superior/inferior; MáxD = Média máxima de densidade lado direito face superior/inferior; Mín = Média do valor mínimo de densidade presente no centro do painel.

Conforme a Tabela 6, é possível observar valores mais baixos para Mín e mais altos para MáxE e MáxD, enquanto que Média ficou muito próximo a densidade nominal estabelecida para os painéis (650 kg/m³). Este comportamento pode ser visualizado através do gráfico do perfil de densidade, que representa a variação de DA em função da espessura do painel (Figura 10).

Figura 10 – Perfil de densidade aparente ao longo da espessura dos painéis MDP, por densitometria de raios-X.



Onde: Média = Média dos valores de densidade ao longo da espessura do painel; MáxE = Média máxima de densidade lado esquerdo face superior/inferior; MáxD = Média máxima de densidade lado direito face superior/inferior; Mín = Média do valor mínimo de densidade presente no centro do painel.

Fonte: autor.

A média geral para todos os tratamentos foi de 649,80, 796,83, 809,67, 535,00 kg/m³, respectivamente para Média, MáxE, MáxD e Mín. Segundo a densitometria de raios-X, a DA possui altos valores na camada externa e conforme vai se dirigindo para o interior do painel (CI) os valores de DA baixam constantemente até centro do painel, onde se encontra o valor mínimo, a partir deste ponto aumenta constantemente até camada externa oposta ao início do teste.

Isso ocorre principalmente em função da granulometria das partículas, que são menores na CE e maiores na CI. Esta diferença de granulometria acarreta em menor espaço poroso nas extremidades e maior DA, já no interior do painel maior espaço poroso e menor DA.

Para Eleotério (2000), os principais fatores que influenciam o perfil de densidade são a espécie utilizada, o tamanho das partículas e sua distribuição, o teor de umidade e sua distribuição, a temperatura de prensagem e o tempo de fechamento da prensa.

Segundo Torquato (2008), as camadas mais externas são sempre mais densas que as camadas internas. Justifica-se este fato, a maior compactação e menor granulometria de partículas na camada externa, o que resulta em uma maior DA.

O mesmo foi encontrado por Winistofer et al. (1996), segundo estes autores, um gradiente de densidade através da espessura do painel é normalmente refletido pela presença de faces com alta DA e camadas de baixa DA no interior do painel.

A maior densidade nas faces é uma característica favorável presente nos painéis. A menor quantidade de espaços vazios, em função das partículas de menor granulometria ali presentes permite a pintura de maneira mais econômica e superfícies usinadas com menor rugosidade (ELEOTÉRIO, 2000).

Na Tabela 7, são apresentados os modelos simplificados, nos quais foram descartados os coeficientes não-significativos pelo teste “t” de student, a 5% de probabilidade de erro, para as propriedades de MáxE, MáxD e Mín. Sendo que para a variável Média, não foi encontrado diferença significativa nos mesmos 5% de probabilidade de erro entre os tratamentos, não havendo portanto modelo.

Tabela 7 – Modelos simplificados para densidade nas diferentes camadas do MDP, utilizando-se apenas os coeficientes significativos pelo teste “t”.

Modelo	F	P	R²
MáxE = 801,67*EM + 779,58*P + 844,75*E + 237,17*EM*P - 285,33*P*E - 1615,75*EM*P*E	7,32	0,0084**	0,354
MáxD = 821,08*EM + 809,67*P + 885,17*E + 252,83*EM*P - 239,50*EM*E - 396,67*P*E - 1673,00*EM*P*E	10,36	0,0019**	0,537
Mín = 536,52*EM + 509,12*P + 541,79*E	4,19	0,0186**	0,094

Onde: ** = Significativo ao nível de 5% de probabilidade de erro; F = Valor de F calculado; P = Probabilidade; R² = Coeficiente de determinação; EM = Erva-mate; P = Pinus; E = Eucalipto; MáxE = Média máxima de densidade lado esquerdo face superior/inferior; MáxD = Média máxima de densidade lado direito face superior/inferior; Mín = Média do valor mínimo de densidade presente no centro do painel.

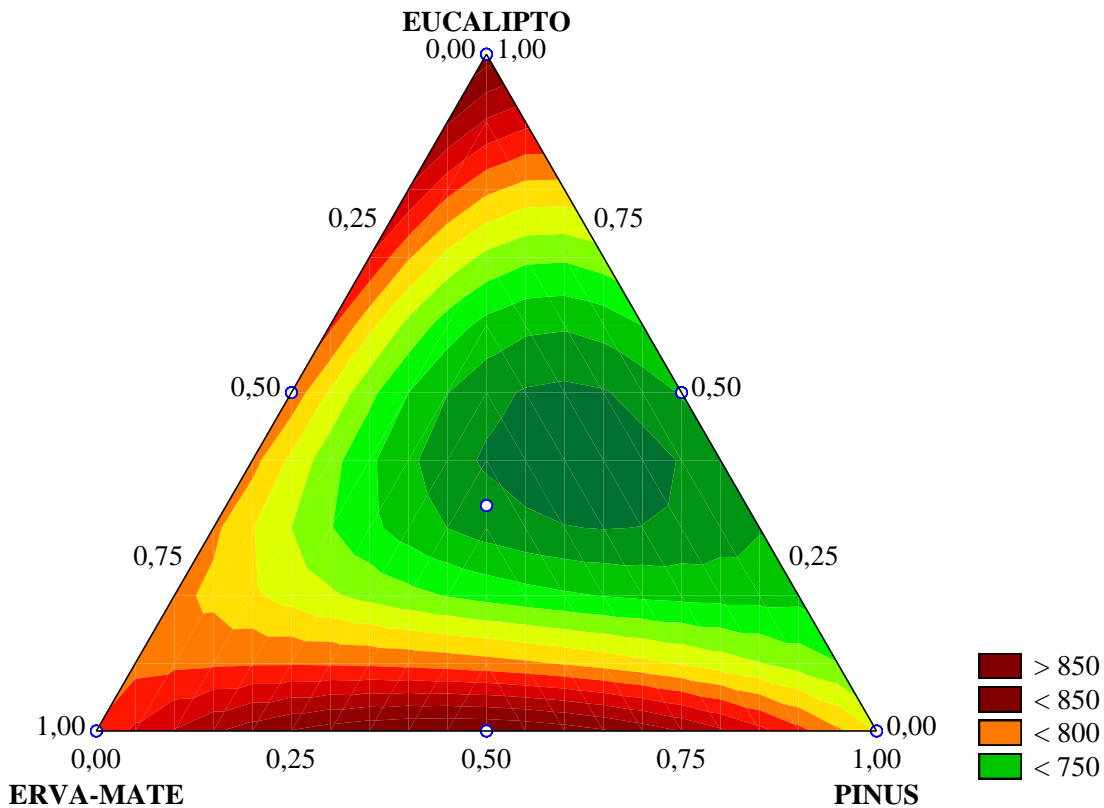
As variáveis MáxE e MáxD apresentaram modelos cúbicos, ocorrendo além de efeitos com interações entre dois componentes, efeitos também com interações de três componentes. Enquanto que a variável Mín obteve modelo linear. Nos três modelos apresentados na Tabela 7, houve semelhança nos coeficientes lineares para as três variáveis de densidade, já que todos interagiram de maneira sinérgica. Entretanto para os coeficientes quadráticos, além da interação sinérgica houve também interação antagônica. Além disso, os coeficientes cúbicos, também interagiram antagonicamente.

A análise dos resultados permitiu verificar no modelo simplificado para MáxE, que as partículas de erva-mate e eucalipto, de maneira individual, obtiveram os melhores valores. Todavia esta propriedade física não foi afetada somente pelas características individuais de cada componente da mistura, já que houve também interação entre dois e três componentes. Sendo assim a melhor combinação para se obter altos valores de MáxE ocorreu no coeficiente quadrático e sinérgico de erva-mate e pinus (237,17). Isso certamente sucedeu, devido aos valores de DA da madeira destas duas espécies serem mais baixos, ocorrendo maiores taxas de compactação na superfície do painel (MOSLEMI, 1974).

Houve interação quadrática também para pinus e eucalipto e cúbicas para os três componentes da mistura, entretanto para ambos os casos de maneira antagônica, não colaborando portanto para altos valores de MáxE.

A Figura 11 apresenta o gráfico ternário da MáxE em razão da mistura dos três componentes. O referido gráfico representa exatamente o que foi descrito anteriormente, representando os maiores picos de DA pela maior tonalidade vermelha, ou seja, de maneira individual o eucalipto, enquanto a erva-mate, tanto de maneira individual e principalmente combinado com o pinus, mostrando mais favorável esta mistura para a obtenção de maiores valores de DA na camada superior/inferior do painel.

Figura 11 – Gráfico ternário da MáxE dos painéis, em função da mistura erva-mate, pinus e eucalipto.

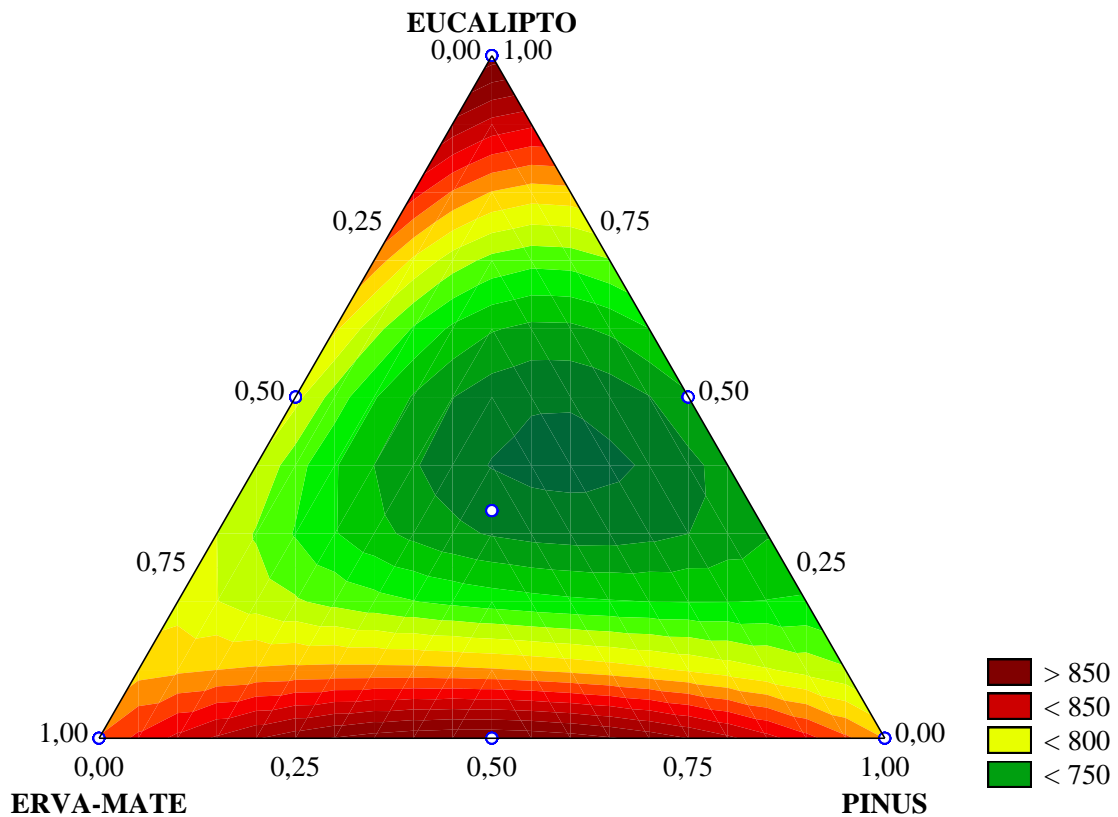


Fonte: autor.

A variável MáxD apresentou comportamento muito semelhante à MáxE, tanto nos coeficientes lineares, como nos quadráticos e cúbicos, salvo para interação antagônica entre as partículas de erva-mate e eucalipto, presente em MáxD e ausente em MáxE. Desta maneira, a melhor mistura para se obter altos valores de MáxD na superfície do painel MDP, ocorreu novamente no coeficiente quadrático e sinérgico de erva-mate e pinus (252,83). Segundo Moslemi (1974), espécies de baixa densidade, acarretam em maiores taxas de compactação nas camadas externas do painel.

O comportamento descrito para a variável MáxD, pode ser visualizado de maneira elucidativa através do gráfico ternário em razão da mistura dos três componentes (Figura 12).

Figura 12 – Gráfico ternário da MáxD dos painéis, em função da mistura erva-mate, pinus e eucalipto.

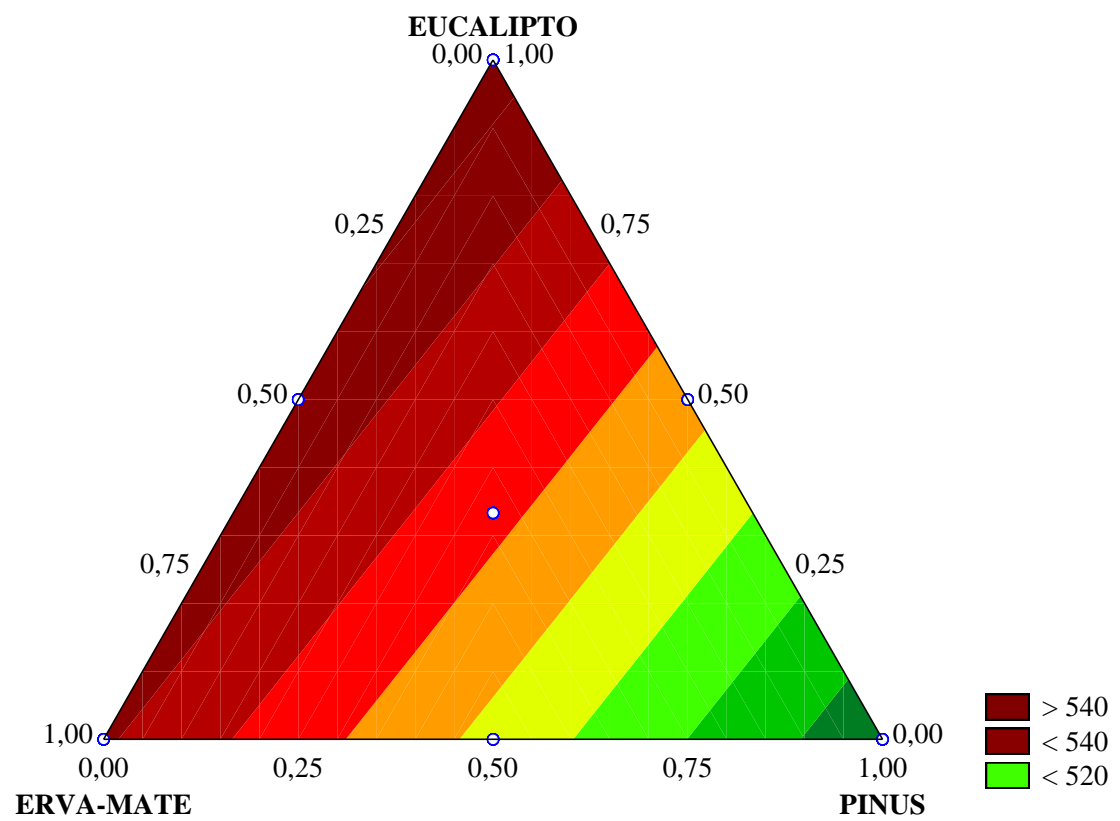


Fonte: autor.

Por fim, através da análise da variável Mín, obteve-se um modelo linear de coeficientes sinérgicos, sendo o eucalipto o coeficiente de maior valor (541,79), seguido de erva-mate (536,52) e pinus (509,12). Portanto as partículas de erva-mate e eucalipto, favorecem para obtenção de valores de mínimo mais altos na CI dos painéis MDP. O bom desempenho demonstrado pelas partículas de eucalipto na CI de painéis é defendido por Krzysik et al. (2001).

Esta propriedade física foi afetada somente pelas características individuais de cada componente da mistura, já que não houve interação entre dois e três componentes. A Figura 13 apresenta o gráfico ternário da Mín em razão da mistura dos três componentes, sendo possível visualizar o comportamento desta variável no centro do painel.

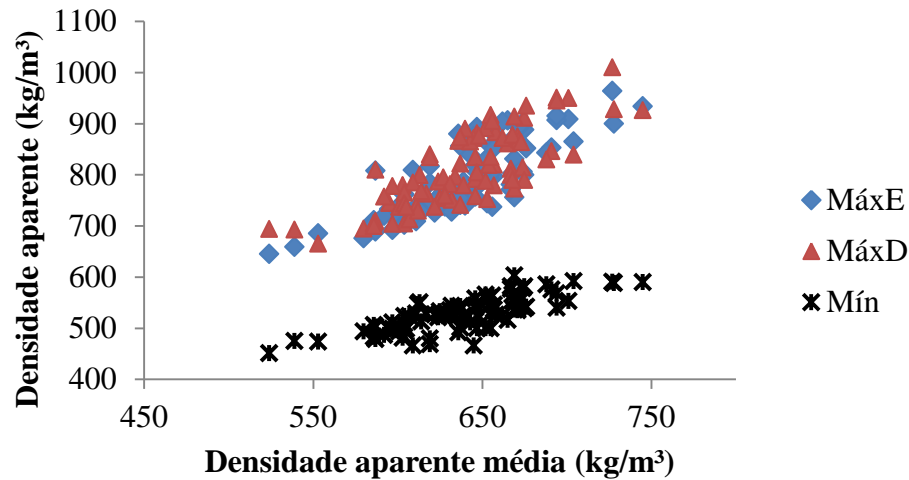
Figura 13 – Gráfico ternário da Mín dos painéis, em função da mistura erva-mate, pinus e eucalipto.



Fonte: autor.

A Figura 14 apresenta a distribuição dos dados de MáxE, MáxD e Mín em função da DA média.

Figura 14 – Relação entre MáxE, MáxD e Mín ao longo do perfil e densidade aparente média.



Onde: MáxE = Média máxima de densidade lado esquerdo face superior/inferior; MáxD = Média máxima de densidade lado direito face superior/inferior; Mín = Média do valor mínimo de densidade presente no centro do painel.

Fonte: autor.

Os valores de DA ao longo do perfil foram correlacionados, através do coeficiente de correlação de Pearson, com as variáveis AB 2H, AB 24H, IE2H e IE24H, gerando a Tabela 8.

Tabela 8 – Matriz de correlação de Pearson entre as propriedades físicas e a densidade aparente ao longo do perfil dos painéis.

	AB 2H	AB 24H	IE 2H	IE 24H
Média	-0,1679	-0,1026	-0,0617	-0,1442
MáxE	-0,1818	-0,139	-0,0914	-0,1568
MáxD	-0,2442**	-0,2932**	-0,0543	-0,0061
Mín	-0,0356	-0,0765	-0,0558	-0,1034

Onde: ** = Significativo ao nível de 5% de probabilidade de erro; Média = Média dos valores de densidade ao longo da espessura do painel; MáxE = Média máxima de densidade lado esquerdo face superior/inferior; MáxD = Média máxima de densidade lado direito face superior/inferior; Mín = Média do valor mínimo de densidade presente no centro do painel; AB 2H = Absorção d'água após 2 horas; AB 24H = Absorção d'água após 24 horas; IE 2H = Inchamento em espessura após 2 horas; IE 24H = Inchamento em espessura após 24 horas.

Através da matriz de correlação entre as propriedades físicas e os valores de DA ao longo do perfil dos painéis, foi observado correlação significativa a 5% de probabilidade de erro, somente entre MáxD, AB 2H e AB 24H. Sendo assim a CE, em função dos valores superiores de DA, atuou como uma barreira à entrada de água diminuindo assim a absorção d'água. Nota-se que esta correlação é negativa, portanto um aumento na densidade determina redução na absorção. O mesmo comportamento foi encontrado por Kollmann et al. (1975),

Suchsland et al. (1987) e Thai (2002). Suchsland et al. (1987) e Thai (2002), também citam, que não há correlação entre inchamento em espessura e o aumento da densidade, o mesmo comportamento foi encontrado nos painéis do presente estudo.

2.4 CONCLUSÕES

Os painéis MDP tiveram suas camadas bem definidas e perceptíveis ao olho nu, já que as partículas produzidas seguiram a tendência de granulometria dos painéis comerciais. As partículas de CE tiveram Coef. Esb. médio semelhante para as três espécies estudadas. Na CI, onde as partículas são maiores, a mesma semelhança de Coef. Esb. médio se manteve para pinus e eucalipto, já para erva-mate, este coeficiente ficou abaixo devido a dificuldades na manufatura da partícula.

A DA média e TUeq dos painéis produzidos não variaram significativamente a 5% de probabilidade de erro, ficando muito próximo do estabelecido anteriormente a produção. Esta precisão proporcionou uma maior confiabilidade nos resultados obtidos.

A modelagem de misturas mostrou que a absorção d'água e o inchamento em espessura, são determinados por modelos quadráticos, tanto para 2 horas quanto para 24 horas de imersão, manifestando interação binária para os componentes da mistura. Sendo assim, as propriedades físicas não foram afetadas somente pelas características individuais de cada componente.

O acréscimo do teor de partículas de erva-mate, no geral, causou o aumento das propriedades de AB 2H, AB 24H, IE 2H e IE 24H. Este comportamento já era esperado devido à baixa densidade básica dos ramos coletados a campo. Entretanto este resíduo em menor proporção e combinado com pinus e eucalipto, pode ser utilizado em painéis comerciais sem prejudicar a qualidade do mesmo. O tratamento 3, com 50% de erva-mate e 50% de pinus, e o tratamento 10, com 33,33% para os 3 componentes da mistura, erva-mate, pinus e eucalipto, se assemelharam muito com a norma brasileira ABNT para IE 2H.

Os perfis de densidade dos painéis MDP tiveram comportamento semelhante ao que ocorre no MDP comercial, com altos valores de DA na CE e mais baixos na CI. Esta tramitação ocorreu de maneira gradual entre as camadas.

Embora os painéis se assemelharam estatisticamente na DA média, houve diferença de comportamento da densidade ao longo do perfil de densidade conforme a modelagem de mistura. A CE dos painéis, através das variáveis MáxE e MáxD apresentaram modelos cúbicos, ocorrendo além de efeitos com interações entre dois componentes, efeitos também

com interações de três componentes. Já a variável Mín, presente na CI, obteve modelo linear. As partículas de erva-mate tiveram efeito sinérgico tanto de maneira individual, quanto na mistura binária com o pinus. A baixa densidade básica deste resíduo da indústria ervateira, certamente causa um efeito benéfico na manufatura do painel, formando maiores taxas de compactação na superfície do mesmo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBUQUERQUE, C. E. C. **Intervenções de variáveis no ciclo de prensagem de aglomerados**. 2002, 150 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais)– Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR. 2002.
- ABIPA - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE PAINÉIS AGLOMERADOS. **Relatório anual**. São Paulo, 2002.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Chapas de madeira aglomerada**. Rio de Janeiro, 2006. ABNT NBR 14810-2.
- BELINI, U. L.; TOMAZELLO FILHO, M.; MENDES, L. M.; LEITE, M. K.; LIMA, P. M. R. Teor de Sílica em compósitos confeccionados com bagaço de cana-de-açúcar e eucalipto. **Floresta e Ambiente**, v. 19, n. 2, p. 250-255, 2012.
- BOEHME, C.; MUNZ, U. V. Milling properties and tool wear effects of overlay-coated ordinary and special grade particle boards using different milling methods. **Holzbearbeitung**, v.34, n.5, p. 84-92, 1987.
- BORSATO, D.; DALL'ANTONIA, L. H.; GUEDES, C. L. B., MAIA, E. C. R., FREITAS, H. R. de, MOREIRA, I.; SPACINO, K. R. Aplicação do delineamento simplex-centróide no estudo da cinética da oxidação de biodiesel b100 em mistura com antioxidantes sintéticos. **Química Nova**, v. 33, n. 8, p.1726-1731, 2010.
- 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.
- BUCUR, V. Techniques for high resolution imaging of wood structure: a review. **Measurement Science and Technology**, n. 14, p. 91-98, 2003.
- CARVALHO, A.G.; ANDRADE, B.G; CABRAL, C.P.T.; VITAL, B.R. Efeito da adição de resíduos de poda da erva-mate em painéis aglomerados. **Revista Árvore**, Viçosa, v.39, n.1, p.209-214, 2015.
- CHEN, S.; LIU, X.; FANG, L.; WELLWOOD, R. Digital X-ray analysis of density distribution characteristics of wood-based panels. **Wood Science and Technology**, v. 44, p. 85-93, 2010.

DACOSTA, L. P. E. **Utilização de resíduos do processamento mecânico da madeira para a fabricação de chapas aglomeradas.** 2004, 118f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal)– Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2004.

ELEOTÉRIO, J.R. **Propriedades físicas e mecânicas de painéis MDF de diferentes densidades e teores de resina.** 2000. 117 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Madeiras)– ESALQ/Universidade Federal de São Paulo, Piracicaba. 2000.

GINZEL, W.; PERAZA C. **Tecnologia de tableros de partículas.** Madrid: Instituto Florestal de Investigaciones y Experiencias, 1966. 187 p.

GUIMARÃES JÚNIOR, J. B. **Painéis de madeira de eucalipto: estudo de caso de espécies.** 2008. 95 p. Dissertação (Mestrado)– Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008.

GUIOTOKU, M.; LAZARIS V.; DALLAGO R.M.; MAGALHÃES W.L.E. **Utilização de Palitos de Erva-Mate na Produção de Painéis de Aglomerado,** Comunicado Técnico, 214. Colombo: Embrapa Florestas, 6p, 2008.

HANSEL, A.; NIEMZ, P.; BRADE, F. Development of a model for cross-sectional density profile in three-layer particle board. **Holz-als-Roh-und- Werkstoff.**, v.46, n.4, p.125-132, 1988.

HASELEIN, C. R. **Numerical simulation of pressing wood-fiber composites.** 1998, 244 p. Tese PhD, Oregon State Univ., USA, 1998.

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

HILLIG, E.; HASELEIN, C. R.; IWAKIRI, S. Modelagem de mistura de três espécies de madeiras na fabricação de chapas estruturais. **Floresta (UFPR)**, Curitiba, v. 33, n. 3, p. 311 – 320, 2003.

IWAKIRI, S. **A influência de variáveis de processamento sobre propriedades de chapas de partículas de diferentes espécies de Pinus.** 1989, 129f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal)– Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1989.

IWAKIRI, S.; ALBUQUERQUE, C. E. C.; MENDES, L. M.; LATORRACA, J. V. F. **Painéis de madeira aglomerada.** In: IWAKIRI, S. (Org.). Painéis de madeira reconstituída. Curitiba: FUPEF, 2005. p. 137-182.

KOLLMANN, F. F. P.; CÔTÉ JR, W. A. **Principles of wood science and technology.** I. Solid Wood. New York: Springer, 1968.

KOLLMANN, F. F. P.; KUENZI, E. W.; STAMM, A. J. **Principles of wood Science and technology.** II, Wood based materials. Berlin: Springer-Verlag, 1975.

KRZYSIK et al. Medium density fiberboard made from Eucalyptus saligna. Composites and manufactured products. **Forest Products Journal**, vol. 51, nº 10. 2001.

LARA PALMA, H. A. **Painéis de madeira**. Botucatu: UNESP, Faculdade de Ciências Agrônômicas, 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. 131f. (Tese em Ciência Florestal)– Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001.

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

MAY, H.A. Studies on the alkaline component of PF particle board. Part 3. Water uptake and thickness swelling in a moist climate in the surface and middle layers of particle board. **WKI-Mitteilungen**, Wilhelm-Klauditz-Institut, n.431, 4pp. 1987.

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

MORAIS, W. W. C. **Propriedades físico-mecânicas de chapas aglomeradas produzidas com bambu, pinus e eucalipto**. 2011. 132f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal)– Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.

MOSLEMI, A.A. **Particleboard**. Carbondale: Southern Illinois University Press, 1974. 2v.

OLIVEIRA, F. L.; LIMA, I. L.; GARCIA, J. N.; FLORSHEIM, S. M. B. Propriedades da madeira de *Pinus taeda* L. em função da idade e da posição radial na tora. **Revista Instituto Florestal**, São Paulo, v. 18, n. único, p. 59-70, dez. 2006.

SILVA, J. C.; OLIVEIRA, J. T. S.; FILHO, M. T.; JÚNIOR, S. K.; MATOS, J. L. M. Influência da idade e da posição radial na massa específica da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. MAIDEN. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 34, n. 1, p. 13-22, 2004.

SUCHSLAND, O.; WOODSON, G. E.; McMILLIN, C. W. Pressing of three layer, dry-formed MDF with binderless hardboard faces. **Forest Products Journal**, v.36, n.1, p. 33-36, Jan. 1987.

THAI, N. V. Relationship between density profile and physical, mechanical properties of particleboard. **Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis**. v. 50, n. 4, p.133-160. 2002.

THOEMEN, H.; HASELEIN, C. R.; HUMPHREY, P. E. Modeling the physical processes relevant during hot pressing of wood-based composites. Part II. Rheology. **Holz als Roh und Werkstoff**. v.64, p.125–133, 2006.

TOMAZELLO FILHO, M.; BELINI, U. L.; OLIVEIRA, J. T. S.; GONÇALVES, F. G. Avaliação tecnológica da madeira e de painéis MDF de eucalipto por densitometria de raios X. **Madeira: Arquitetura e Engenharia**. v.11, n.27, p:45-58, 2010.

TORQUATO, L. P. **Caracterização dos painéis MDF comerciais produzidos no Brasil.** Curitiba, 2008. 93 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais)– Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

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.

WANG, S.; WINISTORFER, P. M.; YOUNG, T. M. Fundamental of vertical density profile formation in wood composites: part 3- MDF density formation during hot pressing. **Wood and Fiber Science**, v. 36, n. 1, p. 17-25, 2004.

WANG, X.; SALENIKOVICH, A.; MOHAMMAD, M.; HU, L.J. Evaluation of density distribution in wood-based panels using X-ray scanning. **The e-Journal of Nondestructive Testing**, v. 11, n. 4, 2006.

WANG, X.; SALENIKOVICH, A.; MOHAMMAD, M. Localized density effects on fastener holding capacities in wood based panels. **Forest Products Journal**, v. 57, n. 1/2, p. 103-109, 2007.

WINISTORFER, P.M.; YOUNG, T.M.; WALKER, E. Modeling and comparing vertical density profiles. **Wood and Fiber Science**. v. 28, n. 1. jan. 1996. United States of America.

WONG, E. D.; YANG, P.; ZHANG, M.; WANG, Q.; NAKAO, T.; LI, K. F.; KAWAI, S. Analysis of the effects of density profile on the bending properties of particleboard using finite element method (FEM). **Holz Als Roh Werkstoff** (in press). 1998.

3 CAPÍTULO II – PROPRIEDADES MECÂNICAS DO MDP PRODUZIDO COM PARTÍCULAS DE MADEIRA DE *Ilex paraguariensis*, *Pinus elliottii* E *Eucalyptus grandis*

3.1 INTRODUÇÃO

Um dos grandes consumidores de madeira no setor florestal, é a indústria de painéis de partículas. Segundo a Associação Brasileira da Indústria de Painéis de Madeira – ABIPA (2015), foi realizado um investimento na ordem de US\$ 1,2 bilhões para o período de 2010 e 2014, fazendo com que a capacidade instalada das indústrias brasileiras de painéis de madeira desse um salto de 9,1 milhões de metros cúbicos anuais em 2010 para 10,9 milhões de metros cúbicos anuais em 2014.

Dentre os painéis de madeira reconstituída, o MDP (Medium Density Particleboard) é mais produzido e mais consumido no mundo (BIAZUS et al., 2010). No Brasil representa uma produção anual de 3 milhões de metros cúbicos (ABIPA, 2015), estando entre os 10 maiores produtores em escala mundial. A importância mercadológica do MDP se concentra no abastecimento de produtoras de móveis para uso residencial e comercial, onde este produto se mostra como a principal matéria-prima.

Com o crescimento da produção industrial de painéis de madeira, aumenta também a demanda por matéria-prima, o que se torna necessário não apenas o aumento de áreas de plantios com espécies atualmente utilizadas, mas também a busca de novas opções. Uma das alternativas seria o resíduo madeireiro da industrialização da erva-mate, principal proposta deste trabalho.

Pesquisadores como, Hizioglu et al. (2005), Calegari et al. (2007), Melo (2009), Melo e Dell Menezzi (2010), Stangerlin et al. (2011) e Souza (2012) vêm buscando alternativas para substituir ou complementar a madeira na manufatura destes produtos. A mescla de partículas de madeira com outros materiais lignocelulósicos para produção de painéis objetiva a redução nos custos de obtenção da matéria-prima e pode ser empregada em escala industrial, desde que não sejam alteradas negativamente as propriedades físico-mecânicas destes produtos.

Para verificar a efetividade do resíduo proposto no presente trabalho, foram realizados os principais testes mecânicos, essenciais para avaliar a qualidade final de um painel de partículas, são eles: módulo de elasticidade (MOE) e módulo de ruptura (MOR) em flexão

estática, arrancamento de parafusos (AP), tração perpendicular à superfície do painel (TP) e resistência superficial (RS).

Segundo Vivian (2011), a flexão estática de uma peça de madeira se refere ao comportamento que esta possui ao ser submetida a uma carga aplicada em sua face, com o objetivo de provocar seu flexionamento. A região elástica corresponde à região em que a peça pode voltar ao seu estado original. A partir do ponto em que a peça deixa de ser elástica, passa a ser plástica. Isso significa que, mesmo que cesse a força que a deforma, a referida peça não tem mais a capacidade de retornar ao seu estado original.

De acordo com Moreschi (2005), o ensaio para determinação da flexão estática da madeira consiste na aplicação de uma carga a um corpo de prova que repousa sobre dois apoios, na metade de seu comprimento, para causar tensões e deformações mensuráveis, até sua ruptura. De acordo com o referido autor, diferentes fatores podem influenciar esta propriedade, dentre eles a forma e dimensões das peças, o ângulo das fibras, a massa específica, o teor de umidade, a temperatura, as propriedades anatômicas, os constituintes químicos e a deterioração do material.

O MOE e o MOR são dois parâmetros determinados no teste de flexão estática, os quais, segundo Silva et al. (2005), são de grande importância na caracterização tecnológica da madeira e seus derivados, em que ambos dão uma boa aproximação da resistência do material, constituindo-se, na prática, parâmetros de grande aplicação na classificação dos materiais.

Iwakiri et al. (2010) definem o MOE como um parâmetro que indica a rigidez de um material submetido a um determinado esforço. Maloney (1993) define esta propriedade como a elasticidade de um material até o limite de proporcionalidade.

Maloney (1993) define o MOR à flexão como o limite do material submetido ao esforço máximo até a ruptura. Esta propriedade é uma importante ferramenta de verificação de qualidade, pois é uma medida de resistência à flexão, quando o material é submetido à pressão ou uma carga de força.

Conforme ABIPA (2014), determina-se TP, submetendo os corpos de prova a uma força de tração uniformemente distribuída até a ruptura, sendo definida pela carga máxima em relação à superfície do corpo de prova.

O ensaio de TP mede o grau de adesão das partículas em amostras submetidas aos esforços de tração perpendicular. A ruptura ocorre normalmente no plano central de sua espessura, a qual corresponde à região de menor densidade e ligação entre as partículas (IWAKIRI et al., 2004).

Acrescenta-se ainda a importância de se produzir painéis em camadas (MDP), pois melhoram algumas propriedades do painel. Construção em três camadas é uma prática bastante empregada pela indústria, que permite manipular teor de resina, umidade e tamanho das partículas nas camadas superficiais para facilitar o acabamento e laminação. Além disso, pode efetivamente evitar estrutura desbalanceada através da espessura, que pode ocorrer em painéis formados com camada simples (XU et al., 2005). Os mesmos autores, pesquisaram painéis fabricados com fibras de *Hibiscus cannabinus*, em três camadas, verificando que melhorou o MOE, MOR e TP.

A norma ABNT NBR 14810-2 (2013) define RS como sendo a resistência que um corpo de prova de um painel MDP oferece, quando submetido a uma força de tração aplicada perpendicularmente ao plano de sua face, para promover o arranque de determinada área da camada superficial. Segundo a mesma norma, o AP é a propriedade que avalia a resistência ao arranchamento de parafuso da face ou topo de um painel de madeira aglomerada. Quando na face, mede-se força de tração de um parafuso fixado paralelamente à face do painel. Quando no topo, mede-se a força de tração de um parafuso fixado perpendicularmente à face do painel.

As propriedades mecânicas de MDP variam conforme a sua composição, espécie (s) de madeira utilizada, diferentes proporções de cada espécie em um mesmo painel, formação das diferentes camadas, quantidade de adesivo e critérios de produção, desde a formação das partículas até a prensagem e resfriamento dos painéis.

Desta maneira, este trabalho tem a finalidade de verificar as propriedades mecânicas, em painéis com três camadas compostas por resíduos madeireiros da erva-mate (*Ilex paraguariensis*), *Eucalyptus grandis* e *Pinus elliottii*.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

3.2.1 Coleta e preparo da matéria-prima

As informações referentes à coleta e preparação das partículas madeireiras de erva-mate, *Eucalyptus grandis* e *Pinus elliottii*, bem como a aquisição do adesivo à base de ureia-formaldeído, seguem os procedimentos descritos no Material e métodos, subseção 1.2.1.

3.2.2 Processo de produção dos painéis MDP

A produção dos painéis MDP, características das diferentes camadas, bem como equipamentos utilizados, seguem os procedimentos descritos no Material e métodos, subseção 1.2.2.

3.2.3 Ensaaios mecânicos

Os ensaios mecânicos assim como o tamanho dos corpos de prova (CPs) para cada teste, foram desenvolvidos conforme a norma ABNT NBR 14810-2 (2013). Todos estes testes foram realizados no laboratório da empresa Duratex S/A, planta de Taquari – RS.

3.2.3.1 Flexão estática

Para determinação do módulo de elasticidade (MOE) e módulo de ruptura (MOR), os CPs foram dimensionados com 25 cm x 5 cm x 1,5 cm, sendo tomada suas dimensões e o peso ao teor de umidade de equilíbrio imediatamente antes dos testes, para obtenção da densidade.

Para a realização do teste, os CPs foram posicionados sobre os dois apoios da máquina universal de ensaios, de modo que o dispositivo para aplicar a carga coincida com o centro do CP (Figura 1). O comprimento do vão foi de dez vezes a dimensão da espessura, com comprimento mínimo de 20 cm e a velocidade de aplicação da carga foi de 7 mm/minuto.

A máquina universal de ensaios é dotada de um computador acoplado com software específico para aquisição dos dados de MOE e MOR, como mostra a Figura 1.

Figura 1 – Realização do ensaio de flexão estática.



3.2.3.2 Arrancamento de parafusos (AP)

Utilizou-se os mesmos CPs do teste de flexão estática. Para isso, depois de rompidos, foi retirado os dois extremos de cada CP, que não foram afetados pela ruptura e colados um sob o outro. Esta nova amostra foi então perfurada com auxílio de uma broca de 2,8 mm e com profundidade de 17 mm, centrado na superfície e topo do CP.

Após foi introduzido o parafuso específico para o teste, antes na face, onde se obteve os dados de arrancamento de parafusos na face (AP Face) (Figura 2a), após no topo, onde se obteve os dados de arrancamento de parafusos no topo (AP Topo) (Figura 2b). A velocidade para ambos os ensaios foi de 15 mm/min.

Figura 2 – Ensaio de arrancamento de parafusos na face (a); ensaio de arrancamento parafusos no topo (b).



Fonte: autor.

3.2.3.3 Tração perpendicular à superfície do painel (TP)

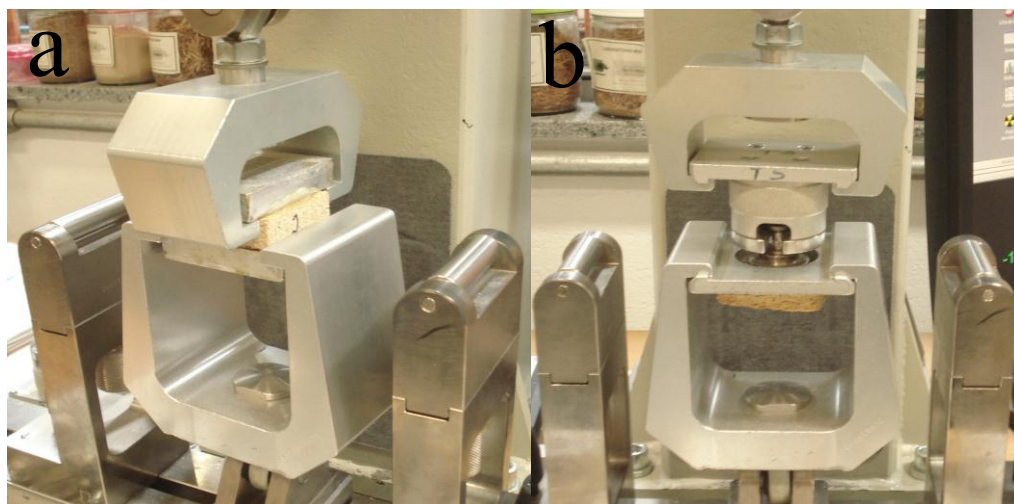
Foram utilizados CPs com dimensões de 5 x 5 x 1,5 cm, cuja as faces foram coladas em blocos de metal com adesivo termofusível (cola hot-melt). Após, este conjunto foi encaixado no dispositivo da máquina universal de ensaio, onde foi realizado o teste de tração perpendicular (Figura 3a) com velocidade de 4 mm/min, sendo os dados armazenados no computador. Assim como nos testes anteriores, os CPs foram medidos anteriormente ao ensaio.

3.2.3.4 Resistência superficial (RS)

Da mesma maneira como no ensaio de tração perpendicular os CPs foram confeccionados com dimensões de 5 x 5 x 1,5 cm. No centro geométrico de cada CP, foi confeccionado uma ranhura anelar de 35,7 mm de diâmetro e profundidade de 0,3 a 1,0 mm. Após com o uso de adesivo hot-melt, foi colado sobre a superfície ranhurada, um dispositivo metálico de diâmetro semelhante à ranhura realizada.

Posteriormente a cura total do adesivo, foi acoplado o conjunto nos acessórios da máquina universal de ensaios e realizado o teste de resistência superficial (Figura 3b) com velocidade de 5 mm/min.

Figura 3 – Ensaio de tração perpendicular à superfície do painel (a); ensaio de resistência superficial (b).



Fonte: autor.

3.2.4 Delineamento experimental

Objetivando avaliar o efeito das partículas madeireiras de erva-mate na manufatura de painéis MDP, foi combinado 7 diferentes proporções de partículas de *Ilex paraguariensis*, com *Eucalyptus grandis* e *Pinus elliottii*, coladas com ureia-formaldeído. Portanto foram avaliados 7 tratamentos de painéis MDP (Tabela 1), com densidade nominal de 0,65 g/cm³.

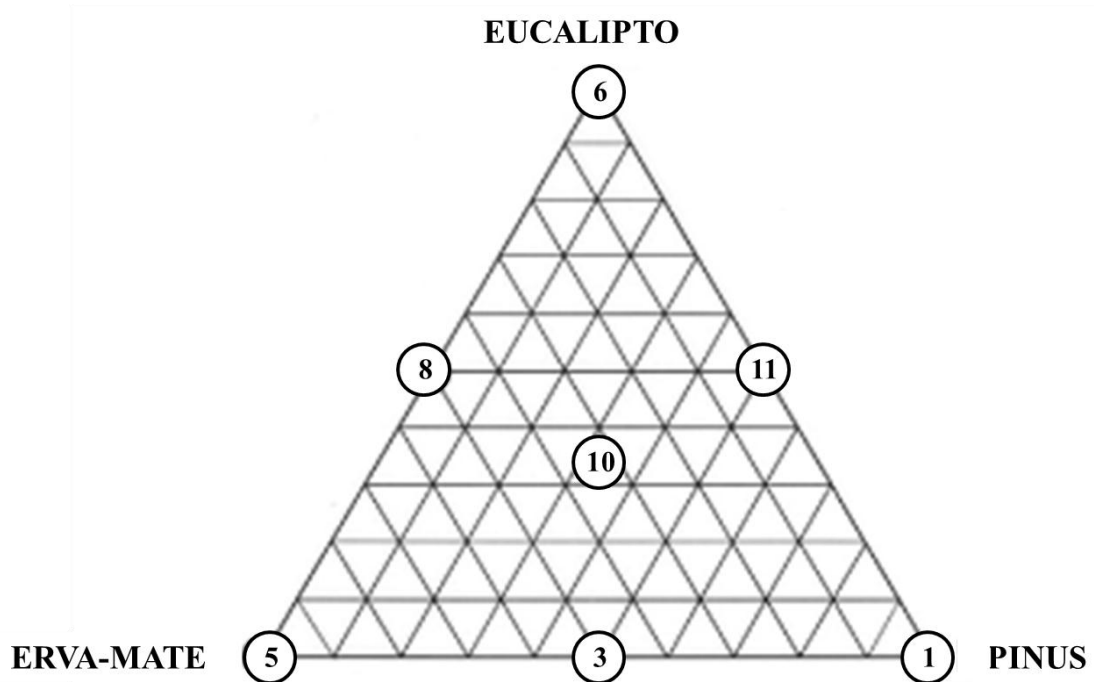
Para o delineamento centróide simplex, apenas os tratamentos com quantidades de 0; 33,33; 50 e 100% de erva-mate, pinus e eucalipto foram utilizados, sendo portanto os tratamentos T1, T3, T5, T6, T8, T10 E T11 (Figura 4).

Para cada mistura, foram realizadas quatro repetições. Destaca-se que a mistura 1 é 100% pinus; mistura 5, 100% erva-mate; mistura 6, 100% eucalipto; mistura 3, 8 e 11, proporções iguais de duas espécies e mistura 10, proporções iguais das três espécies.

Tabela 1 – Tratamentos utilizados no experimento.

Tratamentos	Partículas (%)		
	Erva-mate	Pinus	Eucalipto
T1	0	100	0
T3	50	50	0
T5	100	0	0
T6	0	0	100
T8	50	0	50
T10	33,33	33,33	33,33
T11	0	50	50

Figura 4 – Delineamento experimental centróide simplex para três componentes.



Fonte: Adaptado de Borsato et al. 2010.

3.2.5 Análise estatística dos dados

O modelo experimental utilizado é conhecido como planejamento em rede centróide simplex. Nesse delineamento, o modelo mais simples para uma mistura é o modelo linear ou aditivo, que procura explicar o comportamento de uma propriedade apenas com os resultados obtidos com a utilização de cada componente individualmente, isto é, prever o comportamento de qualquer mistura sem realizar nenhuma mistura. Numa mistura de três componentes, pode-se ter, além deste, modelos quadráticos que consideram os efeitos das interações de dois componentes e modelos cúbicos que consideram os efeitos das interações dos três componentes.

Sendo assim, os modelos utilizados foram expressos nas Equações derivadas 1, 2 e 3, respectivamente.

$$Y_i = b_1.X_1 + b_2.X_2 + b_3.X_3 \quad (1)$$

$$Y_i = b_1.X_1 + b_2.X_2 + b_3.X_3 + b_{12}.X_1.X_2 + b_{13}.X_1.X_3 + b_{23}.X_2.X_3 \quad (2)$$

$$Y_i = b_1.X_1 + b_2.X_2 + b_3.X_3 + b_{12}.X_1.X_2 + b_{13}.X_1.X_3 + b_{23}.X_2.X_3 + b_{123}.X_1.X_2.X_3 \quad (3)$$

Onde:

Y_i = Variável resposta;

b_i = Coeficientes;

X_i = Proporção de cada espécie na mistura.

Para a determinação dos coeficientes, foram utilizadas as sete misturas mínimas necessárias para o modelo cúbico, conforme Tabela 1 e Figura 4.

Na avaliação dos modelos, foram testados modelos cúbicos para todas as propriedades analisadas, realizada análise da variância, e descartados os coeficientes não-significativos pelo teste “t”. A partir deste ajuste, utilizar as misturas mínimas necessárias para estimar o modelo, cúbico, quadrático ou linear. Para derivação dos coeficientes, utilizou-se o software Statistica.

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.3.1 Flexão estática

A Tabela 2 apresenta os resultados médios de MOE e MOR dos painéis confeccionados com a mistura das diferentes espécies, erva-mate, pinus e eucalipto.

Tabela 2 – Valores médios de módulo de elasticidade e módulo de ruptura, nos tratamentos avaliados.

Tratamentos	Partículas (%)			MOE (MPa)	MOR (MPa)
	Erva-mate	Pinus	Eucalipto		
T1	0	100	0	2208,82	13,74
T3	50	50	0	2214,32	10,36
T5	100	0	0	1181,45	4,84
T6	0	0	100	2065,37	13,67
T8	50	0	50	1749,80	9,30
T10	33,33	33,33	33,33	2101,46	11,43
T11	0	50	50	2435,49	14,50

Onde: MOE = Módulo de elasticidade; MOR = Módulo de ruptura.

É possível observar que os valores de MOE e MOR tiveram variação de 1181,45 a 2435,49 MPa e 4,84 a 14,50 MPa, respectivamente, sendo o menor valor para o tratamento 5 com 100% de erva-mate, para ambas as propriedades mecânicas. Sendo assim, os painéis fabricados com partículas madeireiras de erva-mate em grande proporção tiveram tendência a possuir valores inferiores para MOE e MOR.

Carvalho et al. (2015), estudando diferentes proporções de erva-mate e pinus, também encontraram valores inferiores de MOE e MOR, 1180,10 e 13,60 MPa respectivamente, para painéis com 100% erva-mate. Os referidos autores observaram valores máximos de 1611,70 para MOE e 19,60 MPa para MOR, em painéis com 100% pinus. Conforme pode ser visto na Tabela 2, o presente estudo encontrou valor superior em painéis puros de pinus, além disso, painéis com porcentagens menores de erva-mate também tiveram valores superiores tanto para MOE quanto para MOR, do que o valor máximo encontrado por estes autores.

Os valores encontrados no ensaio de flexão estática, para grande maioria dos tratamentos avaliados, se apresentaram superiores aos encontrados na literatura para outras espécies alternativas. Trianoski (2010) obteve os valores de 1474,6 MPa para MOE e 7,0 MPa para MOR em painéis de *Grevillea robusta*. Sanches (2012) observou para painéis em

camadas compostos pela mistura de *Pinus taeda* e *Mimosa scabrella* os valores de 1070,7 MPa para MOE e de 8,9 MPa para MOR. Guimarães Jr. et al. (2013), estudando painéis puros de *Acacia mangium*, obtiveram os valores de 1803,8 e 11,1 MPa para MOE e MOR, respectivamente. Iwakiri et al. (2012b), encontraram para *Caryocar villosum* os valores de 2389,0 MPa para MOE e 13,7 MPa para MOR. Entre os autores supracitados, apenas Sanches (2012) utilizou a mesma densidade nominal dos painéis que o presente estudo (650 kg/m³), apresentando valores inferiores a maioria dos tratamentos avaliados no presente estudo. Os demais autores utilizaram densidade nominal de 700 a 800 kg/m³.

A norma brasileira ABNT NBR 14810-2 (2013), normatiza o MOE e MOR com valores mínimos de 1600 MPa e 11 MPa, respectivamente. A maioria dos tratamentos ficaram dentro do exigido ou se assemelharam com a norma, somente o tratamento 5, com 100% erva-mate, não atingiu o exigido em pelo menos uma das características mecânicas de flexão estática. Sendo assim, embora a inserção de partículas de erva-mate diminua as propriedades de MOE e MOR, se utilizada a referida espécie em combinação com eucalipto e principalmente pinus, mostra-se satisfatória e atinge valores superiores ao exigido pela norma brasileira ABNT. Esta mistura de espécies é melhor dialogada através da modelagem de misturas (Tabela 3).

Na Tabela 3, são apresentados os modelos simplificados, nos quais foram descartados os coeficientes não-significativos pelo teste “t” de student, a 5% de probabilidade de erro, para as propriedades de MOE e MOR.

Tabela 3 – Modelos simplificados para o módulo de elasticidade e módulo de ruptura dos painéis, utilizando-se apenas os coeficientes significativos pelo teste “t”.

Modelo	F	P	R ²
MOE = 1189,72*EM + 2221,22*P + 2073,64*E + 1903,09*EM*P + 1019,94*P*E	10,58	0,0000**	0,703
MOR = 5,11*EM + 14,52*P + 13,83*E	137,13	0,0000**	0,785

Onde: ** = Significativo ao nível de 5% de probabilidade de erro; F = Valor de F calculado; P = Probabilidade; R² = Coeficiente de determinação; EM = Erva-mate; P = Pinus; E = Eucalipto; MOE = Módulo de elasticidade; MOR = Módulo de ruptura.

Os módulos analisados em flexão estática, apresentaram modelos de misturas com comportamentos distintos. O MOE apresentou efeito de interação binária, ou seja, o modelo foi quadrático, já o MOR foi explicado por modelo linear. Os coeficientes lineares de MOE e MOR e os coeficientes quadráticos de MOE interagiram de maneira sinérgica, contribuindo positivamente para estas propriedades mecânicas. Além disso, como todos os coeficientes

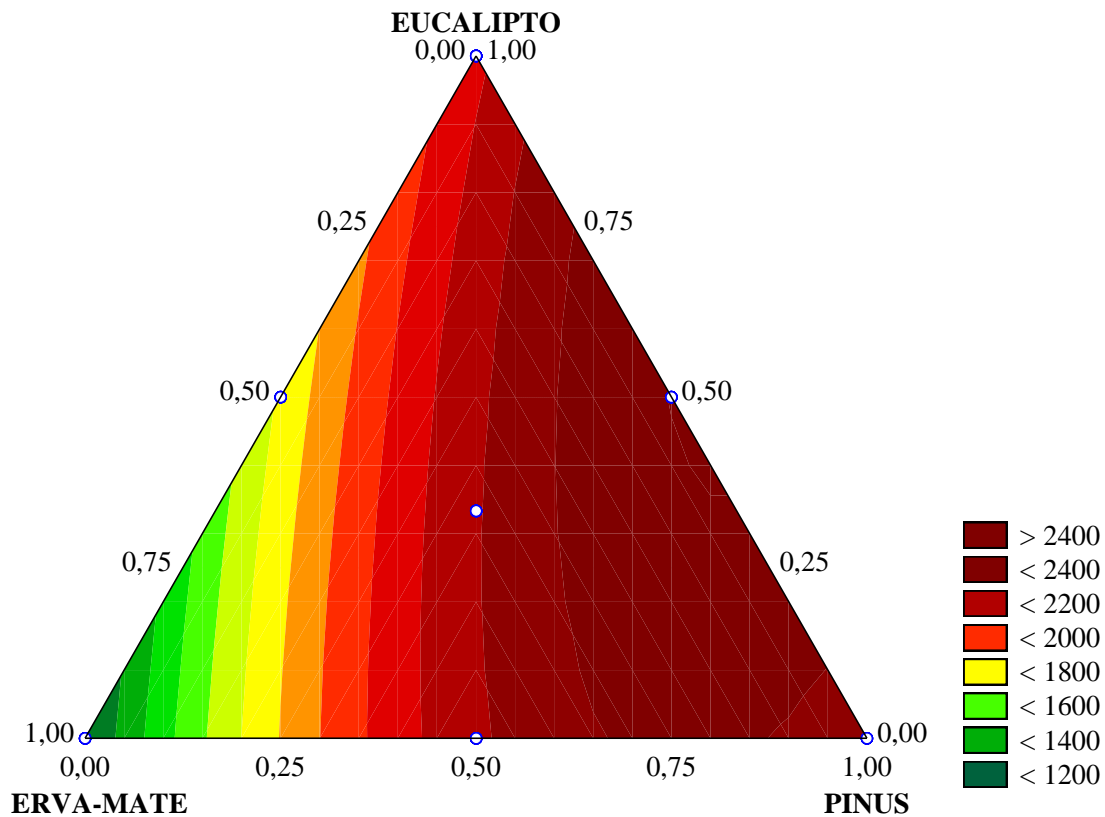
lineares foram significativos para as referidas propriedades mecânicas, mostra que as três espécies que compõe a mistura tem participação nos resultados encontrados. Já para MOE, além de haver contribuição individual de cada espécie, houve também interações entre espécies. Hillig et al. (2003), estudando modelagem de misturas em painéis com diferentes proporções de eucalipto, pinus e acácia negra, também encontrou coeficientes lineares significativos e sinérgicos, entretanto, observou somente modelos lineares, tanto para MOR quanto para MOE.

A análise dos resultados permitiu verificar que o MOE diminuiu com o acréscimo da proporção de partículas de erva-mate. No modelo simplificado, o coeficiente linear para o teor de erva-mate tem valor menor (1189,72) que os coeficientes derivados para o pinus (2221,22) e eucalipto (2073,64). Isso pode ter ocorrido em função do baixo Coef. Esb. das partículas de erva-mate, 4,63 para a CI e 9,98 para a CE. De acordo com Vital et al. (1992), partículas longas e finas (esbeltas) produzem painéis com maior resistência à flexão estática.

Quanto aos coeficientes quadráticos, houve interação entre erva-mate e pinus, assim como pinus e eucalipto, ambas de maneira sinérgica, entretanto a mistura mais eficiente para MOE foi entre erva-mate e pinus, com um coeficiente de 1903,09, valor semelhante aos coeficientes individuais de pinus e eucalipto.

A Figura 5 apresenta o gráfico ternário de MOE em razão da mistura dos três componentes. O referido gráfico representa a área de maiores valores de MOE, a região com maior tonalidade vermelha, conforme esta tonalidade diminui e migra para região amarela e verde, diminui-se a elasticidade do painel. Desta maneira à medida que se aumenta a proporção de pinus ou eucalipto e diminui a proporção de erva-mate obtêm-se maiores valores de MOE. Entretanto é possível visualizar através das curvas de nível do modelo quadrático, que a mistura erva-mate e pinus é favorável até em torno de 50% de partículas de erva-mate.

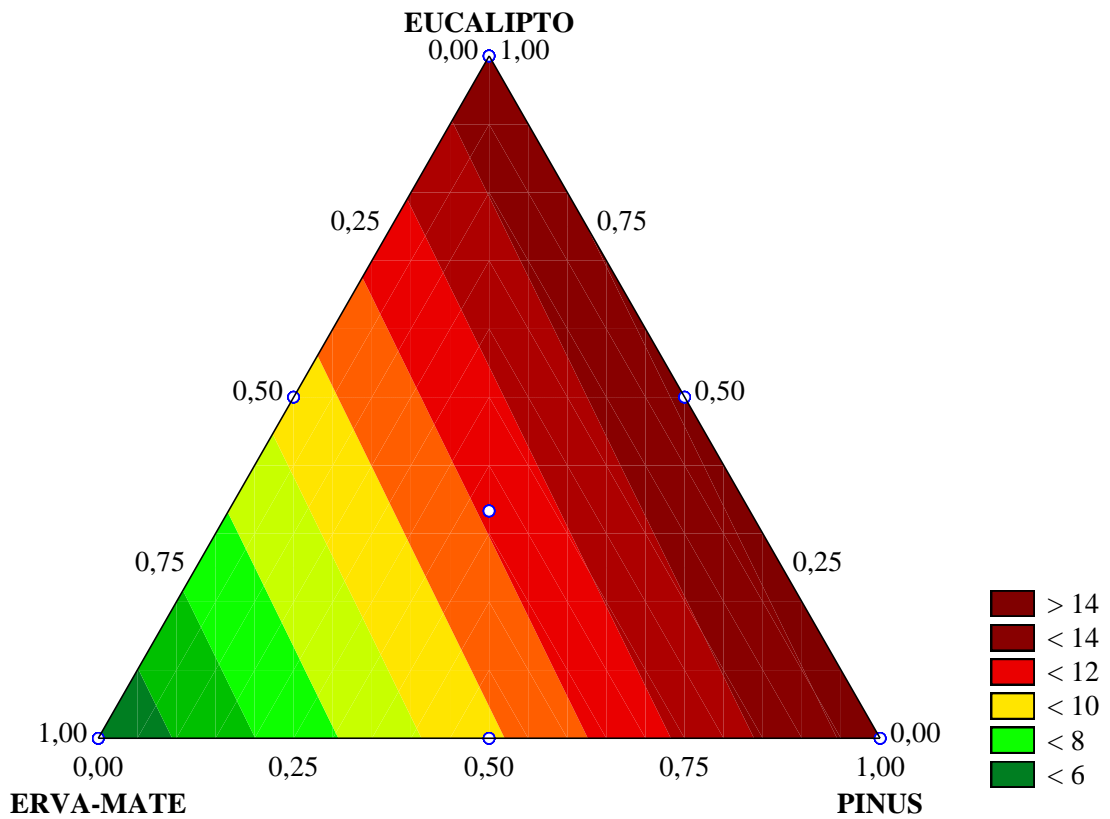
Figura 5 – Gráfico ternário do módulo de elasticidade dos painéis, em função da mistura erva-mate, pinus e eucalipto.



Fonte: autor.

O MOR, diferentemente do MOE, foi explicado por modelo linear. Entretanto os coeficientes lineares para estas duas propriedades tiveram comportamento semelhante, ou seja, assim como no MOE, o MOR apresentou os maiores valores para pinus (14,52) e eucalipto (13,83) e menor para erva-mate (5,11). Tal comportamento pode ser observado através do gráfico ternário da Figura 6, onde a região verde, que representa os menores valores, se concentra mais em direção a erva-mate, a medida que diminui-se a porcentagem da referida espécie e acrescenta-se pinus e/ou eucalipto, aumenta-se os valores de MOR.

Figura 6 – Gráfico ternário do módulo de ruptura dos painéis, em função da mistura erva-mate, pinus e eucalipto.



Fonte: autor.

3.3.2 Arrancamento de parafuso

A Tabela 4 apresenta os resultados médios de AP Face e AP Topo dos painéis confeccionados com a mistura das diferentes espécies, erva-mate, pinus e eucalipto.

Tabela 4 – Valores médios de arrancamento de parafusos na face e topo, nos tratamentos avaliados.

Tratamentos	Partículas (%)			AP Face (N)	AP Topo (N)
	Erva-mate	Pinus	Eucalipto		
T1	0	100	0	995,74	731,82
T3	50	50	0	993,09	700,69
T5	100	0	0	926,48	617,08
T6	0	0	100	1092,62	856,69
T8	50	0	50	999,54	722,50
T10	33,33	33,33	33,33	1034,19	806,52
T11	0	50	50	1047,27	935,64

Onde: AP Face = arrancamento de parafusos na face; AP Topo = arrancamento de parafusos no topo.

Através da Tabela 4, observa-se valores de AP Face com variação de 926,48 a 1092,62 N e AP Topo, de 617,08 a 935,64 N. Assim como nas propriedades de flexão estática, ambas as propriedades mecânicas de AP tiveram valor mínimo para o tratamento 5, com 100% de erva-mate. Sendo assim, os painéis fabricados com partículas madeireiras de erva-mate em grande proporção tiveram tendência a possuir valores inferiores para AP Face e AP Topo.

Carvalho et al. (2015), analisando AP Face em painéis com partículas de erva-mate em combinação com pinus, observou valores de 1452,40 a 1934,90 N, valores estes superiores aos encontrados no presente estudo. Já Sanches (2012) observou valores inferiores em painéis de camadas, compostos pela mistura de *Pinus taeda* e *Mimosa scabrella*, 675,68 N para AP Face e de 539,09 N para AP Topo.

Modes et al. (2012), avaliando painéis de *Peltophorum dubium* com densidade nominal de 630 kg/m³, observaram o valor médio de 568,80 N para o AP Face. Trianoski et al. (2011) obtiveram os valores médios de 1482,96 e 1088,18 N para AP Face e AP Topo, respectivamente, em painéis puros de *Acrocarpus fraxinifolius* com densidade nominal de 750 kg/m³. Iwakiri et al. (2012a) obtiveram os valores médios de 1900 N para AP Face e 1615 N para AP Topo de painéis puros produzidos com *Melia azedarach* sob uma densidade nominal de 750 kg/m³. Dessa forma, observa-se que o valor maior de densidade dos painéis pode resultar em melhores resultados mecânicos. Trianoski (2010) menciona que esta relação se deve a redução dos espaços vazios no painel, que promove um maior contato entre as partículas, gerando assim uma maior resistência mecânica. Dessa forma, a produção de painéis com as espécies estudadas pode apresentar resultados mais promissores quando aumentada a densidade nominal dos painéis.

A norma brasileira ABNT NBR 14810-2 (2013), estabelece valores mínimos de 1020 e 800 N, respectivamente para AP Face e AP Topo. Todos os tratamentos ficaram dentro do exigido ou pelo menos se assemelharam com a norma, exceto o tratamento 5, com 100% erva-mate, que se distanciou um pouco da norma brasileira para AP Topo. Portanto assim como no MOE e MOR, embora a inserção de partículas erva-mate diminua as propriedades de AP Face e AP Topo, se utilizada a referida espécie em combinação com eucalipto e pinus, mostra-se satisfatória e atinge o mínimo exigido pela norma. Dentre os tratamentos com porcentagens de erva-mate, o 10, com 33,33% dos três componentes das mistura, mostrou maior eficiência, com valores superiores ao estabelecido pela ABNT.

Na Tabela 5, são apresentados os modelos simplificados, nos quais foram descartados os coeficientes não-significativos pelo teste “t” de student, a 5% de probabilidade de erro, para as propriedades de AP Face e AP Topo.

Tabela 5 – Modelos simplificados para o arrancamento de parafusos na face e arrancamento de parafusos no topo dos painéis, utilizando-se apenas os coeficientes significativos pelo teste “t”.

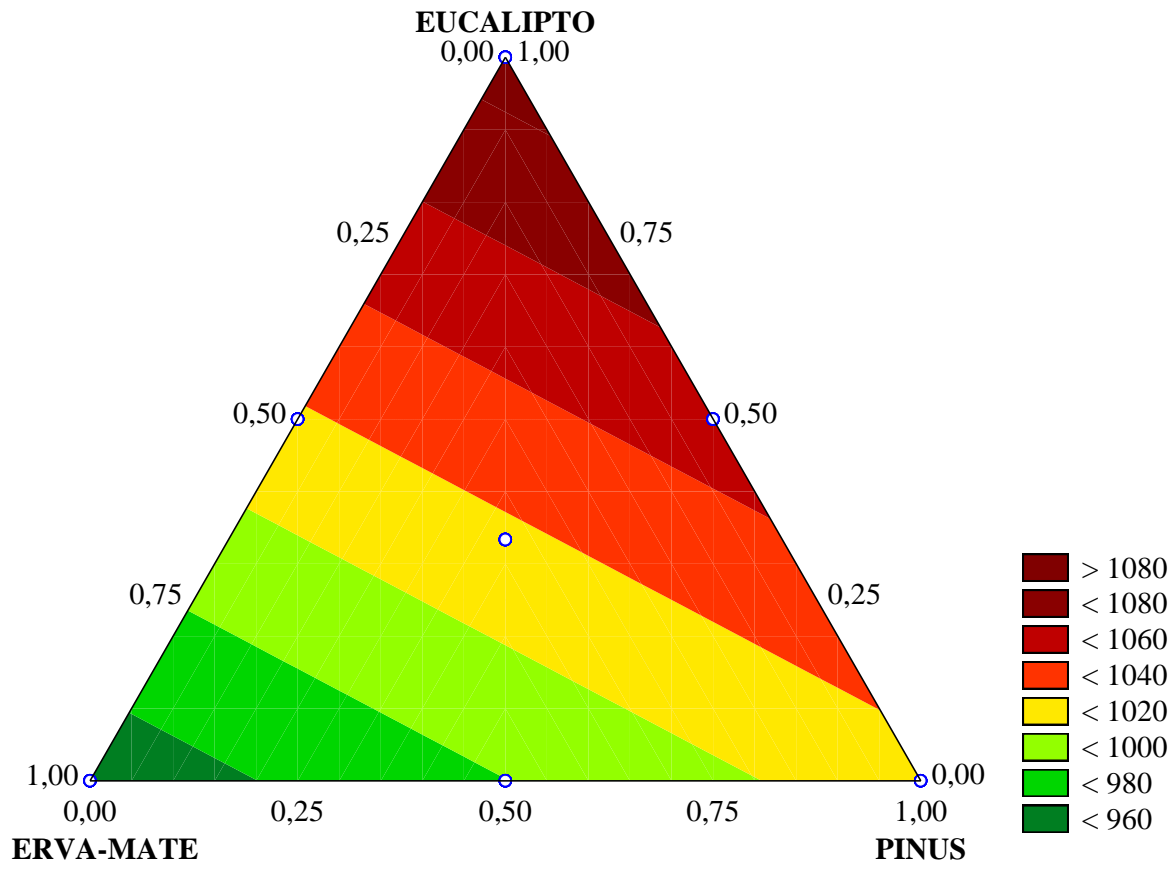
Modelo	F	P	R²
AP Face = 946,66*EM + 1012,63*P + 1088,22*E	3,36	0,0398**	0,151
AP Topo = 646,67*EM + 798,44*P + 889,30*E	9,25	0,0002**	0,254

Onde: ** = Significativo ao nível de 5% de probabilidade de erro; F = Valor de F calculado; P = Probabilidade; R² = Coeficiente de determinação; EM = Erva-mate; P = Pinus; E = Eucalipto; AP Face = arrancamento de parafusos na face; AP Topo = arrancamento de parafusos no topo.

O AP Face e AP Topo apresentaram modelos lineares, com coeficientes sinérgicos. O mesmo foi constatado por Hillig et al. (2003), estudando modelagem de misturas em painéis com diferentes proporções de eucalipto, pinus e acácia negra. Os coeficientes lineares contribuíram de maneira positiva e semelhante para estas propriedades mecânicas, em especial para AP Face, onde o coeficiente de partículas de erva-mate (946,66) ficou muito próximo ao de pinus (1012,63) e eucalipto (1088,22). Carvalho et al. (2015), em seu estudo com painéis de erva-mate e pinus, também encontraram valores próximos de AP Face entre estas duas espécies.

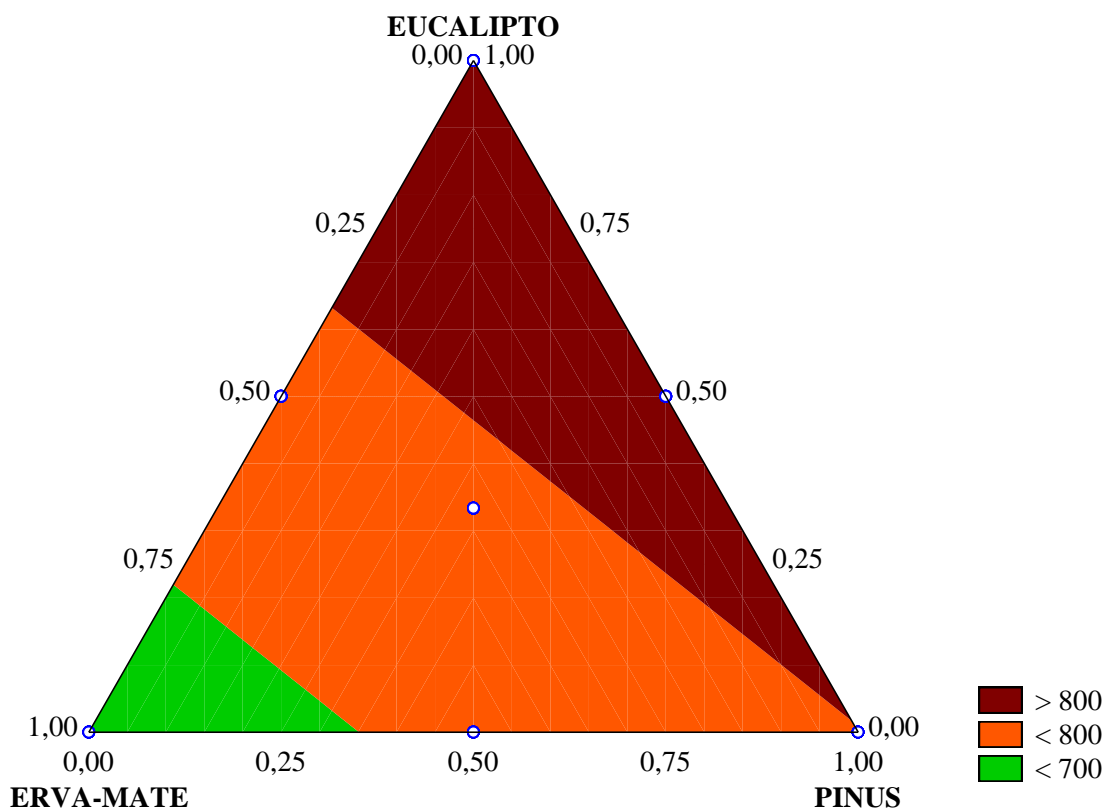
As Figuras 7 e 8 exibem os gráficos ternários para AP Face e AP Topo, respectivamente. Da mesma maneira que nos gráficos anteriores, cores verdes representam valores mais baixos e amarelas e vermelhas, valores mais altos. Entretanto para estas propriedades mecânicas, a amplitude de variação é menor.

Figura 7 – Gráfico ternário do arrancamento de parafusos na face dos painéis, em função da mistura erva-mate, pinus e eucalipto.



Fonte: autor.

Figura 8 – Gráfico ternário do arrancamento de parafusos no topo dos painéis, em função da mistura erva-mate, pinus e eucalipto.



Fonte: autor.

3.3.3 Tração perpendicular à superfície do painel e Resistência superficial

A Tabela 6 apresenta os resultados médios de TP e RS dos painéis confeccionados com a mistura das diferentes espécies, erva-mate, pinus e eucalipto.

Tabela 6 – Valores médios de tração perpendicular à superfície do painel e resistência superficial, nos tratamentos avaliados.

Tratamentos	Partículas (%)			TP (MPa)	RS (MPa)
	Erva-mate	Pinus	Eucalipto		
T1	0	100	0	0,43	0,59
T3	50	50	0	0,54	0,82
T5	100	0	0	0,57	0,90
T6	0	0	100	0,43	1,11
T8	50	0	50	0,48	0,98
T10	33,33	33,33	33,33	0,46	1,04
T11	0	50	50	0,51	1,11

Onde: TP = tração perpendicular à superfície do painel; RS = resistência superficial.

Os valores de TP e RS apresentaram variação de 0,43 a 0,57 MPa e 0,59 a 1,11 MPa, respectivamente. Desta vez, o valor mínimo foi para o tratamento 1 com 100% de pinus, para ambas as propriedades mecânicas e para o tratamento 6 com 100% de eucalipto, para TP. As partículas de erva-mate colaboraram de maneira positiva para TP e RS, já que os tratamentos com presença da referida espécie possuem os valores mais altos, em especial para TP.

Carvalho et al. (2015), no seu estudo com painéis de erva-mate e pinus, também observaram valores mais altos de TP com a inserção de partículas de erva-mate. Os valores de TP obtidos por Bianche et al. (2012), para painéis produzidos com partículas de vassoura (*Sida* sp.), foram da ordem de 0,49 MPa. Colli et al. (2010) determinaram as propriedades de painel fabricados com partículas de madeira de paricá (*Schyzolobium amazonicum* Huber ex. Ducke), combinados com proporções de 10, 20 e 30% de fibras de coco (*Cocos nucifera* L.), obtiveram uma média de 0,18 MPa para a mistura de 30% com fibra de coco e 70% com paricá. Em ambos os trabalhos, essas propriedades foram inferiores às obtidas neste estudo com partículas de resíduo de poda de erva-mate combinados pinus e eucalipto.

Todavia, os autores a seguir utilizando espécies de cunho não convencional, encontraram valores superiores para TP: Iwakiri et al. (2004) observaram o valor médio de 0,71 MPa para *Grevillea robusta*; Iwakiri et al. (2010) 0,76 MPa (*Schizolobium amazonicum*); Trianoski et al. (2011), 1,12 MPa (*Acrocarpus fraxinifolius*); assim como Iwakiri et al. (2012b) que ao estudarem o resíduo de *Ecclinusa guianensis* na produção de painéis particulados, obtiveram o valor médio de 1,46 MPa.

Saldanha (2004) cita que esta variação de resistência para TP, pode ocorrer em função da planicidade das partículas, bem como o índice de esbeltez. Tais características favorecem o processo de aplicação da resina, a formação do colchão e área de contato entre as partículas, ou seja, quanto maiores as razões de planicidade e esbeltez, melhores são as condições de distribuição da resina, o que pode interferir na resistência mecânica dos painéis.

O baixo desempenho das partículas de eucalipto encontrado nos painéis desta pesquisa para TP, também foi observado por Melo e Del Menezzi (2010). Os referidos autores relacionaram o baixo desempenho de painéis de *Eucalyptus grandis* ao gradiente vertical de densidade. Segundo os mesmos autores, esse gradiente pode ser influenciado pelo tipo de matéria-prima e fatores relacionados à prensagem, como tempo de prensagem, tempo de fechamento da prensa e pressão. Vital (1973), ao estudar diferentes espécies de madeira utilizadas na manufatura de painéis aglomerados, verificou que a resistência da TP foi influenciada pela densidade da camada interna do painel.

A norma brasileira ABNT NBR 14810-2 (2013), normatiza a TP e RS com valores mínimos de 0,35 MPa e 1 MPa, respectivamente. Todos os tratamentos ficaram dentro do exigido pela norma para o ensaio de TP, enquanto que para RS, três tratamentos (1, 3 e 5) ficaram abaixo do estabelecido pela ABNT. As partículas de erva-mate proporcionaram ótimos valores para TP e medianos para RS. O tratamento 10, com 33,33% dos três componentes da mistura, mostrou-se eficiente novamente, com valores superiores ao estabelecido pela norma brasileira.

Na Tabela 7, são apresentados os modelos simplificados, nos quais foram descartados os coeficientes não-significativos pelo teste “t” de student, a 5% de probabilidade de erro, para as propriedades de TP e RS.

Tabela 7 – Modelos simplificados para a tração perpendicular à superfície do painel e resistência superficial, utilizando-se apenas os coeficientes significativos pelo teste “t”.

Modelo	F	P	R²
TP = 0,5614*EM + 0,4689*P + 0,4363*E	6,51	0,0025**	0,148
RS = 0,8969*EM + 0,5918*P + 1,1144*E + 1,0261*P*E	9,27	0,0000**	0,577

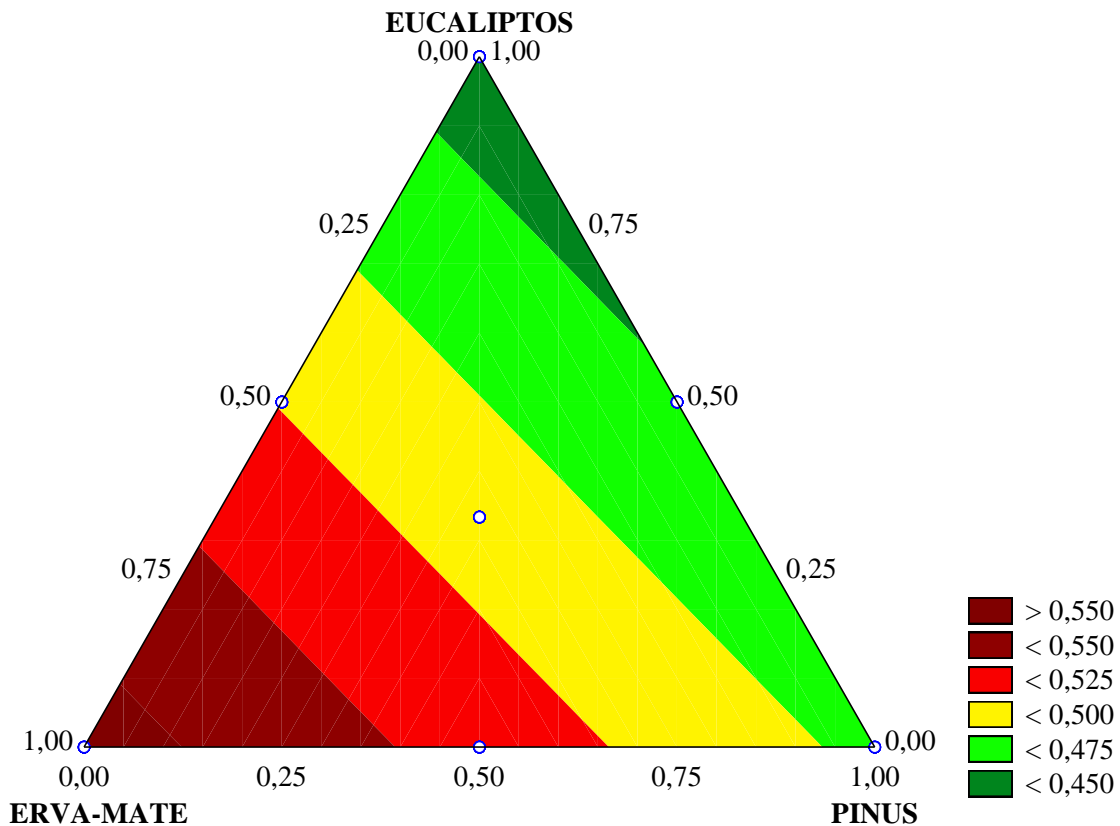
Onde: ** = Significativo ao nível de 5% de probabilidade de erro; F = Valor de F calculado; P = Probabilidade; R² = Coeficiente de determinação; EM = Erva-mate; P = Pinus; E = Eucalipto; TP = tração perpendicular à superfície do painel; RS = resistência superficial.

O ensaio mecânico de TP, que mensura a resistência à tração na CI do painel, foi explicado por modelo linear, com coeficientes lineares e sinérgicos para as três espécies em análise, sendo assim, todos os ingredientes da mistura colaboraram nos resultados encontrados.

A partir de uma breve análise do modelo para TP, verifica-se que esta propriedade mecânica aumenta com o acréscimo da proporção de partículas de erva-mate. No modelo simplificado, o coeficiente linear para o teor de erva-mate tem um valor maior (0,5614) que os coeficientes derivados para o pinus (0,4689) e eucalipto (0,4363). Carvalho et al. (2015), estudando painéis puros e com misturas, entre erva-mate e pinus, observaram o mesmo comportamento.

O gráfico ternário para TP em razão da mistura dos três componentes está representado pela Figura 9, onde pode ser observado os maiores valores de resistência mecânica para as partículas de erva-mate e os menores para eucalipto.

Figura 9 – Gráfico ternário da tração perpendicular à superfície dos painéis, em função da mistura erva-mate, pinus e eucalipto.

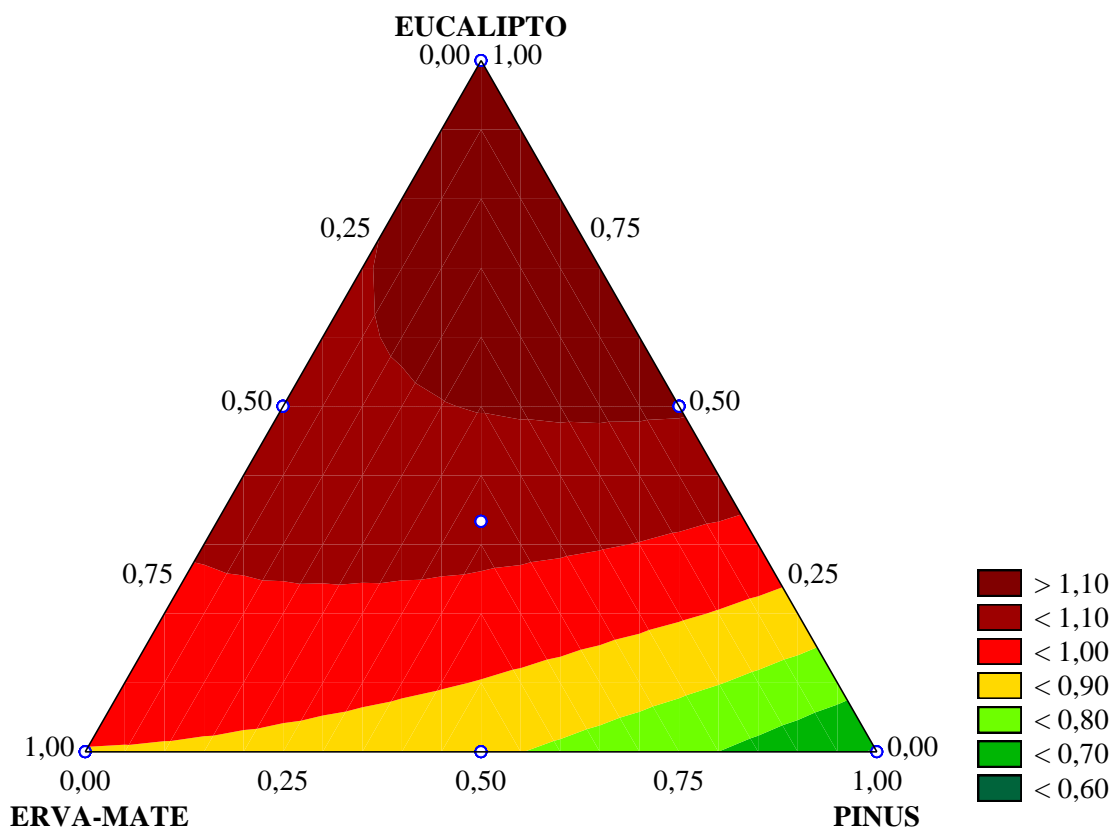


Fonte: autor.

Já o ensaio mecânico para RS, que mensura a resistência na CE do painel, foi explicado por modelo quadrático, apresentando efeito de interação binária. Assim como na TP, houve sinergia para os coeficientes lineares de RS, sendo assim, mais uma vez todos os ingredientes da mistura colaboraram nos resultados encontrados. A maior contribuição ficou por conta das partículas de eucalipto (1,1144), seguida de erva-mate (0,8969) e pinus (0,5918), entretanto o coeficiente quadrático com interação binária entre pinus e eucalipto obteve elevada participação (1,0261), muito semelhante à de eucalipto.

Sendo assim complementando a análise dos resultados, através da Figura 10, é possível observar de maneira elucidativa o gráfico ternário para RS. Os maiores valores estão representados pela cor vermelha enquanto os menores pelo verde, desta maneira, à medida que se aumenta a proporção de eucalipto obtêm-se maiores valores de RS, enquanto que, partículas de erva-mate obtêm-se valores intermediários e pinus valores mais baixos.

Figura 10 – Gráfico ternário da resistência superficial dos painéis, em função da mistura erva-mate, pinus e eucalipto.



Fonte: autor.

3.4 CONCLUSÕES

A modelagem de misturas mostrou que o MOR de flexão estática, AP Face, AP Topo e TP são determinados pelo modelo linear, ou seja, são influenciados apenas pelas características individuais de cada componente na mistura. Por outro lado, as demais propriedades mecânicas são determinadas por modelo quadrático. No MOE de flexão estática, as partículas de erva-mate e pinus, e pinus e eucalipto, interagiram sinergicamente, ou seja, provocando um aumento dessa propriedade. Já na RS, houve interação sinérgica somente para pinus e eucalipto. Dessa forma, as propriedades que seguiram o modelo linear podem ser previstas por meio da soma das propriedades individuais de cada componente da mistura, enquanto as propriedades que seguiram o modelo quadrático devem levar em consideração a interação binária destes componentes.

De maneira geral, o acréscimo do teor de partículas de erva-mate causou diminuição na maioria das propriedades mecânicas avaliadas no presente estudo. Comportamento inverso foi observado no ensaio de TP. No entanto, somente o tratamento 5 com 100% de erva-mate, obteve valores abaixo do exigido pela norma brasileira ABNT, na maior parte dos ensaios mecânicos. Sendo assim, este resíduo apresentou uma ótima performance quando combinado com pinus e eucalipto, apresentando valores satisfatórios e acima do exigido pela norma. Um exemplo disso, é o tratamento 10, com 33,33% para os 3 componentes da mistura, erva-mate, pinus e eucalipto, que obteve valores superiores ao exigido pela ABNT, em todas as propriedades mecânicas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14810**: painéis de madeira de média densidade. Rio de Janeiro, 2013. 69 p.

ABIPA - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE PAINÉIS AGLOMERADOS. **Nossas unidades industriais**. Disponível em: <<http://www.abipa.org.br/industrias.php>>. Acesso em: 12 fev. 2015.

ABIPA - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE PAINÉIS DE MADEIRA. **Programa setorial da qualidade de painéis de partículas de madeira (MDP) e painéis de fibras de madeira (MDF)**. Relatório setorial nº 008. Abril, 2014.

BIANCHE, J. J.; CARNEIRO, A. C. O.; VITAL, B. R.; PEREIRA, F. A.; SANTOS, R. C.; SORATTO, D. N. Propriedades de painéis aglomerados fabricados com partículas de eucalipto (*Eucalyptus urophylla*), paricá (*Schizolobium amazonicum*) e vassoura (*Sida* spp.). **Cerne**, v.8, n.4, p.623-630, 2012.

BIAZUS, A.; HORA, A. B.; LEITE, B. G. P. **Panorama de mercado: painéis de madeira**. BNDES setorial, Rio de Janeiro, n.32, p.49-90, 2010.

BORSATO, D.; DALL'ANTONIA, L. H.; GUEDES, C. L. B.; MAIA, E. C. R.; FREITAS, H. R. de; MOREIRA, I.; SPACINO, K. R. Aplicação do delineamento simplex-centroide no estudo da cinética da oxidação de biodiesel b100 em mistura com antioxidantes sintéticos. **Química Nova**, v. 33, n. 8, p.1726-1731, 2010.

CALEGARI, L.; HASELEIN, C.R.; SCARAVELLI, T.L.; SANTINI, E.J.; STANGERLIN, M.D.; GATTO, D.A.; TREVISAN, R. Desempenho físico-mecânico de painéis fabricados com bambu (*Bambusa vulgaris* Schr.) em combinação com madeira. **Cerne**, v.13, p.57-63, 2007.

CARVALHO, A.G.; ANDRADE, B.G.; CABRAL, C.P.T.; VITAL, B.R. Efeito da adição de resíduos de poda da erva-mate em painéis aglomerados. **Revista Árvore**, Viçosa, v.39, n.1, p.209-214, 2015.

COLLI, A.; VITAL, B. R.; CARNEIRO, A. C. O.; SILVA, J. C.; CARVALHO, A. M. M. L.; DELLA LUCIA, R. M. Propriedades de chapas fabricadas com partículas de madeira de paricá (*Schyzolobium amazonicum* Huber ex. Ducke) e fibras de coco (*Cocos nucifera* L.). **Revista Árvore**, v.34, n.2, p.333-338, 2010.

GUIMARÃES JR., J. B.; ARAÚJO, B. L. M.; LOPES, O. P.; MENDES, R. F.; MENDES, L. M. Produção de painéis aglomerados da madeira de desrama de *Acacia mangium*. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 33, n. 76, p. 387-391, 2013.

HILLIG, E.; HASELEIN, C. R.; IWAKIRI, S. Modelagem de mistura de três espécies de madeiras na fabricação de chapas estruturais. **Floresta (UFPR)**, Curitiba, v. 33, n. 3, p. 311 – 320, 2003.

HIZIROGLU, S.; JARUSOMBUTI, S.; FUEANGVIVAT, S.; BAUCHONGKOL, P.; SOONTONBURA, W.; DARAPAK, T. Properties of bamboo-rice straw-eucalyptus composite panels. **Forest Products Journal**, v.55, n.12, p. 221-225. 2005.

IWAKIRI, S.; MATOS, J. L. M.; TRIANOSKI, R.; PRATA, J. G. Produção de painéis aglomerados homogêneos e multicamadas de *Melia azedarach* (cinamomo) e *Pinus taeda* com diferentes teores de resina. **Cerne**, Lavras, v. 18, n. 3, p. 465-470, jul./set. 2012a.

IWAKIRI, S.; SHIMIZU, J.; SILVA, J. C.; DEL MENEZZI, C. H. S.; PUEHRINGHER, C. A.; VENSON, I.; LARROCA, C. 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.; VIANEZ, B. F.; WEBER, C.; TRIANOSKI, R.; ALMEIDA, V. C. Avaliação das propriedades de painéis aglomerados produzidos com resíduo de serrarias de nove espécies de madeiras tropicais da Amazônia. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 42, n. 1, p. 59-64, mar. 2012b.

IWAKIRI, S.; ZELLER, F.; PINTO, J. A.; RAMIREZ, M. G. L.; SOUZA, M. M.; SEIXAS, R. Avaliação do potencial de utilização da madeira de *Schizolobium amazonicum* “Paricá” e *Cecropia hololeuca* “Embaúba” para produção de painéis aglomerados. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 40, n. 2, p. 303-308, 2010.

MALONEY, T.M. **Modern particleboard e dry-process fiberboard**. San Francisco: Miller Freeman, 1993. 681p.

MELO, R.R.; DEL MENEZZI, C.H.S. Influência da massa específica nas propriedades físico-mecânicas de painéis aglomerados. **Silva Lusitana**, v.18, p.59-73, 2010.

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

- MODES, K. S.; VIVIAN, M. A.; LILGE, D. S.; MELO, R. R.; SANTINI, E. J.; HASELEIN, C. R. Utilização da madeira de canafistula (*Peltophorum dubium* (Spreng.) Taub.) na confecção de chapas de madeira aglomeradas. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 22, n. 1, p. 147-159, jan./mar. 2012.
- MORESCHI, J. C. **Propriedades Tecnológicas da Madeira** - Manual Didático, UFPR, 2005. 168p.
- SALDANHA, L. K. **Alternativas tecnológicas para produção de chapas de partículas orientadas "OSB"**. 2004. 83 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.
- SANCHES, F. L. **Qualidade de painéis aglomerados produzidos com mistura de madeira de quatro espécies florestais**. 2012. 93 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Estadual do Centro Oeste, Irati, 2012.
- SILVA, J. C.; MATOS, J. L. M.; OLIVEIRA, J. T. S.; EVANGELISTA, W. V. Influência da idade e da posição radial na flexão estática da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden. **Revista Árvore**, v.29, n.5, p.795-799, 2005.
- SOUZA, J. T. **Aproveitamento da casca de arroz para fabricação de chapas aglomeradas**. 2012. 94 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.
- STANGERLIN, D.M. et al. Durabilidade natural de painéis aglomerados confeccionados com *Eucalyptus grandis* e *Bambusa vulgaris* em ensaio de apodrecimento acelerado. **Ciência Rural**, v.48, n.8, 1369-1374, 2011.
- TRIANOSKI, R. **Avaliação do potencial de espécies florestais alternativas, de rápido crescimento, para produção de painéis de madeira aglomerada**. 2010. 260 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.
- TRIANOSKI, R.; IWAKIRI, S.; MATOS, J. L. M.; PRATA, J. G. Viabilidade da utilização de *Acrocarpus fraxinifolius* em diferentes proporções com *Pinus spp.* para produção de painéis aglomerados. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 39, n. 91, p. 343-350, set. 2011.
- VITAL, B. R. **Effects of species and panel densities on properties of hardwood particleboard**. 1973. 111 p. Dissertação (Magister in Forestry) – University of Wisconsin, Madison – WI, 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.
- VIVIAN, M. A. **Resistência Biológica Da Madeira Tratada De *Eucalyptus Grandis* E *Eucalyptus Cloeziana* Em Ensaio De Laboratório E Campo**. 2011. 105 f. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Área de Concentração em Tecnologia de Produtos Florestais) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.
- XU, X.; ZHOU, D.G.; WU, Q. A laboratory trial of manufacturing kenaf core particleboard. **Journal of Nanjing Forestry University**. v.29, n.1, p.15-19. 2005.

4 CAPÍTULO III – PROPRIEDADES NÃO DESTRUTIVAS DO MDP PRODUZIDO COM PARTÍCULAS DE MADEIRA DE *Ilex paraguariensis*, *Pinus elliottii* E *Eucalyptus grandis*

4.1 INTRODUÇÃO

Na indústria de produtos florestais o uso de tecnologias não destrutivas de materiais, podem auxiliar na implementação de programas de classificação de compostos de madeira, resultando em um material engenheirado, com desempenho e características bem definidas (HAN et al., 2006). A previsibilidade quanto à performance estrutural dessa classe de produtos é indispensável para o tipo de uso que lhe é atribuído e pode ser atingida utilizando diferentes técnicas já consolidadas de avaliações não destrutivas, as quais possibilitam estimar as propriedades dos materiais e auxiliam nas definições de seu uso adequado (ROSS et al., 2004).

Os métodos de avaliação não destrutivos podem ser definidos como aqueles que identificam as propriedades dos materiais sem alterar suas características estruturais e, conseqüentemente, sua capacidade de uso final. Como vantagens proporcionadas por esses métodos podem ser citados - a estimativa das propriedades sem a destruição de peças; a obtenção de informações que possam ser utilizadas para tomada de decisão no uso adequado de peças estruturais; adequabilidade para uso em linhas de produção; rapidez e praticidade na obtenção dos resultados (PELLERIN; ROSS, 2002). Tais aspectos fazem das técnicas não destrutivas importantes ferramentas na caracterização da madeira e compostos de madeira, podendo ser empregados pelas indústrias para melhorar o controle de qualidade dos produtos por meio de uma maior uniformidade na matéria-prima e em seus derivados (ERIKSON et al., 2000).

Existem diversos tipos de métodos de avaliação não destrutivos e quase a totalidade destes se adequam à utilização em madeiras e compostos de madeira, sendo a sua escolha definida em função dos recursos disponíveis e, das características e peculiaridades do material. A caracterização visual, ensaios de deflexão, ondas acústicas, propriedades elétricas, radiações gama, espectroscopia no infravermelho próximo, método de raios X, dentre outros, são alguns dos exemplos de métodos de não destrutivos que podem ser utilizados. Destes, os mais comumente empregados são os que utilizam ondas acústicas obtidas por meio de aparelhos como ultrassom (BODIG, 2001) e o colorímetro, método quantitativo para a determinação da cor (GONÇALEZ et al., 2001).

O ultrassom utiliza frequências mais altas, similar ao *Stress Wave*, com a diferença de que as ondas são induzidas por transdutores e não por impacto (BODIG, 2001). Este equipamento tem demonstrado ser um valioso instrumento para a estimativa das propriedades da madeira. O manuseio é simples e seu custo não é alto, o que tem disseminado o seu uso em várias partes do mundo. Paralelamente a isso, cresce o interesse em torno de ensaios não destrutivos para a determinação de propriedades físicas e mecânicas de toda a sorte de materiais, vindo de encontro com a visão deste novo século, que deverá ser pautado pelos cuidados com a preservação ambiental (BARTHOLOMEU, 2001).

Segundo Stangerlin et al. (2008), diversos pesquisadores têm demonstrado a viabilidade do uso do ultrassom para estimativa das propriedades mecânicas da madeira. No entanto, segundo Han et al. (2006), a existência de espaços vazios e descontinuidades em materiais compostos, como aglomerados e MDP, podem influir na propagação da onda, dissipando-a e aumentando o tempo da propagação.

Conforme descrito por Oliveira (2001), os avanços tecnológicos têm permitido melhorar o aproveitamento da madeira e de seus derivados, criando novos produtos e ampliando sua aplicação. Dentre esses avanços, pode-se destacar a técnica de ultrassom como uma importante ferramenta para classificar peças estruturais de madeira, e dessa forma, permitir um incremento na qualidade e na competitividade desse material. No entanto, para isso se faz necessária a compreensão do fenômeno de propagação das ondas ultra-sônicas no material, mediante estabelecimento de relações entre as diversas variáveis envolvidas.

Para a determinação da cor, existem dois métodos, o comparativo e o quantitativo. O método comparativo ou sistema de ordenação de cores mais conhecido é o sistema Munsell, que tem como base um atlas de cor que serve para selecionar, medir e comparar a aparência dos objetos. Por sua vez, o método quantitativo mais utilizado é a colorimetria, a ciência da medição da cor (GONÇALEZ et al., 2001).

Para a pesquisa científica e para o controle de qualidade industrial Gonzalez e Macedo (2003) afirmam que são necessários métodos de determinação da cor mais precisos e eficientes, como a colorimetria.

Segundo Costa (2009), é necessária a implementação de novas tecnologias para que o conhecimento prévio das propriedades da madeira a ser utilizada e comercializada seja dinâmico e menos oneroso. Dentro desse contexto, as técnicas não destrutivas apresentam vantagens em relação aos métodos convencionais para caracterização da madeira, permitindo avaliar uma peça sem ter de extrair amostras de maiores dimensões como é o caso dos ensaios destrutivos. Além disso, um grande volume de material pode ser analisado com maior rapidez

e precisão, tornando-se versátil seu enquadramento numa rotina de linha de produção. Dentre estas técnicas inclui-se a colorimetria.

A colorimetria quantitativa é uma metodologia objetiva e eficaz para a medição da cor da madeira. Existem dois tipos de aparelhos apropriados para descrever numericamente cada elemento da composição de uma cor em superfícies, os colorímetros e os espectrofotômetros (GONÇALEZ et al., 2001).

Segundo Rappold e Smith (2004) os colorímetros possuem uma série de filtros e fotodetectores para quantificar a cor dos materiais expostos a luz; e os espectrofotômetros iluminam a superfície do objeto a ser medido e calculam o comprimento de onda e a quantidade de luz por ela refletida.

Os colorímetros foram os principais aparelhos para análise numérica da cor, por serem portáteis, de fácil manuseio, apresentarem baixo custo de fabricação e permitirem a obtenção diretos dos valores das medidas dos componentes cromáticos (GONÇALEZ; MACEDO, 2003).

De acordo com Mori et al. (2005), a análise final da cor de qualquer produto lhe garante um padrão de qualidade de mercado, exigido mundialmente. Associada a superfície e ao desenho de uma peça de madeira e seus derivados, a cor é um dos componentes estéticos. Por isso, esta propriedade deve ser incorporada ao planejamento visando a caracterização tecnológica de todo material madeireiro, para atender aos usos mais nobres desse material.

Acrescenta-se ainda, que a percepção da qualidade de um produto está relacionada com a sua utilização. Um dos principais critérios de determinação da qualidade é a aparência superficial, principalmente se o uso final da madeira for a fabricação de móveis, de assoalhos ou de objetos decorativos. Padrões específicos de cores e desenhos são apontados como tendências e modismos na indústria moveleira, tornando o visual do material um fator limitante na escolha de uma espécie.

Conforme concluíram Gonzalez et al. (2006) em estudo mercadológico, o consumidor ao comprar artefatos de madeira, além de privilegiar quesitos como preço, qualidade e durabilidade, observa também a aparência do objeto, seu “design” e seus componentes, por consequência, a cor torna-se um fator importante na escolha.

Para responder ao aumento das exigências do mercado internacional e também do nacional, equipamentos para a especificação e reprodução exata da cor tornam-se cada vez mais importantes e necessários para a obtenção de produtos de qualidade superior e para garantir um mercado mais competitivo.

Em vista do exposto acima, este capítulo tem por objetivo, estimar as propriedades físico-mecânicas por meio do ultrassom e determinar a variação da cor através de colorímetro, em painéis MDP produzidos com diferentes proporções de resíduos madeireiros de erva-mate (*Ilex paraguariensis*), em combinação com *Eucalyptus grandis* e *Pinus elliottii*.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

4.2.1 Coleta e preparo da matéria-prima

As informações referentes à coleta e preparação das partículas madeireiras de erva-mate, *Eucalyptus grandis* e *Pinus elliottii*, bem como a aquisição do adesivo à base de ureia-formaldeído, seguem os procedimentos descritos no Material e métodos, subseção 1.2.1.

4.2.2 Processo de produção dos painéis MDP

A produção dos painéis MDP, características das diferentes camadas, bem como equipamentos utilizados, seguem os procedimentos descritos no Material e métodos, subseção 1.2.2.

4.2.3 Ensaio não destrutivo com ultrassom

A determinação das propriedades físicas e mecânicas seguem os procedimentos descritos no capítulo 1 e 2.

Antecedendo o ensaio de flexão estática, foram realizados os ensaios não destrutivos com um equipamento portátil de ultrassom, dotado de transdutores de pontos secos (Figura 1a) com frequência de aproximadamente 50 kHz, que medem diretamente o tempo de propagação das ondas, em microssegundos (μs). A determinação do tempo de propagação das ondas foi realizado pelo método de transmissão direta (Figura 1b).

Figura 1 – Equipamento de ultrassom com transdutores de pontos secos (a); Ensaio de propagação direta (b).



Fonte: autor.

As leituras do tempo de propagação da onda, foram obtidas a partir da razão entre a média das leituras e o comprimento do trecho percorrido pela onda; assim, foi calculada a velocidade de propagação, em metros por segundo (m/s). O cálculo do módulo de elasticidade dinâmico (MOED) pelo método de propagação direto, foi por meio da Equação 1.

$$\text{MOED} = \frac{\text{VP}^2 \times \text{DA}}{\text{G}} \times 10^{-5} \quad (1)$$

Onde:

MOED = Módulo de elasticidade dinâmico (MPa);

VP = Velocidade de propagação da onda (m/s);

DA = Densidade aparente (kg/m³);

g = aceleração da gravidade, 9,804 m/s².

O MOED foi correlacionado com as características físicas e mecânicas dos corpos de prova.

4.2.4 Ensaio de colorimetria

A avaliação colorimétrica das amostras ocorreu por meio de um colorímetro digital da marca Konica Minolta, modelo CR-400/401 (Figura 2), da Universidade Federal de Pelotas (UFPel). O aparelho foi configurado para o uso de fonte de luz D65 e ângulo de observação de 10° no sistema CIELAB 1976, conforme Figura 3.

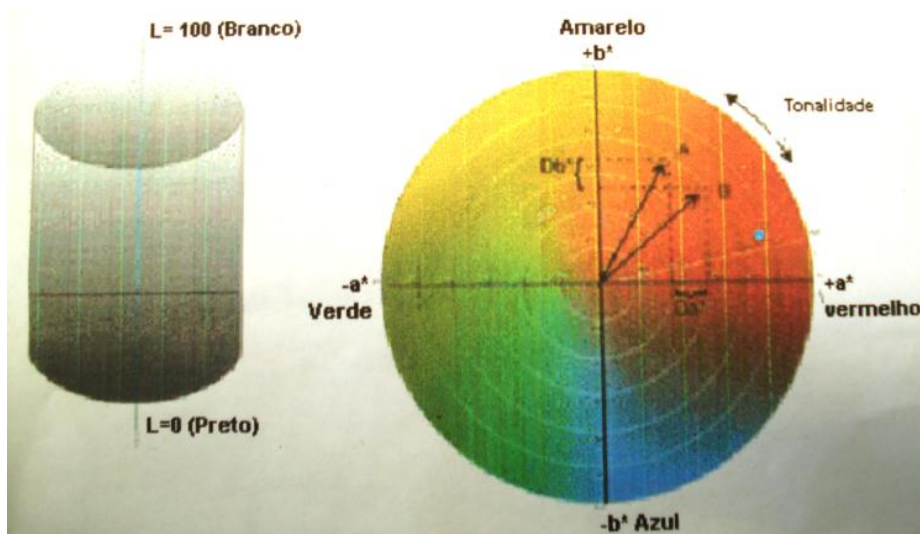
Figura 2 – Colorímetro digital da marca Konica Minolta, modelo CR-400/401.



Fonte: Martins (2013).

A Figura 3 ilustra o sistema CIELAB 1976 (ou CIE $L^* a^* b^*$).

Figura 3 – Representação do sistema colorimétrico CIELAB 1976.



Fonte: Silva (2004).

Foram realizadas 6 medições em cada corpo de prova, sendo que para cada tratamento houve 4 repetições, perfazendo assim, um total de 24 medições por tratamento.

O colorímetro fornece, em seu display, as seguintes variáveis: “ L^* ”, correspondente ao grau de claridade (0=preto até 100=branco); a^* e b^* , correspondentes as coordenadas verde-vermelho (“ $-a^*$ ” e “ $+a^*$ ”) e azul-amarelo (“ $-b^*$ ” e “ $+b^*$ ”), respectivamente.

A partir das variáveis L^* , a^* e b^* , calculou-se os valores C (saturação da cor) e h^* (ângulo de tinta ou tonalidade, o qual define a cor final do corpo de prova), conforme as Equações 2 e 3.

$$C = [(a^*)^2 + (b^*)^2]^{1/2} \quad (2)$$

$$h = \tan^{-1} \times \frac{b^*}{a^*} \quad (3)$$

Onde:

a^* = matizes do eixo vermelho (+) e verde (-);

b^* = matizes do eixo amarelo (+) e azul (-);

C = saturação da cor;

h^* = ângulo de tinta.

4.2.5 Delineamento experimental

Objetivando avaliar o efeito das partículas madeireiras de erva-mate na manufatura de painéis MDP, foi combinando 11 diferentes proporções de partículas de *Ilex paraguariensis*, com *Eucalyptus grandis* e *Pinus elliottii*, coladas com ureia-formaldeído.

Portanto foram avaliados 11 tratamentos (Tabela 1), com 4 repetições cada, perfazendo um total de 44 painéis MDP, com as dimensões de 49 x 49 x 1,50 cm, todos confeccionados com massa específica nominal de 0,65 g/cm³.

Tabela 1 – Tratamentos utilizados no experimento.

Tratamentos	Partículas (%)		
	Erva-mate	Pinus	Eucalipto
T1	0	100	0
T2	25	75	0
T3	50	50	0
T4	75	25	0
T5	100	0	0
T6	0	0	100
T7	25	0	75
T8	50	0	50
T9	75	0	25
T10	33,33	33,33	33,33
T11	0	50	50

4.2.6 Análise estatística dos dados

Os resultados dos ensaios físicos, mecânicos e não destrutivos foram submetidos à análise de correlação simples de Pearson a 5% de probabilidade de erro. Após, buscou-se o ajuste de equações lineares que visavam estimar o desempenho dos painéis MDP quanto as suas propriedades físicas (absorção d'água e inchamento em espessura) e mecânicas (flexão estática, arrancamento de parafusos, tração perpendicular à superfície do painel e resistência superficial) observadas nos ensaios destrutivos, em função do MOED obtido por meio do ultrassom.

Para avaliar o efeito dos diferentes tratamentos sobre os parâmetros colorimétricos dos painéis MDP, fez-se uma análise de variância e, quando significativa, foi aplicado o teste de média de Scott – Knott, a 5% de probabilidade de erro. Optou-se pelo teste de Scott – Knott para melhor interpretação dos resultados, já que o presente experimento possui um grande número de tratamentos, havendo interesse numa separação real de grupos de médias, sem a ambiguidade de resultados.

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.3.1 Estimativa das propriedades físicas por meio do ultrassom

Para auxiliar na interpretação dos dados, são apresentados na Tabela 2 os resultados médios do MOED, absorção d'água e inchamento em espessura dos painéis confeccionados com a mistura das diferentes espécies, erva-mate, pinus e eucalipto.

Tabela 2 – Valores médios do módulo de elasticidade dinâmico e as propriedades físicas, nos tratamentos avaliados.

Trat.	Partículas (%)			MOED (MPa)	AB 2H (%)	AB 24H (%)	IE 2H (%)	IE 24H (%)
	Erva-mate	Pinus	Eucalipto					
1	0	100	0	2871,02	14,05	57,75	5,92	37,11
2	25	75	0	2763,42	18,03	64,02	7,47	29,17
3	50	50	0	2321,52	24,41	71,60	9,66	35,65
4	75	25	0	1811,55	31,09	78,74	8,35	43,28
5	100	0	0	1657,41	48,35	85,93	12,98	39,10
6	0	0	100	2704,65	10,56	33,13	3,23	24,93
7	25	0	75	2207,19	22,58	55,64	9,87	38,68
8	50	0	50	2261,79	33,37	72,40	14,86	39,94
9	75	0	25	2029,83	39,26	72,16	15,00	32,94
10	33,33	33,33	33,33	2469,49	24,27	60,05	8,19	30,05
11	0	50	50	2893,70	8,58	38,84	3,23	25,39

Onde: Trat. = Tratamentos; MOED = Módulo de elasticidade dinâmico; AB 2H = Absorção d'água após 2 horas; AB 24H = Absorção d'água após 24 horas; IE 2H = Inchamento em espessura após 2 horas; IE 24H = Inchamento em espessura após 24 horas.

Na Tabela 3, observa-se a matriz de correlação entre o MOED e as propriedades físicas dos painéis, para os 11 tratamentos avaliados. Todas as propriedades físicas tiveram correlação significativa a 5% de probabilidade de erro com o MOED, sendo que, as melhores correlações foram observadas para os parâmetros AB 2H (0,9096) e AB 24H (0,7916). Morais (2011), estudando painéis de partículas com diferentes proporções de bambu, pinus e eucalipto, encontrou correlações significativas somente entre MOED e, AB 2H e AB 24H.

Tabela 3 – Matriz de correlação de Pearson entre o módulo de elasticidade dinâmico e as propriedades físicas dos painéis.

	AB 2H	AB 24H	IE 2H	IE 24H
MOED	-0,9016**	-0,7916**	-0,7139**	-0,7026**

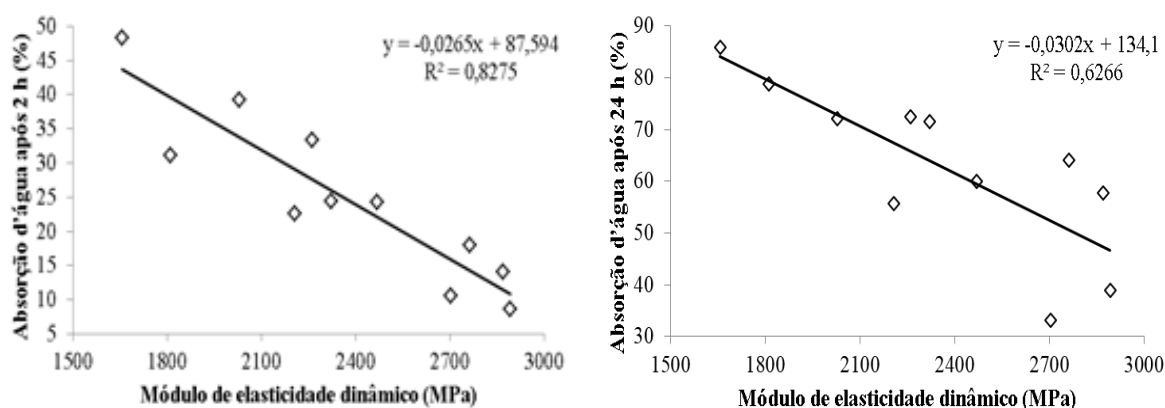
Onde: ** = Significativo ao nível de 5% de probabilidade de erro; MOED = Módulo de elasticidade dinâmico; AB 2H = Absorção d'água após 2 horas; AB 24H = Absorção d'água após 24 horas; IE 2H = Inchamento em espessura após 2 horas; IE 24H = Inchamento em espessura após 24 horas.

Embora diversas pesquisas venham demonstrando a eficácia de métodos não destrutivos na estimativa das propriedades mecânicas de painéis (MATOS, 1997; BORTOLETTO JÚNIOR, 2006; GABRIEL, 2007; ROSS et al., 2004; VALLANCE, 2009), poucos estudos têm sido desenvolvidos visando a utilização desta ferramenta na predição de parâmetros relacionados a estabilidade dimensional destes produtos. Apesar de autores como, Miná et al. (2004), explicarem que o ultrassom não deve ser utilizado para a estimativa das propriedades físicas, pois os ensaios não destrutivos são baseados nas propriedades mecânicas dos materiais, no presente estudo, com o uso do ultrassom, foi possível estimar de forma significativa os percentuais de absorção d'água e inchamento em espessura dos painéis MDP. Melo (2012), analisando painéis estruturais, também obteve significância na estimativa destas propriedades físicas, assim como Morais (2011), com painéis de partículas, obteve significância na estimativa das propriedades de AB 2H e AB 24H.

As Figuras 4 e 5 evidenciam os modelos estimados para AB 2H, AB 24H, IE 2H e IE 24H, em função do MOED. Houve similaridade de comportamento entre as propriedades físicas, já que todas decresceram com o aumento do MOED. Esse comportamento pode ser atribuído ao fato de que em madeiras ou compostos de madeiras, a variável MOED ser diretamente proporcional a sua massa específica (ROSS et al., 1998). Deste modo, conforme observado por Melo e Del Menezzi (2010), uma maior taxa de absorção d'água e inchamento em espessura observada, para amostras com menor MOED, pode ser atribuída ao maior volume de espaços vazios destas, que possam ser ocupados por água.

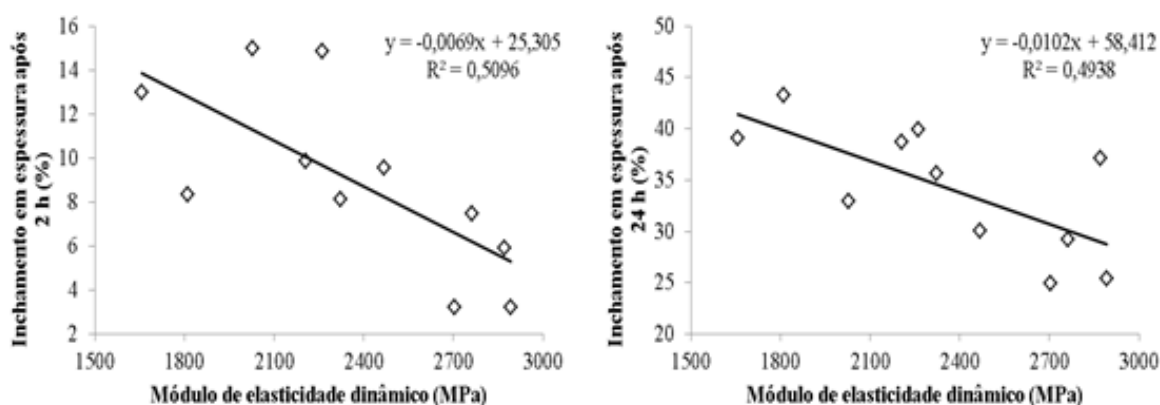
Ainda nas Figuras 4 e 5, é possível observar que os maiores coeficientes de determinação da reta ajustada é para AB 2H e AB 24H, com 82,75% e 62,66%, respectivamente. Reforçando assim, os maiores valores de correlação encontrados para estas propriedades, na matriz de correlação de Pearson (Tabela 3).

Figura 4 – Estimativa da absorção d'água após 2 e 24 horas de imersão, em função do módulo de elasticidade dinâmico obtido por meio do ultrassom.



Fonte: autor.

Figura 5 – Estimativa do inchamento em espessura após 2 e 24 horas de imersão, em função do módulo de elasticidade dinâmico obtido por meio do ultrassom.



Fonte: autor.

4.3.2 Estimativa das propriedades mecânicas por meio do ultrassom

A Tabela 4 apresenta os resultados médios do MOED e, MOE e MOR de flexão estática dos painéis confeccionados com a mistura das diferentes espécies, erva-mate, pinus e eucalipto.

Tabela 4 – Valores médios do módulo de elasticidade dinâmico e as propriedades mecânicas de flexão estática, nos tratamentos avaliados.

Trat.	Partículas (%)			MOED (MPa)	MOE (MPa)	MOR (MPa)
	Erva-mate	Pinus	Eucalipto			
1	0	100	0	2871,02	2208,82	13,74
2	25	75	0	2763,42	2470,98	13,76
3	50	50	0	2321,52	2214,32	10,36
4	75	25	0	1811,55	1655,20	7,74
5	100	0	0	1657,41	1181,45	4,84
6	0	0	100	2704,65	2065,37	13,67
7	25	0	75	2207,19	1916,81	9,76
8	50	0	50	2261,79	1749,80	9,30
9	75	0	25	2029,83	1729,96	8,86
10	33,33	33,33	33,33	2469,49	2101,46	11,43
11	0	50	50	2893,70	2435,49	14,50

Onde: Trat. = Tratamentos; MOED = Módulo de elasticidade dinâmico; MOE = Módulo de elasticidade estático; MOR = Módulo de ruptura.

Através da Tabela 5, é possível analisar a matriz de correlação entre MOED e, MOE e MOR dos painéis, para os 11 tratamentos avaliados. Houve correlação significativa a 5% de probabilidade de erro entre o MOED e as propriedades de flexão, MOE e MOR, sendo a melhor correlação para MOR (0,9832).

Tabela 5 – Matriz de correlação de Pearson entre o módulo de elasticidade dinâmico e as propriedades mecânicas de flexão estática dos painéis.

	MOE	MOR
MOED	0,9037**	0,9832**

Onde: ** = Significativo ao nível de 5% de probabilidade de erro; MOED = Módulo de elasticidade dinâmico; MOE = Módulo de elasticidade estático; MOR = Módulo de ruptura.

Jayne, em 1959, propôs a hipótese fundamental para o uso do ultrassom em madeiras. O autor afirma que as propriedades anatômicas e químicas da madeira, que servem para armazenar e dissipar a energia do ultrassom são controladas pelos mesmos mecanismos que determinam o seu comportamento mecânico em condições estáticas. Desse modo, ao comparar-se o comportamento do MOED com o MOR e com MOE, nota-se comportamentos similares, uma vez que o aumento do MOR e MOE aumenta o MOED (Figura 6).

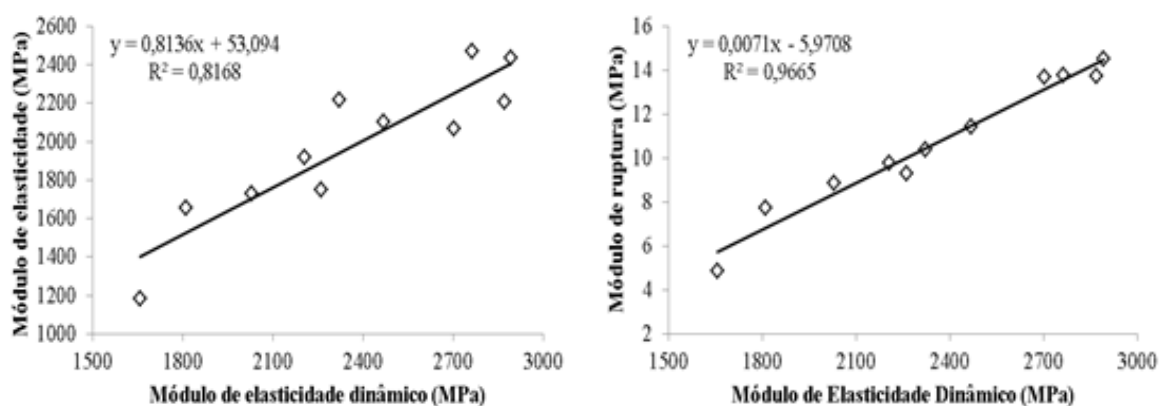
Jayne (1959); Pellerin (1965); Kaiserlik e Pellerin (1977); Ross e Pellerin (1988); Sandoz (2000) e Stangerlin et al. (2010) observaram, experimentalmente, nos respectivos estudos, relações entre os ensaios não destrutivos e os mecânicos. Porém, Lapo e Beraldo (2008) não encontraram relações entre o MOED e o MOR utilizando o método de propagação direto, e recomendam o uso da propagação da onda ultrassônica ao longo da espessura do painel, varrendo-se uma grande quantidade de pontos. Todavia, no presente estudo foi observada a correlação entre o MOED e o MOR, não sendo necessária a amostragem em vários pontos dos corpos de prova.

De acordo com a Tabela 5 e a Figura 6, o MOR apresentou melhor correlação com o MOED, fato também observado por Morais (2011), estudando painéis de partículas com diferentes proporções de bambu, pinus e eucalipto. O mesmo não foi observado por Halabe et al. (1995), ao correlacionar o MOE e MOR com as constantes elásticas dinâmicas obtidas mediante ensaios de propagação de ondas ultrassônicas em madeira verde de diferentes espécies. Conforme Oliveira et al. (2003) e Miná et al. (2004), este comportamento se deve ao fato de que as medições dinâmicas são baseadas nas propriedades mecânicas apenas no limite elástico. O MOR acontece em maior tensão e depois do limite elástico, resultando, conseqüentemente, em predições menos eficazes por meio dos ensaios não destrutivos.

O MOED obtido pelo método ultrassônico foi superior ao MOE verificado pelo ensaio destrutivo. Este resultado está de acordo com o obtido por Morales (2006) e Morais (2011), ao estudarem painéis de partículas. Stangerlin et al. (2008) citam que na caracterização do comportamento mecânico da madeira sólida, comumente, são verificados valores do MOED superiores ao MOE.

Corroborando, Oliveira et al. (2003) explicam que na vibração de uma espécie de madeira, a força elástica restaurada é proporcional ao deslocamento, e a força dissipativa é proporcional à velocidade. Portanto, quando a força é aplicada com curta duração, o material se comporta como um sólido elástico, enquanto que em uma longa duração o comportamento é igual ao de um líquido viscoso. Tal comportamento é mais proeminente no ensaio de flexão estática, o qual apresenta longa duração se comparado ao ensaio de ultrassom. Em consequência desse comportamento, o MOED obtido em ensaio de ultrassom é, em geral, maior que o MOE à flexão estática.

Figura 6 – Estimativa do módulo de elasticidade estático e do módulo de ruptura, em função do módulo de elasticidade dinâmico obtido por meio do ultrassom.



Fonte: autor.

A Tabela 6 apresenta os resultados médios do MOED, AP Face, AP Topo, TP e RS dos painéis confeccionados com a mistura das diferentes espécies, erva-mate, pinus e eucalipto.

Tabela 6 – Valores médios do módulo de elasticidade dinâmico e as propriedades mecânicas, nos tratamentos avaliados.

Trat.	Partículas (%)			MOED (MPa)	AP Face (MPa)	AP Topo (MPa)	TP (MPa)	RS (MPa)
	Erva-mate	Pinus	Eucalipto					
1	0	100	0	2871,02	9,95	7,32	0,43	0,59
2	25	75	0	2763,42	10,19	8,16	0,43	0,99
3	50	50	0	2321,52	9,93	7,00	0,54	0,82
4	75	25	0	1811,55	9,94	7,96	0,59	0,71
5	100	0	0	1657,41	9,26	6,17	0,57	0,90
6	0	0	100	2704,65	10,92	8,56	0,43	1,11
7	25	0	75	2207,19	10,10	7,20	0,37	0,96
8	50	0	50	2261,79	9,99	7,22	0,48	0,98
9	75	0	25	2029,83	11,31	8,31	0,71	1,24
10	33,33	33,33	33,33	2469,49	10,34	8,06	0,46	1,04
11	0	50	50	2893,70	10,47	9,35	0,51	1,11

Onde: Trat. = Tratamentos; MOED = Módulo de elasticidade dinâmico; AP Face = arrancamento de parafusos na face; AP Topo = arrancamento de parafusos no topo; TP = tração perpendicular à superfície do painel; RS = resistência superficial.

A matriz de correlação entre MOED e, AP Face, AP Topo, TP e RS dos painéis, para os 11 tratamentos avaliados, está presente na Tabela 7. Para todas estas propriedades mecânicas avaliadas, não houve correlação significativa a 5% de probabilidade de erro.

Comportamento inverso foi observado por Morais (2011), ao analisar estas mesmas características em painéis de partículas.

Tabela 7 – Matriz de correlação de Pearson entre o módulo de elasticidade dinâmico e as propriedades mecânicas dos painéis.

	AP FACE	AP TOPO	TP	RS
MOED	0,3294	0,5656	-0,5796	0,0683

Onde: ** = Significativo ao nível de 5% de probabilidade de erro; MOED = Módulo de elasticidade dinâmico; AP Face = arrancamento de parafusos na face; AP Topo = arrancamento de parafusos no topo; TP = tração perpendicular à superfície do painel; RS = resistência superficial.

4.3.3 Avaliação colorimétrica

A Tabela 8 apresenta os valores médios dos parâmetros colorimétricos das superfícies dos 11 tratamentos de painéis MDP, produzidos com diferentes proporções de partículas madeiras de erva-mate, pinus e eucalipto. Observa-se que todos os parâmetros colorimétricos apresentaram efeito significativo a 5% de probabilidade de erro, entre os tratamentos avaliados. Todos os painéis apresentaram valores de a* e b* positivos, o que classifica as amostras no primeiro quadrante de cores no Sistema CIELAB 1976, padrão de comportamento esperado para a coloração de madeiras (CAMARGOS, 1999).

Tabela 8 – Valores médios dos parâmetros colorimétricos pelo Teste de Scott – Knott, nos tratamentos avaliados.

Trat.	Partículas (%)			Parâmetros Colorimétricos				
	Erva-mate	Pinus	Eucalipto	L*	a*	b*	C	h*
1	0	100	0	75,99 a	4,08 g	29,69 a	29,98 a	82,17 a
2	25	75	0	73,64 b	4,07 g	26,09 b	26,41 b	81,15 b
3	50	50	0	70,54 c	4,06 g	25,57 c	25,91 b	81,01 b
4	75	25	0	69,13 d	4,44 g	26,14 b	26,52 b	80,38 b
5	100	0	0	67,33 e	4,04 g	25,23 c	25,55 c	80,91 b
6	0	0	100	68,10 e	8,76 a	21,13 g	22,88 g	67,48 f
7	25	0	75	66,71 f	7,92 b	22,16 f	23,53 f	70,32 e
8	50	0	50	68,06 e	6,50 d	22,07 f	23,02 g	73,58 d
9	75	0	25	65,64 f	5,89 e	24,10 d	24,81 d	76,26 c
10	33,33	33,33	33,33	69,96 d	5,41 f	23,63 e	24,25 e	77,11 c
11	0	50	50	70,84 c	7,15 c	24,38 d	25,41 c	73,64 d

Onde: Trat. = Tratamentos; L* = Grau de claridade; a* = Matizes do eixo vermelho (+) e verde (-); b* = Matizes do eixo amarelo (+) e azul (-); C = Saturação da cor; h* = Ângulo de tinta.

Ao analisar os valores médios dos parâmetros colorimétricos obtidos no estudo, observa-se que o grau de claridade (L^*) teve os maiores valores nos tratamentos 1, 2, 3 e 11, diminuindo de maneira significativa a claridade, em função da menor porcentagem de pinus na composição do painel. Sendo assim, o maior grau de claridade foi para o tratamento 1, que possui 100% de pinus na sua composição. Os menores valores de L^* ficaram para os tratamentos 7 e 9, em função da maior quantidade de partículas de eucalipto e erva-mate. Sabe-se que o eucalipto é uma madeira de menor claridade que o pinus, entretanto esperava-se que a erva-mate também colaborasse para valores mais altos de L^* . Esse comportamento distinto ocorreu devido ao aparecimento de leves queimaduras na superfície dos painéis MDP com partículas de erva-mate na sua composição. O grau de queimadura foi maior quanto maior a proporção da referida espécie. Porém, uma vez que todos os valores de L^* apresentaram valores acima de 56, independentemente de sua composição, os painéis podem ser classificados como cores claras (CAMARGOS; GONÇALEZ, 2001).

Os painéis feitos com proporções de partículas de eucalipto apresentaram uma cor rosada, sendo maior esta tonalidade quanto maior a quantidade desta espécie na composição do painel. Isso é resultado dos valores mais altos do pigmento vermelho (a^*), que possui pico máximo no tratamento 6, com 100% de eucalipto, e diminui significativamente segundo o teste de média de Scott – Knott, conforme reduz-se a proporção da referida espécie.

Para os painéis MDP feitos exclusivamente de partículas de pinus (tratamento 1), o parâmetro determinante foi o b^* , em detrimento do baixo valor de a^* , que leva o painel a ser classificado como de cor amarela. Os tratamentos que receberam diferentes combinações de erva-mate e pinus também tiveram valores altos para o b^* , entretanto conforme aumenta-se a quantidade de erva-mate e diminui-se de pinus, este parâmetro reduz significativamente. O grau de queimadura na superfície destes painéis com diferentes proporções de erva-mate, embora baixo, também pode ter influenciado na mensuração deste parâmetro. Castro et al. (2014), estudando aglomerados em diferentes combinações de *Sequoia sempervirens* e *Pinus taeda*, encontrou valores semelhantes para b^* , nos painéis com maior quantidade de pinus.

A análise e discussão dos parâmetros a^* e b^* foram de acordo com Gonzalez et al. (2001). Segundo estes autores, a coordenada a^* , quando positiva e crescente, significa presença da coloração avermelhada mais pronunciada e quando a coordenada b^* aumenta, significa a presença da cor amarela.

O ângulo de tinta (h^*) e a saturação da cor (C) seguem padrão semelhante de comportamento que as coordenadas a^* e b^* , já que são diretamente influenciadas por estas variáveis. O h^* , neste estudo, ajudou a definir o padrão de cor dos MDPs de pinus, já que seu

alto valor faz os painéis se aproximar do eixo b^* . O parâmetro C também é mais evidente em tratamentos com maior proporção de partículas de pinus, do que daqueles de partículas de erva-mate e eucalipto. Os valores médios de todos os parâmetros dos MDPs produzidos com maior quantidade de partículas de pinus, mostraram-se semelhantes aos apresentados por Castro et al. (2013), para partículas de *Pinus taeda*. Essa semelhança indica que o painel mantém as características colorimétricas da madeira utilizada em sua formação, com pouca influência do adesivo ureia-formaldeído.

Segundo Castro et al. (2014), os tratamentos feitos a partir de misturas de espécies apresentaram parâmetros intermediários entre os painéis produzidos com partículas de apenas uma espécie. O aumento da proporção de partículas de pinus tende a diminuir a influência do eixo vermelho (a^*) e aumentar a do eixo amarelo (b^*), fato confirmado com o aumento do ângulo de tinta (h^*).

Na Figura 7 é possível verificar, claramente, a influência das misturas das três espécies estudadas, bem como a coloração em MDPs puros para cada espécie. Segundo Mori et al. (2005), o padrão de coloração de uma madeira pode variar em tonalidades que vão desde o bege claro até o marrom escuro, quase preto; dentro destas variações, podem ser encontradas madeiras amareladas, avermelhadas, arroxeadas e alaranjadas.

Figura 7 – Imagem da superfície dos painéis MDP, para os 11 tratamentos avaliados.



Fonte: autor.

4.4 CONCLUSÕES

O método de avaliação não destrutiva utilizando ultrassom pode ser utilizado na predição das propriedades físicas dos painéis MDP, produzidos com partículas de madeira de erva-mate, pinus e eucalipto. Entretanto, para as propriedades mecânicas exceções foram observadas para o AP Face, AP Topo, TP e RS, onde o uso do ultrassom não possibilitaram ajustes de modelos significativos. Para as propriedades mecânicas de flexão estática, MOE e MOR, o ultrassom possibilitou as melhores estimativas do presente estudo. As correlações significativas do MOED, em ordem de significância, ocorreram com o MOR, MOE, AB 2H, AB 24H, IE 2H e IE 24H.

Os MDPs tendem a manter a aparência colorimétrica da espécie das partículas utilizadas no processo. Painéis de eucalipto apresentaram uma coloração rosada, enquanto que os produzidos com partículas de pinus e erva-mate apresentaram cor amarelada, sendo esta coloração mais pronunciada em painéis com maior proporção de partículas de pinus. Dessa forma, a indústria de MDPs pode apresentar produtos com novos padrões de cores a partir de uma produção com mistura de partículas de diferentes espécies.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARTHOLOMEU, A. **Classificação de peças estruturais de madeira através do ultrassom**. 2001. 105 p. Tese (Doutorado em Construções Rurais e Ambiente) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2001.
- BODIG, J. The process of NDE research for wood and wood composites. **The e-Journal of Nondestructive Testing**, v.26, n.3, 2001.
- BORTOLETTO JÚNIOR, G. **Produção de lâminas, compensado e laminated veneer lumber – LVL a partir da madeira de *Pinus merkusii***. 110f. 2006. Tese (Livre Docência) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.
- CAMARGOS, J.A.A. **Colorimetria quantitativa aplicada na elaboração de uma tabela de cores para madeiras tropicais**. 1999. 99 f.. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade de Brasília, Brasília, 1999.
- CAMARGOS, J. A. A.; GONÇALEZ, J. C. **A colorimetria aplicada como instrumento na elaboração de uma tabela de cores de madeira**. *Brasil Florestal*, Ano XX, n. 71, p. 30-41, 2001.
- CASTRO, V. G.; BRAZ, R. L.; BELLON, K.; SANCHES, F.; IWAKIRI, S.; NISGOSKI, S. Avaliação colorimétrica de aglomerados produzidos com partículas de madeira de *Sequoia*

sempervirens e *Pinus taeda* submetidos ao intemperismo natural. **Floresta e Ambiente** 2014; 21(4):475-483.

CASTRO, V. G.; KLOCK, U.; IWAKIRI, S.; BOLZON, G. I. Avaliação colorimétrica de partículas de *Pinus taeda* submetidas a diferentes métodos de acetilação. **Scientia Forestalis**, 2013; 41(98): 265-270.

COSTA, M. A. **Avaliação de metodologias alternativas para caracterização do ataque de fungos apodrecedores de madeiras**. 2009. 70f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade de Brasília, Brasília, 2009.

ERIKSON, R.G.; GORMAN, T.M.; GREEN, D.W.; GRAHAM, D. Mechanical grading of lumber sawn from small-diameter lodge pole pine, ponderosa pine and grand fir trees from northern Idaho. **Forest Products Journal**, v.50, n.7/8, p.59-65. 2000.

GABRIEL, M.S.C. **Desempenho físico-mecânico de painéis LVL de pinus tropicais da região de São Paulo**. 2007. 125f. Tese (Doutorado em Agronomia – Energia na Agricultura) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2007.

GONÇALEZ, J.C.; BREDÁ, L.C.S.; BARROS, J.F.M.; MACEDO, D.G.; JANIN, G.; COSTA, A.F.; VALE, A.T. Características tecnológicas das madeiras de *Eucalyptus grandis* W.Hill ex Maiden e *Eucalyptus cloeziana* F. Muell visando ao seu aproveitamento na indústria moveleira. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.16, n. 3, p. 329 – 341. 2006.

GONÇALEZ, J.C.; JANIN, G.; SANTORO, A.C.S.; COSTA, A.F.da; VALLE, A.T.do. Colorimetria quantitativa: uma técnica objetiva de determinar a cor da madeira. **Revista Brasil Florestal**, ano XX. n. 72. p. 47 – 48. 2001.

GONÇALEZ, J.C.; MACEDO, D.G. **Colorimetria aplicada à madeira de eucalipto**. In: SILVA, J.C.; GOMES, J.M. (Eds.) II Seminário de Produtos Sólidos de Madeira de Eucalipto. Belo Horizonte. p.81-95, 2003.

HALABE, U. B.; BIDIGALU, G. M.; GANGARAO, H. V. S.; ROSS, R. J. Nondestructive evaluation of green wood using stress wave and transverse vibration techniques. **Materials evaluation**, v.55, n.9, p.1013-1018, 1995.

HAN, G.; WU, Q.; WANG, X. Stress-wave velocity of wood based panels: effect of moisture, product type, and material direction. **Forest Products Journal**, v.56, n.1, p. 28-33, 2006.

JAYNE, B. A. Vibrational properties of wood as indices of quality. **Forest Products Journal**. v.9, n.11, p.413–416, 1959.

KAISERLIK, J. H.; PELLERIN, R. F. Stress wave attenuation as an indicator of lumber strength. **Forest Products Journal**. v.27, n.6, p.39-43, 1977.

LAPO, L. E. R.; BERBALDO, A. L. Avaliação de características de chapas de partículas de bambu e adesivo poliuretano à base de óleo de mamona. In: XI ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRA E ESTRUTURAS DE MADEIRA, 2008, Londrina. **Anais eletrônicos...** Londrina: UEL, 2008. Disponível em: <<http://www.ebramem.expertu.com.br>>. Acesso em: 23 Out.. 2016.

- MARTINS, M. F. **Caracterização de clones de *Eucalyptus* spp. por meio da massa específica, colorimetria e rugosidade.** 2013. (20f). Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal de Pelotas (UFPel), Pelotas – RS, 2013.
- MATOS, J.L.M. **Estudo sobre a produção de painéis estruturais de lâminas paralelas de *Pinus taeda* L.** 1997. 117f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1997.
- MELO, R. R. **Avaliação de variáveis tecnológicas na produção de painéis LVL confeccionados com paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex. Ducke).** 2012. (164f). Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade de Brasília, Brasília, 2012.
- MELO, R. R.; DEL MENEZZI, C. H. S. Influência da massa específica nas propriedades físico-mecânicas de painéis aglomerados. **Revista Silva Lusitana**, Lisboa, v. 18, n. 1, p. 59-73, 2010.
- MINÁ, A. J. S.; OLIVEIRA, F. G. R.; JUNIOR, C. C.; DIAS, A. A.; SALES, A. Avaliação não destrutiva de postes de madeira por meio de ultrassom. **Revista Scientia Forestalis**, v.1, n.65, p.188-189, 2004.
- MORAIS, W. W. C. **Propriedades físico-mecânicas de chapas aglomeradas produzidas com bambu, pinus e eucalipto.** 2011. 132f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.
- MORALES, E. A. M. **Técnicas de propagação de ondas na estimativa de propriedades mecânicas de painéis OSB.** 2006, 94f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2006.
- MORI, C.L.S.O.; LIMA, J.T.; MORI, F.A.; TRUGILHO, P.F.; GONCALEZ, J.C. Caracterização da cor da madeira de clones de híbridos de *Eucalyptus* spp. **Cerne**, Lavras, v. 11, n. 2, p. 137-146, abr./jun. 2005.
- OLIVEIRA, F. G. R.; CANDIAN, M.; LUCCHETTE, F. F.; JUNIOR, C. C.; SALES, A. Avaliação de propriedades mecânicas de madeira por meio de ultra-som. In: PAN AMERICAN CONFERENCE FOR NONDESTRUCTIVE TESTING, 3., 2003, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: Pan American Conference for Nondestructive Testing, 5p, 2003.
- OLIVEIRA, F. G. R. **Estudo de propriedades mecânicas de dicotiledôneas por meio de ensaios não destrutivos utilizando equipamento de ultrassom.** São Carlos: USP, 2001. 55f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais)– Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.
- PELLERIN, R. F. A vibrational approach to nondestructive testing of structural lumber. **Forest Products Journal**. v.15, n.3, p.93-101, 1965.
- PELLERIN, R.F.; ROSS, J.R. **Nondestructive evaluation of wood.** Madison: FPS. 2002, 210p.

RAPPOLD, P.M.; SMITH, W.B. **An investigation of the relationships between harvest season, log age, and drying schedule on the coloration of hard maple lumber.** *Forest Products Journal*. v.54. n.12. p.178 – 184. Dez. 2004.

ROSS, R.J.; ERICKSON, J.R.; BRASHAW, B.K.; WANG, X.; VERHEY, S.A.; FORSMAN, J.W.; PILON, C.L. Yield and ultrasonic modulus of elasticity of red maple veneer. **Forest Products Journal**, v.54, n.12, p.220-225, 2004.

ROSS, R. J.; PELLERIN, R. F. NDE of wood-based composites with longitudinal stress waves. **Forest Products Journal**. v.38, n.5, p.39-45, 1988.

SANDOZ, J. L. Wood Testing Using Acousto–Ultrasonic. In: PROCEEDINGS OF THE WORLD CONFERENCE ON TIMBER ENGINEERING (WCTE 2000), 2000, British Columbia, Canadá. **Anais eletrônicos...** British Columbia: Whistler Resort, 2000. Disponível em: < <http://timber.ce.wsu.edu>>. Acesso em: 23 out. 2016.

SILVA, G. B. **Colorimetria - Propagação de erros e cálculo da incerteza de medição nos resultados espectrofotométricos.** 2004 Dissertação (Mestrado em Metrologia)– Pontifícia Universidade Católica, Rio de Janeiro, 2004.

STANGERLIN, D. M.; CALEGARI, L.; SANTINI, E. J.; DOMINGUES, J. M. X.; GATTO, D. A.; MELO, R. R. Determinação do módulo de elasticidade em madeiras por meio de métodos destrutivo e não-destrutivo. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.3, n.2, p.145-150, 2008.

STANGERLIN, D. M.; MELO, R. R.; GARLET, A.; COSTA, A. F.; DEL MENEZZI, C. H. S.; GATTO, D. A. Resistência natural de painéis aglomerados bambu-madeira ao ataque de fungos apodrecedores. In: XII ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRA E ESTRUTURAS DE MADEIRA, 2010, Lavras. **Anais eletrônicos...** Lavras: UFLA, 2010. Disponível em: <<http://www.xiiebramem.ufla.br/>>. Acesso em: 14 out. 2016.

VALLANCE, D.B. **Non-destructive evaluation of veneer using optical scanning and ultrasonic stress wave analysis systems.** 2009, 279f. Tese (Doutorado em Wood Science) – Oregon State University, Corvallis, 2009.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1 CONCLUSÕES GERAIS

O planejamento em rede centróide simplex, mostrou-se um método viável para aplicação em experimentos com misturas de espécies para produção de painéis MDP. Foram necessários somente sete tratamentos para explicar o efeito da composição da mistura dos três componentes em estudo, resíduos de erva-mate, *Pinus elliottii* e *Eucalyptus grandis*.

Como esperado, os painéis puros com resíduos madeireiros de erva-mate não apresentaram qualidades tecnológicas satisfatórias. Entretanto este resíduo em combinação com as espécies comumente utilizadas em painéis comerciais, pinus e eucalipto, pode ser utilizado em painéis MDP sem prejudicar a qualidade dos mesmos. Desta maneira, as partículas madeireiras de erva-mate apresentaram um ótimo desempenho em misturas com espécies tradicionais neste ramo de produção, apresentando valores satisfatórios e acima do exigido pela norma de comercialização, tanto para as propriedades físicas quanto para as mecânicas.

A produção de painéis em camadas mostrou-se viável, já que confere a peça melhores características de acabamento, além de ganho em algumas propriedades tecnológicas.

O uso de métodos não destrutivos colaboraram de maneira significativa para responder os questionamentos do presente trabalho, já que o uso do ultrassom se mostrou prático e preciso para estimar as propriedades físicas e algumas propriedades mecânicas dos painéis produzidos. Enquanto a colorimetria revelou os padrões de cores através das diferentes misturas dos resíduos de erva-mate com as espécies de pinus e eucalipto.

5.2 RECOMENDAÇÕES

Visando o aprofundamento do tema, recomenda-se avaliar adicionalmente os seguintes parâmetros:

- Produzir e analisar painéis MDP com resíduos madeireiros de erva-mate, em peças com dimensões comerciais e ensaiá-las em condições similares as que estariam sujeitas em ambientes normais de uso;
- Avaliar a viabilidade econômica da produção destes painéis no Brasil e sua competitividade com as peças atualmente empregadas no mercado;

- Comparar a viabilidade econômica da mistura de espécies proposta pelo presente trabalho, em painéis MDP, com os produzidos por espécies tradicionalmente utilizadas para este fim, como as dos gêneros *Pinus* e *Eucalyptus*;
- Como o planejamento em rede centróide simplex permite a realização de um número menor de tratamentos, recomenda-se ainda, um maior número de repetições, visando diminuir o erro experimental e melhorar a qualidade e precisão da pesquisa.

REFERÊNCIAS

- ABIPA - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE PAINÉIS DE MADEIRA. Disponível em: < <http://www.abipa.org.br/numeros.php>>. Acesso em out. 2014.
- ABIPA - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE PAINÉIS DE MADEIRA. **Olho no crescimento**. Março de 2007. Disponível em: <<http://www.abipa.org.br>>. Acesso em: 11 set. 2016.
- ABRAF. Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas. **Anuário Estatístico: ano base 2012**. ABRAF: Brasília; 2014.
- AGOPYAN, V. **Materiais reforçados com fibras para a construção civil nos países em desenvolvimento: o uso de fibras vegetais**. 1991. 204p. Tese (Livre-Docência) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1991.
- ANDRADE, F. M. **Diagnóstico da cadeia produtiva da *Ilex paraguariensis* A. St. Hil. Erva-mate**. Disponível em <http://www.Unicamp.br/nipe.rbma.erv_.htm> Acesso em: 10 abr. 2014. São Matheus do Sul, 1999.
- ARTEAGA, G. E.; LI-CHAN, E.; VAZQUEZ-ARTEAGA, M. C.; NAKAI, S. Systematic experimental designs for product formula optimization. **Trends in Food Science & technology**, Cambridge, v. 5, n. 8, p. 243-253, 1994.
- AYRILMIS, N.; KWON, J. H.; HAN, T. H. Improving core bond strength and dimensional stability of particleboard using polymer powder in core layer. **Composites Part B**, v. 43, n. 8, p.3462-3465, 2012.
- BARROS NETO, B.; SCARMINIO, I. S.; BRUNS, R. E. **Como fazer experimentos – Pesquisa e desenvolvimento na ciência e na indústria**. Campinas, SP: Editora da Unicamp, 2001. 401 p.
- BATISTA, D. C.; BRITO, E. O.; SETUBAL, V. G.; GÓES, L. G. de. Fabricação de aglomerados de três camadas com madeira de *Pinus elliottii* Engelm. e casca de *Eucalyptus pellita* F. Muell. **Cerne**, Lavras, v. 13, n. 2, p.178-187, abr./jun. 2007.
- BENDLIN, R.C.S. **Secagem convectiva de erva-mate (*Ilex paraguariensis*)**. 2003. 77 f. Dissertação (Mestrado)– Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.
- BERGER, G. **Biomassa e nutrientes em plantios de erva-mate (*Ilex paraguariensis* A. St. Hil.), no município de Nova Prata, RS**. 2006. 93 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.
- BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL - BNDES. **Produtos florestais**. Área de operações industriais – gerência setorial 1, 2000.

BORSATO, D.; DALL'ANTONIA, L. H.; GUEDES, C. L. B.; MAIA, E. C. R.; FREITAS, H. R. de; MOREIRA, I.; SPACINO, K. R. Aplicação do delineamento simplex-centroide no estudo da cinética da oxidação de biodiesel b100 em mistura com antioxidantes sintéticos. **Química Nova**, v. 33, n. 8, p.1726-1731, 2010.

BOUGARDT, A. C. **Desenvolvimento de uma bebida, utilizando extrato de erva-mate verde (*Ilex paraguariensis* A. St. Hil.)** 2000. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Química) – Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000.

BRAGAGNOLO, N.; PAN, W.; FILHO, L. K. **Manual Técnico da erva-mate**, EMATER-Paraná: Curitiba, Brasil, 1980. 40p.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria Nacional de Vigilância Sanitária. Portaria no. 234, de 25 de março de 1998. **Regulamento técnico para fixação de identidade e qualidade para erva-mate**. Brasília, 1998. 5p.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC 302, de 07 de novembro de 2002. **Regulamento técnico para fixação de identidade e qualidade para erva-mate**. Brasília, 2002. 5p

CABRAL MALHEIROS, G. **Estudo da Alteração da cor e degradação da clorofila durante armazenagem de erva-mate tipo chimarrão**. 2007. 104 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Programa de pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

CALEGARI, L.; HASELEIN, C.R.; BARROS, M.V.; SCARAVELLI, T.L.; DACOSTA, L.P.; PEDRAZZI, C. Adição de aparas de papel reciclável na fabricação de chapas de madeira aglomerada. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 14, n. 1, p. 193-204, 2004.

CALEGARI, L.; HASELEIN, C.R.; SCARAVELLI, T.L.; SANTINI, E.J.; STANGERLIN, M.D.; GATTO, D.A.; TREVISAN R. Desempenho físico-mecânico de painéis fabricados com bambu (*Bambusa vulgaris* Schr.) em combinação com madeira. **Cerne**, v.13, p.57-63, 2007.

CARVALHO, A.G.; ANDRADE, B.G.; CABRAL, C.P.T.; VITAL, B.R. Efeito da adição de resíduos de poda da erva-mate em painéis aglomerados. **Revista Árvore**, Viçosa, v.39, n.1, p.209-214, 2015.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies Arbóreas Brasileiras**. Embrapa Informações Tecnológicas; Colombo, PR: Embrapa Floresta, 2003. 1039p.

COELHO, G.C.; MARIATH, J.E.A.; SCHENKEL, E.P. Populational diversity on leaf morphology of mate (*Ilex paraguariensis* A. St-Hil., Aquifoliaceae). **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v.45, p. 47-51, 2002.

COMMERCIAL STANDARD. **Mat formed wood particleboard**. CS 236-66. 1968.

CORNELL, J. A. Experiments with mixtures - designs, models and the analysis of mixture data, 3 ed., **John Wiley and Sons**: New York, 2002.

CORRÊA, M.P. **Dicionário das plantas úteis do Brasil e das exóticas cultivadas**. Rio de Janeiro: IBDF, 1969. v. 4, p. 138-143.

DACOSTA, L.P.E. **Utilização de resíduos do processamento mecânico da madeira para a fabricação de chapas aglomeradas**. 2004, 118f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 2004.

DA CROCE, D.M. ; FLOSS, P.A. **Cultura da erva-mate no Estado de Santa Catarina**. Florianópolis, SC: EPAGRI - Empresa de Pesquisa Agropecuária e Difusão de Tecnologia de SC, 1999. 81p. (EPAGRI, Boletim Técnico; 100).

DOOSTHOSEINI, K.; ABDOLZADEH, H. Investigation of the feasibility of utilization of wood fiber and old corrugated container in surface layers of three-layer particleboard and their effect on properties of particleboard. **Journal of Forest and Wood Products**. v. 62, n. 2, p.181-189. 2009.

EL-OSTA, M.L.M.; E.L-MORSHEDY, M.M.; MEGAHED, M.M. Properties of particleboard made from Casuarina and Willow mixtures. **Proceedings of 28° Internacional Particleboard /Composite Materials Symposium**, Pullmann, 1994, p.281- 288.

EMATER – Paraná. **Manual da erva-mate (Ilex paraguariensis A. St. Hil.)**. Curitiba, 1991, 104p.

ESMELINDRO, M.C.; TONIAZZO, G.; WACZUK, A.; DARIVA, C.; OLIVEIRA, D. Caracterização físico-química da erva-mate: Influência das etapas do processamento industrial. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 22, n. 2, p. 193-204, 2002.

GAZETA GRUPO DE COMUNICAÇÕES. **Anuário Brasileiro da Erva-mate**, 1999. 63p. Santa Cruz do Sul – RS.

GHALEHNO, M. D.; NAZERIAN, M.; BAYATKASHKOOLI, A. Influence of utilization of bagasse in surface layer on bending strength of three-layer particleboard. **European Journal of Wood and Wood Products**. v. 69, n. 4, p.533-535. 2011.

GONÇALVES, F. G. **Painéis aglomerados de madeira de *Acacia mangium* com adesivos de ureia-formaldeído e tanino em pó da casca de *Acacia mearnsii***. 2012. 105f. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais e Florestais)– Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2012.

GONÇALVES, M.; GUERREIRO, M.C.; BIANCHI, M.L.; OLIVEIRA, L.C.A.; PEREIRA, E.I.; DALLAGO, R.M. Produção de carvão a partir de resíduo de erva-mate para a remoção de contaminantes orgânicos de meio aquoso. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, n. 5, p. 1386-1391, 2007.

GUIOTOKU, M.; LAZARIS, V.; DALLAGO, R.M.; MAGALHÃES, W.L.E. **Utilização de Palitos de Erva-Mate na Produção de Painéis de Aglomerado**, Comunicado Técnico, 214. Colombo: Embrapa Florestas, 6p, 2008.

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

HASELEIN, C.R.; PAULESKI, D.T. **Caderno didático da disciplina de Tecnologia da Madeira II – Parte I**. Imprensa Universitária - UFSM: Santa Maria, 73p. 2003.

HILLIG, E.; FREIRE, E.; CARVALHO, G. A.; SCHNEIDER, V.E.; POCAI, K. Modelagem de misturas na fabricação de compósitos polímero-fibra, utilizando polietileno e serragem de *Pinus* sp. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 16, n. 3, p. 343-351. 2006.

HILLIG, E.; HASELEIN, C. R.; IWAKIRI, S. Modelagem de misturas de três espécies de madeiras na fabricação de chapas aglomeradas estruturais. **Revista Floresta**. v.33, n. 3, p.311-320. 2003.

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 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2000.

HIZIROGLU, S.; JARUSOMBUTI, S.; FUEANGVIVAT, S.; BAUCHONGKOL, P.; SOONTONBURA, W.; DARAPAK, T. Properties of bamboo-rice straw-eucalyptus composite panels. **Forest Products Journal**, v.55, n.12, p. 221-225. 2005.

HIZIROGLU, S. Some of the Properties of Three-layer Particleboard Panels Made from Under-utilized Species in Oklahoma. **Journal Of Composite Materials**, v.41, n. 4, p.467-476. 2007.

HRÁZSKÝ, J.; KRÁL, P. The influence of particle composition in a three-layer particleboard on its physical and mechanical properties. **Journal of Forest Science**, v. 49, n. 2, p. 83–93. 2003.

IBGE, **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Estados @. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/estadosat/temas.php?sigla=rs&tema=lavourapermanente2012>>. Acesso em: 10 abr. 2014.

INM - INSTITUTO NACIONAL DO MATE. Resolução nº 485, de 25 de outubro de 1955. In: WERNECK, R.M.R. **Legislação Ervateira**. Companhia Brasileira de Artes Gráficas, 1962. p. 219-233.

IWAKIRI, S.; CAPRARA A.C.; SAKS D.C.O.; GUI SANTES F.P.; FRANZONI J.A.; KRAMBECK L.B.P.; RIGATTO P.A. Produção de painéis de madeira aglomerada de alta densificação com diferentes tipos de resinas. **Scientia Forestalis**, v.68, p.39-43, 2005.

IWAKIRI S.; CUNHA A.B.; ALBUQUERQUE C.E.C.; GORNI AK E.; MENDES L.M. Resíduos de serrarias na produção de painéis de madeira aglomerada de eucalipto. **Scientia Agraria**, v.1, n. 1-2, p. 23-28, 2000.

IWAKIRI, S.; KLOCK, U.; ROCHA, M.P.; SEVERO, E.T.D.; RINCOSKI, C.R.; BORTOLETTO JUNIOR, G.; PIO, N.S. 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.; LATORRACA, J.V.F.; SILVA, D.A.; GABARDO, J.L.; KLITZKE, R.J.; FOFANO JUNIOR, A.; FABROWSKI, F.; INTERAMENSE, M.T. 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.; ZELLER, F.; PINTO, J.A.; RAMIREZ, M.G.L.; SOUZA, M.M.; SEIXAS, R. Avaliação do potencial de utilização da madeira de *Schizolobium amazonicum* “Paricá” e *Cecropia hololeuca* “Embauba” para a produção de painéis aglomerados. **Acta Amazonica**, Manaus, v.40, n.2, p.303-308, 2010.

JOHN, V.M. Pesquisa e desenvolvimento de mercado para resíduos. In: Workshop reciclagem e reutilização de resíduos como materiais de construção civil, São Paulo, 1996. **Anais...** São Paulo, Antac, 1996, p.21-30.

LOURENÇO, R.S.; MEDRADO, M.J.S.; NIETSCHKE, K.; SABATKE FILHO, F.E. Influência da cobertura morta na produtividade de erva-mate. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 43, p. 113-122, jul./dez. 2001.

MACCARI JUNIOR, A. **Análise do pré-processamento da erva-mate para chimarrão**. 2005. 215p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade de Campinas, Campinas, 2005.

MALONEY, T.M. **Modern particleboard e dry-process fiberboard**. San Francisco: Miller Freeman, 1993. 681p.

MAZUCHOWSKI, J. Z. **A cultura da erva-mate**. Curitiba: Empresa Paranaense de Assistência Técnica e Extensão Rural, 1989. 36p.

MAZUCHOWSKI, J.Z. **Manual da erva-mate: *Ilex paraguariensis* A. St. Hill**. 2. ed. Curitiba: EMATER/PR, 1991. 104p.

MEDVED, S.; RESNIK, J. Influence of beech particle size used in surface layer on bending strength of three-layer particleboard. **Zbornik gozdarstva in lesarstva**. Slovenia 2003.

MEJIA, E. G.; SONG, Y. S.; RAMIREZ-MARES, M. V.; KOBAYASHI, H. Effect of Yerba Mate (*Ilex Paraguariensis*) Tea on Topoisomerase Inhibition and Oral Carcinoma Cell Proliferation. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.53, p. 1966-1973, 2005.

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

MENDES, R. F. **Efeito do tratamento térmico sobre as propriedades de painéis OSB.** 2011. 115f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2011.

MENDES, R.M.O. **Caracterização e avaliação da erva-mate (*Ilex paraguariensis* A. St. Hil.), beneficiada no Estado de Santa Catarina.** 2005. 119 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química)– Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

MOSELE, S.H. **A governança na cadeia agro-industrial da erva-mate na região do Alto Uruguai Rio-Grandense, sob a ótica da cadeia de suprimentos.** 2002. 231 f. Dissertação (Mestrado em Agronegócios) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

MOSLEMI, A.A. **Particleboard.** Illinois: Southern Illinois University Press, 1974. 244p.

NASSER, A. S. R. Physical and Mechanical Properties of Three-Layer Particleboard Manufactured from the Tree Pruning of Seven Wood Species. **World Applied Sciences Journal.**, v.19, n. 5, p.741-753, 2012.

NIRDOSHA, G.; SETUNGE, S. **Formulation and process modeling of particleboard production using hardwood saw mill wastes using experimental design.** **Composite Structures**, v.75, p.520-523. ISSN 0263-8223. 2006.

NUÑHEZ, J.C.; KÄNZIG, R.G. Secanza de yerba mate. In: WINGE, H.; FERREIRA, A.G.; MARIATH, J.E.A.; TARASCONI, L.C. (Ed) **Erva-mate: Biologia e Cultura no Cone Sul.** Porto Alegre: Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. p.175-180.

OKINO, E.Y.A.; ANDAHUR, J.P.V.; SANTANA, M.A.E.; SOUZA, M.R. Resistência físico-mecânica de chapas aglomeradas de bagaço de cana-de açúcar modificado quimicamente. **Scientia Forestalis**, n.52, p.35-42, 1997.

OLIVEIRA, Y. M. M. de; ROTTA, E. Área de distribuição natural de erva-mate (*Ilex paraguariensis* A. St Hil.). In: SEMINÁRIO SOBRE ATUALIDADES E PERSPECTIVAS FLORESTAIS – SILVICULTURA DA ERVA-MATE 10. 2000, Curitiba **Anais...** Curitiba, EMBRAPA/CNPF, 1985. p. 17-35.

PAGLIOSA, C. M. **Caracterização química do resíduo de ervais e folhas “in natura” de erva-mate (*Ilex paraguariensis* A. St. Hill.).** 2009. 146p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos)– Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

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

PERALTA, J.M.; SCHMALKO, M.E. Modelado de la transferencia de calor y materia en el zapecador. Congresso Sul-Americano da Erva-Mate, 3., 16 a 19 de novembro de 2003. Chapecó (SC); **Anais...** Chapecó: EPAGRI, 2003. CD.

PERALTA, J.M.;SCHMALKO, M.E. Modeling heat and mass transfer in the heat treatment step of yerba mate processing. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, v. 24, p.73-82, 2007.

PIZZI, A.; MITTAL, K.L. **Handbook of adhesive technology**. New York: Marcell Dekker, 1994. 680 p.

REITZ, P. R.; EDWIN, G. **Aquifoliáceas. Flora Ilustrada Catarinense**, Itajaí: R. Reitz, 47p., 1967.

ROCHA JUNIOR, W.F. **Análise do agronegócio da erva-mate com o enfoque da nova economia institucional e o uso da matriz estrutural prospectiva**. 2001. 110 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção)– Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

ROFFAEL, E.; SCHNEIDER, A. Untersuchungen uber den Einflub von Kochsalz als Bindemittelzusatz auf Eigenschaften von Spanplatten. **Holz-Zentralblatt**, v.109, n.103, p.1414-1415, 1983.

SACKEY, E. K.; SEMPLER, K. E.; OH SEUNGWON; SMITH, G. D. Improving core bond strength of particleboard through particle size redistribution. **Wood and Fiber Science**. v. 40, n. 2, p.214-224, 2008.

SANTOS, H. J. dos. A erva-mate em Mato Grosso do Sul. In: SEMINÁRIO SOBRE ATUALIDADES E PERSPECTIVAS FLORESTAIS- SILVICULTURA DA ERVA-MATE, 10. 1985, Curitiba. **Anais...**, Curitiba, EMBRAPA/CNPF, 1985. p. 13-16.

SATIPEL MINAS INDUSTRIAL – Boletim Técnico, 2002.

SCHINELLA, G.R.; TROIANI, G.; DÁVILA, V.; BUSCHIAZZO, P.M.; TOURNIER, H.A. Antioxidant effects of an aqueous extract of *Ilex paraguariensis*. **Biochemical and Biophysical Research Communications**, v. 269, p. 357-360, 2000.

SCHMALKO, M.E.; ALZAMORA, S.M. Color, chlorophyll, caffeine, and water content variations during yerba mate processing. **Drying Technology**, v. 19, p. 599-610, 2001.

SCHMALKO, M.E.; RAMALHO, L.A.; FERREIRA, D.; BERLINGHERI, R.D. Dimethoate degradation in plants and during processing of yerba mate leaves. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 45, p. 419-422, 2002.

SEDANO-MENDOZA, M.; NAVARRETE, P.; PIZZI, A. Effect of layers relative moisture content on the IB strength of pine tannin bonded particleboard. **European Journal of Wood and Wood Products**. v.68, n.3, p.355-357. 2010.

SOUZA, J.T. **Aproveitamento da casca de arroz para fabricação de chapas aglomeradas**. 2012. 94 p. Dissertação (Mestrado)– Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.

TABARSA, T. Producing particleboard using of mixture of bagasse and industrial wood particles. **Key Engineering Materials**. v.471-472, p.31-36. 2011.

TEIXEIRA, D.E.; COSTA, A.F.; SANTANA, M.A.E. Aglomerados de bagaço de cana-de-açúcar: resistência natural ao ataque de fungos apodrecedores. **Scientia Forestalis**, n.52, p.29-34, 1997.

TOSTES, A. de S.; LELIS, R.C.C.; PEREIRA, K.R.M.; BRITO, E.O. Colagem de chapas de madeira aglomerada com adesivo uréia-formaldeído (UF) modificado com tanino da casca de *Eucalyptus pellita* F. Muell. **Floresta e Ambiente**, v.11, n.2, p.14-19, 2004.

TRIANOSKI, R.; IWAKIRI, S.; MATOS, J. L. M. de.; PRATA, J. G. Avaliação de espécies alternativas de rápido crescimento para produção de painéis de madeira aglomerada de três camadas. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 39, n. 89, p.97-104, mar. 2011.

VALDUGA, E. **Caracterização química e anatômica da folha de *Ilex paraguariensis* Saint. Hilaire e de algumas espécies utilizadas na adulteração do mate**. Curitiba, 1995. 97p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Química) – Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1995.

VALLE, C.E. **Qualidade ambiental: o desafio de ser competitivo protegendo o meio ambiente**. São Paulo, Pioneira, 1995.

VIDOR, M.A.; RUIZ, C.P.; MORENO, S.V.; FLOSS, P.A. Marcadores moleculares em estudos de caracterização de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.): O sabor. **Ciência Rural**, v. 32, n. 3, p. 415-420, 2002.

VIEIRA, M.A. **Análise de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs) nas etapas do processamento da erva-mate (*Ilex paraguariensis*) e caracterização química dos resíduos da trituração para o desenvolvimento de produto**. 2009. 245 f. Tese (Doutorado em Ciência dos Alimentos)- Curso de pós-graduação em Ciência de Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

VIEIRA, M. A.; ROVARIS, A. A.; MARASCHIN, M.; SIMAS, K. N.; PAGLIOSA, C. M.; PODESTA, R.; AMBONI, R. D. M. C.; BARRETO, P. L. M.; AMANTE, E. R. Chemical characterization of candy made of erva-mate (*Ilex paraguariensis* A. St. Hil.) Residue. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 56, p. 4637–4642, 2008.

WARMBIER, K.; WILCZYNSKI, A.; DANECKI, L. Particle size dependent properties of three-layer particleboards with the core layer made from willow (*Salix viminalis*). **Forestry and Wood Technology**. v. 7, p.405-409. 2010.

XU, X.; ZHOU, D.G.; WU, Q. A laboratory trial of manufacturing kenaf core particleboard. **Journal of Nanjing Forestry University**. v.29, n.1, p.15-19. 2005.