

**ESTUDO DA UMIDADE DE EQUILÍBRIO DOS
PAINÉIS DE MADEIRA NO BRASIL**

GRACIANE ANGÉLICA DA SILVA

2004

GRACIANE ANGÉLICA DA SILVA

**ESTUDO DA UMIDADE DE EQUILÍBRIO DOS PAINÉIS
DE MADEIRA NO BRASIL**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Mestrado em Engenharia Florestal, área de concentração em Ciência e Tecnologia da Madeira, para obtenção do título de “Mestre”.

Orientador
Prof. Lourival Marin Mendes

LAVRAS
MINAS GERAIS – BRASIL
2004

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca Central da UFLA**

Silva, Graciane Angélica da

Estudo da Umidade de Equilíbrio dos Painéis de madeira no Brasil /
Graciane Angélica da Silva. -- Lavras : UFLA, 2004.
140 p. : il.

Orientador: Lourival Marin Mendes.

Dissertação (Mestrado) – UFLA.

Bibliografia.

1. Painel de madeira. 2. Umidade de equilíbrio. 3. Sorção. 4. Chapa de
fibra. 5. Chapa de partícula. 6. Compensado. 7. Madeira. I. Universidade
Federal de Lavras. II. Título.

CDD-634.98
-674.0287

GRACIANE ANGÉLICA DA SILVA

**ESTUDO DA UMIDADE DE EQUILÍBRIO DOS PAINÉIS
DE MADEIRA NO BRASIL**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Mestrado em Engenharia Florestal, área de concentração em Ciência e Tecnologia da Madeira, para obtenção do título de “Mestre”.

APROVADA em 19 de Fevereiro de 2004

Prof. Setsuo Iwakiri

DETF / UFPR

Prof. Fábio Akira Mori

DCF / UFLA

Prof. Lourival Marin Mendes
DCF / UFLA
(orientador)

LAVRAS
MINAS GERAIS – BRASIL

A Deus

À minha querida mãe Maria Aparecida.

Aos meus irmãos Cláudio Luiz e Márcia Cristina.

À minha sobrinha Carolina.

Ao meu namorado Francisco.

Aos meus amigos.

Dedico

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela graça da vida.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de nível Superior (CAPES).

À Universidade Federal de Lavras (UFLA).

Ao professor Lourival Marin Mendes, pelos ensinamentos, paciência, orientação e amizade.

Ao professor Paulo Fernando Trugilho, em especial, pela amizade, ensinamentos, orientação e apoio na realização deste trabalho.

Ao professor Fábio Akira Mori pela colaboração prestada no comitê de orientação.

Ao professor Setsuo Iwakiri pelo apoio na manufatura dos painéis e pela colaboração prestada no comitê de orientação.

Aos professores José Tarcísio Lima, José Reinaldo e Natalino Calegário pela amizade e ensinamentos.

À Universidade Federal do Paraná pela oportunidade de confecção dos painéis.

À empresa ALBA QUÍMICA pela doação da resina utilizada neste trabalho.

Ao amigo Leopoldo Saldanha pela valorosa contribuição na manufatura dos painéis.

Aos funcionários da Serraria, Vico, Zé Fazenda, Carlinhos pela colaboração na realização deste trabalho.

Aos funcionários da Marcenaria, Hernani e Gilson pela colaboração na realização deste trabalho.

Ao Claré pela colaboração na realização deste trabalho.

Aos acadêmicos Isaías, Alison e Adalberto Caldas pela amizade e contribuição na realização deste trabalho.

Aos amigos, Soraya, Daniela Silva, Daniela Siqueira, Gislene, Auwdréia, Cintia, Claudinéia, Sérgio, Clair, Paulo e Renato, pela amizade e companheirismo.

Aos amigos de curso, Vanete, Yustane, Franciane e Antônio Américo (Juninho), pela amizade e companheirismo em todas as etapas do curso. Estejam certos de que vocês fazem parte desta alegria, de cumprir esta etapa tão almejada.

Aos meus queridos pais, Maria Aparecida e Vicente Ângelo (in memória), minha eterna gratidão pela vida, pela educação, pelo carinho e pelo esforço empregado na minha formação.

Aos meus irmãos, Cláudio Luiz, Márcia Cristina e também ao meu cunhado José Cláudio pelo carinho, amizade e esforço empregado na minha formação.

À minha linda sobrinha, Caroline pelo carinho.

Ao meu namorado, Francisco pelo carinho, amizade, compreensão e amor.

Aos demais familiares pelo carinho e incentivo.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para realização deste trabalho.

SUMÁRIO

Página

RESUMO.....	i
ABSTRACT.....	ii
CAPÍTULO 1.....	1
1 Introdução Geral.....	1
2 Referencial Teórico.....	4
2.1 Produtos Reconstituídos à base de Madeira.....	4
2.1.1 Compensado.....	7
2.1.2 Blockboard.....	8
2.1.3 Chapa de partículas.....	8
2.1.4 Chapa de fibras.....	8
2.1.5 Chapa de fibras dura (Hardboard).....	9
2.1.6 Chapa de fibra de média densidade (MDF).....	9
2.1.7 Painel de partículas orientadas (OSB).....	9
2.1.8 Painel de lâminas paralelas (LVL).....	10
2.1.9 Waferboard.....	10
2.1.10 Parallel strand lumber (PSL).....	11
2.1.11 COM-PLY lumber.....	11
2.1.12 Oriented strand lumber (OSL).....	11
2.1.13 Madeira-cimento.....	12
2.1.14 Fineboard.....	12
2.1.15 Lâminas de alta pressão (HPL).....	12
2.1.16 Tipos de Revestimentos.....	12
2.1.17 Cronologia do desenvolvimento tecnológico de painéis de madeira.....	13
2.2 Teor de Umidade da madeira.....	16

2.2.1	Máximo Teor de Umidade da madeira.....	16
2.2.2.	Tipos de Água na madeira.....	17
2.2.3	Ponto de Saturação das Fibras.....	19
2.2.4.	Movimento de Água na madeira.....	19
2.2.5	Umidade de Equilíbrio.....	20
2.2.6	Sorção.....	21
2.2.7	Teorias de Sorção de água pela madeira e derivados.....	22
2.2.7.1	Teoria de Sorção de BET.....	22
2.2.7.2	Teoria de Sorção de Hailwood e Horrobin.....	23
2.2.7.3	Teoria de Pierce.....	25
2.2.7.4	Teoria de Enderby-King.....	26
2.2.7.5	Teoria de Bradley.....	27
2.2.7.6	Teoria de Nelson (1983).....	28
2.2.7.7	Utilização das teorias de sorção para estimar a umidade de equilíbrio no Brasil.....	29
2.2.7.8	Teoria de Sorção para compostos de madeira.....	29
3	Referências Bibliográficas.....	30
CAPÍTULO 2 Estimativa da Umidade de Equilíbrio dos Painéis.....		35
1.	Resumo.....	35
2	Abstract.....	36
3	Introdução.....	37
4	Referencial teórico.....	39
5	Materiais e métodos.....	42
6	Resultados e discussão.....	45
7	Conclusões.....	53
8	Referências bibliográficas.....	54
CAPÍTULO 3 Determinação prática da Umidade de Equilíbrio de painéis de madeira.....		57

1 Resumo.....	57
2 Abstract.....	58
3 Introdução.....	59
4 Referencial teórico.....	61
4.1 Umidade relativa do ar.....	62
4.2 Temperatura.....	63
5 Materiais e métodos.....	64
6 Resultados e discussão.....	69
7 Conclusões.....	81
8 Referências bibliográficas.....	82
CAPÍTULO 4 Efeito de algumas variáveis de processamento na sorção de painéis de madeira.....	84
1 Resumo.....	84
2 Abstract.....	85
3 Introdução.....	86
4 Referencial teórico.....	87
4.1 Resina.....	88
4.2 Tempo de prensagem.....	89
4.3 Temperatura de prensagem.....	90
4.4 Propriedades físicas dos painéis.....	91
4.4.1 Absorção de água e Inchamento em espessura	91
4.4.2 Taxa de não retorno em espessura (TNRE).....	91
5 Materiais e métodos.....	93
5.1 Obtenção das partículas.....	93
5.2 Secagem das partículas.....	96
5.3 Aplicação da resina.....	96
5.4 Formação do colchão.....	96
5.5 Prensagem.....	98

5.6 Avaliação da umidade de equilíbrio e das propriedades físicas dos painéis.....	99
6 Resultados e discussão.....	105
6.1 Água na forma de vapor.....	105
6.2 Água na forma líquida.....	110
7 Conclusões.....	122
8 Recomendações.....	123
9 Referências bibliográficas.....	124
ANEXOS.....	126

RESUMO

SILVA, Graciane Angélica da. **Estudo da Umidade de Equilíbrio dos Painéis de Madeira no Brasil**. 2004. 140 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.¹

Nos últimos anos ocorreu um aumento significativo na produção e utilização de produtos reconstituídos de madeira, no Brasil. Por outro lado, devido à grande extensão territorial do país, existe uma grande variação nas condições climáticas nas diversas localidades, que compõem os estados da Federação. Neste contexto torna-se imprescindível o estudo destes produtos, no que se refere aos efeitos da variação de umidade relativa e temperatura. A importância de se obter estas informações, reside no fato da madeira e seus derivados serem materiais higroscópicos, podendo então causar variações na sua resistência mecânica e estabilidade dimensional. O objetivo geral deste trabalho foi de estudar o comportamento de painéis de madeira em contato com a água. Este estudo foi dividido em três fases. Na primeira fase foi feita a estimativa da umidade de equilíbrio de 13 diferentes produtos, para 26 estados brasileiros, utilizando a equação de Nelson (1983) e os dados das Normais Climatológicas (série 1960-1990). Na Segunda, foi feita a determinação prática da umidade de equilíbrio para diferentes condições de umidade relativa (90,80,70,60,50, e 40%) a uma temperatura de 30°C para os diversos painéis produzidos no Brasil. Já na terceira fase foi feita a manufatura de painéis em laboratório visando estudar a influência das variáveis de processamento (teor de resina, temperatura de prensagem e tempo de prensagem) na umidade de equilíbrio e nas propriedades físicas dos painéis. Os resultados mostraram o seguinte: 1) a umidade de equilíbrio varia em função do tipo de painel; 2) a equação de Nelson (1983) se mostrou eficiente na estimativa da umidade de equilíbrio; 3) o revestimento dos painéis não afeta a umidade de equilíbrio; 4) os painéis de madeira em média apresentam histerese semelhante; 5) a temperatura de prensagem afeta de forma significativa na tomada de água pelos painéis de madeira, tanto na forma líquida como na forma de vapor; 6) o teor de resina e o tempo de prensagem afetam, de forma significativa, a tomada de água na forma líquida.

¹ Comitê de Orientação: Lourival Marin Mendes (orientador) - UFLA, Fábio Akira Mori – UFLA e Paulo Fernando Trugilho – UFLA.

ABSTRACT

SILVA, Graciane Angélica da. **Study of the Equilibrium Moisture Content of the Wood Panels in Brazil**. 2004. 140 p. Dissertation (Master in Forest Engineering) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.²

Lately a significant increase in the production and use of reconstituted wood products in Brazil has occurred. However, due to the great extension of the country, a great variation exists in the climatic conditions in the states of the Federation. Therefore, it seems appropriated to study the effects of the variation of relative humidity and temperature on these products. Wood and its byproducts are highly hygroscopic, thus causing variations in their mechanical resistance and dimensional stability. This research aimed at studying the behavior of wood panels in contact with water. The study was divided in three parts. In the first, it is studied the equilibrium moisture content of 13 different products, for 26 Brazilian states, using Nelson's equation (1983) and the data of the Climatic Norms (series 1960-1990). In the second, it was determined the equilibrium moisture content for different conditions of relative humidity (90, 80, 70, 60, 50, and 40%) to a temperature of 30 °C for the several panels produced in Brazil. In the third part, it was manufactured panels in laboratory conditions, in order to study the influence of the processing factors (resin content, temperature of pressing and time of pressing) in the equilibrium moisture content and in the physical properties of the panels. It could be concluded that: 1) the equilibrium moisture content varies in function of the panel type; 2) Nelson's equation (1983) showed to be efficient for estimating the equilibrium moisture content; 3) the covering of the panels doesn't affect the equilibrium moisture content; 4) the wood panels on average presented similar hysteresis; 5) temperature affects, significantly, the water retention by wood panels, only in the liquid form; 6) the resin content and the time of pressing affect, in a significant way, the water socket, in the liquid form.

² Guidance Committee: Lourival Marin Mendes (Major Professor) - UFLA, Fábio Akira Mori - UFLA and Paulo Fernando Trugilho - UFLA .

Dentro deste contexto econômico-ambiental, torna-se oportuno ressaltar a importância da produção e utilização de produtos de madeira reconstituída, pelas indústrias moveleiras, de construção civil e de embalagens (Mendes et al., 2003).

As vantagens em utilizar este tipo de material em relação a madeira sólida são as seguintes:

- Diminuição da anisotropia em relação à madeira sólida;
- Utilização de madeiras de reflorestamento de rápido crescimento;
- Madeiras de densidade baixa a média que na confecção do painel, confere rigidez suficiente para aplicação estrutural e não estrutural;
- O aproveitamento da madeira na conversão das toras aproxima-se de 100%;
- Dependendo do uso final do painel, pode-se acrescentar pequenas quantidades de resíduos da indústria madeireira e agro-industrial;
- Podem ser produzidos painéis em grandes dimensões, em que o fator limitante consiste nas dimensões das prensas e não das árvores;
- Menor variação dimensional em relação a madeira maciça;
- Distribuição uniforme do coeficiente de resistência na estrutura do painel;
- Se necessário, as peças podem ser moldadas para determinados usos;
- São mais fáceis de serem impregnados com produtos repelentes a agentes xilófagos, umidade e retardantes de fogo.

Segundo Mendes et al. (2003), a indústria brasileira de painéis laminados encontra-se estagnada e com dificuldades de crescimento. Em contrapartida, a indústria brasileira de painéis particulados e de fibras apresentou, nos últimos, anos um crescimento considerável, tanto no aspecto de produção como também no consumo interno.

Apesar destes produtos apresentarem vantagens em relação a madeira maciça; como mencionado anteriormente, inexistem estudos com relação ao comportamento destes em serviço, no que diz respeito ao contato com a água, principalmente na forma de vapor. Considerando a grande extensão territorial do país, com uma ampla variação de condições climáticas (umidade relativa e temperatura) nos diversos estados, que compõem a Federação, torna-se imprescindível à realização de estudos de sorção de painéis de madeira no Brasil.

O objetivo geral deste trabalho foi estudar o comportamento dos painéis à base de madeira em contato com a água.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Produtos Reconstituídos à Base de Madeira

De forma geral e simplificada, pode-se subdividir o uso de uma floresta em dois grandes grupos de utilização. O primeiro deles é representado pela função ecológica e social da floresta na forma de parques ecológicos, áreas de preservação de mananciais de águas, áreas de lazer entre outros. O segundo grupo, que é de importância econômica, pode ser desmembrado em sete grupos de utilização conforme a Tabela 1.1.

TABELA 1.1 Subgrupos de utilização da floresta.

Subgrupo de utilização	Produtos
1- Produtos sem industrialização ou semi-industrializados.	- Postes, moirões e similares de madeira roliça.
2 - Serrados	- Madeira serrada com ou sem beneficiamento.
3 - Laminados	- Lâminas e compensados.
4 - Energia	- Lenha, cavacos, carvão vegetal, alcatrão, álcoois, briquetes, etc.
5 - Produtos de partículas	- Aglomerados.
6 - Produtos de fibras	- Polpa/celulose, chapas de fibras.
7 - Outros	- Frutos, borracha, óleos, resinas e essências vegetais.
8 - Madeira "in natura" *	- Toras

Fonte: (STCP, 1997).

* Inclui-se um oitavo subgrupo, madeira "in natura", por se tratar de uma alternativa de comercialização da madeira existente, isto é, a venda de toras.

Os subgrupos 2, 3, 4, 5 e 6 são os mais representativos e os que mais influenciam a utilização otimizada de uma floresta (STCP, 1997).

Na Tabela 1.2, observa-se toda a variação de utilização de uma tora, tomando-se como ponto de partida uma árvore madura com as respectivas restrições dimensionais (STCP, 1997).

TABELA 1.2 Variação de utilização de uma tora.

Diâmetro com casca	Valor de mercado	Primário	Secundário	Terciário
< 8 cm	baixo	energia	-	produtos combinados
> 8 cm	médio	roliços e cavacos	celulose/pasta e painéis reconstituídos	produtos combinados
> 15 cm	bom	roliços, cavacos e serrados	Aplainados e Painéis colados	produtos combinados
> 25 cm	ótimo	roliços e cavacos, serrados, lâminas e outros (resinas)	Compensados, pisos e outros (solventes)	produtos combinados

Fonte: STCP, 1997

Além dos produtos citados acima, inúmeros produtos novos vêm substituindo os produtos tradicionalmente utilizados e vários tipos de painéis vêm ganhando espaço em relação ao compensado tradicional, em virtude da melhor relação preço/desempenho e da crescente conscientização dentro da sociedade moderna de que não é mais viável a convivência com processos que utilizam reservas florestais, com níveis elevados de perdas (Tomaselli & Delespinasse, 1997).

Compostos de madeira são produtos que possuem em comum o processo de redução e montagem. A madeira sólida é reduzida em elementos de diversas formas e dimensões e, então, posteriormente reagrupadas em um novo produto, através de ligação adesiva. A Figura 1.1 exemplifica os elementos derivados da madeira sólida, para a produção de diversos produtos compostos. De modo geral, à medida que se segue a diagonal, o tamanho dos elementos decresce e a possibilidade ao ajuste em diversas formas aumenta, assim como a formabilidade (ajuste das partículas associadas com a consolidação).

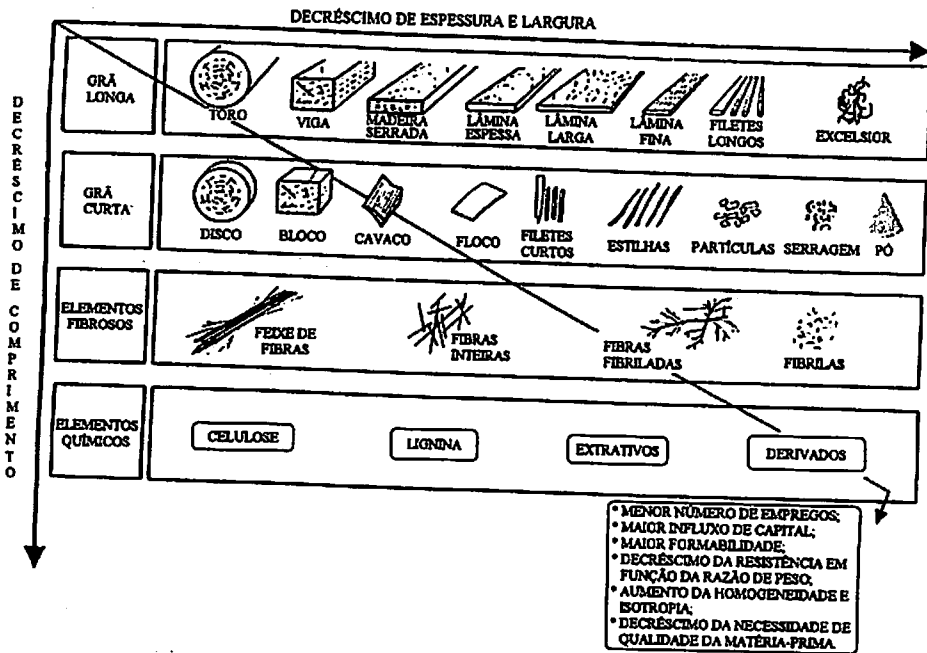


FIGURA 1.1 Tabela não periódica de elementos de madeira (Marra, 1992).

De forma simplificada, os painéis reconstituídos de madeira podem ser classificados como ilustrado na Figura 1.2.

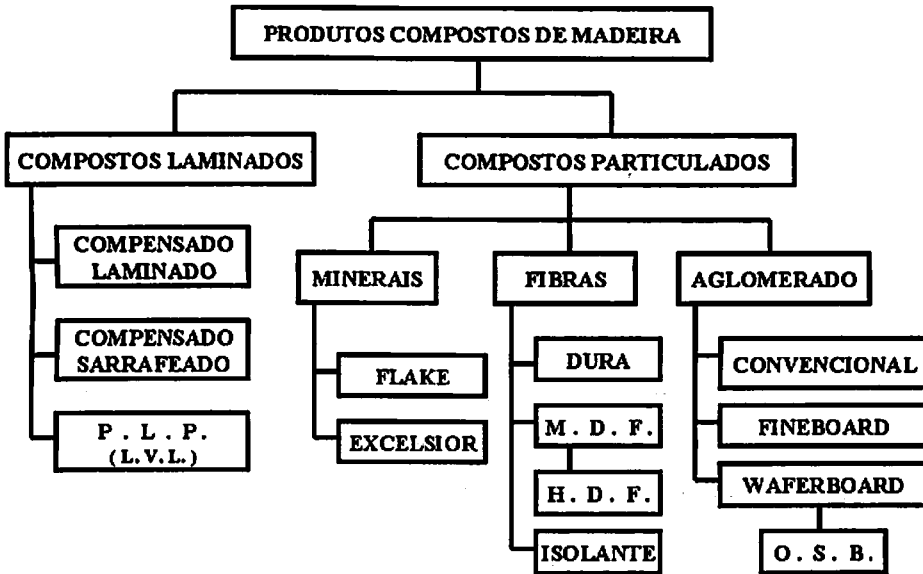


FIGURA 1.2 Esquema representativo dos produtos de madeira reconstituída (Mendes et al., 2001).

2.1.1 Compensado

É um produto composto, formado por camadas entrecruzadas (formando um ângulo de 90°) de lâminas de madeira, as quais são submetidas à uma colagem sob prensagem aquecida. Variações ocorrem, com o miolo constituído de madeira serrada, ou de chapas de partículas, ligado por um adesivo (Ford-Robertson, 1971).

2.1.2 Blockboard

Também conhecido como compensado sarrafeado, é um painel confeccionado com sarrafos de madeira serrada colados entre si, formando o miolo da chapa, e as faces constituídas de lâminas de madeira em disposição cruzada. Mais recentemente, uma versão deste produto substitui as lâminas das faces por finas peças de madeira serrada (Maloney, 1996).

2.1.3 Chapa de partículas

Termo genérico para um painel manufacturado a partir de materiais lignocelulósicos, geralmente madeira, essencialmente na forma de partículas, que são ligadas por resinas sintéticas, ou outros agentes aglutinantes apropriados, sob calor e pressão, por um processo onde as ligações interpartículas são totalmente realizadas pela adição de um agente aglutinante (Ford-Robertson, 1971).

1.2.1.4 Chapa de fibras

É um painel manufacturado sob pressão e calor, a partir de fibras de qualquer material lenhoso, ou seja, madeira desfibrada, com a ligação primária derivada do interempastamento das fibras e de suas inerentes propriedades adesivas. Agentes aglutinantes e impregnantes podem ser adicionados durante a manufatura (Ford-Robertson, 1971).

2.1.5 Chapas de fibras duras (Hardboard)

É uma chapa de fibra fina e homogênea, com uma densidade superior a $0,48\text{g/cm}^3$. No Reino Unido são classificadas como: médias = densidade entre $0,48$ e $0,80\text{g/cm}^3$; standard = densidade acima de $0,88\text{g/cm}^3$; e super (temperada) = densidade acima de $0,96\text{g/cm}^3$ (Ford-Robertson, 1971).

1.2.1.6 Chapas de fibras de média densidade (Medium density fiberboard - MDF)

É um produto formado por processo seco, a partir de fibras lignocelulósicas combinadas com resina sintética, ou outro tipo de adesivo. Os painéis são produzidos através de uma prensagem a quente, com a densidade na faixa entre $0,5$ e $0,8$ (Maloney, 1996).

1.2.1.7 Pannel de Partículas Orientadas (Oriented strand board OSB)

Segundo Ford-Robertson (1971) e Maloney (1996), OSB (Oriented Strand Board) é um pannel de partículas de madeira orientadas e coladas com resina à prova d'água sob prensagem a quente. Foi desenvolvido para aplicações estruturais, sendo considerado como uma segunda geração dos painéis WAFERBOARD (painéis de partículas denominadas "wafer"), e é produzido a partir de partículas (strands) de madeira. As partículas da camada interna podem estar dispostas aleatoriamente ou perpendicularmente em relação às camadas externas. Lelles & Silva (1997) relatam que a diferenciação, em relação aos aglomerados tradicionais, se refere à impossibilidade de utilização de resíduos de serraria na sua fabricação, devido às dimensões das partículas. Consiste num produto de destacado crescimento no rol de produtos reconstituídos.

2.1.8 Painéis de laminas paralelas (Laminated veneer lumber -LVL)

Consiste em um produto à base de lâminas de madeira coladas no mesmo sentido da grã com resina fenólica. Sua resistência supera até mesmo a da madeira sólida. Seu emprego direciona-se para vigas em I, armaduras, andaimes, guias não estruturais e carpintaria em geral (Lelles & Silva, 1997).

2.1.9 Waferboard (WB)

Este produto é obtido através da prensagem, com resinas fenólicas, de partículas com formatos especiais, mais especificamente, nos formatos quadrados ou ligeiramente retangulares. Atualmente, existe desenvolvimento desta chapa para um “waferboard” orientado, que combina revestimento exterior de partículas orientadas com um núcleo composto de “chips” distribuídos ao acaso (Lelles & Silva, 1997).

2.1.10 Parallel strand lumber (PSL)

Parallam™ * é um PSL desenvolvido, no Canadá, por McMillan Bloedel Ltd., confeccionados a partir de partículas orientadas tipo filete (strand), derivadas de lâminas de madeira de coníferas, ou de lâminas obtidas especificamente para este fim. As dimensões das partículas se situam em torno de 0,5 pol ($\pm 1,3$ cm) de largura, e comprimento de até 37 pol (± 94 cm). Os filetes são colados com a utilização de adesivos de compensados para uso exterior (Maloney, 1996).

* TM= Trade Mark



2.1.11 COM-PLY lumber

É um produto desenvolvido pelo USDA Forest Service, na década de 70, sendo um painel constituído de um miolo formado por partículas ou flocos de madeira, com disposição aleatória ou orientada e as faces constituídas de lâminas de madeira (Maloney, 1996).

2.1.12 Oriented strand lumber (OSL)

Desenvolvido pela MacMillan Bloedel Ltd, recentemente denominado como TimberStrand™ LSL, ou Laminated Strand Lumber (LSL). Este produto é confeccionado de filetes (strands) de maior comprimento (30cm), submetido à uma prensagem por injeção de vapor, proporcionando um produto de densidade uniforme (Maloney, 1996).

2.1.13 Madeira-cimento

Segundo Latorraca (2001), a tecnologia de produção dos painéis de madeira-cimento é muito similar ao processo de produção de aglomerados com resina sintética. É composto basicamente de partículas ou fibras de madeira (agregado), cimento Portland (aglomerante) e água, numa proporção de 1:3:1,5. Aditivos químicos tem sido empregados com o propósito de reduzir o tempo de endurecimento do cimento, acelerando o desenvolvimento da resistência.

2.1.14 Fineboard

É um Painel obtido a partir de fibras e fragmentos de fibras (pó da madeira) para uso na indústria moveleira (Bandel, 1999).

2.1.15 HPL (Lâminados de alta pressão)

É constituído por várias camadas de material fibroso (normalmente papel) impregnados por resinas termo estáveis e unidos por calor e pressão. A camada superior traz impresso um desenho ou motivo decorativo (Vetas Magazine, 2003).

2.1.16 Tipos de Revestimentos

Os painéis de madeira podem ser revestidos da seguinte forma (ABIPA, 2000):

- **In Natura:** Neste caso os painéis sem nenhum acabamento são processados pelo próprio usuário, podendo ser revestidos através de lâminas de madeira natural, laminado plástico, PVC, etc. Outra forma de acabamento seria através de pintura.
- **Revestido com laminado Baixa Pressão – BP:** Através de temperatura e pressão, uma folha de papel, impregnada com resina melamínica é fundida ao painel, resultando numa chapa já acabada. Estes painéis podem apresentar cores plenas, madeiradas ou fantasia, etc.
- **Revestimento com Finish Foil – FF:** Uma película de papel é colada ao painel com resina uréia, resultando também em um produto já acabado. Esta película pode ser impressa com padrões madeirados, em cores ou fantasia.

2.1.17 Cronologia do desenvolvimento tecnológico de painéis de madeira

O primeiro painel produzido, industrialmente, no mundo foi um compensado, fato ocorrido no início do século XX, nos Estados Unidos da América.

Os painéis de partículas de madeira aglomerada, por sua vez, surgiram na Alemanha, no início da década de 40, como forma de viabilizar a utilização de resíduos de madeira, face à dificuldade de obtenção de madeiras de boa qualidade, para produção de lâminas para compensados, devido ao isolamento do país durante a 2ª Guerra Mundial.

A produção foi paralisada logo a seguir, devido à redução na disponibilidade de resina, tendo em vista a prioridade de uso de petróleo para finalidade militar. Ao fim da guerra, em 1946, o processo de desenvolvimento foi retomado nos Estados Unidos, com aperfeiçoamentos de equipamentos e processos produtivos. A partir da década de 60, houve grande expansão em termos de instalações industriais e avanços tecnológicos, que culminaram no desenvolvimento de chapas estruturais tipo Waferboard e OSB, em meados da década de 70.

O desenvolvimento da tecnologia de produção de compensados, chapas de fibras e de partículas passou pela cronologia a seguir (ABIMA, 1992; Iwakiri, 1998):

1858 – Lyman (EUA), desenvolveu a primeira patente em chapas de fibras;

1866 – Fleury (EUA), desenvolveu a patente para fabricação de chapas de fibras isolantes pelo processo úmido;

1880 – desenvolvimento da tecnologia de produção de chapas duras/isolantes pelo processo úmido;

1913 - início da produção de compensado no mundo;

1914 – instalação da 1ª fábrica de chapas isolantes baseado na tecnologia de produção de papelão;

1930 – instalação da 1ª fábrica de chapas duras com a utilização de toretes de madeira;

1931 – desenvolvimento do equipamento desfibrador “Asplund” na Suécia, através do método contínuo de desfibramento a alta temperatura e pressão;

1932 – instalação da 1ª fábrica de chapas de fibra na Alemanha;

1940 – início da produção de compensado no Brasil;

1943 – desenvolvimento do sistema de formação do colchão por método pneumático (ar), que foi a idéia básica para o desenvolvimento do processo seco e semi-seco;

1951 – início da produção de chapas duras pelo processo semi-seco;

1952 – desenvolvimento de planta piloto para chapas duras pelo processo seco;

1955 – início de produção de chapas de fibra no Brasil;

1966 – início de produção de chapas de madeira aglomerada no Brasil;

1970 – início da produção de chapas de fibras de média densidade (MDF);

1975 – início de produção de Waferboard e OSB no mundo;

1997 – início de produção de MDF no Brasil;

2002 – início de produção de OSB no Brasil.

A defasagem do Brasil, em relação aos principais países produtores de chapas de madeira reconstituída, é considerável (Tabela 1.3) e precisa ser urgentemente reduzido, a fim de que se atinja, a médio e longo prazo, uma igualdade técnica e competitiva com estes países, o que é plenamente viável.

TABELA 1.3 Defasagem brasileira em relação aos produtos de madeira reconstituída.

Produtos	Mundo	Brasil	Defasagem (anos)
Compensado	1913	1940	27
Chapa de fibra	1930	1955	25
Madeira aglomerada	1950	1966	16
MDF	1970	1998	28
Waferboard	1975	-	28*
OSB	1975	2002	27
Homogeneous board	1980	1990	10
LVL	1972	-	31*
Madeira-Cimento	1914	-	89*

Fonte: Adaptado da ABIMA (1992)* Previsão; ** Até o presente momento.

2.2 Teor de Umidade da Madeira

O conteúdo de umidade da madeira é calculado em função da relação entre o seu peso úmido (Pu), ou o peso de água contida na madeira, e o seu peso seco (Ps) em estufa a $103 \pm 2^\circ\text{C}$ até que este atinja um valor constante.

Quando a árvore está viva ou é derrubada, os poros estão total ou parcialmente cheios de seiva, a qual satura também as paredes da célula. Koehler & Thelen (1926) e Brotero (1941) denominaram seiva a água existente na madeira verde, contendo, em solução, pequenas proporções de substâncias minerais arrastadas do solo e substâncias orgânicas elaboradas, principalmente, pelas folhas.

Como a madeira é um material muito higroscópico, ou seja, perde ou ganha água de acordo com a umidade relativa do ar, tem-se muita dificuldade na estabilização de uma peça de madeira. Somente com revestimentos, pinturas e outros artificios é que se consegue alguma estabilização.

Na produção de painéis de madeira certos teores de umidade são exigidos com o objetivo de assegurar uma boa colagem, da resina utilizada. O teor de umidade do substrato, na colagem é um fator muito importante para se obter ligações que apresentem um comportamento adequado em serviço. A maioria dos adesivos para madeira não forma uma linha de cola satisfatória em teores de umidade acima de 20% (Silva et al., 1998).

No geral, é impraticável a colagem de madeira ainda verde ou com alto conteúdo de umidade (Barbosa, 1995, Marra, 1992 e Sellers et al., 1988).

2.2.1 Máximo Teor de Umidade da Madeira

O máximo teor de umidade da madeira é atingido, quando o lúmen da célula, a parede celular e os espaços intercelulares estão, completamente, saturados de água. Desse modo, a quantidade máxima de água que a madeira pode conter depende do volume de seus espaços não ocupados pela parede celular e por materiais estranhos (Burger, 1991).

A quantidade e natureza dos extrativos, presentes na madeira, também afetam o seu teor máximo de umidade.

A variação de umidade em madeira verde é devido à variação dentro da própria árvore. O alburno de coníferas é, geralmente, mais úmido que o cerne, podendo ultrapassar o teor de umidade de 200%. Em folhosas, geralmente não há esta diferença no conteúdo de umidade, com relação a sua localização no caule (Calvão & Jankowsky, 1985).

2.2.2 Tipos de Água na Madeira

A secagem da madeira está diretamente relacionada com a sua estrutura celular. A estrutura celular da madeira de folhosas é diferente da estrutura de

coníferas. Nas folhosas o lenho é composto de vários tipos de células: fibras, vasos e células parenquimáticas. As coníferas são compostas basicamente por fibras (traqueídeos) e raios. Em comparação com as folhosas, as coníferas apresentam geralmente uma estrutura celular mais simples (Burger, 1991).

Para melhor compreensão da dinâmica da água no interior da madeira, torna-se necessário conhecer os diversos aspectos relacionados com a sua localização.

Pode-se dizer que existem dois tipos de água na madeira:

- **Água Livre (Capilaridade):** Encontra-se preenchendo os grandes capilares constituídos pelo lúmen da célula e espaços intercelulares (incluindo vasos e canais resiníferos). A água passa de uma célula para outra até atingir a superfície externa da madeira. A água livre deixa a madeira antes que a água de adsorção o faça e não é possível eliminar a água de adsorção da madeira, sem que antes tenha sido eliminada a água livre (Brown & Bethel, 1956 e Gomide, 1969).

Quando a água livre é retirada da madeira de forma natural, ou artificial, a umidade fica no ponto de saturação das fibras e, segundo a literatura, este ponto está entre 28 a 30% de umidade, e abaixo destes valores encontra-se a água de adsorção.

- **Água de Adsorção**

Segundo Stamm (1964), a água de adsorção compreende 3 tipos de água:

- 1) **Água de Constituição:** Esta água encontra-se combinada, quimicamente, com as substâncias orgânicas da parede celular e não pode ser removida sem que se altere a composição química desta parede.

2) **Água de Impregnação:** Localizada no interior das paredes celulares, esta água mantém-se unida às microfibrilas das paredes das células em estado de vapor. Alterando o volume da peça de madeira e todo seu comportamento físico e mecânico. Esta água pode ser retirada na estufa aquecida de 100 a 150°C.

3) **Água de condensação:** Esta água encontra-se nas regiões amorfas ou porosas, através da ação capilar. Há condensação quando uma peça de madeira seca em estufa é colocada num meio ambiente de teor elevado de vapor d' água. Nesse caso a força capilar das regiões amorfas é tão grande que o vapor é condensado e adsorvido.

2.2.3 Ponto de Saturação das Fibras (PSF)

Quando toda a água livre, presente nas cavidades celulares, foi retirada da madeira, remanescendo apenas a água de adsorção, diz-se que a madeira atingiu o seu Ponto de Saturação das Fibras (Stamm, 1964).

Normalmente, o PSF situa-se numa faixa entre 28 e 30% de umidade, variando de espécie para espécie. O PSF é importante, pois é a partir deste ponto que ocorrem as alterações na estrutura da madeira, tais como: contrações que podem causar defeitos como empenamentos e rachaduras e conseqüentemente alterações na sua resistência mecânica e física (Costa, 2003).

2.2.4 Movimento de Água na Madeira

Durante a secagem, o que ocorre normalmente com a água presente no interior da madeira é um movimento desta de zonas de alta umidade para zonas de baixa umidade, ou seja, a parte mais externa da madeira deverá estar mais seca que o seu interior para que ocorra a secagem. A água é liberada para o ambiente através da estrutura anatômica da madeira, que influencia na

velocidade de secagem em função das variações, que ocorre entre grupos, espécies e pela variação base-topo e medula casca dentro da árvore (Costa, 2003).

Já os fatores externos que influenciam a velocidade de retirada de água na madeira são a umidade relativa, temperatura e velocidade do ar do ambiente onde a madeira se encontra. Quanto maior a temperatura e velocidade do ar, e, menor a umidade relativa maior será a velocidade de secagem (Costa, 2003).

Segundo Costa (2003), diminuindo a umidade na superfície da madeira, dar-se-á início a uma movimentação da umidade do interior da madeira para sua parte externa. Desta forma começará a formar-se um gradiente de umidade, que significa entre outras palavras que a madeira irá apresentar diferentes graus de umidade desde a sua parte mais interna até a mais externa.

A umidade move-se no interior da madeira sob a forma líquida ou de vapor e a sua velocidade de movimentação depende basicamente da temperatura interna e externa da madeira. A água movimenta-se através de vários tipos de passagens tais como: as cavidades das fibras e vasos, células radiais, pontuações, aberturas e dutos de resina dentre outros (Burger, 1991).

A umidade pode deslocar-se praticamente em qualquer direção, tanto lateral quanto longitudinalmente. Entretanto, a sua difusão no sentido longitudinal é de 10 a 15 vezes mais rápida que no sentido transversal, assim como a difusão no sentido radial é mais rápida que no sentido tangencial. Ocorrendo uma secagem, na superfície da madeira, abaixo do PSF sem que o mesmo aconteça no seu interior poderão acontecer rachaduras na superfície e extremos desta peça de madeira (Costa, 2003).

Segundo Costa (2003), quando a madeira está secando, diversas forças agem na movimentação da umidade no seu interior, tais como:

- Ação da Capilaridade: Movimenta a água livre através das cavidades das células e pequenas aberturas na parede celular;

- Diferenças da Umidade Relativa no Interior da Madeira: Estabelecem gradientes de umidade que movimentam o vapor de água por difusão;

- Diferenças no teor de Umidade: Movimentam a água presa ou de adsorção através de pequenas passagens nas paredes celulares, também por difusão.

2.2.5 Umidade de Equilíbrio

A madeira é um material higroscópico, isto é, quando em contato com o ar, absorve ou perde umidade no estado líquido ou de vapor até atingir um equilíbrio, onde estas trocas se equivalem e o teor de umidade da madeira tende a se estabilizar. Este teor de umidade da madeira, quando em equilíbrio com a umidade relativa do ar, é denominado de Umidade de Equilíbrio (Martins et al., 2003).

Para Ponce & Watai (1985), a umidade de equilíbrio da madeira ocorre quando a umidade da madeira está em equilíbrio com a umidade relativa do ar, ou seja, a madeira não perde nem absorve água do meio.

A importância da umidade de equilíbrio da madeira resume-se na situação de secagem e no emprego da mesma. Para a secagem artificial, o conhecimento do conceito de umidade de equilíbrio da madeira é de vital importância, pois, sabendo-se a umidade da madeira e a umidade relativa, pode-se verificar o quão distante se está do equilíbrio, possibilitando o controle racional do processo (Franzoi, 1992).

A umidade de equilíbrio da madeira varia com a umidade relativa da atmosfera que a circunda e, também, entre diferentes espécies de madeira, entre cerne e alburno da mesma espécie e com o teor de extrativos da madeira. É afetada também pela temperatura, pelas tensões mecânicas e pela história da exposição da madeira (Skaar, 1972).

2.2.6 Sorção

Qualquer madeira, isenta de umidade, absorverá vapor d'água do ambiente até que uma umidade de equilíbrio seja estabelecida. Este fenômeno chamado de sorção é típico para sólidos com uma complexa estrutura capilar, como a madeira. A sorção é influenciada por uma série de propriedades químicas e físicas do sólido (Mesquita, 2000).

A sorção é um termo geral que engloba absorção e adsorção, o primeiro refere-se à retenção de um líquido por um material poroso através de tensão capilar e o segundo refere-se à retenção de água na forma de vapor por um material higroscópico. No caso da madeira e derivados compreende a faixa de umidade de zero até o ponto de saturação das fibras. A temperatura e umidade relativa do ar variam constantemente no ambiente, fazendo com que a madeira encontre-se ora em condição de adsorção (em que a madeira ganha água), ora em condições de dessorção (em que a madeira perde água) (Durlo, 1992).

A diferença nos teores de umidade na situação de ganho e perda de água é chamada de histerese. As diferenças nas espécies, quanto à histerese, têm sido atribuídas às diferenças na formação de ligações de hidrogênio reversíveis entre moléculas de celulose adjacentes. Madeiras ricas em extrativos mostram menor histerese do que as de poucos extrativos (Youngs, 1961).

Skarr (1972) define o coeficiente de histerese (A/D), como a relação da umidade de equilíbrio para a adsorção e a dessorção a uma umidade relativa considerada, o mesmo autor considera, valores de 0,8 a 0,9 como representativos do fenômeno para madeiras em geral.

2.2.7 Teorias de Sorção de Água pela Madeira e Derivados

Skaar (1972), apresenta uma revisão sobre as teorias existentes para previsão da umidade de equilíbrio da madeira.

2.2.7.1 Teoria de Sorção de BET

A teoria BET (Brunauer, Emmet & Teller) utiliza o conceito de camadas. Uma camada monomolecular, firmemente aderida às hidroxilas da parede celular e camadas secundárias diferentes da camada monomolecular, mas de comportamento termodinâmico idêntico. O Modelo Matemático desta teoria é representado pela equação 1, cujos coeficientes originais foram determinado por Simpson.

$$UE = \left[\left(\frac{W_m \cdot C \cdot H}{1 - H} \right) \cdot \left(\frac{1 - [n+1] \cdot H^n + n \cdot H^{n+1}}{1 + [C-1] \cdot H - C \cdot H^{n+1}} \right) \right] \quad (1)$$

onde:

UE = umidade de equilíbrio da madeira (%);

Wm = 7,4 - 0,020 T (teor de umidade quando o teor de adsorção monomolecular está completo);

C = 6 (constante relacionada com a energia de adsorção);

n = 4,6 + 0,020 T (número de camadas por sítio de adsorção);

T = temperatura em graus Fahrenheit;

H = pressão relativa de vapor d'água (U / 100).

1.2.2.7.2 Teoria da Sorção de Hailwood e Horrobin

O modelo desenvolvido por Hailwood e Horrobin difere da teoria de camadas Langmuir, BET e Dent por considerar que o processo de sorção é

governado pela formação de uma solução sólida de água no polímero e a formação de hidratos entre água e unidades definidas da molécula do polímero hidratado. A mistura de polímero, polímero hidratado e água dissolvida formam uma única fase sólida. Os dois componentes, água e polímero, existem em duas fases, e as moléculas de água dissolvidas na fase sólida são consideradas móveis. A equação geral de múltiplos hidratos desenvolvida por Hailwood e Horrobin é a seguinte (Skaar, 1972):

1) Hailwood e Harrobin (equação de um hidrato):

$$UE = \left[\frac{K1 \cdot K2 \cdot H}{1 + K1 \cdot K2 \cdot H} + \frac{K2 \cdot H}{1 - K2 \cdot H} \right] \frac{1800}{W} \quad (2)$$

onde:

UE = umidade de equilíbrio da madeira (%);

K1 = $3,730 + 0,03642 T - 0,000154 T^2$;

K2 = $0,6740 + 0,001053 T - 0,000001714 T^2$;

W = $216,9 + 0,01961 T + 0,005720 T^2$;

T = temperatura em graus Fahrenheit;

H = pressão relativa de vapor d'água (U / 100)

2) Hailwod e Harrobin (equação de dois hidratos)

$$UE = \left[\frac{K \cdot H}{1 - K \cdot H} + \frac{K \cdot H \cdot K1 + 2K1 \cdot K2 \cdot K^2 \cdot H^2}{1 + K \cdot H \cdot K1 + K1 \cdot K2 \cdot K^2 \cdot H^2} \right] \frac{1800}{W} \quad (3)$$

onde:

UE = umidade de equilíbrio da madeira (%);

K = $0,791 + 0,000463 T - 0,000000844 T^2$;

K1 = $6,34 + 0,000775 T - 0,0000935 T^2$;

Simpson (1973), ajustou os dados do USDA (1955) a equação de Enderby-King e encontrou as constantes com função de temperatura em $F^0 = 30^0$ F a 210^0 F.

A equação de Enderby-King para a isoterma de sorção pode ser escrita na forma:

$$M = m_0 \left\{ \left[\frac{a \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot h}{(1 + K_1 \cdot K_2 \cdot h)} \right] + \left[\frac{b \cdot K_2 \cdot h}{(1 - K_2 \cdot h)} \right] \right\} \quad (5)$$

onde:

M = umidade de equilíbrio da madeira (%);

a = $1,039 + 0,0212 C$;

b = $0,587 - 0,000609 C$;

K1 = $2,71 + 0,00915 C - 0,000423 C^2$;

K2 = $0,827 + 0,000607 C$;

m0 = $7,75 - 0,0234 C - 0,000234 C^2$;

T = temperatura em graus Celsius;

h = pressão relativa de vapor d'água (U/100).

2.2.7.5 Teoria de Bradley

Bradley (1936) desenvolveu uma teoria de sorção que tem sido aplicada para sorção de água em materiais têxteis (Morton & Hearle, 1962). Ela é baseada na atração dipolar entre sucessivas camadas de moléculas de água sorvidas pelo material (Skarr, 1988).

A equação de Bradley é apresentada a seguir:

$$\ln\left(\frac{1}{H}\right) = K_2 \cdot K_1^{UE} + K_3 \quad (6)$$

onde:

UE = umidade de equilíbrio da madeira (%);

K1 = 0,849 - 0,000236 T;

K2 = 3,64 + 0,00316 T - 0,0000482 T²;

K3 = 0,00949 - 0,0000456 T;

T = temperatura em graus Fahrenheit;

H = pressão relativa de vapor d'água (U/100).

2.2.7.6 Teoria de Nelson (1983)

Nelson (1983) desenvolveu um modelo baseado na energia livre de Gibbs e determinou, através de análise de regressão, os coeficientes originais para alguns produtos a base de madeira e também para a madeira de folhosas, coníferas e para a madeira em geral.

A equação de Nelson (1983) é apresentada a seguir:

$$UEH = Mv \left\{ 1,0 - \frac{1}{A} \ln \left[\left(\frac{R * T}{Ww} \right) \ln \left(\frac{RH}{100} \right) \right] \right\}$$

onde:

UEH = Umidade de equilíbrio higroscópico (%);

RH = Umidade relativa (%);

Ww = Peso molecular da água (18 g/mol);

R = Constante universal dos gases (1,9858 cal/mol/K);

T = Temperatura absoluta (K);

A = Logaritmo natural da energia livre de Gibbs, por grama de água absorvida com a umidade relativa próximo de zero;

Mv = Constante do material aproximado (PSF) para desorção em porcentagem.

A equação acima pode ser simplificada ficando da seguinte forma:

$$UEH = Mv + B * RH^T$$

onde:

$$B = -Mv/A \text{ e}$$

$$RH^T = \ln\left[\left(-RT/Ww\right)\ln(RH/100)\right]$$

2.2.7.7 Utilização das teorias de sorção para estimar a umidade de equilíbrio no Brasil

As teorias citadas, anteriormente, são as mais utilizadas, mas um número de outras teorias tem sido desenvolvidas para explicar a sorção de água por materiais higroscópicos. Algumas dessas teorias não têm sido aplicadas para madeira, sendo interessante determinar se elas podem ser aplicadas (Skaar, 1988).

Neste sentido vários estudos objetivando estimar a umidade de equilíbrio da madeira no Brasil foram conduzidos.

A teoria mais utilizada é a de Hailwood e Harrobin, sendo que vários autores vêm utilizando-a para estimar a umidade de equilíbrio em várias localidades (Galvão, 1975 e 1981; Santini, 1984; Lima et al., 1994; Lima et al., 1995; Lima e Mendes, 1995a; Lima e Mendes, 1995b; Mendes et al., 1996 e Martins et al., 2003). Utilizando a teoria de Hailwood e Harrobin, tem sido desenvolvido programas para calcular a umidade de equilíbrio da madeira, como realizado por Eleotério et al. (1998).

2.2.7.8 Teoria de Sorção para compostos de madeira

A Teoria de Nelson (1983) e WU (1999) é um modelo desenvolvido para estimar a umidade de equilíbrio de produtos compostos de madeira como por exemplo: Aglomerado, MDF, HPL, HPL (bck), OSB e Chapa Dura.

No Brasil, não se tem relato da utilização desta equação ou de outras para estimar a umidade de equilíbrio de compostos de madeira.

3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE INDÚSTRIAS DE MADEIRA AGLOMERADA. **Relatório**. 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE PAINÉIS DE MADEIRA - ABIPA. **Relatório setorial**. São Paulo, 2000. 25 p.

BANDEL, A. Painéis a partir do pó de madeira. *Revista Vetas*, Buenos Aires, v. 19, n. 205, p. 8-10, ago.1999.

BARBOSA, A. P. **Técnicas de adesão e adesivos**. Curitiba: UFPR, 1995. (mimeografado).

BROTERO, F. A. Secagem da madeira em estufa. *Boletim do Instituto de Pesquisa Tecnológicas*, São Paulo, n. 27, p. 47, jul. 1941.

BROWN, N. C.; BETHEL, J. S. **La industria maderera**. México: Editorial Lineusa – Wiley S. A. 1956. 397 p.

BURGER, L. M.; RICHTER, H. G. **Anatomia da madeira**. São Paulo: Nobel, 1991. 154 p.

COSTA, A. F. **Secagem da madeira** (Ementa de secagem de madeiras). Universidade Federal de Brasília. Disponível em: <http://www.unb.br/ft/efl/arq_de_texto/prof_alexandre/ementa_secagem_reserv.pdf> Acesso em: 12 jun. 2003.

DURLO, M. A. Relação água-madeira. In: SEMINÁRIO SOBRE SECAGEM DE MADEIRA, 1., 1992, Santa Maria. *Anais...* Santa Maria – RS: UFSM, CEPEF/FATEC, 1992. 100 p.

ELEOTÉRIO, J. R.; HASELEIN, C. R.; GIACOMINI, N. P. Programa para estimativa da umidade de equilíbrio da madeira. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 8, n. 1, p. 13-22, nov. 1998.

FORD-ROBERTSON, F. C. **Terminology of forest science, technology practice and products**. Washington D. C.: Society of American Foresters, 1971. 349 p.

- FOREST PRODUCTS LABORATORY. **Wood Handbook: wood as an Engineering material**. Washington: U.S. Government Print Official, 1987. (USDA Agricultural. Handbook, n. 72).
- FRANZOI, L. C. N. **Secagem da madeira**. Bento Gonçalves- RS: CETEMO, 1992. 38 p.
- GALVÃO, A.P.M.; JANKOWSKY, I.P. **Secagem racional da madeira**. São Paulo: Nobel, 1985. 112 p.
- GALVÃO, A. P. M. Estimativas da umidade de equilíbrio da madeira em diferentes cidades do Brasil. **IPEF**, Piracicaba, n 11, p.53-65, out. 1975.
- GALVÃO, A. P. M. A umidade de equilíbrio e a secagem da madeira em Brasília. **Boletim de Pesquisa Florestal/EMBRAPA**, Curitiba, v. 3, p. 1-7, dez. 1981.
- GOMIDE, J. L. **Secagem da madeira**. Viçosa: Imprensa Universitária. 1969. 76 p.
- IWAKIRI, S. **Painéis de madeira**. Curitiba: FUPEF, 1998. 128 p. (Série Didática, n.1).
- KOEHLER, A.; THELEN, R. **The kiln drying of lumber**. New York: McGrawn hill Book company, 926. 293 p.
- LATORRACA, J. V. F. Painéis de cimento-madeira: Composição, processo de produção, características e aplicações. In: **SEMINÁRIO DE INDUSTRIALIZAÇÃO E USOS DE MADEIRA DE REFLORESTAMENTO**, SIMADER, 22., 2001, Caxias do Sul. **Anais...** Caxias do Sul: Sindimadeira, 2001. v. 1, p. 99-106.
- LELLES, J. G. de; SILVA, J. de C. Novos usos para a madeira. **Revista da Madeira**, ABPM, Curitiba, v. 6, n. 36, p. 42-45, out. 1997.
- LIMA, J. T.; MENDES, L. M. Estimativa da umidade de equilíbrio para madeiras em Lavras-MG. **Ciência e Prática**, Lavras, v. 19, n. 1, p. 120-121, jan./mar. 1995a.
- LIMA, J. T.; MENDES, L. M. Estimativa da umidade de equilíbrio para madeiras em trinta e duas cidades do Estado de Minas Gerais. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 19, n. 2, p 272-276, 1995b.

LIMA, J. T.; MENDES, L. M.; CALEGARIO, N. Estimativa da umidade de equilíbrio para madeiras no Brasil. *Revista da Madeira*, Caxias do Sul, RS, v. 4, n. 23, p. 39-41, jul./ago. 1995.

LIMA, C. R.; SILVA, F. A. C.; COSTA, M. S. F. Estimativas de umidade de equilíbrio (U_{ep}) para madeira e/ou produtos derivados para região nordeste do Brasil. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE ESTUDOS AMBIENTAIS SOBRE ECOSSISTEMAS FLORESTAIS, 3., 1994, Porto Alegre. *Anais...* Porto Alegre, 1994. p. 30-34.

MALONEY, T. M. The family of wood composite materials. *Forest Products Journal*, Madison, v. 46, n. 2, p. 19-26, Feb. 1996.

MARRA, A. A. *Technology of wood bonding: principles in practice*. New York: Van Nostrand Reinhold. 1992. 454 p.

MARTINS, V. A.; ALVES, M. V. S.; SILVA, J. F. da; REBELLO, E. R. G.; PINHO, G. S. C. de. Umidade de equilíbrio e risco de apodrecimento da madeira em condições de serviço no Brasil. *Brasil Florestal*, Brasília, n. 76, p. 29-34, abr. 2003.

MENDES, L. M.; ALBUQUERQUE, C. E.; IWAKIRI, S. A. Produtos e mercado para madeira de florestas plantadas. *Revista da Madeira*, Curitiba, v. 13, n. 7, p. 4-12, maio 2003.

MENDES, L. M. *Pinus spp. na produção de painéis de partículas orientadas (OSB)*. Curitiba, 2001. 156 p. Dissertação (Doutorado em Engenharia Florestal). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR.

MENDES, L. M.; LIMA, J. T.; CALEGÁRIO, N. Umidades de equilíbrio médias de madeiras para 206 cidades Brasileiras calculadas pela fórmula de Simpson. *Revista da Madeira*, Caxias do Sul, v. 4, n. 26, p. 18, 1996.

MESQUITA, J. B. *Relação água-madeira*. Lavras- MG, 2000. Notas de aula. (Material não publicado).

NELSON, R. M. A model for sorption of water vapor by cellulosic materials. *Wood Fiber Science*, Madison, v. 15, n. 1, p. 8-22, 1983.

PONCE, R. H.; WATAI, L. T. *Manual de secagem da madeira*. Brasília: Ministério da Indústria e do Comércio. Secretária de Tecnologia Industrial, 1985. 70 p.



SANTINI, E. J. Umidade de equilíbrio para algumas cidades do Rio Grande do Sul. In: CONGRESSO FLORESTAL ESTADUAL, 5., 1984, Nova Prata. **Anais....** Nova Prata, RS, 1984. v. 3, p. 828-840.

SELLERS, T.; MCSWEEN, J. R.; NEARN, W. T. **Gluing of eastern hardwoods: a review.** Washington: USDA, 1988. p. 1-30. (USDA. Forest Service. SO, general technical report, n. 71)

SILVA, D. A. da; TOMASELLI, I.; IWAKIRI, S. Influência da umidade na resistência da linha de cola e estabilidade do compensado utilizando resina de alta reatividade. **Revista Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 54, p. 69-80, dez. 1998.

SIMPSON, W. T. Predicting equilibrium moisture content by mathematical models. **Wood and Fiber**, Madison, v. 5, n. 1, p. 41-45, 1973.

SIMPSON, W. T. ROSEN, H. N. Equilibrium moisture content of wood at high temperatures. **Wood and Fiber**, Madison, v. 13, n. 3, p. 150-158, 1981.

SKAAR, C. **Wood-water relations.** New York: Syracuse University Press, 1988. 263 p.

SKAAR, C. **Water in wood.** New York: Syracuse University Press, 1972. 218 p.


STAMM, A. J. **Wood and cellulose science.** New York: The Ronald Press Company, 1964. 549 p.

STCP. Informativo STCP n. 2. Curitiba, 1997. 30 p.

TOMASELLI, I. DELESPINASSE, B. A Indústria de Painéis do Brasil. A Tendência de Mudança no Perfil da Produção Brasileira. **STCP Informativo**. n. 1/1997. p. 17 - 20.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **Wood handbook.** Washington, 1955. 528 p.

STEENBERGEN, S. Novos desenhos em laminados. **VETAS Magazine**, n. 26, p. 10-44, março 2003.



WU, Q. Application of Nelson's sorption isotherm to wood composites and overlays. *Wood and Fiber Science*, Madison, v. 3, n. 2, p. 187-191, 1999.

YOUNGS, R. L. An understanding of the physical and mechanical properties of wood. *Forest Products Journal*, Madison, v. 11, n. 5, p. 214-219, May 1961.

CAPÍTULO 2

1 RESUMO

SILVA, Graciane Angélica da. Estimativa da Umidade de Equilíbrio dos Painéis. In: _____. **Estudo da umidade de equilíbrio dos painéis de madeira no Brasil**. 2004. Cap. 2, p. 35-56. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.³

A utilização de painéis de madeira vem aumentando, a cada ano, no entanto, são poucos ou inexistentes trabalhos de pesquisa estudando o comportamento destes produtos em uso, com relação à umidade de equilíbrio, para as diversas regiões do Brasil. Existe grande necessidade de se conhecer a umidade de equilíbrio para cada localidade, pois, essas informações são de suma importância para minimizar eventuais problemas, nas mais variadas aplicações a que são destinadas estes produtos. A partir da equação de Nelson (1983) estimou-se a Umidade de Equilíbrio (UE) de 13 diferentes produtos, para 26 estados brasileiros, utilizando-se os dados das Normais Climatológicas (série 1961-1990 – MARA). Nos resultados obteve-se as médias mensais de UE para cada material e localidade, proporcionando, assim, uma estimativa de UE média para cada material no Brasil. Após a análise de variância dos dados, observou-se diferença significativa entre as UE dos produtos estudados. O valor mínimo de UE encontrado foi de 6,12% e o máximo de 16,73%. Observou-se diferença significativa da UE entre estados, demonstrando que o comportamento destes produtos é diferente em função da localidade, o que sugere que as indústrias de painéis devem atentar para este fato, evitando, assim, possíveis problemas com produtos em serviço. Concluiu-se também que: 1) A equação de Nelson (1983) aparentemente, estima valores de umidade de equilíbrio próximos ou coerentes com os reais, para os painéis de madeira no Brasil; 2) É necessário verificar a eficiência da equação de Nelson, comparando com resultados práticos; 3) Torna-se necessário desenvolver equações adequadas e próprias para as condições climáticas brasileiras; 4) É necessário determinar quais as variáveis de produção e de que forma elas afetam a umidade de equilíbrio; 5) É necessário realizar um mapeamento racional dos teores de umidade de equilíbrio de painéis de madeira, semelhante ao realizado por Martins et al. (2003), para madeira maciça, visando a orientar e apoiar o setor madeireiro, em busca da melhor utilização da madeira e produtos derivados.

³Comitê de Orientação: Lourival Marin Mendes (orientador) - UFLA, Fábio Akira Mori – UFLA, Paulo Fernando Trugilho – UFLA.

2 ABSTRACT

SILVA, Graciane Angélica da. Estimate of the Equilibrium Moisture Content of Panels. In: _____. **Study of the Equilibrium Moisture Content of the Wood Panels in Brazil**. 2004. Chap. 2, p. 35 -56. Dissertation (Master in Forest Engineering) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.⁴

The use of wood panels is on the rise, however, there are few researches on the behavior of these products, regarding the equilibrium content for the several areas of Brazil. Therefore, there is a great demand for the knowledge of the equilibrium moisture content for each specific location. In addition, this knowledge is useful to minimize problems that may appear, in many applications in which these products are used. Departing from Nelson's equation (1983), it was estimated the Equilibrium Moisture Content (EMC) of 13 different products, for 26 Brazilian states, using data of the Climatic Norms (series 1961-1990 - MARA). It was obtained the EMC monthly averages for each material and for each location. Thus, an estimate of medium EMC for each material in Brazil was obtained. The analysis of variance of the data showed a significative difference between EMC of the studied products. The values varied from the minimum of 6,12% to the maximum of 16,73%. A significant difference of EMC was observed among states, demonstrating that the behavior of these products differs in function of the place. So, the panel industries must be aware to this fact, if problems with these products and services are to be avoided. It also concluded that: 1) Nelson's equation (1983) seemingly estimate close or coherent values of equilibrium moisture content with the real ones for the wood panels, in Brazil; 2) it is necessary to verify the efficiency of Nelson's equation, comparing its results with real ones; 3) it is necessary to develop appropriate and specific equations for the Brazilian climatic conditions; 4) it is necessary to determine which production factors and in which way they affect the equilibrium moisture content; 5) it is necessary to accomplish a rational scheme of equilibrium moisture content of wood panels, similar to that obtained by Martins et al. (2003) for solid wood, in order to guide and to support the lumberman in the search for the best use of wood and their by products.

⁴ Guidance Committee: Lourival Marin Mendes (Major professor) - UFLA, Fabio Akira Mori - UFLA and Paulo Fernando Trugilho - UFLA .

3 INTRODUÇÃO

A madeira e derivados, quando em uso, são expostos à umidade relativa do ar e à temperaturas que variam, tanto diariamente quanto em função das estações do ano, o que sempre causa, pelo menos, pequenas alterações em seu teor de umidade. As variações diárias tendem a afetar a madeira apenas superficialmente, ao passo que, aquelas de longo prazo, podem causar alterações nas dimensões e na qualidade da madeira, que comprometem, seriamente, sua utilização.

A importância da umidade de equilíbrio associa-se ao fato de ser este o parâmetro ideal, para se estabelecer quando a madeira pode ser considerada seca: o seu teor de umidade deve ser igual ou ligeiramente inferior ao teor de umidade de equilíbrio médio da região onde a madeira será utilizada. Esse procedimento é fundamental para que as trocas de umidade da madeira com o ar sejam reduzidas ao mínimo, atenuando assim as variações dimensionais associadas a essas trocas de umidade. Como resultado, obtém-se menor ocorrência de defeitos causados pelas variações dimensionais na madeira, durante a sua utilização, como por exemplo: portas, janelas e gavetas que se travam; frestas que surgem, principalmente entre as tábuas de assoalhos forros e lambris; tacos e peças coladas que se soltam, rachaduras e empenos em geral.

O conceito de umidade de equilíbrio para produtos reconstituídos de madeira, é um pouco diferente em relação à madeira maciça. Além da menor anisotropia, estes exigem umidades baixas das lâminas ou partículas, exigência esta requerida pelo adesivo. Outro aspecto que provavelmente afeta a umidade de equilíbrio, está relacionado às variáveis de produção, todas aquelas inerentes à madeira e ao processamento.

Este capítulo tem a finalidade de verificar a aplicabilidade do modelo de Nelson na determinação da umidade de equilíbrio, para os diferentes produtos reconstituídos de madeira, em diferentes localidades do Brasil.

4 REFERENCIAL TEÓRICO

Quando a madeira é seca até abaixo do ponto de saturação das fibras (Kollman & Cotê, 1968), existe uma variação dimensional e, como resultado, podendo haver rachamento. Quando umedecido dentro da faixa de água adsorvida, que vai de 0% a 30% de umidade, pode haver depreciação da madeira para os diversos usos. Torna-se necessário que, antes da fabricação, a estabilidade dimensional da peça seja alcançada, o que acontece através da secagem até a umidade de equilíbrio. Portanto, a umidade de equilíbrio deve ser determinada para o local, onde a madeira será empregada, através da determinação da umidade das peças ou amostras de madeira expostas às condições ambientais de temperatura e umidade relativa, ou estimadas através de equações.

Umidades de equilíbrio estimadas, por fórmulas, consiste em uma referência interessante no processo de secagem da madeira, principalmente no controle do processo de secagem ao ar livre (Mendes et al., 1996a e Mendes et al., 1999).

Silva et al. (1998) relatam que, com a utilização de um simples psicrômetro de parede de baixo custo, é possível determinar, com precisão, em relação aos psicrômetros aspirados, de custo maior, valores de temperatura e umidade relativa de uma localidade, e a partir destes estimar a umidade de equilíbrio da madeira.

As teorias existentes, para previsão da umidade de equilíbrio da madeira foram descritas por Skaar (1972) e remodeladas por Skarr (1988), sendo que Simpson, 1971, 1973 e 1981, determinou os coeficientes originais das equações baseadas nestas teorias.

Apesar da heterogeneidade da madeira, quanto à espécie, extrativos, história da exposição, etc., sua a umidade de equilíbrio, quando exposta ao ar pode ser prevista, hoje, com bastante precisão, para a maioria das condições (Durlo, 1991). Exemplo disso são as tabelas e mapas de umidade de equilíbrio disponíveis, para muitas cidades do país (Santini, 1984; Lima et al., 1995 e Martins et al., 2003).

A teoria mais utilizada é a de Hailwood e Harrobin, sendo que vários autores vêm utilizando-a, para estimar a umidade de equilíbrio em várias localidades (Galvão, 1975 e 1981; Santini, 1984; Lima et al., 1994; Lima et al., 1995; Lima & Mendes, 1995a; Lima & Mendes, 1995b; Mendes et al., 1996b; Mendes & Arce, 2004 e Mendes et al., 2004). Utilizando a teoria de Hailwood e Harrobin, têm sido desenvolvidos programas para calcular a umidade de equilíbrio da madeira, como realizado por Eleotério et al. (1998).

Segundo Lima et al. (1995), é importante considerar que eventuais diferenças entre valores de umidade de equilíbrio estimados e os valores observados (reais) devem ser determinadas, e, que, para isso, necessita-se conhecer a umidade de equilíbrio real para as principais madeiras utilizadas nas cidades brasileiras. Simpson (1971) constatou ao comparar valores estimados com valores listados na tabela 38 do USDA (1955), desvio de 0,13%.

Vale ressaltar, que produtos reconstituídos de madeira apresentam uma higroscopicidade diferente em relação a madeira maciça. Este fato é devido a redução em lâminas, partículas e a posterior incorporação de resinas, parafinas, entre outros produtos. Outro aspecto que contribui para a redução da higroscopicidade destes produtos é a utilização de altas temperaturas e pressão na consolidação final do painel (Wu, 1999).

Neste sentido, Nelson (1983), desenvolveu um modelo baseado na energia livre de Gibbs e determinou através de análise de regressão os coeficientes originais desta equação para alguns produtos a base de madeira.

Os parâmetros que definem a isoterma de sorção variam com o processo de sorção e tipo de produto. A determinação destes parâmetros torna possível utilizar o Modelo Analítico de Nelson, como uma ferramenta, para prever, por exemplo, umidade que flui através das paredes de edifícios (Burch et al., 1992) e o gradiente de umidade em painéis de revestimento de mobílias (Wu & Suchsland, 1996).

5 MATERIAL E MÉTODOS

Para a estimativa da umidade de equilíbrio foram empregados neste trabalho os valores de temperaturas e umidades relativas que abrangeram o período de 1961 a 1990 e referem-se às “Normais Climatológicas –Série 1961 a 1990”, determinados pelo MARRA/DNM (1992), para 26 estados brasileiros, de acordo com as fórmulas $T = (T12 + 2T00 + Tmax + Tmin)/5$ e $U = (U12 + U18 + 2U00)/4$. Os índices se referem às horas de observações: 12:00, 18:00 e 0:00 TMG (Tempo Médio de Greenwich) e Tmax e Tmin são, respectivamente, a temperatura máxima e mínima de cada dia.

A equação utilizada foi àquela ajustada por WU (1999), desenvolvida por Nelson (1983) baseado no modelo da energia livre de Gibbs. Esta equação apresenta a seguinte estruturação:

$$UEH = Mv \left\{ 1,0 - \frac{1}{A} \ln \left[\left(\frac{R * T}{Ww} \right) \ln \left(\frac{RH}{100} \right) \right] \right\} \quad (1)$$

onde:

UEH = Umidade de equilíbrio higroscópico (%);

RH = Umidade relativa (%);

Ww = Peso molecular da água (18 g/mol);

R = Constante universal dos gases (1,9858 cal/mol/K);

T = Temperatura absoluta (K);

A = Logaritmo natural da energia livre de Gibbs por grama de água absorvida com a umidade relativa próximo de zero;

Mv = Constante do material aproximado (PSF) para desorção em porcentagem.

A equação 1 pode ser simplificada para:

$$UEH = Mv + B * RH^T$$

onde:

$$B = -Mv/A \text{ e}$$

$$RH^T = \ln[(-RT/Ww)\ln(RH/100)] \quad (2)$$

Foi estimada, então, a umidade de equilíbrio para os seguintes painéis: MDF, aglomerado convencional, chapa dura, HPL, OSB e também para a madeira maciça. Os coeficientes de cada produto serão aqueles alcançados por WU (1999). Estes coeficientes estão apresentados na Tabela 2.1.

TABELA 2.1 Coeficientes obtidos por análise de regressão, utilizando o modelo de sorção de Nelson (1983).

Material	Adsorção		Dessorção		Histerese
	A (cal/g)	Mv (%)	A (cal/g)	Mv (%)	
OSB de Folhosa					
• Parede - 1	4,45	22,20	4,79	27,49	0,808
• piso interior - 2	4,49	22,94	4,89	28,28	0,811
OSB de Conífera					
• parede - 3	4,60	23,77	4,85	29,00	0,822
• viga em I - 4	4,71	21,77	5,06	26,70	0,815
• piso interior - 5	4,64	23,22	5,10	27,58	0,842
Aglomerado	5,18	20,02	5,11	25,93	0,770
MDF	4,68	19,13	4,94	24,94	0,767
Chapa dura	4,54	15,95	4,97	20,73	0,769
HPL	5,15	10,05	5,19	12,68	0,793
HPL (backer*)	5,27	11,52	5,25	13,61	0,845
Madeira maciça					
• Folhosa - 1	4,97	22,90	4,91	28,28	0,809
• Conífera - 2	5,11	22,66	5,17	27,60	0,821
• Madeira* - 3	4,92	24,80	5,11	29,60	0,831

Fonte: WU (1999)

*Dados para madeira em geral obtidos por Nelson (1983) a 25 °C.

* Dupla face.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para cada material estudado, foi feita uma tabela com as médias mensais da umidade de equilíbrio calculadas através da equação de Nelson (1983). Cada Tabela possui a máxima, média, mínima e a amplitude, para o Brasil e para os estados (Anexo A).

A umidade de equilíbrio média anual do Brasil para o OSB de Folhosa, para parede é de 13,38%, sendo que a mínima 12,02% ocorreu em setembro e a máxima 14,47% em abril. Para os estados, a menor média é 7,95% observada no Distrito Federal no mês de agosto e a maior 17,62% em Rondônia no mês de janeiro.

Para o OSB de Folhosa, para piso interior, é de 13,97%, sendo que a mínima 12,59% ocorreu em setembro e a máxima 15,08% em abril para o Brasil. Para os estados a menor média é 8,45% observada no Distrito Federal no mês de agosto e a maior 18,28% em Rondônia no mês de janeiro.

Para o OSB de Conífera, para parede, é 14,46%, sendo que a mínima 13,06% ocorreu em setembro e a máxima 15,60% em abril para o Brasil. Para os estados a menor média é 8,82% observada no Distrito Federal em agosto e a maior 18,87% em Rondônia no mês de janeiro.

Para o OSB de Conífera, para viga em I, é de 14,28%, sendo que a mínima 12,97% ocorreu em setembro e a máxima 15,34% em abril para o Brasil. Para os estados, a menor média é 9,01% no Distrito Federal no mês de agosto e a maior 18,39% em Rondônia no mês de janeiro.

Para o OSB de Conífer, para piso interior, é de 13,64%, sendo que a mínima 12,40% ocorreu em setembro e a máxima 14,65% em abril para o Brasil. Para os estados, a menor média é 8,63% observada no Distrito Federal no mês de agosto e a maior é 17,56% em Rondônia no mês de janeiro.

A umidade de equilíbrio média anual do Brasil, para o Aglomerado interior, é 13,45%, sendo que a mínima 12,32% ocorreu em setembro e a máxima 14,35% em abril. Para os estados, a menor média é 8,93% observada no Distrito Federal no mês de agosto e a maior 16,97% em Rondônia no mês de janeiro.

A umidade de equilíbrio média anual do Brasil, para o MDF, é de 12,26%, sendo que a mínima 11,11% ocorreu em setembro e a máxima 13,18% em abril. Para os estados a menor média é 7,64% observada no Distrito Federal no mês de agosto e a maior 15,88% em Rondônia no mês de janeiro.

A umidade de equilíbrio média anual do Brasil, para a Chapa Dura, é igual a 10,09%, sendo que a mínima 9,14% ocorreu em setembro e a máxima 10,89% em abril. Para os estados a menor média é 6,21% observada no Distrito Federal no mês de agosto e a maior é 13,15% em Rondônia no mês de janeiro.

Para o HPL a média é de 6,62%, sendo que a mínima 6,12% ocorreu em setembro e a máxima 7,12% em abril para o Brasil. Para os estados a menor média é 4,46%, observada no Distrito Federal no mês de agosto e a maior 8,41% em Rondônia no mês de janeiro.

A umidade de equilíbrio média anual do Brasil, para o HPL (bck), é de 7,47%, sendo que a mínima 6,87% ocorreu em setembro e a máxima 7,95% em abril. Para os estados, a menor média é 5,06% observada no Distrito Federal no mês de agosto e a maior é 9,35% em Rondônia e no Amapá nos meses de janeiro e abril, respectivamente.

A umidade de equilíbrio média anual do Brasil, para Madeira maciça de Folhosa, é de 14,55%, sendo que a mínima 13,24% ocorreu em setembro e a máxima 15,60% em abril. Para os estados, a menor média é 9,31% observada no Distrito Federal no mês de agosto e a maior 18,63% em Rondônia no mês de janeiro.

Para Madeira maciça de Conífera a média é de 14,71%, sendo que a mínima 13,48% ocorreu em setembro e a máxima 15,70% em abril para o Brasil. Para os estados, a menor média é 9,77% no Distrito Federal no mês de agosto e a maior é 18,56% em Rondônia no mês de janeiro.

Para a Madeira maciça, em geral, a média é de 15,62%, sendo que a mínima 14,26% ocorreu em setembro e a máxima 16,73% em abril para o Brasil. Para os estados a menor média 10,14% no Distrito Federal no mês de agosto e a maior 19,91% em Rondônia no mês de janeiro.

Em geral, a umidade de equilíbrio média anual do Brasil, para todos os produtos, teve sua mínima no mês de setembro e sua máxima no mês de abril. Para todos os estados, a menor média foi observada no Distrito Federal no mês de agosto e a maior em Rondônia no mês de janeiro.

De acordo com a Figura 2.1, a maior média da relação entre estado e umidade de equilíbrio é 18,39% para a madeira 3 no estado do Acre. E a menor média é 6,36% para o HPL (bck) no estado do Piauí.

Na Figura 2.2, pode-se observar que a maior média da relação entre meses e umidade de equilíbrio é 16,73%, para a madeira 3 no mês de Abril. E a menor média é 6,12%, para o HPL no mês de Setembro.

O HPL, a Chapa dura e o MDF apresentam menor umidade de equilíbrio, em função da maior densificação (Figura 2.1 e 2.2).

As Tabelas 2.2 e 2.3 apresentam a análise de variância e os valores médios de umidade de equilíbrio dos produtos de madeira estudados, para os 26 estados brasileiros estimada pela equação de Nelson (1983), respectivamente.

As Tabelas 2.4 e 2.5 apresentam a análise de variância e os valores médios de umidade de equilíbrio ao longo do ano estimados pela equação de Nelson (1983), respectivamente.

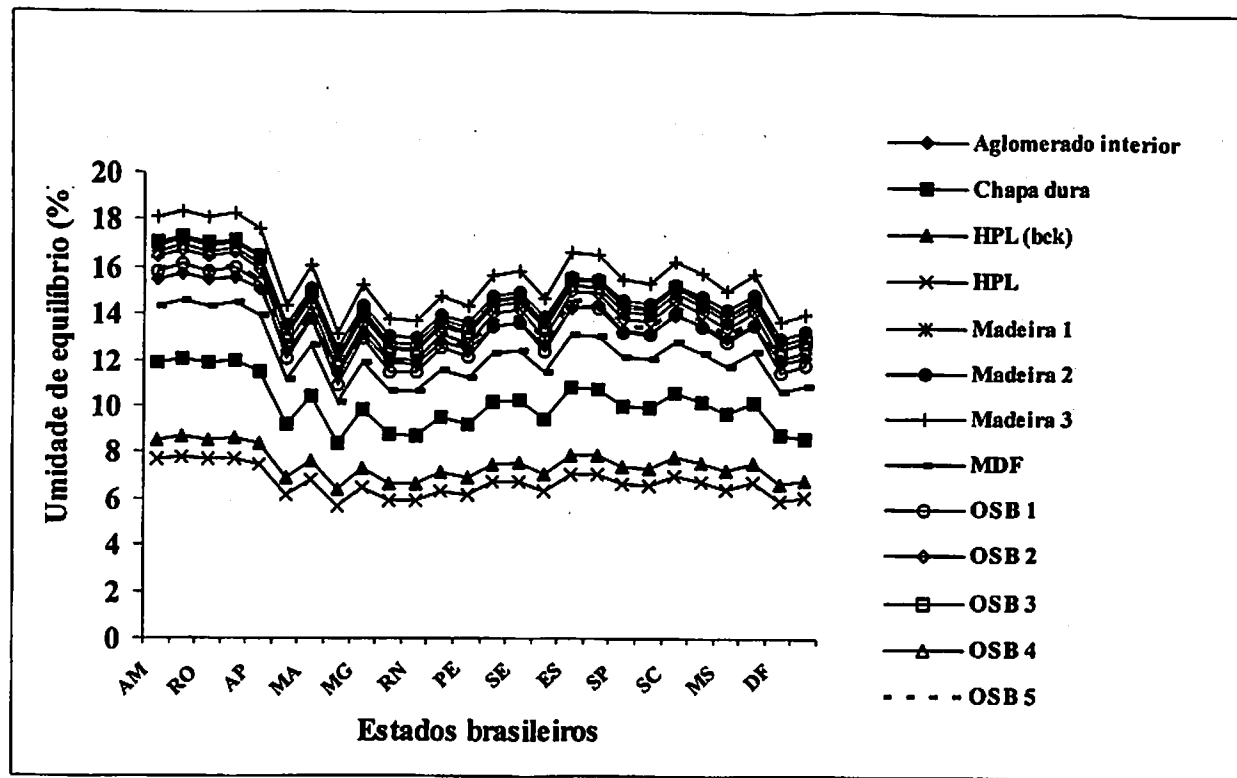


FIGURA 2.1 Distribuição da umidade de equilíbrio estimada dos materiais, para os 26 estados, segundo a equação de Nelson (1983).

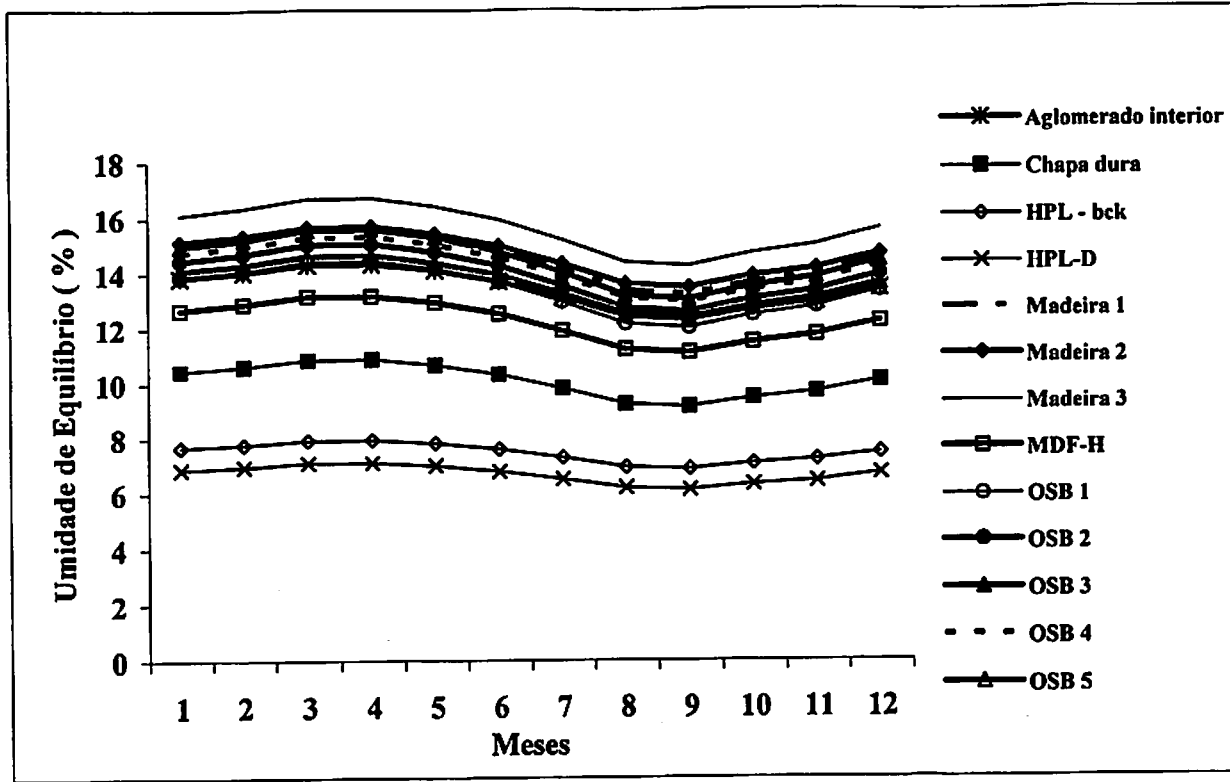


FIGURA 2.2 Distribuição da umidade de equilíbrio estimada dos materiais, para os meses, segundo equação de Nelson (1983).

TABELA 2.2 Resumo da análise de variância da umidade de equilíbrio, nos 26 estados brasileiros, estimada pela equação de Nelson (1983), para painéis de madeira.

FV	GL	QM
TRAT	12	207,4360*
ERRO	325	1,7730
TOTAL	337	

* significativo a 1% de probabilidade, pelo teste F

TABELA 2.3 Médias da umidade de equilíbrio, nos 26 estados brasileiros.

Tratamentos	Médias *
HPL	6.67 a
HPL (bck)	7.47 b
Chapa Dura	10.09 c
MDF	12.26 d
OSB Folhosa parede	13.38 e
Aglomerado Interior	13.45 e
OSB Conífera piso interior	13.64 e
OSB Folhosa piso interior	13.97 f
OSB Conífera viga em I	14.28 f
OSB Conífera parede	14.46 f
Madeira maciça Folhosa	14.55 f
Madeira maciça Conífera	14.71 f
Madeira em geral	15.62 g

*Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, a 5% de probabilidade pelo teste de Scott-Knott.

TABELA 2.4 Resumo da análise de variância da umidade de equilíbrio, ao longo do ano, estimada pela equação de Nelson (1983), para painéis de madeira.

FV	GL	QM
TRAT	12	95,6336 *
ERRO	143	0,5893
TOTAL	155	

* significativo a 1% de probabilidade, pelo teste F

TABELA 2.5 Média da umidade de equilíbrio, ao longo do ano.

Tratamentos	Médias *
HPL (bck)	6.68 a
HPL	7.47 b
Chapa Dura	10.11 c
MDF	12.26 d
OSB Folhosa parede	13.38 e
Aglomerado interior	13.45 e
OSB Conífera piso interior	13.64 e
OSB Folhosa piso interior	13.97 e
OSB Conífera viga em I	14.28 e
OSB conífera parede	14.46 e
Madeira maciça Folhosa	14.54 e
Madeira maciça Conífera	14.71 e
Madeira em geral	15.62 f

*Médias, seguidas de mesma letra, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Scott-Knott.

As Tabelas 2.6 e 2.7 apresentam a análise de variância e os valores médios da amplitude de umidade de equilíbrio ao longo do ano, respectivamente.

TABELA 2.6 Resumo da análise de variância da amplitude de umidade de equilíbrio ao longo do ano.

FV	GL	QM
TRAT	12	22.454131
ERRO	143	0.644136
TOTAL	155	

* significativo a 1% de probabilidade, pelo teste F

TABELA 2.7 Médias de Amplitude de umidade de equilíbrio, ao longo do ano.

Tratamentos	Médias*
HPL	2.67 a
HPL (bck)	2.90 a
Chapa Dura	4.68 b
Aglomerado Interior	5.43 c
MDF	5.57 c
Madeira Conífera	5.94 d
OSB Conífera piso interior	6.04 d
Madeira folhosa	6.30 d
OSB Conífera viga em I	6.34 d
OSB Folhosa parede	6.54 d
Madeira em geral	6.60 d
OSB Folhosa piso interior	6.64 d
OSB Conífera parede	6.79 d

*Médias, seguidas de mesma letra, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Scott-Knott.

7 CONCLUSÕES

Com os resultados obtidos pode-se chegar às seguintes conclusões:

- ✓ Existe diferença significativa da Umidade de Equilíbrio entre os produtos estudados;
- ✓ Existe diferença significativa da Umidade de Equilíbrio dos produtos entre os estados da federação;
- ✓ Existe diferença significativa da amplitude de Umidade de Equilíbrio, ao longo do ano, o que denota uma variação na estabilidade dimensional dos produtos;
- ✓ Os produtos reconstituídos de madeira, devido à maior densificação, apresentam menor umidade de equilíbrio, em relação à madeira maciça;
- ✓ Estas diferenças podem causar problemas sérios na utilização destes produtos;
- ✓ A equação de Nelson (1983), aparentemente, estima valores de umidade de equilíbrio próximos dos reais, ou coerentes, para painéis de madeira no Brasil.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BURCH, D. M.; THOMAS, W. C.; FANNEY, A. H. Water vapor permeability measurements of common building materials. *ASHRAE Transactions*, New York, v. 98, p. 486-494, 1992

DURLO, M. A. Relação água-madeira. In: SEMINÁRIO SOBRE SECAGEM DE MADEIRA, 1., 1991, Santa Maria. *Anais... Santa Maria – RS: UFSM, CEPEF/FATEC*, 1991. 100 p.

ELEOTÉRIO, J. R.; HASELEIN, C. R.; GIACOMINI, N. P. Programa para estimativa da umidade de equilíbrio da madeira. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 8, n. 1, p. 13-22, nov. 1998.

GALVÃO, A. P. M. Estimativas da umidade de equilíbrio da madeira em diferentes cidades do Brasil. *IPEF*, Piracicaba, n. 11, p. 53-65, out. 1975.

GALVÃO, A. P. M. A umidade de equilíbrio e a secagem da madeira em Brasília. *Boletim de Pesquisa Florestal*, Curitiba, v. 3, p. 1-7, dez. 1981.

KOLLMANN, F. P. P.; CÔTÉ, Jr. W. A. *Principles of wood science and technology – solid wood I*. New York: Spring Verlag, 1968. 592 p.

LIMÁ, C. R.; SILVA, F. A. C.; COSTA, M. S. F. Estimativas de umidade de equilíbrio (U_{ep}) para madeira e/ou produtos derivados para região nordeste do Brasil. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE ESTUDOS AMBIENTAIS SOBRE ECOSISTEMAS FLORESTAIS, 3., 1994, Porto Alegre. *Anais... Porto Alegre*, 1994. p. 30-34.

LIMA, J. T.; MENDES, L. M. Estimativa da umidade de equilíbrio para madeiras em Lavras-MG. *Ciência e Prática*, Lavras, v. 19, n. 1, p. 120-121, jan./mar. 1995a.

LIMA, J. T.; MENDES, L. M. Estimativa da umidade de equilíbrio para madeiras em trinta e duas cidades do Estado de Minas Gerais. *Revista Árvore*, Viçosa, v. 19, n. 2, p. 272-276, abr./jun. 1995b.

LIMA, J. T.; MENDES, L. M.; CALEGARIO, N. Estimativa da umidade de equilíbrio para madeiras no Brasil. *Revista da Madeira, Caxias do Sul, RS*, n. v. 4, n. 23, p. 39-41, jul./ago. 1995.

MARRA, A. A. **Technology of wood bonding: principles in practice**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1992. 454 p.

MARTINS, V. A.; ALVES, M. V. S. ; SILVA, J. F. da; REBELLO, E. R. G.; PINHO, G. S. C. de. Umidade de equilíbrio e risco de apodrecimento da madeira em condições de serviço no Brasil. *Brasil Florestal, Brasília*, n. 76, p. 29-34, abr. 2003.

MENDES, L. M.; ARCE, J. Análise comparativa das equações utilizadas para estimar a umidade de equilíbrio da madeira – parte 1. *Revista Cerne, Lavras*, 2004. (No prelo)

MENDES, L. M.; CALEGÁRIO, N.; SILVA, G. A. da; MELO, V. M. de; LOPES, Y. L. V.; PÁDUA, F. A.; CARDOSO Jr., A. A. Análise comparativa das equações utilizadas para estimar a umidade de equilíbrio da madeira – parte II. *Revista Brasil Florestal, Brasília*, 2004. (enviado para publicação)

MENDES, L. M.; LIMA, J. T.; CALEGÁRIO, N. Umidades de equilíbrio médias de madeiras para 206 cidades Brasileiras calculadas pela fórmula de Simpson. *Revista da Madeira, Caxias do Sul*, v. 4, n. 26, p. 18, 1996a.

MENDES, L. M.; SILVA, J. R. M.; LIMA, J. F.; TRUGILHO, P. F. **Controle do processo de secagem da madeira ao ar livre**. Lavras: UFLA, 1999. p. 26-49. (Boletim Técnico, n. 28).

MENDES, L. M.; SILVA, J. R. M.; LIMA, J. F.; TRUGILHO, P. F.; REZENDE, E. C. **Secagem da madeira ao ar livre e alguns pontos básicos para compra de madeira serrada**. Lavras: UFLA, 1996b. p. 16-30. (Boletim Técnico, n. 21).

NELSON, R. M. A model for sorption of water vapor by cellulosic materials. *Wood Fiber Science, Madison*, v. 15, n. 1, p. 8-22, 1983.

SANTINI, E. J. Umidade de equilíbrio para algumas cidades do Rio Grande do Sul. In: CONGRESSO FLORESTAL ESTADUAL, 5., 1984, Nova Prata. *Anais...* Nova Prata-RS, 1984. p. 828-840.

SILVA, J. R. M.; MENDES, L. M.; TRUGILHO, P. T. Controle dos parâmetros de secagem da madeira ao ar livre através do psicrômetro de parede. In. ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E ESTRUTURAS DE MADEIRA, 6., 1998, Florianópolis. Anais... Florianópolis, 1998. p. 406-415.

SIMPSON, W. T. Equilibrium moisture content prediction for wood. *Forest Products Journal*, Madison, v. 21, n. 5, 48-49, May 1971.

SIMPSON, W. T. Predicting equilibrium moisture content by mathematical models. *Wood and Fiber*, Madison, v. 5, n. 1, p. 41-45, 1973.

SIMPSON, W. T.; ROSEN, H. N. Equilibrium moisture content of wood at high temperatures. *Wood and Fiber*, Madison, v. 13, n. 3, p. 150-158, 1981.

SKAAR, C. *Water in wood*. New York: Syracuse University Press, 1972. 218 p.

SKAAR, C. *Wood-water relations*. New York: Syracuse University Press, 1988. 263 p.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. *Wood handbook*. Washington, 1955. 528 p.

WU, Q. Application of Nelson's sorption isotherm to wood composites and overlays. *Wood and Fiber Science*, Madison, v. 3, n. 2, 187-191, 1999.

WU, Q.; SUCHSLAND, O. Prediction of moisture content and moisture content gradient of na particleboard. *Wood and Fiber Science*, 1996. v. 28, n. 2, p. 227-239.

CAPÍTULO 3

1 RESUMO

SILVA, Graciane Angélica da. Determinação prática da Umidade de Equilíbrio de Painéis de Madeira. In: _____. **Estudo da Umidade de Equilíbrio dos Painéis de Madeira no Brasil**. 2004. Cap 3, p. 57-83. Dissertação. (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.⁵

O teor de umidade de equilíbrio depende, grandemente, da natureza do sólido no caso de materiais higroscópicos, como a madeira e derivados, o teor de umidade de equilíbrio varia regularmente numa ampla faixa, conforme a variação da temperatura e umidade relativa. A água na madeira, tanto no estado líquido como no estado de vapor, está em contínua oscilação, para minimizar as alterações dimensionais que acompanham as variações na umidade de equilíbrio, a madeira deve ser seca até umidades próximas daquelas que deverão alcançar, quando em uso. Este estudo teve como objetivo a determinação prática da umidade de equilíbrio dos painéis de madeira, na câmara de climatização, e comparação dos valores de umidade de equilíbrio calculados pela equação de Nelson com os observados. O trabalho foi desenvolvido na Universidade Federal de Lavras, no Laboratório de Tecnologia da Madeira. Foram utilizadas amostras de aglomerado, compensado multilaminado e sarrafeado, chapa dura, OSB, MDF, HDF, madeira cimento e madeira plástico, sendo estes produtos comerciais e alguns experimentais. As dimensões dos corpos-de-prova foram de 2,60 cm de largura por 2,60 cm de comprimento. As espessuras foram àquelas mais utilizadas comercialmente de cada produto, sendo utilizada cinco repetições por painel. Os painéis foram pesados e levados para uma câmara de climatização onde foram submetidas a diferentes condições de umidade relativa (90, 80, 70, 60, 50 e 40%) e uma temperatura de 30°C. Determinou-se a histerese através da razão entre as umidades de equilíbrio da madeira obtidas na curva de adsorção e dessorção, para uma mesma umidade relativa que variou de 40 a 90%. Os resultados indicam que a equação de Nelson (1983) mostrou-se eficiente na estimativa da umidade de equilíbrio e que não existe em média diferença de histerese entre os produtos estudados, mostrando que todos apresentam a mesma estabilidade dimensional. Observou-se, também, que o revestimento dos painéis não afetou a umidade de equilíbrio.

⁵Comitê de Orientação: Lourival Marin Mendes (orientador) - UFLA, Fábio Akira Mori – UFLA e Paulo Fernando Trugilho – UFLA.

2 ABSTRACT

SILVA, Graciane Angélica da. Practical Determination of the Equilibrium Moisture Content of Wood Panels. In: _____. **Study of the Equilibrium Moisture Content of the Wood Panels in Brazil**. 2004. Chap 3, p. 57-83. Dissertation (Master in Forest Engineering) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.⁶

The equilibrium moisture content depends largely on the nature of the solid. In the case of hygroscopic materials, as the wood and its byproducts, the equilibrium moisture content varies regularly in a wide range, as the temperature and relative humidity varies. The water in the wood, both in the liquid state and in the steam state, are in continuous oscillation. To minimize the dimensional variations that accompany the equilibrium moisture content, the wood should be dried till the point its humidity reaches the equilibrium when in use. This study aimed at determining the equilibrium moisture content of the wood panels in the Climatization chamber and at comparing the values of equilibrium moisture content encountered with those given by Nelson's equation with. The research was developed in the Universidade Federal de Lavras, in the Laboratory of Wood Technology. Samples of particleboard, plywood, hardboard, OSB, MDF, HDF, cement wood and plastic wood were taken both from commercial wood and from experiments and trials. The dimensions of the samples were of 2,60 cm of width for 2,60 cm of length and the thickness was that more used commercially of each product. Five repetitions of each panel were taken. The panels were weighted and then taken to the Climatization Chamber and submitted to different conditions of relative humidity (90, 80, 70, 60, 50 and 40%) and to the temperature of 30°C. It was determined the hysteresis through the reason of the equilibrium moisture content of the wood obtained in the curve of adsorption and desorption, for the same relative humidity that varied from 40 to 90%. The results indicate that Nelson's equation (1983) is efficient for estimating the equilibrium moisture content and that doesn't exist hysteresis difference in the studied products. All of them presented the same dimensional stability. It was also observed that the covering of the panels didn't affect the equilibrium moisture content.

⁶ Guidance Committee: Lourival Marin Mendes (Major professor) - UFLA, Fabio Akira Mori - UFLA and Paulo Fernando Trugilho - UFLA .

3 INTRODUÇÃO

Na secagem de sólidos, é importante a distinção entre os materiais higroscópicos e não-higroscópicos. O teor de umidade de equilíbrio depende grandemente da natureza do sólido. No caso de sólidos não-porosos, isto é, de sólidos não-higroscópicos, o teor de umidade de equilíbrio é, praticamente, igual a zero, em toda as temperaturas e umidades relativas. No caso de materiais higroscópicos, como a madeira e derivados, o teor de umidade de equilíbrio varia regularmente numa ampla faixa, à medida que a temperatura e umidade relativa variam.

A água na madeira, tanto no estado líquido como no estado de vapor, está em contínua oscilação. Para minimizar as alterações dimensionais que acompanham as variações na umidade de equilíbrio, a madeira deve ser seca até umidades próximas daquelas que deverão alcançar quando em uso.

A umidade da madeira influi, acentuadamente, nas suas propriedades físico-mecânicas e na sua adequação a diversos processamentos. A umidade influi ainda no tratamento com fluídos, resistência ao ataque de fungos xilófagos, colagem, fabricação de compensados, aglomerados e de outros produtos reconstituídos de madeira. No caso de produtos reconstituídos de madeira, normalmente, o processo de produção exige umidades baixas das lâminas, partículas e fibras, além de outras variáveis, como as altas temperaturas utilizadas na prensagem que também pode reduzir a higroscopicidade do produto.

Este capítulo tem como finalidade avaliar a umidade de equilíbrio para diferentes condições de umidade relativa (90, 80, 70, 60, 50 e 40%) a uma temperatura de 30°C, para os diversos painéis produzidos no Brasil, e também

comparar os valores de umidade de equilíbrio calculados pela Equação de Nelson com os observados na câmara de climatização.

4 REFERENCIAL TEÓRICO

Segundo Suchsland (1972), a relação da umidade de equilíbrio com a umidade relativa (UR) e temperatura ($^{\circ}\text{T}$) é uma prática importante, para os produtos compostos de madeira. Esta relação é conhecida como isoterma de sorção e afeta, de forma bastante significativa, a resistência mecânica e a estabilidade dimensional de diferentes produtos. Para determinação desta isoterma de sorção é necessário uma análise detalhada dos problemas relacionados com a umidade do material, tais como empenamentos na manufatura do painel e o inchamento e contração na estrutura do composto (Burch et al., 1992; WU & Suchsland, 1996).

Os compostos reconstituídos de madeira apresentam isotermas de sorção, essencialmente, diferentes daquelas apresentadas pela madeira maciça (Suchsland, 1972; WU & Suchsland, 1996). Este fato é atribuído as altas temperaturas utilizadas durante a prensagem no processo de manufatura (Suchsland, 1972). Alguns estudos experimentais foram conduzidos com o objetivo de determinar a isoterma de sorção para diferentes produtos compostos de madeira (Heebink & Haskell, 1962; Burch et al., 1992). Entretanto, nenhum destes estudos envolveu uma análise mais aprofundada com dados de regressão para ajuste de modelos.

As isotermas de sorção e dessorção variam de espécie para espécie, essas diferenças são atribuídas às diferentes proporções, em que os constituintes (celulose, hemiceluloses e lignina), entram para formar a madeira das diferentes espécies e as possíveis inter-relações entre eles nas paredes celulares (Galvão, 1985). As hemiceluloses têm a maior capacidade sortiva com 47%, seguida pela celulose com 37% e a lignina com 16% (Mesquita, 2000).

Galvão (1985), define como histerese a diferença entre as umidades de equilíbrio, para uma mesma umidade relativa. A umidade de equilíbrio depende do sentido pelo qual ela foi alcançada, a mais provável causa desse fenômeno seria o re-arranjo das moléculas de celulose e lignina, durante a secagem inicial, quando as hidroxilas seriam deslocadas para uma menor distância entre si, estabelecendo ligações de hidrogênio e deixariam, portanto, de estar disponíveis para atrair e reter moléculas de água. Na adsorção, uma parte dessas hidroxilas continuaria a satisfazer-se mutuamente, e conseqüentemente, menor número de locais de adsorção estariam disponíveis.

A histerese é um fenômeno pelo qual uma determinada propriedade, modificada por um agente externo, não retorna ao seu estado original quando esse agente é removido. A utilização prática do coeficiente de histerese está no fato de se poder avaliar uma determinada madeira quanto a sua estabilidade dimensional. Quanto menor for a relação A/D, tanto maior será a diferença entre as isotermas de sorção, e conseqüentemente, maior será a instabilidade dimensional da madeira (Latorraca, 1994).

4.1 Umidade Relativa do Ar (URA)

A umidade relativa do ar é a razão entre a quantidade de vapor de água contido num determinado volume de ar, em relação a sua umidade de saturação. Em outras palavras, é a quantidade de vapor de água que um determinado volume de ar contém a uma determinada temperatura. Desta forma, pode-se dizer que quanto mais baixa for a URA, mais umidade este poderá absorver da superfície da madeira, favorecendo a velocidade de secagem (Costa, 2003).

A umidade relativa do ar está relacionada a dois fatores:

a) A capacidade do ar em receber maior ou menor quantidade de vapor de água; e

b) A remoção da água das camadas superficiais da madeira.

Rasmunssem (1968), citado por Costa (2003), aconselha iniciar a redução da umidade relativa após a madeira ter perdido, pelo menos, um terço da sua umidade inicial.

Para a retirada da água de adsorção ou higroscópica, utilizam-se temperaturas mais elevadas e umidades relativas mais baixas, de forma simultânea. A temperatura poderá ser elevada, de forma mais rígida, quando o centro das peças atingir um teor de umidade de aproximadamente 30%.

4.2 Temperatura

Por temperatura, deve-se entender a temperatura do ar, a qual, sendo maior que a da madeira, permitirá que aconteça a transferência da energia para as peças, favorecendo desta forma, a difusão e capilaridade e conseqüentemente, a evaporação da água.

O aumento da temperatura influi na URA, ocasionando uma elevação da pressão de saturação do vapor de água. Desta forma, o ar poderá absorver mais vapor de água extraído da superfície da madeira (Costa, 2003).

De maneira geral, quanto maior for a temperatura, maior será a velocidade de secagem. Entretanto, neste ponto, deve ser observado dois aspectos fundamentais: o primeiro relacionado à remoção da água livre, a qual não necessita de elevadas temperaturas, pois o seu efeito não influirá significativamente, sobre a taxa de secagem; o segundo aspecto diz respeito à retirada da água de adsorção (abaixo do PSF), a qual será influenciada diretamente, pela temperatura. A elevação da temperatura provocará uma alteração na umidade relativa do ar, acelerando o processo de difusão, responsável direto pelo aumento da taxa de velocidade de secagem (Costa, 2003).

5 MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido na Universidade Federal de Lavras, no Laboratório de Tecnologia da Madeira. Foram utilizadas amostras de aglomerado, compensado multilaminado e sarrafeado, chapa dura, OSB, MDF, HDF, madeira cimento e madeira plástico, sendo estes produtos comerciais e alguns experimentais.

As dimensões dos corpos-de-prova foram de 2,60 cm de largura por 2,60 cm de comprimento, segundo a metodologia desenvolvida por Wu (1999). As espessuras serão aquelas mais utilizadas, comercialmente, de cada produto, sendo utilizada cinco repetições por painel conforme a Tabela 3.1 a seguir.

As amostras foram pesadas e levadas para uma câmara de climatização onde foram submetidas a diferentes condições de umidade relativa e à temperatura de 30°C. As condições iniciais de umidade relativa foram 90, 80, 70, 60, 50 e 40%, para se obter a primeira curva de dessecção. Em seguida, as amostras foram expostas à umidade relativa crescente sob as mesmas condições, para obter a curva de secção. Repetiu-se, então, o primeiro procedimento para obter a segunda curva de dessecção. Ao final, as amostras foram levadas à estufa com temperatura em torno de 103°C até peso constante, quando foram pesadas novamente para a determinação da umidade.

Determinou-se a histerese, através da razão entre as umidades de equilíbrio da madeira, obtidas na curva de adsorção e dessecção (A/D), onde UE1 é a primeira dessecção, UE2 é a secção e UE3 é a segunda dessecção, para uma mesma umidade relativa, que variou de 40 a 90%.

TABELA 3.1 Médias das espessuras e revestimentos para cada produto.

Compensado		
Tratamento	Espessura (mm)	Revestimento
1	18,15	Revestido
2	19,09	Revestido
3	16,98	Sem Revestimento
4	15,17	Revestido
5	18,89	Revestido

Aglomerado		
Tratamento	Espessura (mm)	Revestimento
6	15,87	Revestido
7	16,21	Revestido
8	15,24	Revestido
9	10,56	Revestido
10	15,14	Sem Revestimento
11	3,36	Sem Revestimento

Chapa Dura		
Tratamento	Espessura (mm)	Revestimento
12	3,11	Revestido
13	3,12	Revestido
14	3,15	Sem Revestimento

MDF		
Tratamento	Espessura (mm)	Revestimento
15	15,39	Sem Revestimento
16	15,27	Revestido
17	3,16	Sem Revestimento

OSB		
Tratamento	Espessura (mm)	Revestimento
18	9,46	Sem Revestimento
19	18,48	Revestido
20	16,07	Sem Revestimento

Madeira Cimento		
Tratamento	Espessura (mm)	Revestimento
21	15,92	Sem Revestimento
22	15,76	Sem Revestimento

Madeira Plástico		
Tratamento	Espessura (mm)	Revestimento
23	12,41	Sem Revestimento

"Continua...."

TABELA 3.1 Continuação...

HDF		
Tratamento	Espessura (mm)	Revestimento
24	6,13	Sem Revestimento

Tipos de revestimentos por tratamento de acordo com ABIPA (2000):

- 1- Compensado multilaminado, com espessura de 18,15 cm, e revestido com lâmina decorativa natural e em uma das faces revestida com PVC;
- 2- Compensado sarrafeado, com espessura de 19,09 cm, e revestido com lâmina decorativa natural em ambas às faces;
- 3- Compensado multilaminado, com espessura de 16,98 cm, sem revestimento;
- 4- Compensado multilaminado, com espessura de 15,17 cm, revestido em ambas às faces com lâminas decorativas naturais;
- 5- Compensado sarrafeado, com espessura de 18,89 cm, revestido em ambas às faces com lâminas decorativas naturais;
- 6- Aglomerado, com espessura de 15,87 cm, revestido com lâmina decorativa natural em ambas às faces;
- 7- Aglomerado, com espessura de 16,21 cm, revestido com lâmina decorativa natural em ambas às faces;
- 8- Aglomerado, com espessura de 15,24 cm, revestido com laminado Baixa Pressão (BP) em ambas às faces;
- 9- Aglomerado, com espessura de 10,56 cm, revestido com Finish Foil em ambas às faces;
- 10- Aglomerado, com espessura de 15,14 cm, sem revestimento em ambas às faces;

- 11- Aglomerado, com espessura de 3,36 cm, sem revestimento em ambas às faces;
- 12- Chapa Dura, com espessura de 3,11 cm, revestido com Finish Foil em uma das faces;
- 13- Chapa Dura, com espessura de 3,12 cm, revestido com laminado Baixa Pressão (BP) em uma das faces;
- 14- Chapa Dura, com espessura de 3,15 cm, sem revestimento em ambas às faces;
- 15- MDF, com espessura de 15,39 cm, sem revestimento em ambas às faces;
- 16- MDF, com espessura de 15,27 cm, revestido com Finish Foil em ambas às faces;
- 17- MDF, com espessura de 3,16 cm, sem revestimento em ambas às faces
- 18- OSB, com espessura de 9,46 cm, sem revestimento em ambas às faces;
- 19- OSB, com espessura de 16,07 cm, revestido com lâmina decorativa natural;
- 20- OSB, com espessura de 18,48 cm, sem revestimento em ambas às faces;
- 21- Madeira cimento, com espessura de 15,92 cm, sem revestimento em ambas às faces;
- 22- Madeira cimento, com espessura de 15,76 cm, sem revestimento em ambas às faces;
- 23- Madeira plástico, com espessura de 12,41 cm, sem revestimento em ambas às faces;
- 24- HDF, com espessura de 6,13 cm, sem revestimento em ambas às faces.

Em cada condição de umidade relativa, o peso das amostras foi monitorado, com o objetivo de verificar o momento, em que se estabelecesse o equilíbrio. Foi considerado como estando na umidade de equilíbrio as amostras

de madeira, que após pesagens subseqüentes, em intervalos de 24 horas, obtiveram uma variação menor que 1%.

Foi ajustada a equação de Nelson (1983), para o aglomerado, OSB, Chapa Dura e MDF e, em seguida, feita à comparação dos valores de umidade de equilíbrio calculada pela equação de Nelson e observada na câmara de climatização.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 3.2 apresenta o resumo da análise de variância para a UE1, UE2 e UE3. Verifica-se pela Tabela 3.2 que não existe diferença significativa da UE1, UE2 e UE3 entre os tratamentos.

TABELA 3.2 Resumo da análise de variância para UE1, UE2 e UE3.

FV	GL	QM		
		UE1	UE2	UE3
TRAT	23	13,9878 NS	11,8376 NS	11,8765 NS
ERRO	120	11,4672	10,6058	10,5086
TOTAL	143			

NS = Não significativos.

Na Tabela 3.3, estão apresentados os resultados médios das umidades de equilíbrio na temperatura de 30°C e umidades relativas de 40, 50, 60, 70, 80 e 90% observados na câmara de climatização e os coeficientes de histerese. De acordo com esta tabela, não existe diferença significativa dos coeficientes de histerese por tratamento e entre produtos. Pelos resultados, observa-se que existe uma pequena variação na umidade de equilíbrio entre os tratamentos avaliados, principalmente nas condições de umidade relativa mais alta.

De modo geral, os coeficientes de histerese foram maiores para as umidades de equilíbrio mais baixas. Os valores médios de histerese, para o compensado, variaram de 0,91 a 0,93, sendo que a média geral foi de 0,92. Para o aglomerado os valores médios variam de 0,90 a 0,96, sendo que a média geral foi de 0,92; o valor médio de histerese de 0,96 foi encontrado para o tratamento

4, podendo assim, ser devido a sua menor espessura e a seu tipo de revestimento comparado aos demais tratamentos.

A chapa dura apresentou valores médios de 0,88 a 0,89, sendo que a média geral foi de 0,88. Para o MDF os valores médios variam de 0,93 a 0,96, sendo que a média geral foi de 0,94. O valor médio de 0,96 foi encontrado no tratamento 3, podendo assim, ser devido a sua menor espessura comparada aos demais tratamentos. No OSB os valores médios variam de 0,90 a 0,92 e a média geral foi de 0,91, já para a Madeira Cimento os valores médios variam de 0,89 a 0,95 e a média geral foi de 0,92, sendo que esta variação pode ser devido às diferentes espessuras e também devido à diferença na granulometria entre os tratamentos.

Para a Madeira Plástico e o HDF que só possuem um tratamento as médias foram de 0,90 e 0,93, respectivamente.

TABELA 3.3 Valores médios das Umidades de Equilíbrio para Temperatura de 30°C e coeficiente de histerese.

Compensado					
TRAT	UR	UE1	UE2	UE3	HISTERESE
1	40	8,25	8,25	8,10	-
1	50	9,58	9,02	9,83	0,92
1	60	11,23	10,31	11,09	0,93
1	70	13,60	11,42	12,85	0,89
1	80	15,62	13,89	15,10	0,92
1	90	18,87	18,04	18,04	-
Média *		12,86 a	11,82 b	12,50 c	0,91 d
2	40	8,57	8,57	8,55	-
2	50	10,12	9,56	10,28	0,93
2	60	11,67	10,63	11,77	0,90
2	70	13,60	12,03	13,49	0,89
2	80	15,51	14,34	15,73	0,91

“Continua...”

TABELA 3.3 Continuação....

TRAT	UR	UE1	UE2	UE3	HISTERESE
2	90	17,18	18,45	18,45	-
Média		12,78 a	12,26 b	13,05 c	0,91 d
3	40	9,02	9,02	8,70	-
3	50	10,48	9,95	10,67	0,93
3	60	12,10	11,18	12,08	0,93
3	70	14,02	12,46	14,24	0,88
3	80	17,06	15,36	17,15	0,90
3	90	21,25	20,85	20,85	-
Média		13,99 a	13,14 b	13,95 c	0,91 d
4	40	8,81	8,81	8,87	-
4	50	10,34	9,65	10,39	0,93
4	60	11,59	10,90	11,68	0,93
4	70	12,93	12,14	13,57	0,89
4	80	15,46	14,45	15,74	0,92
4	90	18,23	18,51	18,51	-
Média		12,89 a	12,41 b	13,12 c	0,92 d
5	40	10,04	10,04	10,16	-
5	50	11,62	11,00	11,47	0,96
5	60	13,21	11,88	13,01	0,91
5	70	15,44	13,67	15,02	0,91
5	80	18,04	16,72	17,57	0,95
5	90	23,36	22,28	22,28	-
Média		15,29 a	14,27 b	14,92 c	0,93 d
Aglomerado					
6	40	8,57	8,57	8,60	-
6	50	10,01	9,52	10,08	0,94
6	60	11,26	10,53	11,26	0,94
6	70	13,16	11,78	13,06	0,90
6	80	16,62	14,05	15,36	0,91
6	90	17,56	17,98	17,98	-
Média		12,86 a	12,07 b	12,72 c	0,92 d
7	40	8,74	8,74	8,62	-
7	50	10,17	9,47	10,01	0,95
7	60	11,41	10,41	11,38	0,91
7	70	13,31	11,83	13,22	0,89
7	80	15,43	13,86	15,28	0,91

“Continua...”

TABELA 3.3 Continuação...

TRAT	UR	UE1	UE2	UE3	HISTERESE
7	90	17,94	17,61	17,61	-
Média		12,83 a	11,99 b	12,69 c	0,92 d
8	40	7,77	7,77	8,15	-
8	50	9,40	8,70	9,36	0,93
8	60	10,95	9,84	10,81	0,91
8	70	12,57	10,78	12,50	0,86
8	80	14,65	13,20	14,51	0,91
8	90	17,27	16,82	16,82	-
Média		12,10 a	11,19 b	12,03 c	0,90 d
9	40	8,31	8,31	8,44	-
9	50	9,65	10,02	10,24	0,98
9	60	11,05	10,93	11,14	0,98
9	70	12,89	12,02	12,93	0,93
9	80	15,13	14,39	15,09	0,95
9	90	17,51	18,40	18,40	-
Média		12,42 a	12,34 b	12,71 c	0,96 d
10	40	8,64	8,64	8,46	-
10	50	9,89	9,53	10,04	0,95
10	60	11,43	10,57	11,39	0,93
10	70	13,28	11,53	13,28	0,87
10	80	15,61	14,07	15,43	0,91
10	90	17,86	18,03	18,03	-
Média		12,78 a	12,06 b	12,77 c	0,91 d
11	40	8,32	8,32	8,46	-
11	50	9,63	9,05	9,49	0,95
11	60	10,80	10,22	10,66	0,96
11	70	12,41	11,24	12,56	0,89
11	80	14,75	13,43	14,31	0,94
11	90	16,36	17,07	17,07	-
Média		12,04 a	11,55 b	12,09 c	0,94 d
Chapa Dura					
12	40	6,31	6,31	7,02	-
12	50	7,94	7,12	7,43	0,96
12	60	9,36	7,63	9,36	0,82
12	70	10,68	8,85	10,48	0,84
12	80	12,11	10,99	11,80	0,93

"Continua"...

TABELA 3.3 Continuação...

TRAT	UR	UE1	UE2	UE3	HISTERESE
12	90	14,45	13,53	13,53	-
Média		10,14 a	9,07 b	9,94 c	0,89 d
13	40	7,13	7,13	8,08	-
13	50	8,62	7,76	8,62	0,90
13	60	9,46	8,62	9,78	0,88
13	70	11,70	9,68	11,59	0,84
13	80	12,98	11,91	13,19	0,90
13	90	15,53	15,00	15,00	-
Média		10,90 a	10,02 b	11,04 c	0,88 d
14	40	7,04	7,04	7,51	-
14	50	8,43	7,88	8,71	0,90
14	60	9,82	8,44	9,73	0,87
14	70	11,21	9,55	11,40	0,84
14	80	12,60	11,40	12,69	0,90
14	90	13,99	14,73	14,73	-
Média		10,52 a	9,84 b	10,80 c	0,88 d
OSB					
15	40	8,02	8,02	7,96	-
15	50	10,45	9,06	10,43	0,87
15	60	10,68	9,90	10,73	0,92
15	70	12,58	11,16	12,36	0,90
15	80	14,51	13,42	14,90	0,90
15	90	18,84	16,82	16,82	-
Média		12,51 a	11,40 b	12,20 c	0,90 d
16	40	8,58	8,58	8,37	-
16	50	10,00	9,44	9,97	0,95
16	60	11,53	10,50	11,45	0,92
16	70	13,38	11,75	13,25	0,89
16	80	15,37	14,14	15,16	0,93
16	90	18,05	15,02	15,02	-
Média		12,82 a	11,57 b	12,20 c	0,92 d
17	40	8,08	8,08	8,32	-
17	50	9,65	9,08	9,90	0,92
17	60	11,01	10,15	11,03	0,92
17	70	12,77	11,30	12,92	0,87

"Continua..."

- 4- Compensado multilaminado, com espessura de 15,17 cm, revestido em ambas as faces com lâminas decorativas naturais;
- 5- Compensado sarrafeado, com espessura de 18,89 cm, revestido em ambas as faces com lâminas decorativas naturais;
- 6- Aglomerado, com espessura de 15,87 cm, revestido com lâmina decorativa natural em ambas as faces;
- 7- Aglomerado, com espessura de 16,21 cm, revestido com lâmina decorativa natural em ambas as faces;
- 8- Aglomerado, com espessura de 15,24 cm, revestido com laminado Baixa Pressão (BP) em ambas as faces;
- 9- Aglomerado, com espessura de 10,56 cm, revestido com Finish Foil em ambas as faces;
- 10- Aglomerado, com espessura de 15,14 cm, sem revestimento em ambas as faces;
- 11- Aglomerado, com espessura de 3,36 cm, sem revestimento em ambas as faces;
- 12- Chapa Dura, com espessura de 3,11 cm, revestido com Finish Foil em uma das faces;
- 13- Chapa Dura, com espessura de 3,12 cm, revestido com laminado Baixa Pressão (BP) em uma das faces;
- 14- Chapa Dura, com espessura de 3,15 cm, sem revestimento em ambas as faces;
- 15- MDF, com espessura de 15,39 cm, sem revestimento em ambas as faces;
- 16- MDF, com espessura de 15,27 cm, revestido com Finish Foil em ambas as faces;
- 17- MDF, com espessura de 3,16 cm, sem revestimento em ambas as faces;
- 18- OSB, com espessura de 9,46 cm, sem revestimento em ambas as faces;

- 4- Compensado multilaminado, com espessura de 15,17 cm, revestido em ambas as faces com lâminas decorativas naturais;
- 5- Compensado sarrafeado, com espessura de 18,89 cm, revestido em ambas as faces com lâminas decorativas naturais;
- 6- Aglomerado, com espessura de 15,87 cm, revestido com lâmina decorativa natural em ambas as faces;
- 7- Aglomerado, com espessura de 16,21 cm, revestido com lâmina decorativa natural em ambas as faces;
- 8- Aglomerado, com espessura de 15,24 cm, revestido com laminado Baixa Pressão (BP) em ambas as faces;
- 9- Aglomerado, com espessura de 10,56 cm, revestido com Finish Foil em ambas as faces;
- 10- Aglomerado, com espessura de 15,14 cm, sem revestimento em ambas as faces;
- 11- Aglomerado, com espessura de 3,36 cm, sem revestimento em ambas as faces;
- 12- Chapa Dura, com espessura de 3,11 cm, revestido com Finish Foil em uma das faces;
- 13- Chapa Dura, com espessura de 3,12 cm, revestido com laminado Baixa Pressão (BP) em uma das faces;
- 14- Chapa Dura, com espessura de 3,15 cm, sem revestimento em ambas as faces;
- 15- MDF, com espessura de 15,39 cm, sem revestimento em ambas as faces;
- 16- MDF, com espessura de 15,27 cm, revestido com Finish Foil em ambas as faces;
- 17- MDF, com espessura de 3,16 cm, sem revestimento em ambas as faces;
- 18- OSB, com espessura de 9,46 cm, sem revestimento em ambas as faces;

TABELA 3.3 Continuação...

TRAT	UR	UE1	UE2	UE3	HISTERESE
22	60	10,37	9,69	10,11	0,96
22	70	11,06	9,96	10,84	0,92
22	80	11,93	10,88	11,54	0,94
22	90	14,68	12,79	12,79	-
Média		11,14 a	10,27 b	10,62 c	0,95 d
Madeira plástico					
23	40	5,18	5,18	5,53	-
23	50	6,29	6,04	6,49	0,93
23	60	7,36	6,65	7,41	0,90
23	70	8,17	7,31	8,22	0,89
23	80	10,30	8,98	10,20	0,88
23	90	12,57	11,47	11,47	-
Média		8,31 a	7,60 b	8,22 c	0,90 d
HDF					
24	40	7,78	7,78	7,84	-
24	50	9,23	8,79	9,29	0,95
24	60	10,22	10,01	10,35	0,97
24	70	11,67	10,42	11,74	0,89
24	80	13,68	12,30	13,56	0,91
24	90	18,77	15,94	15,94	-
Média		11,89 a	10,87 b	11,45 c	0,93 d

* Médias por coluna seguidas de mesma letra não diferenciam entre si a 5% de probabilidade, pelo teste de Scott-Knott.

Tratamentos:

- 1- Compensado multilaminado, com espessura de 18,15 cm, e revestido com lâmina decorativa natural e em uma das faces revestida com PVC;
- 2- Compensado sarrafeado, com espessura de 19,09 cm, e revestido com lâmina decorativa natural em ambas as faces;
- 3- Compensado multilaminado, com espessura de 16,98 cm, sem revestimento;

- 19- OSB, com espessura de 16,07 cm, revestido com lâmina decorativa natural;
- 20- OSB, com espessura de 18,48 cm, sem revestimento em ambas as faces;
- 21- Madeira cimento, com espessura de 15,92 cm, sem revestimento em ambas as faces;
- 22- Madeira cimento, com espessura de 15,76 cm, sem revestimento em ambas as faces;
- 23- Madeira plástico, com espessura de 12,41 cm, sem revestimento em ambas as faces;
- 24- HDF, com espessura de 6,13 cm, sem revestimento em ambas as faces.

As Tabelas 3.4 e 3.5 apresentam as análises de variância para a diferença e para umidade de equilíbrio calculada e observada, respectivamente. De acordo com estas tabelas, existe diferença significativa da diferença entre os tratamentos e não existe diferença significativa entre a umidade de equilíbrio calculada e a observada.

TABELA 3.4 Resumo da análise de variância para diferença.

FV	GL	QM
TRAT	3	1,31803 **
ERRO	20	0,15106
TOTAL	23	

** Significativo a 1% de probabilidade, pelo teste F.

TABELA 3.5 Resumo da análise de variância para UE calculada e UE observada.

FV	GL	QM
TRAT	7	9,5590 NS
ERRO	40	11,8084
TOTAL	47	

NS = Não significativo

A Tabela 3.6 apresenta os valores médios de umidade de equilíbrio calculados e observados na temperatura de 30°C e umidades relativas de 40, 50, 60, 70, 80 e 90%, onde se pode verificar que a equação de Nelson (1983) subestima os valores de umidades de equilíbrio, mas estes valores são bem próximos dos observados na câmara de climatização, mostrando que esta equação é eficiente na estimativa de umidade de equilíbrio. A maior diferença entre os valores calculados e observados é 2,26 encontrado para a Chapa Dura na UR de 40% e a menor diferença é 0,01 encontrado para o OSB na UR de 80%.

Com relação ao efeito do revestimento dos painéis sobre a umidade de equilíbrio, apesar de não apresentar diferença estatística, pode-se observar que existe uma tendência de redução da relação A/D (histerese), aumentando a estabilidade dimensional dos painéis (Figura 3.1).

TABELA 3.6 Valores médios da Umidade de Equilíbrio calculados pela Equação de Nelson e observados na Câmara de Climatização, na Temperatura de 30°C.

AGLOMERADO				
UR	UE Calculada (%)	UE Observada (%)	Diferença	Porcentagem (%)
40	7,68	8,41	0,73	8,7
50	8,92	9,68	0,76	7,9
60	10,29	10,89	0,60	5,5
70	11,89	12,47	0,58	4,7
80	13,99	14,73	0,74	5,0
90	17,34	17,57	0,23	1,3
Médias *	11,68 a	12,37 a	0,61 b	

OSB

UR	UE Calculada (%)	UE Observada (%)	Diferença	Porcentagem (%)
40	7,09	8,22	1,13	13,7
50	8,58	9,78	1,20	12,3
60	10,20	10,78	0,57	5,3
70	12,11	12,39	0,27	2,2
80	14,61	14,59	0,01	0,1
90	18,60	17,38	1,21	7,0
Médias	11,86 a	12,19 a	0,73 b	

CHAPA DURA

UR	UE Calculada (%)	UE Observada (%)	Diferença	Porcentagem (%)
40	5,13	7,06	1,93	27,3
50	6,21	8,06	1,85	23,0
60	7,38	9,13	1,75	19,2
70	8,77	10,57	1,80	17,0
80	10,58	12,19	1,60	13,1
90	13,48	14,50	1,02	7,0
Médias	8,59 a	10,25 a	1,66 c	

MDF

UR	UE Calculada (%)	UE Observada (%)	Diferença	Porcentagem (%)
40	6,36	7,70	1,34	17,4
50	7,64	8,86	1,22	13,8
60	9,03	9,81	0,77	7,8

“Continua...”

TABELA 3.6 Continuação...

UR	UE Calculada (%)	UE Observada (%)	Diferença	Porcentagem (%)
70	10,68	11,17	0,49	4,4
80	12,83	13,11	0,29	2,2
90	16,26	16,67	0,41	2,5
Médias	10,47 a	11,22 a	0,75 b	

* Médias seguidas de mesma letra na linha (UE) e na coluna (diferença), não diferenciam entre si a 5% de probabilidade, pelo teste de Scott-Knott.

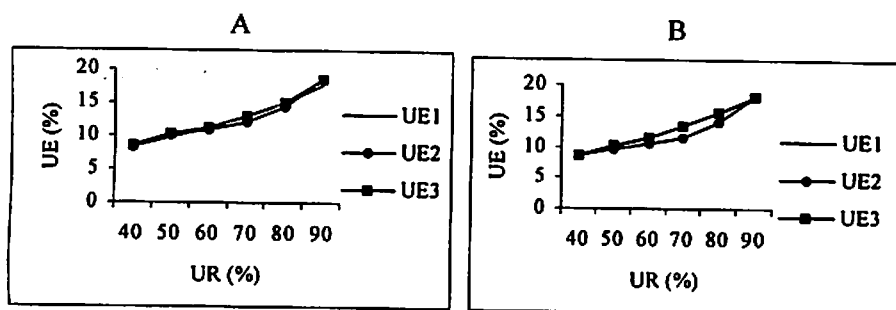


FIGURA 3.1 Curvas de primeira dessorção (UE1), sorção (UE2) e segunda dessorção (UE3) para o aglomerado com revestido (A) e sem revestimento (B).

7 CONCLUSÕES

- ✓ A espessura e o tipo de revestimento não influenciaram o coeficiente de histerese e a umidade de equilíbrio dos painéis;
- ✓ A equação de Nelson (1983) se mostrou eficiente na estimativa da umidade de equilíbrio;
- ✓ Não existe, em média, diferença de histerese entre os produtos estudados, mostrando que todos apresentam a mesma estabilidade dimensional.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE PAINÉIS DE MADEIRA - ABIPA. **Relatório setorial**. São Paulo, 2000. 25 p.

BURCH, D. M.; THOMAS, W. C.; FANNEY, A. H. Water vapor permeability measurements of common building materials. **ASHRAE Transactions**, New York, v, 98, p. 486-494, 1992

COSTA, A. F. **Secagem da madeira** (Ementa de secagem de madeiras). Universidade Federal de Brasília. Disponível em: <http://www.unb.br/ft/efl/arq_de_texto/prof_alexandre/ementa_secagem_reserv.pdf. Acesso em: 12 jun. 2003.

GALVÃO, A. P. M.; JANKOWSKY, I. P. **Secagem racional da madeira**. São Paulo: Nobel, 1985. 112 p.

HEEBINK, D. M.; HASKELL, H. H. Effect of heat and humidity on the properties of high pressure laminates. **Forest Products Journal**, Madison, v. 12, n. 11, p. 542-548, 1962.

LATORRACA, J. V. F. **Umidade de equilíbrio**. Curitiba: UFPR, 1994. 14 p. (Trabalho da disciplina relação água- madeira do curso de Pós- Graduação em Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná).

MESQUITA, J. B. **Relação água-madeira**. Lavras - MG, 2000. (Notas de aula). (Material não publicado).

NELSON, R. M. A model for sorption of water vapor by cellulosic materials. **Wood Fiber Science**, Madison, v. 15, n. 1, p. 8-22, 1983.

SUCHSLAND, O. Linear higroscopic expansion of selected commercial particleboards. **Forest Products Journal**, Madison, v. 22, n. 11, 28-32, Nov. 1972.

WU, Q. Application of Nelson's sorption isotherm to wood composites and overlays. **Wood Fiber Science**, Madison, v. 3, n. 2, 187-191, 1999.

WU, Q.; SUCHSLAND, O. Prediction of moisture content and moisture content gradient of particleboard. *Wood and Fiber Science*, Madison, v. 28, n. 2, p. 227-239, 1996.

CAPÍTULO 4

1 RESUMO

SILVA, Graciane Angélica da. Efeito de algumas variáveis de processamento na sorção de painéis de madeira. In: _____. **Estudo da Umidade de Equilíbrio dos Painéis de Madeira no Brasil**. 2004. Cap. 4, p. 84-125. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.⁷

No setor madeireiro, inúmeros produtos novos vêm substituindo os produtos, tradicionalmente, utilizados e vários tipos de painéis vêm ganhando espaço, em virtude da relação preço/desempenho. A produção destes tipos de painéis envolve parâmetros de processamento, que interferem nas propriedades e na umidade de equilíbrio dos painéis. Dentre os parâmetros do processamento podemos citar a densidade dos painéis, razão de compactação, tipo e o conteúdo de adesivo, conteúdo de parafina, dimensão das partículas, umidade das partículas, tempo de fechamento da prensa, temperatura de prensagem, tempo de prensagem e pressão específica. Todos estes parâmetros podem ser controlados, visando a melhorar as qualidades do painel. Este trabalho teve como objetivo estudar a influência das variáveis de processamento (teor de resina, temperatura de prensagem e tempo de prensagem) na umidade de equilíbrio e nas propriedades físicas dos painéis. No Laboratório de Tecnologia e Produtos Florestais da UFPR, foram produzidos 27 painéis homogêneos de camada única sem orientação com partículas strand, com as dimensões de 480x480x15 mm, e no Laboratório de Tecnologia da Madeira da UFLA, foram gerados os corpos-de-prova para estudo da umidade de equilíbrio e das propriedades físicas (inchamento em espessura, absorção de água e TNRE) dos painéis. Os resultados demonstraram que o teor de resina afeta, de forma significativa, a retenção de água, tanto na forma líquida como na forma de vapor.

⁷ Comitê de Orientação: Lourival Marin Mendes (orientador) - UFLA, Fábio Akira Mori – UFLA e Paulo Fernando Trugilho - UFLA.

2 ABSTRACT

SILVA, Graciane Angélica da. Effect of some variables of processing in the sorção of wood panels. In: _____. **Study of the Equilibrium Moisture Content of the Wood Panels in Brazil**. 2004. Chap. 4, p. 84-125. Dissertation (Master in Forest Engineering) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.⁸

In the wood sub-sector a large number of new products are coming over and substituting the traditionally used products, and several types of panels are winning space due to the price/performance relationship. The production of these new types of panels encompasses processing parameters that interfere in the properties and in the equilibrium moisture content of the panels, such as the density, compaction coefficient, type and the sticker content, paraffin content, dimension of the particles, humidity of the particles, time of closing of the press, temperature of pressing, time of pressing and specific pressure. All these parameters can be controlled seeking to improve the quality of the panels. The study determined the influence of the processing variables (resin content, temperature of pressing and time of pressing) in the equilibrium moisture content and in the physical properties of the panels. In the Wood Technology and Forestry Products Laboratory of UFPR, 27 homogeneous panels of only one layer, without orientation with particles strand with the dimensions of 480x480x15 mm were produced, and in the Wood Technology and Forestry Products Laboratory of UFLA were generated samples for studying the equilibrium moisture content and the physical properties (swelling in thickness, absorption of water and TNRE). The results demonstrated that the resin content affect drastically the socket of water, in the liquid form and it doesn't affect the water retention in the steam form.

⁸ Guidance Committee: Lourival Marin Mendes (Major Professor) - UFLA, Fabio Akira Mori - UFLA and Paulo Fernando Trugilho - UFLA .

3 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, a matriz dos produtos sólidos de madeira apresentou uma substancial transformação. No setor madeireiro, inúmeros produtos novos vêm substituindo os produtos, tradicionalmente, utilizados, e vários tipos de painéis vêm ganhando espaço, em virtude da relação preço/desempenho. Observa-se no Brasil um grande crescimento na produção e consumo de painéis reconstituídos, representados pelo aglomerado, MDF e pelo OSB, mudando o perfil no consumo de painéis.

A produção destes tipos de painéis envolve parâmetros de processamento, que interferem nas suas propriedades e na umidade de equilíbrio dos painéis. Dentre os parâmetros de processamento pode-se citar: a densidade dos painéis, razão de compactação, tipo e o conteúdo de adesivo, conteúdo de parafina, dimensão das partículas, umidade das partículas, tempo de fechamento da prensa, temperatura de prensagem, tempo de prensagem e pressão específica. Todos estes parâmetros podem ser controlados visando melhorar a qualidade do painel.

Este capítulo tem como finalidade estudar a influência de algumas variáveis de processamento (teor de resina, temperatura de prensagem e tempo de prensagem) na umidade de equilíbrio e nas propriedades físicas dos painéis.

4 REFERENCIAL TEÓRICO

Quase todos os parâmetros, mostrados na Tabela 4.1 a seguir, interagem entre si, nos dois sentidos na produção de painéis particulados de madeira (Maloney, 1993). Por conseguinte, a mudança de um desses fatores resultará na alteração de vários outros relacionados com o processo de formação do painel, ou seja, um parâmetro não pode ser considerado isoladamente, como se pudesse ter manipulação independente e fácil, a fim de controlar o processo de formação do painel de forma adequada. Contudo, uma vez aceita a existência desta inter-relação entre um certo número de parâmetros, um alcance mais completo do processo pode ser atingido, e a manipulação real pode ser desenvolvida com sucesso, para o controle da maior parte do processo.

Neste contexto, a presença de extrativos em grandes quantidades na madeira podem causar estouro dos painéis após a prensagem. Por outro lado, o aumento da quantidade de resina no colchão, objetivando o ganho em propriedades, pode aumentar em demasia os custos variáveis, inviabilizando praticamente a produção.

A mais importante variável relativa à espécie, que regula as propriedades da chapa, é a densidade da própria matéria-prima lenhosa. Esta densidade, tem sido um importante fator na determinação de que espécies podem ser empregadas na manufatura dos painéis. Em termos gerais, madeiras de densidade mais reduzida possibilitam a produção de painéis dentro da faixa adequada de densidade, além de possuir, normalmente, propriedades de resistência superiores a espécies de densidades mais elevadas (Maloney, 1993).

TABELA 4.1 Fatores que afetam as propriedades dos painéis particulados.

INERENTES À MADEIRA	INERENTES AO PROCESSO
Espécies	Densidade dos painéis
Densidade da madeira	Razão de compactação
PH	Composição dos painéis
Teor de umidade	Resina e parafina
Extrativos	Dimensão e orientação das partículas
Local de crescimento	Umidade das partículas
Idade cambial	Tempo de fechamento da prensa e de prensagem
Substâncias estranhas	Temperatura de prensagem
Forma do Tronco	Pressão específica

Fonte: Mendes & Iwakiri (2002)

Dentre os parâmetros de processamento dos painéis, que podem ser controlados, visando melhorar as qualidades e minimizar custos, pode-se destacar: o teor de resina, tempo de prensagem e a temperatura de prensagem, os quais são mencionados a seguir.

4.1 Resina

Na produção de chapas de partículas de madeira, o adesivo é o componente de maior custo de produção, portanto, a quantidade a ser aplicada deve ser otimizada, em função das propriedades requeridas para a finalidade de uso que se destina.

Segundo Cloutier (1998), os quatro principais tipos de resinas, atualmente, empregadas na indústria de painéis compostos à base de madeira, são os seguintes: uréia-formaldeído (UF), melamina-formaldeído (MF), fenol-formaldeído (FF) e difenil metano di-isocianato (MDI).

Yusoff & Horie (1997) relatam que os painéis de partículas produzidos com resina isocianato (MDI), apresentaram um valor médio de MOR em torno

de 817 kgf/cm², enquanto que os painéis, produzidos com resina fenólica (FF), apresentaram um valor médio de MOR em torno de 528 kgf/cm². Os painéis produzidos com resina MDI, também, apresentaram inchamento em espessura menor (16,4%) em relação aos produzidos com resina fenólica, que apresentou valores médios em torno de 29,4%.

Murakami et al. (1999), também, estudaram os efeitos do tipo e teor de resina e observaram um incremento nas propriedades mecânicas e estabilidade dimensional dos painéis, com o aumento do conteúdo de resina.

Segundo Mendes (2001), o aumento da disponibilidade de resina, por área superficial de partículas, é a causa da diminuição da absorção de água, na forma líquida quando o teor de resina passou de 4 para 6%, não só pela barreira física que é maior na linha de cola, bem como pela ocupação dos sítios higroscópicos da madeira (OH), deixando o colchão menos reativo a água. A mesma tendência foi observada para o inchamento em espessura dos painéis.

4.2 Tempo de Prensagem

O tempo de prensagem é o tempo decorrido a entre o momento da consolidação do colchão de partículas em sua espessura, até o momento de abertura dos pratos da prensa, podendo variar em torno de 6 a 12 minutos.

O tempo de prensagem deverá ser o suficiente para que o centro da chapa atinja a temperatura ideal para a cura da resina e que seja, também, suficiente para a migração da umidade pelas bordas da chapa.

Quando espaçadores são empregados na prensagem, de painéis de partículas, o tempo de prensagem refere-se ao intervalo de tempo desde o momento em que os espaçadores são atingidos pelos pratos da prensa até a abertura da prensa (Matos, 1988).

Segundo Iwakiri (1989), o tempo mínimo de prensagem depende, principalmente, da eficiência na transferência de calor, a espessura do painel, temperatura de prensagem e distribuição da umidade no colchão.

Segundo Matos (1988), reduções no tempo de prensagem dos painéis são mais desejáveis, pois implica em uma maior produção por unidade de tempo, bem como provoca uma redução no consumo de energia. O mesmo autor relata, que o principal efeito do decréscimo no tempo de prensagem é a redução nas propriedades de resistência.

Para painéis, com 15mm de espessura, produzidos experimentalmente, com madeiras do gênero *Pinus*, o tempo de prensagem de 8 minutos tem apresentado resultados satisfatórios (Brito, 1984; Matos, 1988; Iwakiri, 1989).

4.3 Temperatura de Prensagem

A principal função da temperatura da prensa, na produção de painéis de partículas é a aceleração da polimerização do adesivo distribuído, entre as partículas e a plasticização da madeira (Matos, 1988).

Iwakiri (1989) encontrou referências de que quanto maior a temperatura de prensagem, maior será o fluxo de calor, permitindo melhor densificação das camadas mais internas dos painéis, resultando em maior resistência das ligações internas e menor resistência à flexão estática.

Brito (1984), Keinert Jr (1988), Matos (1988) e Iwakiri (1989), obtiveram painéis de boa qualidade para espécies do gênero *Pinus*, utilizando temperatura de prensagem de 160 a 180 °C, com resina fenólica.

Segundo Cloutier (1998) as indústrias no Canadá utilizam temperatura de prensagem de 200 °C a 220 °C, dependendo da espessura do painel.

O tratamento térmico pode ser utilizado para obter madeiras com maior estabilidade dimensional. Esse efeito pode ser conseguido reduzindo a

higroscopicidade da madeira pela degradação do constituinte mais hidrofílico, que são as hemiceluloses, pela quebra dos polímeros da lignina e da celulose e pela criação de novas ligações químicas entre eles, o que é denominado de reticulação.

A transição viscoelástica da madeira é a primeira etapa da retificação térmica e que permite liberar tensões existentes na madeira. A umidade da madeira influi na temperatura da transição viscoelástica da madeira (Quirino & Vale, 2002).

4.4 Propriedades Físicas dos Painéis

4.4.1 Absorção de Água e Inchamento em espessura

Absorção de água é a expressão percentual da quantidade de água absorvida o que ocorre quando uma amostra acondicionada a 20°C e 65 °C de UR (umidade de equilíbrio em torno de 12%) é imersa em água por 2 e 24 horas (Norma ASTM). Segundo Brito (1995), o inchamento em espessura é uma das propriedades mais importantes em termos de estabilidade dimensional dos painéis. O inchamento em espessura pode ser afetado pela espécie de madeira, geometria das partículas, densidade dos painéis, nível de resina, nível de parafina, eficiência da aplicação da cola e condições de prensagem.

4.4.2 Taxa de não retorno em espessura (TNRE)

Segundo Iwakiri (1989) a exposição do painel a um ciclo de alta e baixa umidade relativa, em que ocorre primeiro o inchamento e depois a contração, resulta em um inchamento residual devido à liberação das tensões de compressão impostas aos painéis, e é denominada de taxa de não retorno em

espessura. Este efeito pode ser reduzido ou eliminado através de tratamentos especiais como pós-vaporização e pós-aquecimento dos painéis, embora estes métodos tenham aplicações limitantes.

Kelly (1977) relata que Child (1956) observou uma relação direta, entre o inchamento residual e a densidade do painel (aglomerado convencional), e relação inversa com o teor de resina. O autor afirma também que a largura das partículas não apresenta qualquer influência sobre o inchamento residual.

Em estudo realizado por Matos (1988) para painéis Waferboard produzidos com *Pinus taeda*, em diferentes condições de prensagem, foi observada uma forte influência da umidade das partículas e presença de parafina sobre o inchamento residual. O autor relata que, com a aplicação de 1% de parafina, o inchamento residual é reduzido.

5 MATERIAIS E MÉTODOS

O material utilizado, para este estudo, foi obtido de testes clonais do gênero *Eucalytus* cultivados pela Companhia Mineira de Metais (VMM-AGRO), localizada nos municípios de Paracatu e de Vazante, região noroeste de Minas Gerais. A área está situada a 17°36'06" de latitude Sul, 46°42'42" de longitude Oeste de Greenwich e a 550 metros de altitude. Segundo classificação de Koppen, o clima é do tipo Aw, tropical úmido de savana, com inverno seco e verão chuvoso. A temperatura média anual é de 24°C e a precipitação média anual é de 1,450mm.

No Laboratório de Tecnologia da madeira da UFLA foram geradas as partículas tipo strand. Já, no Laboratório de Painéis de Madeira do Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal da UFPR, foram produzidos 27 painéis homogêneos de camada única sem orientação com partículas strand, com as dimensões nominais de 480x480x15mm, e com densidade de 0,65 g/cm³. Na Tabela 4.2, observa-se o delineamento experimental utilizado para os tratamentos.

5.1 Obtenção das partículas

Na Unidade Experimental de Desdobro e Secagem da Madeira do Departamento de Ciências Florestais da UFLA, as toras foram desdobradas em tábuas e em seguida foram levadas ao laboratório de usinagem onde foram seccionadas em peças de 90 mm de largura que definiu o comprimento das partículas. As partículas foram geradas em um picador de disco (Figura 4.1), onde as facas foram ajustadas para gerarem partículas com espessura em torno de 0,60 mm (Figura 4.2).

TABELA 4.2 Delineamento Experimental utilizado na produção dos painéis.

Tratamento	TR (%)	T°P (°C)	T'P (min)
1	3	160	6
2	3	160	8
3	3	160	10
4	3	180	6
5	3	180	8
6	3	180	10
7	3	200	6
8	3	200	8
9	3	200	10
10	4,5	160	6
11	4,5	160	8
12	4,5	160	10
13	4,5	180	6
14	4,5	180	8
15	4,5	180	10
16	4,5	200	6
17	4,5	200	8
18	4,5	200	10
19	6	160	6
20	6	160	8
21	6	160	10
22	6	180	6
23	6	180	8
24	6	180	10
25	6	200	6
26	6	200	8
27	6	200	10

TR – Teor de resina; T°P – Temperatura de prensagem, T'P –Tempo de prensagem.

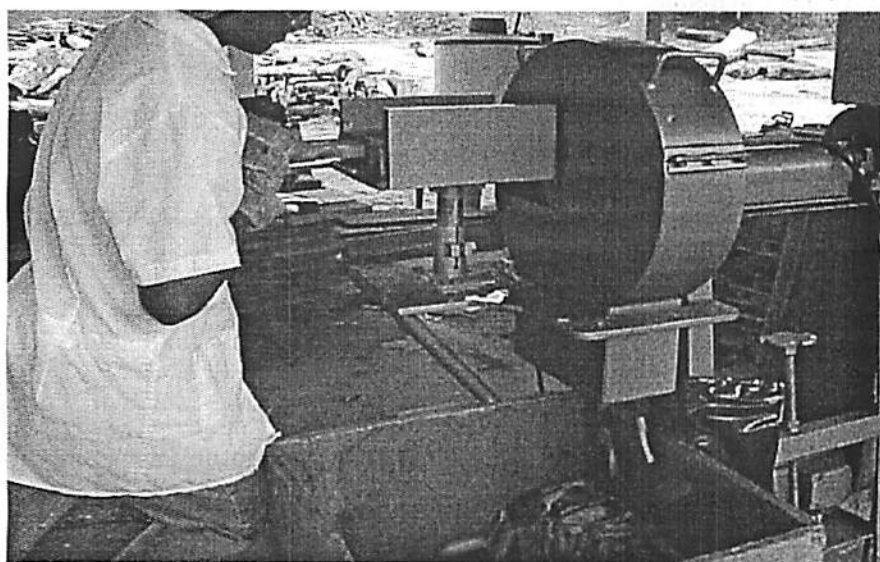


FIGURA 4.1 Picador de disco utilizado para a geração das partículas.

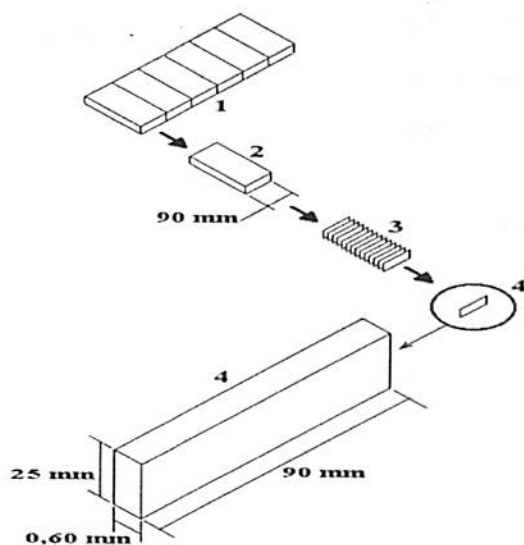


FIGURA 4.2 Processo de geração das partículas strand. Onde: 1 – Tábua; 2 – Bloco; 3 – Picagem e 4 – Partícula gerada.

5.2 Secagem das Partículas

As partículas foram secas até o conteúdo de umidade de 3-4% base peso seco. Inicialmente, as partículas foram expostas ao ar livre, com o objetivo de fazer uma pré-secagem natural e, em seguida, levadas para uma estufa com temperatura em média de 65°C.

5.3 Aplicação da resina

A manufatura dos painéis foi realizada no Laboratório de Painéis de madeira, do Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal da Universidade Federal do Paraná.

A resina utilizada foi a Fenol-formaldeído (FF), doada pela Borden Química S.A., com um teor de sólidos de 48,2 %, pH = 11,5 e viscosidade de 438 cps.

Foram aplicados 3, 4,5 e 6% de resina base peso seco das partículas com auxílio de uma encoladeira, do tipo tambor giratório, dotado de um copo graduado e uma pistola a ar comprimido (Figura 4.3).

5.4 Formação do colchão

O colchão foi formado em uma caixa formadora com dimensões 48x48 cm, como pode ser observado na Figura 4.4.

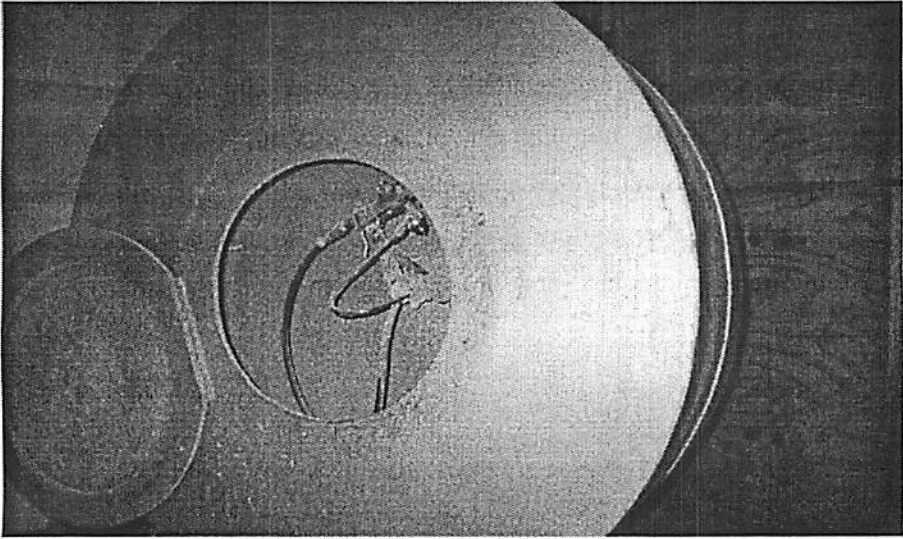


FIGURA 4.3 Encoladeira utilizada para aplicação da resina.

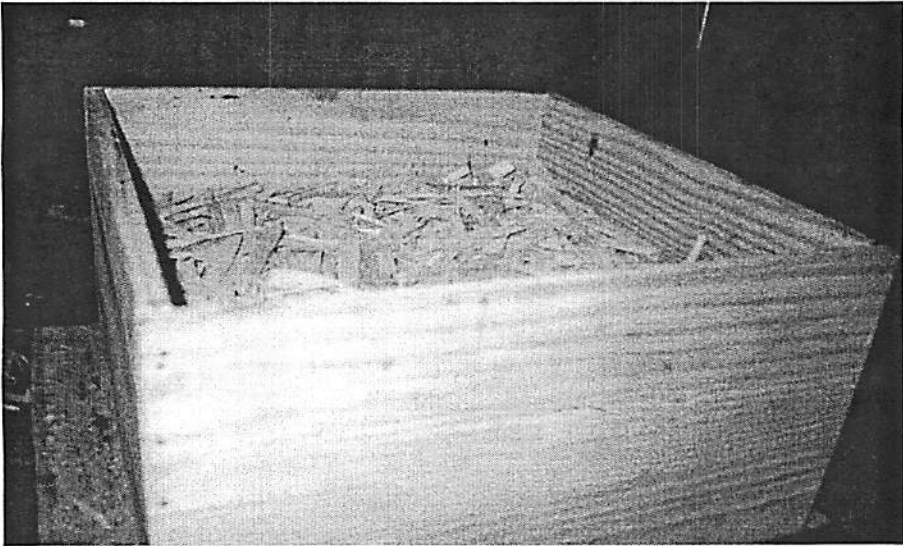


FIGURA 4.4 Caixa formadora do colchão.

5.5 Prensagem

A temperatura de prensagem foi de 160, 180 e 200 °C, o tempo de prensagem de 6, 8 e 10 minutos e a pressão específica de 40 kgf/cm². Inicialmente, foi feita uma pré-prensagem em uma prensa manual, com o objetivo de dar uma melhor conformação ao colchão. Em seguida, o colchão foi levado a uma prensa hidráulica, onde foi feita a prensagem propriamente dita (Figura 4.5).

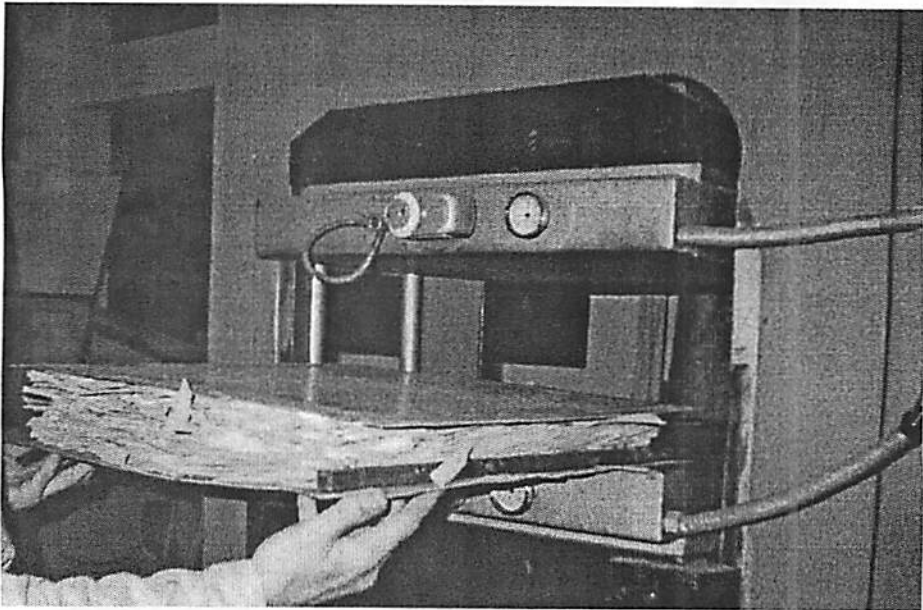


FIGURA 4.5 Processo de prensagem do colchão.

5.6 Avaliação da Umidade de Equilíbrio e das Propriedades Físicas dos painéis

No Laboratório de Tecnologia da Madeira da UFLA, foram gerados corpos-de-prova com as dimensões de 26mm de largura por 26mm de comprimento, para estudo da umidade de equilíbrio, segundo a metodologia adotada por Wu (1999). Os corpos-de-prova com as dimensões de 150mm de largura por 150mm de comprimento, foram utilizados para estudo de absorção de água (AA), inchamento em espessura (IE) e taxa de não retorno em espessura (TNRE). De cada chapa, inicialmente, retirou-se cerca de 2cm de cada extremidade dos painéis e, posteriormente, os corpos-de-prova, como demonstrado na Figura 4.6

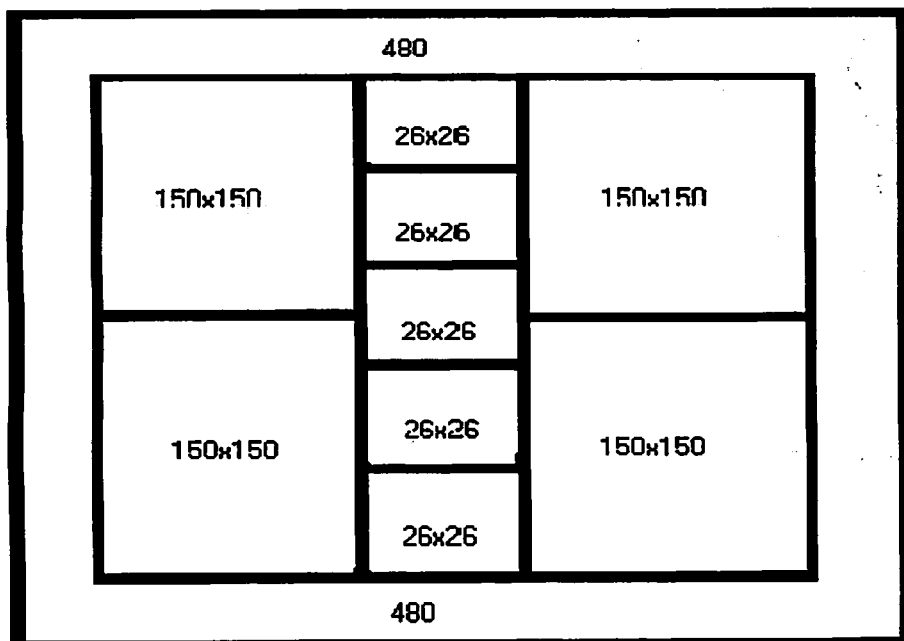


FIGURA 4.6 Esquema da distribuição dos corpos-de-prova nos painéis (unidades em mm).

Os corpos-de-prova, para estudo da umidade de equilíbrio, foram pesados e levados para uma câmara de climatização regulada com temperatura de 30°C e umidade relativa de 65% (Figura 4.7), onde foram feitas pesagens das amostras controle a cada 24 horas, para acompanhamento até a estabilização. Ao final eles foram levados à estufa com temperatura em torno de 103 °C até peso constante, quando foram pesados novamente.

Os corpos-de-prova, para estudo de absorção de água, inchamento em espessura e taxa de não retorno à espessura possuem 4 repetições, os quais inicialmente foram pesados e medidos (largura, comprimento e espessura), em seguida foram submersos em água e após 2 e 24 horas foram feitas, novamente, medições da espessura e peso.

As propriedades físicas foram determinadas de acordo com as normas ASTM:

- Absorção de água (AA): ASTM 1980 : D 1037-100
- Inchamento em espessura (IE): norma ASTM 1980 : D 1037-100

As análises estatísticas foram realizadas nos programas estatísticos: SAEG e Sisvar.

Para o estudo da umidade de equilíbrio (Água na forma de vapor), foi ajustado o modelo de regressão linear simples.

$$Y = b_0 + b_1X_1 \text{ e } Y = b_0 + b_1X_2$$

onde:

Y = Umidade de equilíbrio;

b_0 = constante da regressão;

X_1 = temperatura de prensagem;

X_2 = tempo de prensagem.

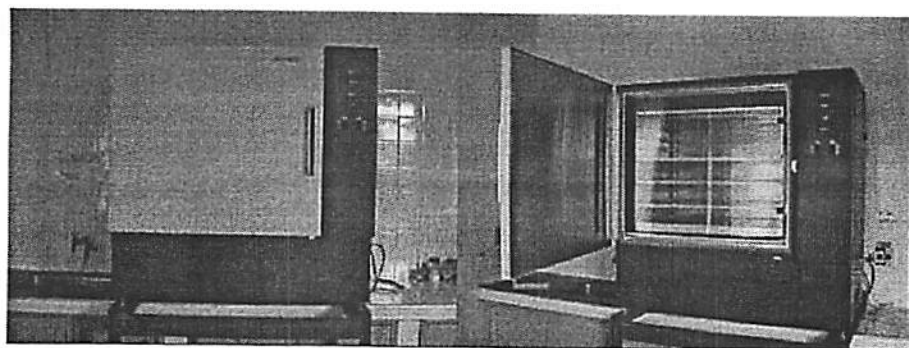


FIGURA 4.7 Câmara de climatização utilizada para determinação da umidade de equilíbrio.

Para a análise das propriedades físicas (Água na forma líquida), adotou-se o delineamento inteiramente casualizado, com 27 tratamentos, com apenas uma observação para cada tratamento. Os tratamentos constituíram um fatorial 3^3 , envolvendo portanto, três fatores, cada um com três níveis (teor de resina de 3, 4,5 e 6%; temperatura de prensagem de 160, 180 e 200 °C; tempo de prensagem de 6, 8 e 10 min).

Os dados foram analisados, estatisticamente, por meio da metodologia de superfície de resposta, onde foi utilizado o modelo polinomial quadrático.

Foi feito o ajuste de uma equação de regressão para cada variável dependente (Inchamento 2 horas, Inchamento 24 horas, Absorção 2 horas, Absorção 24 horas e TNRE), em cada teor de resina (3, 4,5 e 6%), que foram comparados pelo teste de identidade de modelos.

O modelo estatístico utilizado foi:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_{11} X_1^2 + \beta_{22} X_2^2 + \beta_{12} X_1 X_2 + e$$

onde:

Y = variável dependente;

β_0 = constante de regressão;

$\beta_1, \beta_2, \beta_{11}, \beta_{22}, \beta_{12}$ = coeficiente de regressão;

X_1 = temperatura de prensagem;

X_2 = tempo de prensagem;

e = erro experimental, suposto normal e independente.

O modelo polinomial quadrático ajustado é:

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_{11}X_1^2 + b_{22}X_2^2 + b_{12}X_1X_2$$

onde :

b_0, b_1, b_{11}, b_{22} e b_{12} = estimativas dos parâmetros $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_{11}, \beta_{22}, \beta_{12}$, respectivamente.

Com as equações das superfícies ajustadas, para cada teor de resina, foram determinados os pontos críticos (pontos estacionários) e sua natureza, isto é, se o ponto foi de máximo, mínimo, sela ou nenhum dos três.

Para cada equação ajustada em cada teor de resina, obteve-se o ponto estacionário S, bastando, para isto, tomar $Y = 0$ (diferencial de Y identidade nula) o que equivale a resolver o seguinte sistema:

$$\frac{\partial Y}{\partial X_1} = 0$$
$$\frac{\partial Y}{\partial X_2} = 0$$

ou seja,

$$2b_{11}X_1 + b_{12}X_2 = -b_1$$

$$b_{12}X_1 + 2b_{22}X_2 = -b_2$$

Uma alternativa para estudar a natureza do ponto estacionário é por meio da classificação da forma quadrática.

$$\frac{1}{2} \partial 2Y = [\partial X_1 \quad \partial X_2] B \begin{bmatrix} \partial X_1 \\ \partial X_2 \end{bmatrix},$$

obtendo-se os auto-valores da matriz B, a seguir:

$$B = \begin{bmatrix} b_{11} & \frac{1}{2}b_{12} \\ \frac{1}{2}b_{12} & b_{22} \end{bmatrix}$$

Os auto-valores são a solução da equação característica

$$|B - \lambda I| = 0$$

isto é,

$$\begin{bmatrix} b_{11} - \lambda & \frac{1}{2}b_{12} \\ \frac{1}{2}b_{12} & b_{22} - \lambda \end{bmatrix} = 0$$

as raízes da equação

$$\lambda^2 - b\lambda + c = 0 ,$$

em que:

$$b = b_{11} + b_{22}; e$$

$$c = b_{11}b_{12} - \frac{1}{4}b_{12}^2$$

O sinal e a magnitude dos λ 's são muito importantes para determinar a natureza do ponto estacionário. Se os λ 's são todos positivos, estão tem-se um ponto de mínimo; se todos são negativo, tem-se um ponto de máximo; e se os sinais não forem iguais, tem-se um ponto de sela. A magnitude dos λ 's pode oferecer muita informação a respeito do sistema. No caso de um dos λ 's ser zero, tem-se uma aresta estacionária. A condição de aresta estacionária apresenta-se como um caso que limita a condição de ponto de máximo, mínimo ou sela. Na prática, é pouco provável que se tenha uma condição exata de aresta estacionária. Entretanto, se o valor de um dos λ 's for bem pequeno, então o sistema aproximou-se de uma aresta estacionária. Se o ponto estacionário é um máximo e um dos λ 's é quase zero, então, para todo propósito prático, o máximo não é unicamente este ponto estacionário. Se o valor de λ_1 for positivo, λ_2 próximo de zero e o ponto estacionário fora da região experimental, esta condição aproxima-se de uma queda na aresta; se λ_1 for negativo, tem-se uma subida na aresta (Myers, 1971).

As equações das superfícies ajustadas também foram avaliadas, graficamente, por meio de cortes na sua estrutura.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Água na forma de vapor

A Tabela 4.3 apresenta as umidades iniciais e a umidade de equilíbrio calculadas para cada tratamento proposto. Observa-se que a maior umidade de equilíbrio foi de 10,31% , a menor de 9,30%, a média geral de 9,87% e a amplitude de variação de 0,99%. A umidade de equilíbrio nominal, para a temperatura de 30 °C e umidade relativa de 65% estimada pela equação de Nelson (1983) foi de 11,11%. O maior ganho de umidade foi de 24,51%, no tratamento 6, e o menor foi 11,55%, no tratamento 2.

Através da análise de variância (Tabela 4.4), pode-se observar que a temperatura de prensagem e a interação entre temperatura de prensagem e tempo de prensagem foram estatisticamente significativos, ou seja, existe dependência entre os fatores. Dessa forma, procedeu-se ao desdobramento dessa interação, avaliando o efeito de temperatura de prensagem dentro de tempo de prensagem e vice-versa.

A Tabela 4.5 apresenta os valores médios de umidade de equilíbrio para os teores de resina (3, 4,5 e 6%), temperatura de prensagem (160, 180 e 200^o) e tempo de prensagem (6, 8 e 10 min). Pode-se verificar que os deferentes teores de resina e tempos de prensagem utilizados não afetaram a umidade de equilíbrio. A umidade de equilíbrio média, para a temperatura de prensagem de 180^oC, foi maior em relação às temperaturas de 160 e 200^oC.

TABELA 4.3 Variação da Umidade inicial, da Umidade de Equilíbrio e ganho de Umidade para cada tratamento.

Tratamento			Umidade inicial(%)	Umidade Equilíbrio(%)	Ganho de Umidade (%)
TR (%)	T°P (°C)	T'P (min)			
3	160	6	8,33	9,74	16,93
3	160	8	8,66	9,66	11,55
3	160	10	8,52	10,10	18,54
3	180	6	8,79	10,09	14,79
3	180	8	7,91	9,54	20,61
3	180	10	8,24	10,26	24,51
3	200	6	8,12	9,84	21,18
3	200	8	8,27	9,70	17,29
3	200	10	8,14	9,56	17,44
4,5	160	6	8,29	9,49	14,48
4,5	160	8	8,60	10,18	18,37
4,5	160	10	8,08	9,82	21,53
4,5	180	6	8,16	9,88	21,08
4,5	180	8	8,37	10,01	19,59
4,5	180	10	8,19	10,04	22,59
4,5	200	6	8,01	9,85	22,97
4,5	200	8	8,22	9,72	18,25
4,5	200	10	8,07	9,47	17,35
6	160	6	8,21	9,62	17,17
6	160	8	8,78	10,13	15,38
6	160	10	8,81	10,04	13,96
6	180	6	8,33	10,31	23,77
6	180	8	8,53	10,18	19,34
6	180	10	8,56	10,05	17,41
6	200	6	8,39	10,02	19,43
6	200	8	7,86	9,30	18,32
6	200	10	8,39	9,84	17,28

TR - Teor de resina; T°P - Temperatura de prensagem, T'P -Tempo de prensagem.

A Tabela 4.6 apresenta as equações de regressão ajustadas e os coeficientes de determinação relativos aos modelos ajustados, para unidade de equilíbrio, onde se observa que para o tempo de prensagem de 6 min a regressão foi não significativa, ou seja, a resposta é a mesma para as diferentes temperaturas. Neste caso, como não há diferença na unidade de equilíbrio para esta propriedade, pode-se, então, utilizar somente a temperatura de prensagem

TR (%)	UE	T ^o P	UE	T ^o P	UE	T ^o P
3	9,83 a *	160	9,86 b *	6	9,87 d *	9,82 d
4,5	9,81 a	180	10,04 c	8	9,82 d	9,91 d
6	9,98 a	200	9,70 b	10	9,91 d	

* Médias por coluna seguidas de mesma letra não diferenciam entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Scott-Knott.

TABELA 4.5 Médias da unidade de equilíbrio para o teor de resina, temperatura de prensagem e tempo de prensagem

NS = Não significativo
 TR - Teor de resina; T^oP - Temperatura de prensagem, T^oP - Tempo de prensagem.

FV	GL	QM
TR	2	0,38823 NS
T ^o P	2	1,30426 **
T ^o P	2	0,08109 NS
TR*T ^o P	4	0,08249 NS
TR*T ^o P	4	0,48147 NS
T ^o P*T ^o P	4	0,63611 *
TR*T ^o P*T ^o P	7	0,13123 NS
ERRO	109	
TOTAL	134	

** e * Significativo a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente

TABELA 4.4 Resumo da Análise de variância para as variáveis de processamento.

de 160°C para a confecção das chapas, proporcionando uma economia de energia, diminuindo os custos de produção.

A Figura 4.8 ilustra a tendência de comportamento da umidade de equilíbrio, em função da temperatura de prensagem. De acordo com esta figura observa-se que o aumento da temperatura de prensagem provocou uma redução na umidade de equilíbrio, para os tempos de prensagem de 8 e 10 min. Segundo Mendes (2001), este fato ocorre pela perda ou rearranjo dos sítios higroscópicos da madeira (OH), deixando o colchão menos reativo a água.

TABELA 4.6 Equações de regressão ajustadas com os seus respectivos coeficientes de determinação (R^2)

Tempo	Equação Ajustada	R^2
6	$EU = 8,58389 + 0,00715 T^0P$	36,08 NS
8	$EU = 11,7071 - 0,01047 T^0P$	88,40 *
10	$EU = 11,54278 - 0,00908 T^0P$	50,37 *

* Significativo a 5% de probabilidade

NS = Não significativo

T^0P – Temperatura de prensagem

A Tabela 4.7 apresenta as equações de regressão ajustadas e os coeficientes de determinação, relativos aos modelos ajustados para umidade de equilíbrio, onde se observa que, para a temperatura de prensagem de 180 e 200°C a regressão foi não significativa, ou seja, a resposta é a mesma para os diferentes tempos.

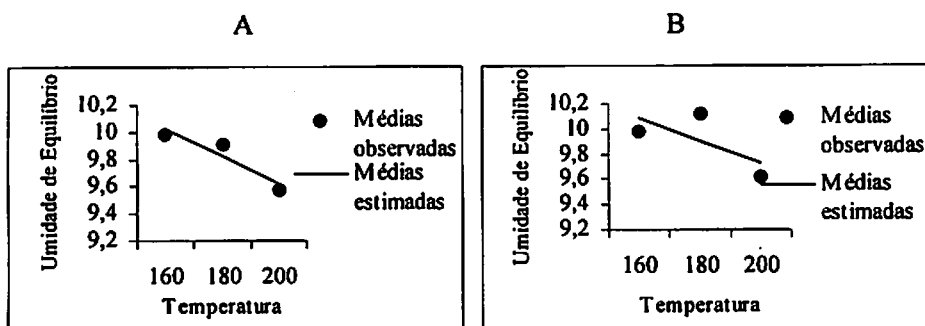


FIGURA 4.8 Variação da Umidade de Equilíbrio, em função dos tempos de prensagem 8min (A) e 10min (B).

A Figura 4.9 ilustra a tendência de comportamento da umidade de equilíbrio em função do tempo de prensagem. De acordo com esta figura observa-se que o aumento do tempo de prensagem provoca um aumento na umidade de equilíbrio. Esta interação precisa ser melhor estudada, pois esperava-se um resultado contrário, ou seja uma redução na umidade de equilíbrio, pela perda de grupos (OH).

TABELA 4.7 Equações de regressão ajustadas com os seus respectivos coeficientes de determinação (R^2)

Temperatura	Equação Ajustada	R^2
160	$UE = 9,12933 + 0,09183 T'P$	74,32 *
180	$UE = 9,98844 + 0,00633 T'P$	1,28 NS
200	$UE = 10,26267 - 0,07050 T'P$	61,56 NS

* = significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F

NS = Não significativos

T'P – Tempo de prensagem

A

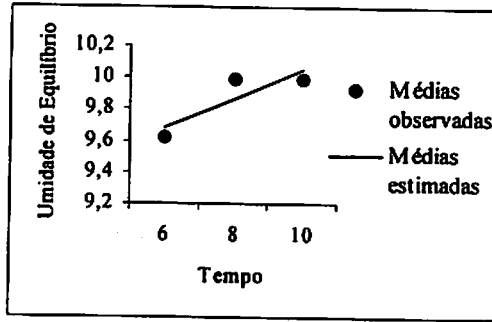


FIGURA 4.9 Variação da Umidade de Equilíbrio em função da Temperatura de prensagem de 160°C (A).

6.2 Água na forma líquida

A Tabela 4.8 apresenta os valores médios de inchamento em espessura 2 e 24 horas, absorção de água 2 e 24 horas e TNRE para os teores de resina de 3, 4,5 e 6%.

De acordo com a Tabela 4.8, pode-se verificar que existe diferença significativa das propriedades físicas em cada teor de resina (3; 4,5 e 6%). Houve uma redução nos valores médios de inchamento em espessura 2 e 24 horas, absorção de água 2 e 24 horas e TNRE, quando o teor de resina foi aumentando de 3, 4,5 até 6%, o que também foi observado por Mendes (2001), utilizando os teores de resina de 4 e 6%. O aumento da disponibilidade de resina por área superficial de partículas, é a causa da diminuição do inchamento em espessura, absorção de água e TNRE, quando o teor de resina passou de 3, 4,5 até 6% , não só pela barreira física que é maior na linha de cola, mas também pela ocupação dos sítios higroscópicos da madeira (OH), deixando o colchão menos reativo a água.

TABELA 4.8 Médias das propriedades físicas para o teor de resina.

TR (%)	IE 2h	IE 24h	AA 2h	AA 24h	TNRE
3	39,27 a *	46,13 a *	71,81 a *	95,96 a *	40,99 a *
4,5	28,38 b	33,77 b	65,79 b	86,24 b	26,47 b
6	19,45 c	25,15 c	47,81 c	67,72 c	18,20 c

* Médias por coluna seguidas de mesma letra não diferenciam entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Scott-Knott.

A Tabela 4.9 apresenta os valores médios de inchamento em espessura 2 e 24 horas, absorção de água 2 e 24 horas e TNRE para as temperaturas de prensagem de 160, 180 e 200°C.

Existe redução estatisticamente significativa das propriedades físicas com o aumento da temperatura de prensagem.

De acordo com a Tabela 4.9 pode-se verificar que houve uma redução nos valores médios de inchamento em espessura 2 e 24 horas, absorção de água 2 e 24 horas e TNRE, quando a temperatura de prensagem foi aumentando de 160, 180 até 200°C.

TABELA 4.9 Médias das propriedades físicas para temperatura de prensagem.

T ^o P	IE 2h	IE 24h	AA 2h	AA 24h	TNRE
160	35,58 a *	42,45 a *	66,03 a *	89,22 a *	37,31 a *
180	28,15 b	33,62 b	64,87 a	83,38 b	26,23 b
200	23,37 c	28,97 c	54,52 b	77,32 c	21,99 c

* Médias por coluna, seguidas de mesma letra, não diferenciam entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Scott-Knott.

A Tabela 4.10 apresenta os valores médios de inchamento em espessura 2 e 24 horas, absorção de água 2 e 24 horas e TNRE, para os tempos de prensagem de 6, 8 e 10 min.

De acordo com a Tabela 4.10, pode-se verificar que houve uma redução nos valores médios de inchamento em espessura 2 e 24 horas, absorção de água 2 e 24 horas e TNRE, quando o tempo de prensagem foi aumentando de 6, 8 até 10 min.

TABELA 4.10 Médias das propriedades físicas para tempo de prensagem.

T'P	IE 2h	IE 24h	AA 2h	AA 24h	TNRE
6	31,42 a *	37,60 a *	64,51 a *	87,51 a *	31,29 a *
8	29,30 a	34,59 b	61,97 a	86,55 b	28,79 b
10	26,38 b	32,85 b	58,93 b	81,64 b	25,57 c

* Médias por coluna seguidas de mesma letra não diferenciam entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Scott-Knott.

Na Tabela 4.11, estão apresentadas as equações das superfícies ajustadas para cada variável dependente, e o seu respectivo coeficiente de determinação. Segundo Maloney (1993), todas as variáveis de produção interagem entre si, mas como o teor de resina representa o maior custo variável na manufatura de painéis particulados, optou-se pelo ajuste de equações, para cada nível de resina e realização do teste de identidade de modelos lineares.

Pode-se verificar que as regressões foram significativas, dentro dos níveis de resina e também nas equações comuns. Pela análise de variância e teste de identidade de modelos, para os três teores de resina (3, 4,5 e 6%), isto é, a hipótese de igualdade das equações de regressão, foi rejeitada a 5% de probabilidade, pelo teste F, para inchamento em espessura, absorção de água e TNRE (Tabela 4.12).

Este fato indica que estas equações diferem estatisticamente ($P < 0,05$), não sendo possível substituí-las por uma equação comum (geral), o que evidencia, assim, a influência do teor de resina sobre as variáveis avaliadas no

processo. Dessa forma, procurou-se fazer a avaliação das superfícies individuais por meio de cortes na sua estrutura.

De modo geral, houve uma tendência de redução nos valores médios de Inchamento em espessura tanto para 2 como para 24 horas, quando o teor de resina foi aumentando de 3, 4,5 até 6%. Essa tendência também foi observada por Mendes (2001), utilizando teores de resina de 4 e 6%.

O aumento da disponibilidade de resina, por área superficial de partículas, é a causa da diminuição da absorção de água, do inchamento em espessura e da TNRE. Quando o teor de resina aumentou de 3, 4,5 até 6%, não só pela barreira física que é maior na linha de cola, mas também pela ocupação dos sítios higroscópicos da madeira (OH), deixando o colchão menos reativo a água.

As Figuras 4.10 e 4.11 ilustram as tendências de comportamento do inchamento em espessura 2 e 24 horas, em função dos teores de resina, respectivamente. De acordo com estas figuras verifica-se a existência de mesma tendência, para os inchamentos em espessura, 2 e 24 horas, onde se observa que, nos teores de resina de 3 e 4,5%, à medida que aumenta a temperatura de prensagem, ocorre à diminuição do inchamento e que o menor inchamento ocorreu na temperatura de 200^oC e tempo de 6min.

Para o teor de resina de 6%, à medida que aumenta a temperatura de prensagem o inchamento se mantém constante, sendo que o menor inchamento ocorreu na temperatura de 160^oC e tempo de 10min.

Por apresentar tendência muito semelhante, pode-se realizar somente a avaliação de inchamento em espessura de 2 horas e, assim então, poder reduzir o tempo e aumentar o número de avaliações dos painéis.

TABELA 4.11 Equações das superfícies ajustadas com os seus respectivos coeficientes de determinação (R^2).

Equação para Inchamento 2 horas

Resina		R2
3	$Y=634,8310 -6,1703X_1 +5,4203X_2 +0,0126X_1^2 -1,9310X_2^2 +0,1307X_1X_2$	0,855**
4,5	$Y=198,2660 -0,4450X_1 -26,0996X_2 -0,0013X_1^2 +0,7852X_2^2 +0,0764X_1X_2$	0,812* *
6	$Y=115,7590+0,0887X_1-23,9829X_2-0,0013X_1^2+0,8462X_2^2+0,0466X_1X_2$	0,789* *
Comum	$Y=316,6330 -2,1760X_1-14,8884X_2+0,0033X_1^2 -0,0998X_2^2 +0,0846X_1X_2$	0,253**

Equação para Inchamento 24 horas

Resina		R2
3	$Y=664,8210 -6,3541X_1 +4,7823X_2 +0,0130X_1^2 -1,8185X_2^2 +0,1266X_1X_2$	0,838**
4,5	$Y=337,8780 -1,6663X_1 -32,6120X_2 +0,0017X_1^2 +1,0292X_2^2 +0,0924X_1X_2$	0,866**
6	$Y=266,2690 -0,9691X_1-35,9476X_2+0,0010X_1^2+1,2706X_2^2+0,0727X_1X_2$	0,863**
Comum	$Y=423,0500 -2,9971X_1-21,2603X_2+0,0052X_1^2+0,1604X_2^2+0,0973X_1X_2$	0,265**

Equação para Absorção 2 horas

Resina		R2
3	$Y=721,6470 -6,1362X_1-9,6070X_2+0,0119X_1^2-1,5423X_2^2+0,1717X_1X_2$	0,862* *
4,5	$Y=-247,3080 +4,2534X_1 -6,0767X_2 -0,0157X_1^2 -0,8787X_2^2 +0,1152X_1X_2$	0,934* *
6	$Y=-829,4520 +11,2692X_1 -34,3441X_2 -0,0307X_1^2 +2,2352X_2^2 -0,0157X_1X_2$	0,595* *
Comum	$Y=-118,4420 +3,1296X_1 -16,6767X_2 -0,0115X_1^2 +0,0619X_2^2 +0,0904 X_1X_2$	0,176**

Equação para Absorção 24 horas

Resina		R2
3	$Y=825,3910 -6,1754X_1-33,6256X_2+0,0119X_1^2-0,0701X_2^2+0,1858X_1X_2$	0,845* *
4,5	$Y=682,2010 -4,7826X_1 -33,0969X_2 +0,0082X_1^2 -0,0059X_2^2 +0,1828X_1X_2$	0,959* *
6	$Y=-252,4740 +6,6925X_1 -65,9601X_2 -0,0209X_1^2 +2,9260X_2^2 +0,0907X_1X_2$	0,644* *
Comum	$Y=418,3970 -1,4221X_1 -44,2295X_2 -0,0003X_1^2 +0,9500X_2^2 +0,1531X_1X_2$	0,214**

Equação para TNRE

Resina		R2
3	$Y=958,1250 -9,2269X_1-2,4198X_2+0,0190X_1^2-2,2997X_2^2+0,2057X_1X_2$	0,843**

“Continua...”

TABELA 4.11 Continuação...

Equação para TNRE						
4,5	Y=411,4390	-2,7171X ₁	-28,7873X ₂	+0,0047X ₁ ²	+0,8571X ₂ ²	+0,0868X ₁ X ₂ 0,743**
6	Y=260,1140	-1,0094X ₁	-34,6600X ₂	+0,0010X ₁ ²	+1,1765X ₂ ²	+0,0738X ₁ X ₂ 0,788**
Comum	Y=543,6100	-4,3220X ₁	-21,9576X ₂	+0,0082X ₁ ²	-0,0908X ₂ ²	+0,1221X ₁ X ₂ 0,279**

X₁= Temperatura de prensagem; X₂= Tempo de prensagem.

** Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

TABELA 4.12 Resumo da Análise de variância com o teste de identidade de modelos, para as três porcentagens de resina, para Inchamento em espessura, Absorção de água e TNRE

FV	GL	QM				
		IE 2H	IE 24H	AA 2H	AA 24H	TNRE
Parâmetros	18	5811,345	8226,984	24078,34	42905,09	6004,923
Redução (B)	6	15798,79	22821,1	69438,04	125813,9	15710,84
Redução (H0)	12	817,6238*	929,9278*	1398,488*	1450,67*	1151,963*
Resíduo	90	21,45277	25,45031	93,43688	55,21129	25,11186
Total	108					

* Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F

As Figuras 4.12 e 4.13 ilustram as tendências de comportamento da absorção de água 2 e 24 horas, em função dos teores de resina, respectivamente. Observando estas figuras, verifica-se também que existe semelhança de comportamento, ou tendência, para a absorção de água 2 e 24 horas. Para os teores de resina de 3 e 4,5%, à medida que aumenta a temperatura de prensagem diminui a absorção de água, sendo que a menor absorção ocorreu no tempo de 8min e temperatura de 200°C. Para o teor de resina de 6% a absorção de água aumenta na temperatura de 180°C e, em seguida, diminui novamente na temperatura de 200°C e a menor absorção ocorreu no tempo de 8min e

temperatura de 160°C, para absorção 2 horas, e temperatura de 200°C, para absorção 24 horas.

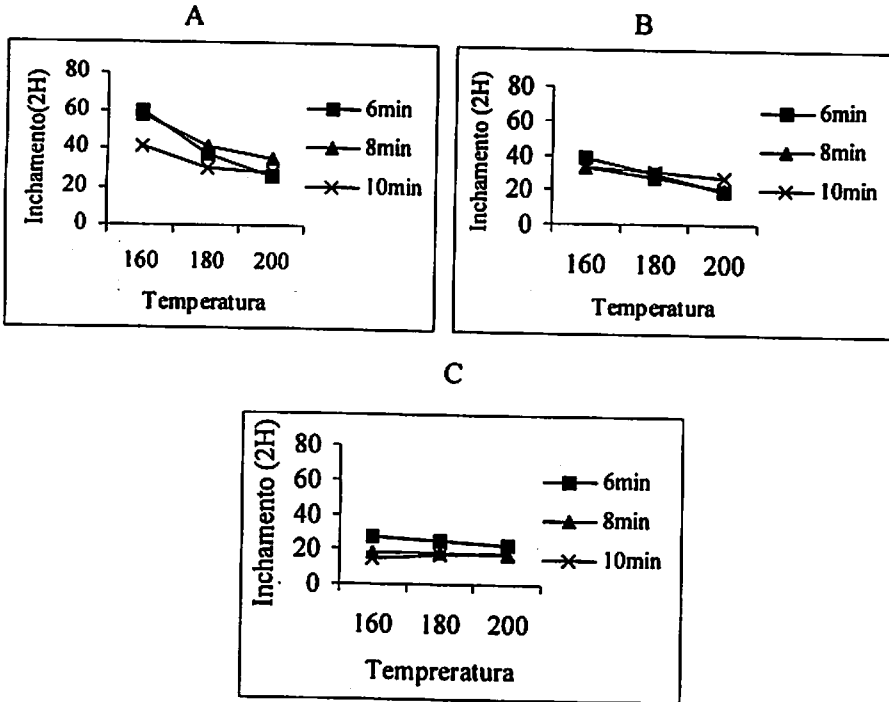


FIGURA 4.10 Cortes nas superfícies de resposta ajustada para a variável dependente Inchamento, em espessura 2h, para os teores de resina 3 (A), 4,5 (B) e 6% (C).

A Figura 4.14 ilustra a tendência de comportamento da TNRE, em função dos teores de resina. De acordo com esta figura, pode-se observar que nos teores de resina de 3 e 4,5%, à medida que aumenta a temperatura de prensagem diminui a TNRE. A menor TNRE ocorreu na temperatura de 200°C e tempo de 6min. Para o teor de resina de 6%, à medida que aumenta a temperatura de prensagem, a TNRE se mantém constante, sendo que a menor

TNRE ocorreu na temperatura de 160°C e tempo de 10min. Esta propriedade está associada ao inchamento em espessura, onde também foi observado a mesma tendência.

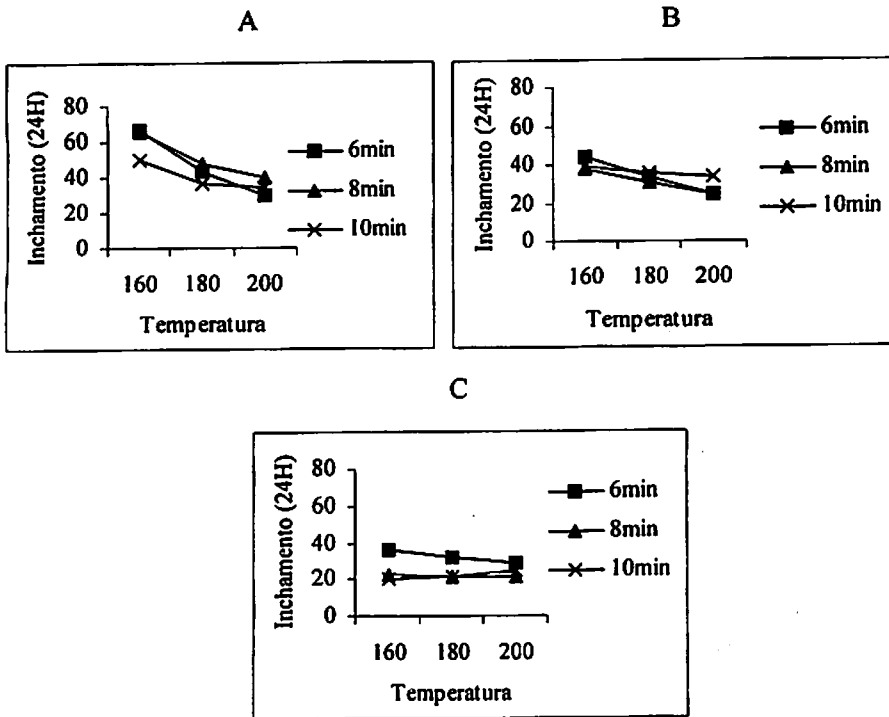


FIGURA 4.11 Cortes nas superfícies de resposta ajustada, para a variável dependente Inchamento, em espessura 24h, para os teores de resina 3 (A), 4,5 (B) e 6% (C).

A Tabela 4.13 apresenta os respectivos pontos estacionários (S), para cada equação de regressão ajustada, para cada variável e sua classificação. Pode-se notar que, para todas as variáveis estudadas, a maioria destes pontos se encontra fora da área experimental (intervalo estudado) e, quando dentro, bem

próximo da fronteira. Esse fato acontece, com frequência, em estudos de superfície de resposta, principalmente, quando se desconhece exatamente o comportamento do fenômeno. Apesar da classificação de ponto de máximo, mínimo ou sela, segundo Myers (1971) o ponto não é unicamente um máximo, mínimo ou sela. O ponto se encontra numa região formada por uma aresta estacionária

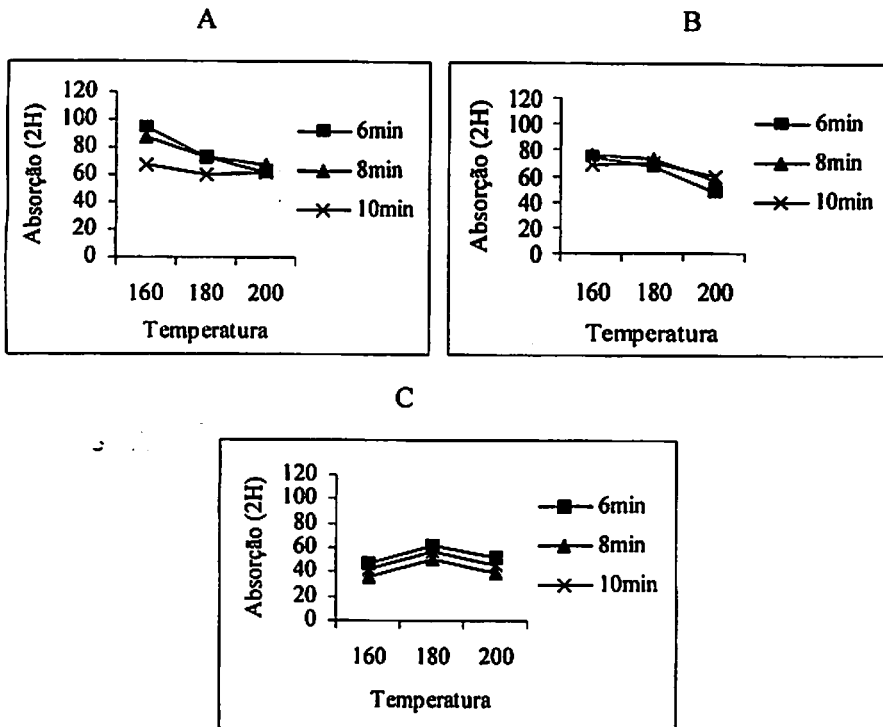


FIGURA 4.12 Cortes nas superfícies de resposta ajustada para a variável dependente Absorção de água 2h, para os teores de resina 3 (A), 4,5 (B) e 6% (C).

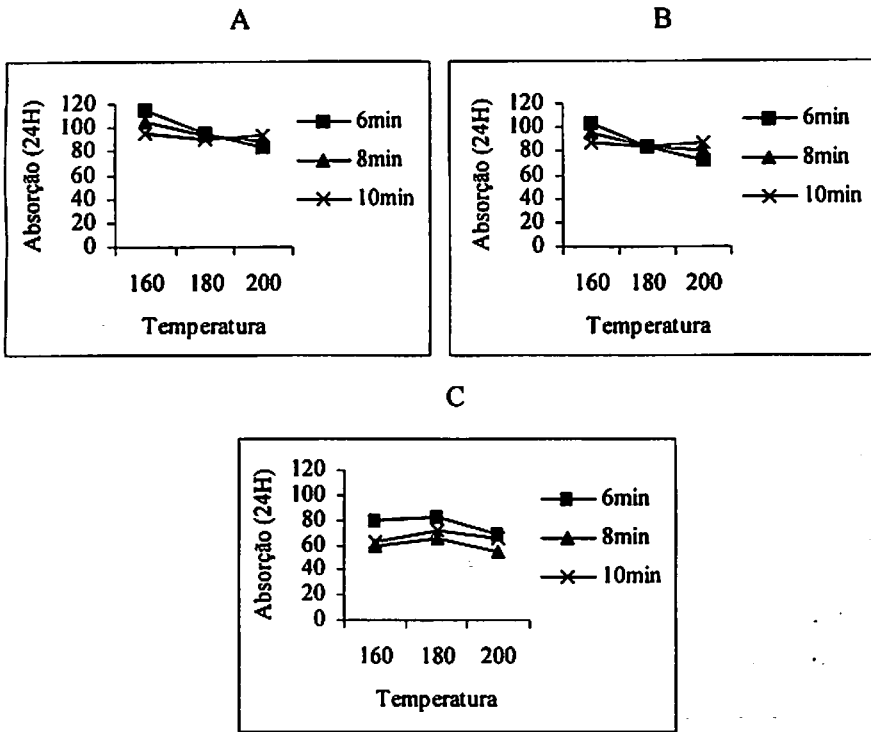


FIGURA 4.13 Cortes nas superfícies de resposta ajustada para a variável dependente Absorção de água 24h para os teores de resina 3 (A), 4,5 (B) e 6% (C).

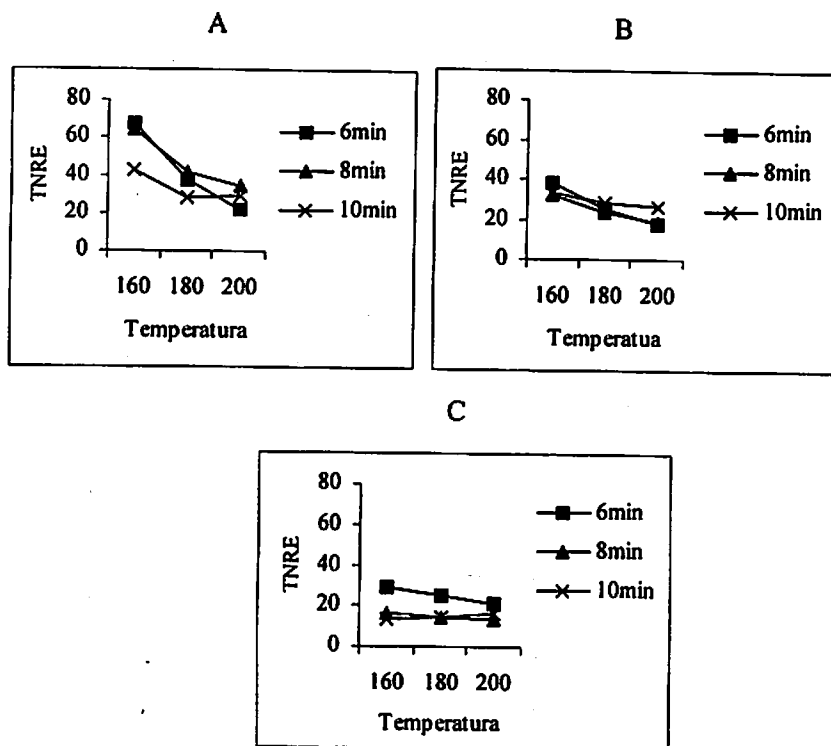


FIGURA 4.14 Cortes nas superfícies de resposta ajustada para a variável dependente TNRE para os teores de resina 3 (A), 4,5 (B) e 6% (C).

TABELA 4.13 Coordenadas do ponto estacionário e sua classificação.

Variável	Resina	Ponto Estacionário	Classificação
Inchamento 2h	3	$X_1= 201,8251 ; X_2= 8,2333$	Sela
	4,5	$X_1= -67,7659 ; X_2= 3,4647$	Sela
	6	$X_1= 188,5273; X_2= 8,9780$	Sela
Inchamento 24h	3	$X_1= 203,0705; X_2=8,3860$	Sela
	4,5	$X_1= -262,2893; X_2= 27,6139$	Sela
	6	$X_1= 386,3011; X_2= 3,0907$	Sela
Absorção 2h	3	$X_1= 200,5816; X_2= 8,0493$	Sela
	4,5	$X_1= 162,3453; X_2= 7,1872$	Máximo
	6	$X_1= 181,4156; X_2= 8,3204$	Sela
Absorção 24h	3	$X_1= 187,9319; X_2= 9,1917$	Máximo
	4,5	$X_1= 181,6656; X_2= 9,9276$	Sela
	6	$X_1= 178,6269; X_2= 8,5020$	Sela
TNRE	3	$X_1= 197,9006; X_2= 8,3262$	Sela
	4,5	$X_1= 254,1789; X_2= 3,9234$	Mínimo
	6	$X_1= 233,3872; X_2= 7,4115$	Sela

X_1 - Temperatura de prensagem

X_2 - Tempo de prensagem

7 CONCLUSÕES

- ✓ A temperatura de prensagem, na faixa estudada (160^o, 180^o e 200^oC), afeta a umidade de equilíbrio;
- ✓ Existe interação significativa entre temperatura e tempo de prensagem, influenciando a umidade de equilíbrio;
- ✓ Os teores de resina estudados (3, 4,5 e 6%) não afetam a umidade de equilíbrio;
- ✓ O aumento da temperatura de prensagem provoca redução da umidade de equilíbrio, para os tempos de prensagem de 8 e 10 minutos;
- ✓ O aumento do tempo de prensagem provoca um aumento na umidade de equilíbrio, para a temperatura de prensagem de 160^oC;
- ✓ O teste de identidade de modelos foi significativo, para todas as variáveis avaliadas no processo. Desta forma, não se pode substituir as equações, por nível de resina, por uma equação comum;
- ✓ O ajuste das equações, em cada nível de resina, foi elevado para todas as variáveis;
- ✓ A maioria dos pontos estacionários está fora da área experimental, indicando a necessidade de ajuste de novos modelos.

8 RECOMENDAÇÕES

- ✓ **É necessário desenvolver equações adequadas e próprias para as condições climáticas brasileiras;**
- ✓ **E necessário determinar quais as variáveis de produção e de que forma elas afetam a umidade de equilíbrio;**
- ✓ **É necessário realizar um mapeamento nacional dos teores de umidade de equilíbrio de painéis de madeira, semelhante ao realizado por Martins et al. (2003) para madeira maciça, visando a orientar e apoiar o setor madeireiro em busca pela melhor utilização da madeira e produtos derivados.**

9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRITO, E. O. Produção de chapas de partículas de madeira a partir de maravalhas de *Pinus elliotti* Engelm. Var. *elliotti* plantado no sul do Brasil. 1995. 123 p. Dissertação (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

BRITO, E. O. A viabilidade de utilização de espécies de *Pinus* para a produção de chapas de composição estruturais waferboards. 1984. 104 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

CLOUTIER, A. Oriented stranboard (OSB): raw material, manufacturing process, properties of wood-base fiber and particle materials. In.: INTERNATIONAL SEMINAR ON SOLID WOOD PRODUCTS OF HIGH TECHNOLOGY, 1., 1998, Belo Horizonte. Anais... Belo Horizonte: SIF, 1998. p. 173-185.

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

KEINERT Jr, S. Chapas de partículas estruturais a partir de *Pinus* e *Eucalyptus* spp. In. SIMPÓSIO BILATERAL BRASIL-FINLÂNDIA SOBRE ATUALIDADES FLORESTAIS, 1., 1988, Curitiba. Anais.... Curitiba, 1988. p. 315-326.

KELLY, M. W. A critical literature review of relationships between processing parameters and physical properties of particleboards. Madiosn: U.S. Forest Production Laboratory, 1977. 66 p. (General Technical Report FPL- 10).

MALONEY, T. M. Modern Particleboard e dry-process fiberboard manufacturing. 2. ed. São Francisco: M. Freeman, 1993. 689 p.

MATOS, J. L. M. Ciclo de prensa em chapas de partículas estruturais "Waferboards". 1988 163 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

MENDES, L. M. **Pinus spp. na produção de painéis de partículas orientadas (OSB)**. 2001. 156 p. Dissertação (Doutorado em Engenharia Florestal). Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

MENDES, L. M.; IWAKIRI, S. Perspectivas para o uso da madeira de eucalipto para produção de OSB (Oriented Strand Board). In: SEMINÁRIO SÓLIDOS DE EUCALIPTO: avanços científicos e tecnológicos, 1., 2002, Lavras. **Anais...** Lavras, 2002. p. 156-165.

MEYRS, R. N. **Response surface methodology**. Boston: Allyn and Bacon, 1971. 246 p.

MURAKAMI, K.; VEDA, M.; MATSUDA, H.; ZHAUG, M.; KAWAI, S. Manufacture and properties of three-layered particleboards with oriented face strands of veneers I. **Japan Wood Science**, Tokyo, v. 45, n. 5, p. 395-402, 1999.

NELSON, R. M. A model for sorption of water vapor by cellulosic materials. **Wood Fiber Science**, Madison, v. 15, n. 1, p. 8-22, 1983.

QUIRINO, W. F.; VALE, A. T. Retificação térmica de *Eucalyptus grandis*. In: CONGRESSO IBERO-AMERICANO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS FLORESTAIS, 2.; SEMINÁRIO EM TECNOLOGIA DA MADEIRA E PRODUTOS FLORESTAIS NÃO-MADERÁVEIS, 1., 2002, Curitiba. **Anais...** Curitiba, 2002. 70 p.

YUSOFF, M. N.; HORIE, H. The manufacture of oriented strands boards from rubeerwood. **Journal of Tropical Forest Products**, Selangor, v. 3, n. 1, 1p. 43-50, 1997.

WU, Q. Application of Nelson's sorption isotherm to wood composites and overlays. **Wood Fiber Science**, Madison, v. 3, n. 2, 187-191, 1999.

ANEXOS

ANEXO A		Páginas
TABELA 1A	Estimativa da Umidade de Equilíbrio média anual do OSB de Folhosa parede, para 26 estados brasileiros calculada pela equação de Nelson (1983).....	128
TABELA 2A	Estimativa da Umidade de Equilíbrio média anual do OSB de Folhosa piso interior, para 26 estados brasileiros calculada pela equação de Nelson (1983).....	129
TABELA 3A	Estimativa da Umidade de Equilíbrio média anual do OSB de Conífera parede, para 26 estados brasileiros calculada pela equação de Nelson (1983).....	130
TABELA 4A	Estimativa da Umidade de Equilíbrio média anual do OSB de Conífera viga em I, para 26 estados brasileiros calculada pela equação de Nelson (1983).....	131
TABELA 5A	Estimativa da Umidade de Equilíbrio média anual do OSB de Conífera piso interior, para 26 estados brasileiros calculada pela Equação de Nelson (1983)....	132
TABELA 6A	Estimativa da Umidade de Equilíbrio média anual do Aglomerado interior, para 26 estados brasileiros calculada pela Equação de Nelson (1983).....	133

TABELA 7A	Estimativa da Umidade de Equilíbrio média anual do MDF, para 26 estados brasileiros calculada pela equação de Nelson (1983).....	134
TABELA 8A	Estimativa da Umidade de Equilíbrio média anual da Chapa Dura, para 26 estados brasileiros calculada pela equação de Nelson (1983).....	135
TABELA 9A	Estimativa da Umidade de Equilíbrio média anual do HPL, para 26 estados brasileiros calculada pela equação de Nelson (1983).....	136
TABELA 10A	Estimativa da Umidade de Equilíbrio média anual do HPL (bck), para 26 estados brasileiros calculada pela equação de Nelson (1983).....	137
TABELA 11A	Estimativa da Umidade de Equilíbrio média anual da Madeira de Folhosa, para 26 estados brasileiros calculada pela equação de Nelson (1983).....	138
TABELA 12A	Estimativa da Umidade de Equilíbrio média anual da Madeira de Conífera, para 26 estados brasileiros calculada pela equação de Nelson (1983).....	139
TABELA 13A	Estimativa da Umidade de Equilíbrio média anual da Madeira em geral, para 26 estados brasileiros calculada pela equação de Nelson (1983).....	140

TABELA 1. A. Estimativa da Umidade de Equilíbrio média anual do OSB de Folhosa parede, para os 26 estados brasileiros calculada pela equação de Nelson (1983).

Local	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ag	Set	Out	Nov	Dez	Méd
AM	16,14	16,39	16,92	17,12	17,16	16,25	15,58	14,91	14,65	14,66	14,63	15,7	15,84
AC	17,13	17,14	17,13	17,14	16,45	15,49	14,85	14,56	14,89	15,48	16,02	17,13	16,12
RO	17,62	17,11	15,44	14,42	16,23	17,15	14,14	14,76	15,44	16,22	16,65	14,75	15,83
PA	16,66	17,51	17,51	17,49	17,02	16,11	15,45	14,83	14,47	14,23	14,65	15,72	15,97
AP	16,21	16,65	17,11	17,6	17,10	16,21	15,81	14,4	12,97	12,71	12,96	14,09	15,32
TO	14,45	14,89	14,91	13,66	11,7	10,19	9,13	8,08	8,64	11,68	13,28	14,24	12,07
MA	15,16	16,01	16,28	16,01	15,07	13,62	12,44	11,45	11,28	11,97	12,58	13,52	13,78
PI	12,46	13,24	13,95	13,57	12,11	10,36	9,28	8,39	7,99	8,79	9,70	10,84	10,89
MG	13,96	13,39	13,55	13,55	13,31	13,00	12,22	11,27	11,46	12,3	13,33	14,24	12,97
CE	11,41	12,7	14,34	14,58	13,22	12,4	11,21	9,84	9,31	9,61	9,51	9,96	11,51
RN	10,86	11,62	12,79	13,17	13,00	12,27	11,54	10,74	10,19	10,18	10,14	10,78	11,44
PB	11,76	11,74	13,79	14,03	14,12	14,29	14,31	12,23	11,44	11,02	10,63	11,16	12,54
PE	11,12	11,51	12,71	13,31	13,66	13,91	13,79	12,94	11,08	10,59	10,34	10,78	12,15
AL	11,71	12,41	12,97	14,25	15,14	15,07	15,51	14,58	13,61	12,31	11,68	11,85	13,42
SE	13,54	13,13	13,51	13,97	13,42	13,35	13,61	13,61	13,57	13,73	13,75	13,81	13,58
BA	12,3	12,34	12,55	13,26	13,37	13,36	12,95	12,00	11,42	11,44	11,86	12,13	12,42
ES	14,02	13,71	14,02	14,26	14,63	14,83	14,84	14,27	14,24	14,44	14,5	14,64	14,37
RJ	14,1	14,07	14,32	14,47	14,72	14,64	14,18	13,81	13,95	14,3	14,25	14,47	14,27
SP	14,22	13,82	13,77	13,65	13,77	13,27	12,37	11,58	12,2	13,18	13,07	13,72	13,22
PR	13,02	13,32	13,46	13,49	13,90	13,87	13,41	12,77	12,42	12,93	11,87	12,5	13,08
SC	13,66	14,17	14,32	14,48	14,80	14,75	14,45	13,77	13,96	13,46	13,12	13,24	14,01
RS	12,47	13,23	13,54	13,73	14,70	14,52	14,3	13,77	13,55	12,86	12,28	12,50	13,45
MS	14,12	13,8	14,34	14,69	13,23	12,89	11,45	10,21	11,00	11,58	12,27	13,50	12,76
MT	14,99	15,54	14,74	14,71	13,97	13,29	11,88	10,89	11,27	12,67	13,83	14,3	13,51
DF	13,07	13,33	13,89	12,82	11,27	9,96	9,10	7,95	8,55	10,84	12,82	13,89	11,46
GO	14,02	13,59	13,66	12,79	11,8	10,71	9,47	8,44	9,10	11,21	12,86	14,08	11,81
BR	13,85	14,09	14,44	14,47	14,2	13,68	12,97	12,16	12,02	12,48	12,79	13,37	13,38
Máx	17,62	17,51	17,51	17,6	17,2	17,15	15,81	14,91	15,44	16,22	16,65	17,13	16,73
Min	10,86	11,51	12,55	12,79	11,3	9,96	9,1	7,95	7,99	8,79	9,51	9,96	10,19
Ampl.	6,76	6,00	4,96	4,82	5,89	7,19	6,71	6,96	7,45	7,43	7,14	7,17	6,54

TABELA 2. A. Estimativa da Umidade de Equilíbrio média anual do OSB de Folhosa piso interior, para os 26 estados brasileiros calculada pela equação de Nelson (1983).

Local	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ag	Set	Out	Nov	Dez	Méd
AM	16,77	17,03	17,57	17,77	17,81	16,89	16,2	15,52	15,27	15,28	15,24	16,33	16,47
AC	17,78	17,79	17,78	17,79	17,09	16,11	15,47	15,17	15,5	16,11	16,65	17,78	16,75
RO	18,28	17,76	16,06	15,03	16,87	17,8	14,75	15,37	16,06	16,85	17,29	15,36	16,46
PA	17,3	18,17	18,16	18,15	17,67	16,75	16,07	15,45	15,08	14,84	15,27	16,35	16,60
AP	16,85	17,29	17,76	18,26	17,75	16,85	16,44	15,01	13,55	13,29	13,55	14,69	15,94
TO	15,06	15,5	15,52	14,26	12,3	10,73	9,65	8,59	9,15	12,25	13,87	14,84	12,64
MA	15,78	16,65	16,91	16,64	15,68	14,22	13,02	12,01	11,84	12,54	13,16	14,11	14,38
PI	13,03	13,83	14,55	14,17	12,68	10,90	9,80	8,90	8,50	9,31	10,23	11,39	11,44
MG	14,56	13,98	14,14	14,15	13,90	13,58	12,8	11,83	12,02	12,88	13,92	14,85	13,55
CE	11,97	13,28	14,94	15,19	13,81	12,98	11,76	10,38	9,84	10,15	10,04	10,5	12,07
RN	11,41	12,18	13,37	13,75	13,6	12,85	12,1	11,29	10,73	10,72	10,68	11,33	12,00
PB	12,32	12,31	14,39	14,63	14,73	14,89	14,91	12,8	12,00	11,57	11,17	11,72	13,12
PE	11,68	12,08	13,29	13,9	14,25	14,51	14,38	13,53	11,64	11,13	10,89	11,33	12,72
AL	12,27	12,99	13,55	14,85	15,76	15,68	16,13	15,19	14,2	12,88	12,25	12,42	14,02
SE	14,13	13,72	14,10	14,57	14,01	13,94	14,21	14,21	14,17	14,32	14,35	14,4	14,18
BA	12,88	12,91	13,13	13,85	13,96	13,95	13,53	12,57	11,98	12,00	12,42	12,71	12,99
ES	14,62	14,31	14,62	14,87	15,24	15,44	15,46	14,88	14,84	15,05	15,11	15,26	14,97
RJ	14,71	14,67	14,93	15,08	15,33	15,25	14,79	14,4	14,55	14,91	14,85	15,08	14,88
SP	14,82	14,41	14,37	14,25	14,36	13,86	12,95	12,14	12,77	13,77	13,66	14,32	13,81
PR	13,60	13,91	14,05	14,08	14,50	14,47	14,00	13,35	13,00	13,51	12,44	13,08	13,67
SC	14,25	14,77	14,92	15,09	15,41	15,36	15,06	14,37	14,56	14,05	13,71	13,83	14,62
RS	13,05	13,82	14,14	14,32	15,31	15,12	14,91	14,37	14,14	13,44	12,85	13,08	14,05
MS	14,72	14,4	14,95	15,3	13,82	13,47	12,01	10,75	11,56	12,15	12,85	14,09	13,34
MT	15,61	16,16	15,36	15,32	14,57	13,88	12,45	11,44	11,83	13,25	14,43	14,9	14,10
DF	13,66	13,92	14,48	13,41	11,83	10,49	9,62	8,45	9,06	11,39	13,40	14,49	12,02
GO	14,62	14,19	14,26	13,37	12,3	11,26	10,00	8,96	9,63	11,77	13,44	14,69	12,38
BR	14,45	14,69	15,05	15,08	14,8	14,28	13,56	12,73	12,59	13,05	13,37	13,96	13,97
Máx	18,28	18,17	18,16	18,26	17,8	17,8	16,44	15,52	16,06	16,85	17,29	17,78	16,75
Mín	11,41	12,08	13,13	13,37	11,8	10,49	9,62	8,45	8,5	9,31	10,04	10,5	11,44
Ampl	6,86	6,09	5,03	4,89	5,99	7,3	6,82	7,07	7,56	7,54	7,25	7,28	5,31

TABELA 3. A. Estimativa da Umidade de Equilíbrio média anual do OSB de Conífera parede, para os 26 estados brasileiros calculada pela equação de Nelson (1983).

Local	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ag	Set	Out	Nov	Dez	Méd
AM	17,33	17,6	18,15	18,36	18,40	17,46	16,75	16,05	15,79	15,8	15,77	16,88	17,03
AC	18,37	18,37	18,37	18,37	17,66	16,66	16,00	15,7	16,04	16,65	17,21	18,37	17,31
RO	18,87	18,35	16,61	15,55	17,43	18,38	15,26	15,9	16,61	17,42	17,86	15,89	17,01
PA	17,88	18,76	18,76	18,74	18,26	17,31	16,62	15,98	15,6	15,35	15,79	16,9	17,16
AP	17,41	17,86	18,34	18,86	18,34	17,41	16,99	15,53	14,04	13,77	14,04	15,2	16,48
TO	15,58	16,04	16,06	14,76	12,7	11,15	10,05	8,95	9,54	12,7	14,36	15,36	13,11
MA	16,32	17,20	17,48	17,20	16,22	14,72	13,49	12,46	12,28	13,00	13,64	14,61	14,89
PI	13,51	14,32	15,06	14,67	13,14	11,33	10,2	9,28	8,87	9,69	10,64	11,82	11,88
MG	15,07	14,48	14,64	14,65	14,40	14,07	13,26	12,27	12,47	13,35	14,41	15,36	14,04
CE	12,42	13,76	15,46	15,72	14,31	13,45	12,21	10,79	10,24	10,55	10,44	10,91	12,52
RN	11,85	12,64	13,86	14,25	14,1	13,32	12,56	11,72	11,15	11,14	11,1	11,77	12,45
PB	12,78	12,76	14,89	15,15	15,24	15,41	15,43	13,27	12,45	12,01	11,6	12,16	13,60
PE	12,12	12,53	13,77	14,39	14,76	15,02	14,89	14,01	12,08	11,56	11,31	11,77	13,18
AL	12,73	13,46	14,04	15,37	16,30	16,22	16,68	15,71	14,7	13,36	12,7	12,88	14,51
SE	14,63	14,21	14,60	15,08	14,51	14,44	14,71	14,71	14,67	14,83	14,86	14,91	14,68
BA	13,35	13,38	13,61	14,35	14,46	14,45	14,02	13,03	12,43	12,45	12,88	13,17	13,46
ES	15,13	14,81	15,14	15,38	15,76	15,98	15,99	15,39	15,36	15,57	15,63	15,78	15,49
RJ	15,22	15,18	15,45	15,6	15,86	15,77	15,3	14,91	15,06	15,43	15,37	15,6	15,40
SP	15,34	14,92	14,87	14,75	14,87	14,35	13,42	12,6	13,24	14,26	14,15	14,82	14,30
PR	14,09	14,4	14,55	14,58	15,01	14,97	14,5	13,83	13,47	14,00	12,9	13,55	14,16
SC	14,76	15,29	15,44	15,61	15,94	15,89	15,58	14,87	15,07	14,55	14,2	14,32	15,13
RS	13,52	14,31	14,64	14,83	15,84	15,65	15,43	14,87	14,65	13,92	13,32	13,55	14,54
MS	15,23	14,9	15,47	15,82	14,31	13,95	12,46	11,17	12,00	12,6	13,32	14,59	13,82
MT	16,14	16,71	15,88	15,85	15,08	14,37	12,91	11,88	12,27	13,73	14,94	15,42	14,60
DF	14,15	14,42	14,99	13,89	12,28	10,91	10,02	8,82	9,44	11,82	13,88	15,00	12,47
GO	15,14	14,69	14,76	13,85	12,8	11,70	10,40	9,33	10,02	12,21	13,93	15,2	12,83
BR	14,96	15,21	15,57	15,6	15,3	14,78	14,04	13,19	13,06	13,53	13,86	14,45	14,46
Máx	18,87	18,76	18,76	18,86	18,4	18,38	16,99	16,05	16,61	17,42	17,86	18,37	17,31
Min	11,85	12,53	13,61	13,85	12,3	10,91	10,02	8,82	8,87	9,69	10,44	10,91	11,88
Ampl	7,02	6,23	5,15	5,01	6,13	7,47	6,97	7,23	7,74	7,73	7,42	7,45	5,43

TABELA 4. A. Estimativa da Umidade de Equilíbrio média anual do OSB de Confêra viga em I, para os 26 estados brasileiros calculada pela equação de Nelson (1983).

Local	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ag	Set	Out	Nov	Dez	Méd
AM	16,96	17,2	17,72	17,91	17,95	17,07	16,41	15,76	15,52	15,53	15,5	16,54	16,67
AC	17,92	17,93	17,92	17,93	17,26	16,33	15,71	15,43	15,75	16,32	16,84	17,92	16,94
RO	18,39	17,9	16,28	15,3	17,05	17,94	15,02	15,62	16,28	17,04	17,45	15,61	16,66
PA	17,46	18,29	18,29	18,27	17,82	16,93	16,29	15,69	15,34	15,11	15,52	16,56	16,80
AP	17,03	17,45	17,9	18,38	17,89	17,03	16,64	15,27	13,88	13,63	13,88	14,97	16,16
TO	15,32	15,75	15,76	14,56	12,7	11,19	10,16	9,14	9,68	12,64	14,18	15,11	13,01
MA	16,01	16,84	17,09	16,83	15,92	14,52	13,37	12,41	12,24	12,92	13,51	14,42	14,67
PI	13,39	14,14	14,83	14,47	13,05	11,35	10,30	9,44	9,06	9,83	10,71	11,81	11,87
MG	14,84	14,29	14,44	14,45	14,22	13,91	13,16	12,24	12,42	13,24	14,23	15,12	13,88
CE	12,37	13,62	15,21	15,45	14,13	13,34	12,17	10,85	10,34	10,63	10,53	10,97	12,47
RN	11,84	12,58	13,71	14,08	13,9	13,21	12,5	11,72	11,19	11,18	11,14	11,77	12,40
PB	12,71	12,69	14,68	14,92	15,01	15,16	15,18	13,17	12,4	11,99	11,61	12,13	13,47
PE	12,09	12,47	13,63	14,21	14,55	14,8	14,68	13,86	12,05	11,57	11,34	11,77	13,09
AL	12,66	13,34	13,88	15,12	15,99	15,92	16,35	15,44	14,5	13,25	12,64	12,8	14,33
SE	14,44	14,04	14,41	14,86	14,32	14,26	14,51	14,51	14,47	14,62	14,65	14,7	14,48
BA	13,24	13,27	13,48	14,17	14,28	14,27	13,86	12,94	12,38	12,4	12,81	13,07	13,35
ES	14,90	14,61	14,91	15,14	15,49	15,69	15,7	15,15	15,12	15,31	15,37	15,51	15,24
RJ	14,98	14,95	15,2	15,34	15,58	15,5	15,06	14,7	14,83	15,18	15,12	15,34	15,15
SP	15,1	14,71	14,66	14,55	14,66	14,18	13,3	12,54	13,14	14,09	13,98	14,62	14,13
PR	13,93	14,22	14,36	14,39	14,79	14,76	14,32	13,69	13,35	13,85	12,82	13,43	13,99
SC	14,55	15,05	15,19	15,35	15,66	15,61	15,32	14,66	14,84	14,36	14,03	14,15	14,90
RS	13,40	14,14	14,44	14,62	15,56	15,39	15,18	14,66	14,45	13,78	13,21	13,43	14,35
MS	15,00	14,69	15,22	15,55	14,14	13,8	12,41	11,21	11,98	12,54	13,21	14,40	13,68
MT	15,85	16,38	15,61	15,57	14,85	14,19	12,83	11,87	12,24	13,60	14,72	15,17	14,41
DF	13,99	14,24	14,77	13,74	12,24	10,96	10,13	9,01	9,60	11,81	13,74	14,78	12,42
GO	14,91	14,49	14,56	13,71	12,7	11,70	10,49	9,49	10,13	12,18	13,78	14,97	12,76
BR	14,74	14,97	15,31	15,34	15,1	14,58	13,89	13,1	12,97	13,41	13,71	14,27	14,28
Máx	18,39	18,29	18,29	18,38	18	17,94	16,64	15,76	16,28	17,04	17,45	17,92	16,94
Min	11,84	12,47	13,48	13,71	12,2	10,96	10,13	9,01	9,06	9,83	10,53	10,97	11,87
Ampl	6,55	5,82	4,81	4,67	5,72	6,98	6,51	6,75	7,22	7,21	6,92	6,95	5,07

TABELA 5. A. Estimativa da Umidade de Equilíbrio média anual do OSB de Conferra piso interior, para os 26 estados brasileiros calculada pela equação de Nelson (1983).

Local	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ag	Set	Out	Nov	Dez	Méd
AM	16,19	16,43	16,92	17,10	17,14	16,3	15,68	15,06	14,82	14,83	14,8	15,79	15,92
AC	17,11	17,12	17,11	17,12	16,48	15,6	15,01	14,74	15,04	15,59	16,08	17,11	16,18
RO	17,56	17,09	15,55	14,61	16,28	17,13	14,35	14,92	15,55	16,27	16,66	14,91	15,91
PA	16,67	17,46	17,46	17,44	17,01	16,17	15,56	14,99	14,66	14,43	14,82	15,81	16,04
AP	16,26	16,66	17,09	17,55	17,08	16,26	15,89	14,59	13,27	13,03	13,26	14,3	15,44
TO	14,64	15,04	15,06	13,91	12,10	10,07	9,72	8,75	9,27	12,08	13,55	14,44	12,44
MA	15,30	16,08	16,32	16,07	15,21	13,87	12,78	11,86	11,71	12,35	12,91	13,78	14,02
PI	12,79	13,52	14,17	13,82	12,47	10,86	9,86	9,03	8,67	9,41	10,25	11,3	11,35
MG	14,18	13,66	13,8	13,81	13,58	13,29	12,58	11,70	11,87	12,65	13,6	14,44	13,26
CE	11,83	13,02	14,53	14,76	13,50	12,75	11,64	10,38	9,89	10,17	10,07	10,49	11,92
RN	11,32	12,02	13,1	13,45	13,3	12,63	11,95	11,21	10,7	10,69	10,65	11,25	11,86
PB	12,15	12,13	14,02	14,25	14,33	14,48	14,51	12,59	11,85	11,47	11,10	11,60	12,87
PE	11,56	11,92	13,03	13,58	13,90	14,14	14,02	13,24	11,52	11,07	10,84	11,25	12,51
AL	12,10	12,75	13,27	14,45	15,27	15,20	15,61	14,75	13,86	12,66	12,08	12,24	13,69
SE	13,79	13,42	13,77	14,2	13,68	13,62	13,86	13,86	13,83	13,97	13,99	14,04	13,84
BA	12,65	12,68	12,88	13,54	13,64	13,63	13,25	12,37	11,83	11,86	12,24	12,50	12,76
ES	14,23	13,96	14,24	14,46	14,80	14,99	15,00	14,47	14,44	14,63	14,68	14,82	14,56
RJ	14,31	14,28	14,52	14,65	14,88	14,81	14,39	14,04	14,17	14,5	14,45	14,65	14,47
SP	14,42	14,05	14,01	13,9	14,00	13,55	12,72	11,98	12,56	13,46	13,36	13,96	13,50
PR	13,31	13,59	13,72	13,75	14,13	14,10	13,68	13,08	12,76	13,23	12,25	12,84	13,37
SC	13,90	14,38	14,51	14,66	14,96	14,91	14,63	14,01	14,18	13,72	13,41	13,52	14,23
RS	12,81	13,51	13,8	13,97	14,86	14,70	14,50	14,01	13,80	13,16	12,63	12,83	13,71
MS	14,33	14,03	14,54	14,85	13,51	13,19	11,87	10,72	11,45	11,99	12,62	13,76	13,07
MT	15,14	15,64	14,91	14,88	14,19	13,56	12,26	11,35	11,70	12,99	14,06	14,49	13,76
DF	13,37	13,6	14,11	13,13	11,70	10,49	9,69	8,63	9,19	11,3	13,13	14,12	11,87
GO	14,24	13,84	13,91	13,1	12,2	11,19	10,03	9,09	9,70	11,64	13,17	14,3	12,20
BR	14,08	14,30	14,63	14,65	14,40	13,93	13,27	12,52	12,40	12,81	13,10	13,64	13,64
Máx	17,56	17,46	17,46	17,55	17,1	17,13	15,89	15,06	15,55	16,27	16,66	17,11	16,18
Min	11,32	11,92	12,88	13,1	11,7	10,49	9,69	8,63	8,67	9,41	10,07	10,49	11,35
Ampl	6,24	5,54	4,58	4,45	5,44	6,64	6,2	6,43	6,88	6,86	6,59	6,62	4,83

TABELA 6. A. Estimativa da Umidade de Equilíbrio média anual do Aglomerado Interior, para os 26 estados brasileiros calculada pela equação de Nelson (1983).

Local	Jan	Feb	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ag	Set	Out	Nov	Dez	Méd
AM	15,74	15,95	16,39	16,56	16,59	15,83	15,27	14,71	14,5	14,51	14,48	15,38	15,49
AC	16,56	16,57	16,56	16,57	16,00	15,2	14,67	14,43	14,7	15,19	15,64	16,56	15,72
RO	16,97	16,55	15,16	14,31	15,82	16,58	14,08	14,59	15,16	15,8	16,16	14,58	15,48
PA	16,17	16,88	16,88	16,86	16,47	15,72	15,17	14,65	14,35	14,15	14,5	15,39	15,60
AP	15,8	16,16	16,54	16,95	16,54	15,8	15,46	14,29	13,1	12,89	13,1	14,03	15,06
TO	14,34	14,7	14,71	13,68	12,1	10,79	9,91	9,04	9,50	12,03	13,36	14,16	12,36
MA	14,93	15,63	15,85	15,63	14,85	13,64	12,66	11,84	11,70	12,28	12,78	13,56	13,78
PI	12,68	13,33	13,92	13,6	12,39	10,93	10,03	9,29	8,97	9,63	10,38	11,33	11,37
MG	13,92	13,45	13,58	13,59	13,39	13,13	12,48	11,69	11,85	12,55	13,4	14,16	13,10
CE	11,81	12,88	14,24	14,45	13,32	12,63	11,64	10,51	10,06	10,31	10,23	10,6	11,89
RN	11,35	11,98	12,96	13,27	13,1	12,53	11,92	11,25	10,79	10,78	10,75	11,29	11,83
PB	12,10	12,08	13,78	13,99	14,06	14,2	14,22	12,49	11,83	11,48	11,16	11,6	12,75
PE	11,57	11,89	12,89	13,39	13,68	13,89	13,78	13,08	11,53	11,12	10,92	11,29	12,42
AL	12,06	12,64	13,1	14,16	14,91	14,85	15,22	14,44	13,63	12,56	12,03	12,17	13,48
SE	13,58	13,24	13,55	13,94	13,48	13,42	13,64	13,64	13,61	13,73	13,76	13,8	13,61
BA	12,55	12,58	12,76	13,35	13,44	13,43	13,09	12,3	11,81	11,83	12,18	12,41	12,64
ES	13,97	13,72	13,98	14,18	14,48	14,65	14,66	14,18	14,16	14,33	14,38	14,5	14,27
RJ	14,18	14,23	14,37	14,39	14,99	14,95	14,55	14,06	14,03	14,39	14,24	14,43	14,40
SP	14,14	13,81	13,77	13,67	13,76	13,35	12,61	11,95	12,46	13,28	13,19	13,73	13,31
PR	13,14	13,39	13,51	13,54	13,88	13,85	13,47	12,94	12,65	13,07	12,19	12,71	13,20
SC	13,68	14,1	14,22	14,36	14,62	14,58	14,33	13,77	13,93	13,51	13,23	13,33	13,97
RS	12,69	13,32	13,58	13,73	14,54	14,39	14,21	13,77	13,59	13,01	12,53	12,71	13,51
MS	14,06	13,79	14,25	14,53	13,32	13,03	11,84	10,81	11,47	11,95	12,52	13,55	12,93
MT	14,78	15,24	14,58	14,55	13,93	13,37	12,2	11,38	11,69	12,86	13,82	14,21	13,55
DF	13,19	13,41	13,86	12,98	11,69	10,6	9,89	8,93	9,43	11,33	12,98	13,87	11,85
GO	13,98	13,62	13,68	12,95	12,1	11,23	10,19	9,34	9,89	11,64	13,01	14,03	12,14
BR	13,84	14,04	14,33	14,35	14,1	13,71	13,12	12,44	12,32	12,7	12,96	13,44	13,45
Máx	16,97	16,88	16,88	16,95	16,6	16,58	15,46	14,71	15,16	15,8	16,16	16,56	15,72
Mín	11,35	11,89	12,76	12,95	11,7	10,6	9,89	8,93	8,97	9,63	10,23	10,6	11,37
Ampl	5,61	4,98	4,12	4,00	4,9	5,98	5,57	5,78	6,19	6,17	5,94	5,96	4,35

TABELA 7. A. Estimativa da Umidade de Equilíbrio média anual do MDF, para os 26 estados brasileiros calculada pela equação de Nelson (1983).

Local	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ag	Set	Out	Nov	Dez	Méd
AM	14,62	14,83	15,29	15,46	15,49	14,72	14,14	13,57	13,35	13,36	13,33	14,25	14,37
AC	15,46	15,47	15,46	15,47	14,88	14,07	13,52	13,28	13,55	14,06	14,52	15,46	14,60
RO	15,88	15,45	14,02	13,16	14,70	15,48	12,92	13,44	14,02	14,68	15,05	13,43	14,35
PA	15,06	15,79	15,78	15,77	15,37	14,60	14,03	13,50	13,20	12,99	13,35	14,26	14,48
AP	14,68	15,05	15,44	15,86	15,44	14,68	14,34	13,14	11,92	11,70	11,91	12,87	13,92
TO	13,18	13,55	13,57	12,51	10,85	9,55	8,64	7,75	8,23	10,82	12,18	13,00	11,15
MA	13,79	14,51	14,73	14,50	13,71	12,47	11,47	10,62	10,48	11,07	11,59	12,39	12,61
PI	11,48	12,15	12,75	12,43	11,18	9,69	8,77	8,01	7,68	8,35	9,13	10,10	10,14
MG	12,76	12,28	12,41	12,42	12,21	11,94	11,28	10,47	10,63	11,35	12,22	13,00	11,91
CE	10,59	11,69	13,08	13,29	12,14	11,44	10,42	9,26	8,80	9,06	8,97	9,35	10,67
RN	10,12	10,77	11,77	12,09	11,94	11,33	10,70	10,02	9,55	9,54	9,51	10,06	10,62
PB	10,88	10,87	12,62	12,82	12,90	13,04	13,06	11,29	10,61	10,26	9,92	10,38	11,55
PE	10,34	10,68	11,69	12,21	12,51	12,72	12,61	11,89	10,31	9,89	9,68	10,06	11,22
AL	10,84	11,44	11,92	13,01	13,77	13,70	14,08	13,29	12,46	11,36	10,82	10,97	12,30
SE	12,40	12,40	12,40	12,40	12,40	12,40	12,40	12,40	12,40	12,40	12,40	12,40	12,40
BA	11,35	11,38	11,56	12,17	12,26	12,25	11,90	11,09	10,59	10,62	10,97	11,21	11,45
ES	12,81	12,55	12,82	13,02	13,33	13,50	13,51	13,03	13,00	13,17	13,22	13,35	13,11
RJ	12,88	12,85	13,07	13,19	13,41	13,34	12,95	12,63	12,75	13,05	13,01	13,20	13,03
SP	12,98	12,64	12,60	12,50	12,60	12,18	11,41	10,73	11,26	12,10	12,00	12,56	12,13
PR	11,96	12,22	12,33	12,36	12,71	12,68	12,30	11,75	11,45	11,88	10,98	11,52	12,01
SC	12,50	12,94	13,07	13,20	13,48	13,44	13,18	12,60	12,76	12,33	12,05	12,15	12,81
RS	11,50	12,14	12,41	12,56	13,39	13,24	13,05	12,60	12,41	11,82	11,33	11,52	12,33
MS	12,90	12,63	13,09	13,38	12,14	11,85	10,63	9,57	10,24	10,74	11,32	12,37	11,74
MT	13,64	14,11	13,43	13,40	12,77	12,19	10,99	10,15	10,47	11,66	12,65	13,05	12,38
DF	12,01	12,23	12,70	11,80	10,47	9,35	8,62	7,64	8,15	10,10	11,79	12,71	10,63
GO	12,82	12,45	12,51	11,76	10,89	10,00	8,93	8,06	8,62	10,42	11,82	12,87	10,93
BR	12,67	12,89	13,17	13,18	12,96	12,53	11,92	11,22	11,11	11,49	11,76	12,25	12,26
Máx	15,88	15,79	15,78	15,86	15,49	15,48	14,34	13,57	14,02	14,68	15,05	15,46	15,12
Mín	10,12	10,68	11,56	11,76	10,47	9,35	8,62	7,64	7,68	8,35	8,97	9,35	9,55
Ampl	5,76	5,11	4,22	4,10	5,00	6,13	5,72	5,93	6,34	6,33	6,08	6,11	5,57

TABELA 8. A. Estimativa da Umidade de Equilíbrio média anual da Chapa Dura, para os 26 estados brasileiros calculada pela equação de Nelson (1983).

Local	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ag	Set	Out	Nov	Dez	Méd
AM	12,09	12,27	12,65	12,80	12,83	12,17	11,69	11,21	11,03	11,03	11,01	11,78	11,88
AC	12,80	12,81	12,81	12,81	12,32	11,63	11,17	10,96	11,19	11,62	12,01	12,8	12,08
RO	13,15	12,79	11,59	10,86	12,16	12,82	10,66	11,1	11,59	12,15	12,46	11,09	11,87
PA	12,46	13,08	13,07	13,06	12,73	12,07	11,6	11,15	10,89	10,72	11,03	11,79	11,97
AP	12,15	12,46	12,79	13,14	12,78	12,14	11,86	10,84	9,81	9,63	9,81	10,62	11,50
TO	10,88	11,19	11,21	10,31	8,91	7,82	7,06	6,30	6,70	8,89	10,04	10,72	9,17
MA	11,39	12,00	12,19	12,00	11,32	10,28	9,43	8,72	8,60	9,10	9,54	10,21	10,40
PI	9,45	10,01	10,52	10,25	9,20	7,94	7,16	6,54	6,24	6,81	7,47	8,28	8,32
MG	10,52	10,12	10,23	10,23	10,06	9,83	9,28	8,60	8,73	9,34	10,07	10,73	9,81
CE	8,70	9,62	10,80	10,97	10,00	9,41	8,55	7,57	7,20	7,40	7,33	7,65	8,77
RN	8,30	8,85	9,69	9,96	9,83	9,31	8,79	8,21	7,82	7,81	7,78	8,25	8,72
PB	9,00	8,93	10,40	10,58	10,65	10,76	10,78	9,28	8,71	8,42	8,13	8,52	9,51
PE	8,49	8,77	9,62	10,06	10,31	10,49	10,40	9,79	8,46	8,10	7,93	8,25	9,22
AL	8,91	9,41	9,81	10,73	11,38	11,32	11,64	10,97	10,27	9,34	8,89	9,01	10,14
SE	10,22	9,93	10,20	10,54	10,14	10,09	10,28	10,28	10,25	10,36	10,38	10,42	10,26
BA	9,34	9,36	9,51	10,03	10,11	10,10	9,80	9,12	8,70	8,72	9,02	9,22	9,42
ES	10,57	10,35	10,57	10,74	11,01	11,15	11,16	10,75	10,73	10,87	10,92	11,02	10,82
RJ	10,63	10,6	10,79	10,89	11,07	11,01	10,69	10,42	10,52	10,77	10,73	10,89	10,75
SP	10,71	10,42	10,39	10,31	10,39	10,03	9,39	8,82	9,26	9,97	9,89	10,36	9,99
PR	9,85	10,07	10,16	10,19	10,48	10,46	10,13	9,67	9,42	9,79	9,03	9,48	9,89
SC	10,31	10,68	10,78	10,90	11,13	11,09	10,88	10,39	10,53	10,17	9,92	10,01	10,57
RS	9,50	10,00	10,23	10,36	11,06	10,93	10,77	10,39	10,23	9,73	9,32	9,48	10,17
MS	10,64	10,41	10,80	11,05	10,00	9,75	8,73	7,83	8,40	8,82	9,31	10,20	9,66
MT	11,27	11,66	11,09	11,07	10,53	10,04	9,03	8,32	8,60	9,60	10,43	10,77	10,20
DF	9,90	10,08	10,47	9,71	8,60	7,65	7,04	6,21	6,64	8,28	9,70	10,48	8,73
GO	10,57	10,26	10,31	9,68	8,95	8,20	7,30	6,56	7,04	8,55	9,74	10,62	8,60
BR	10,45	10,62	10,87	10,89	10,7	10,33	9,82	9,23	9,14	9,46	9,69	10,1	10,09
Máx	13,15	13,08	13,07	13,14	12,83	12,82	11,86	11,21	11,59	12,15	12,46	12,8	12,51
Min	8,30	8,77	9,51	9,68	8,60	7,65	7,04	7,04	6,24	6,81	7,33	7,65	7,81
Ampl	4,85	4,31	3,56	3,46	4,23	5,17	4,81	4,81	5,35	5,34	5,13	5,15	4,7

TABELA 9. A. Estimativa da Umidade de Equilíbrio média anual do HPL, para os 26 estados brasileiros calculada pela equação de Nelson (1983).

Local	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ag	Set	Out	Nov	Dez	Méd
AM	7,80	7,91	8,12	8,21	8,22	7,85	7,57	7,30	7,20	7,20	7,19	7,63	7,68
AC	8,21	8,21	8,21	8,21	7,93	7,54	7,28	7,16	7,30	7,54	7,75	8,21	7,80
RO	8,41	8,20	7,52	7,10	7,84	8,22	6,99	7,24	7,52	7,84	8,01	7,23	7,68
PA	8,02	8,36	8,36	8,36	8,17	7,79	7,52	7,27	7,12	7,02	7,20	7,63	7,74
AP	7,83	8,01	8,20	8,40	8,20	7,83	7,67	7,09	6,51	6,40	6,51	7,97	7,47
TO	7,11	7,29	7,30	6,79	5,99	5,37	4,94	4,51	4,74	5,98	6,63	7,03	6,14
MA	7,41	7,75	7,86	7,75	7,37	6,77	6,29	5,89	5,82	6,10	6,35	6,73	6,84
PI	6,30	6,62	6,91	6,75	6,16	5,44	5,00	4,64	4,47	4,80	5,17	5,64	5,66
MG	6,91	6,68	6,74	6,75	6,65	6,52	6,20	5,81	5,89	6,24	6,65	7,03	6,51
CE	5,87	6,40	7,07	7,17	6,61	6,28	5,79	5,23	5,01	5,14	5,09	5,28	5,91
RN	5,65	5,96	6,44	6,59	6,52	6,22	5,92	5,60	5,37	5,37	5,35	5,62	5,88
PB	6,01	6,00	6,84	6,94	6,98	7,05	7,06	6,21	5,88	5,71	5,55	5,77	6,33
PE	5,75	5,91	6,40	6,65	6,79	6,89	6,84	6,50	5,74	5,54	5,44	5,62	6,17
AL	5,99	6,28	6,51	7,03	7,40	7,37	7,55	7,17	6,77	6,24	5,98	6,05	6,69
SE	6,74	6,57	6,73	6,92	6,69	6,67	6,77	6,77	6,75	6,82	6,83	6,85	6,76
BA	6,24	6,25	6,34	6,63	6,67	6,67	6,50	6,11	5,87	5,88	6,05	6,17	6,28
ES	6,94	6,81	6,94	7,04	7,19	7,27	7,27	7,04	7,03	7,11	7,13	7,19	7,08
RJ	6,97	6,96	7,06	7,12	7,22	7,19	7,00	6,85	6,91	7,05	7,03	7,12	7,04
SP	7,02	6,84	6,84	6,79	6,83	6,63	6,26	5,94	6,19	6,60	6,55	6,82	6,61
PR	6,53	6,65	6,71	6,72	6,89	6,88	6,69	6,43	6,28	6,49	6,06	6,32	6,55
SC	6,79	7,00	7,06	7,13	7,26	7,23	7,11	6,84	6,91	6,71	6,57	6,62	6,94
RS	6,31	6,61	6,74	6,82	7,22	7,14	7,05	6,84	6,75	6,46	6,23	6,32	6,71
MS	6,98	6,85	7,07	7,21	6,62	6,47	5,89	5,38	5,70	5,94	6,22	6,73	6,42
MT	7,33	7,56	7,23	7,22	6,92	6,64	6,06	5,66	5,81	6,39	6,86	7,05	6,73
DF	6,55	6,66	6,88	6,45	5,81	5,28	4,93	4,46	4,70	5,64	6,45	6,89	5,89
GO	6,94	6,76	6,79	6,43	6,01	5,59	5,08	4,66	4,93	5,79	6,46	6,96	6,03
BR	6,87	6,97	7,11	7,12	7,01	6,80	6,51	6,18	6,12	6,31	6,43	6,71	6,62
Máx	8,41	8,36	8,36	8,40	8,22	8,22	7,67	7,30	7,52	7,84	8,01	8,21	7,80
Mín	5,65	5,91	6,34	6,43	5,81	5,28	4,93	4,46	4,47	4,80	5,09	5,28	5,66
Ampl	2,76	2,45	2,02	1,97	2,41	2,94	2,74	2,84	3,05	3,04	2,92	2,93	2,14

TABELA 10. A. Estimativa da Umidade de Equilíbrio média anual do HPL (bck), para os 26 estados brasileiros calculada pela equação de Nelson (1983).

Local	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ag	Set	Out	Nov	Dez	Méd
AM	8,69	8,81	9,04	9,13	9,15	8,75	8,45	8,15	8,04	8,04	8,03	8,50	8,57
AC	9,14	9,14	9,14	9,14	8,83	8,41	8,12	8,00	8,14	8,40	8,64	9,14	8,69
RO	9,35	9,13	8,38	7,93	8,74	9,14	7,81	8,08	8,39	8,73	8,92	8,08	8,56
PA	8,93	9,30	9,30	9,30	9,09	8,68	8,39	8,11	7,95	7,85	8,04	8,51	8,62
AP	8,73	8,92	9,13	9,35	9,12	8,73	8,55	7,92	7,29	7,17	7,29	7,79	8,33
TO	7,95	8,14	8,15	7,59	6,73	6,05	5,58	5,12	5,36	6,72	7,42	7,85	6,89
MA	8,26	8,64	8,76	8,64	8,22	7,58	7,05	6,61	6,54	6,85	7,11	7,53	7,65
PI	7,06	7,41	7,72	7,56	6,90	6,13	5,65	5,25	5,08	5,43	5,83	6,34	6,36
MG	7,73	7,47	7,54	7,55	7,44	7,30	6,96	6,53	6,62	6,99	7,48	7,85	7,29
CE	6,60	7,17	7,90	8,00	7,40	7,04	6,50	5,90	5,66	5,80	5,75	5,95	6,64
RN	6,35	6,69	7,21	7,38	7,30	6,98	6,65	6,30	6,05	6,05	6,03	6,32	6,61
PB	6,75	6,74	7,65	7,76	7,80	7,87	7,88	6,96	6,61	6,42	6,25	6,48	7,10
PE	6,47	6,64	7,17	7,44	7,59	7,70	7,65	7,27	6,45	6,23	6,12	6,32	6,92
AL	6,73	7,04	7,29	7,85	8,25	8,22	8,42	8,00	7,57	6,99	6,72	6,79	7,49
SE	7,54	7,36	7,53	7,73	7,49	7,46	7,57	7,57	7,56	7,62	7,64	7,66	7,56
BA	6,99	7,00	7,10	7,42	7,47	7,46	7,28	6,86	6,60	6,61	6,79	6,92	7,04
ES	7,75	7,62	7,76	7,86	8,02	8,11	8,12	7,87	7,85	7,94	7,97	8,03	7,91
RJ	7,79	7,78	7,89	7,95	8,06	8,03	7,83	7,66	7,72	7,88	7,86	7,95	7,87
SP	7,84	7,66	7,64	7,59	7,64	7,42	7,02	6,67	6,95	7,38	7,33	7,62	7,40
PR	7,31	7,44	7,50	7,52	7,70	7,69	7,48	7,20	7,04	7,27	6,80	7,08	7,34
SC	7,59	7,82	7,89	7,96	8,10	8,08	7,94	7,64	7,73	7,50	7,36	7,41	7,75
RS	7,07	7,40	7,54	7,62	8,06	7,97	7,88	7,64	7,55	7,24	6,98	7,08	7,50
MS	7,80	7,66	7,90	8,05	7,40	7,25	6,61	6,06	6,41	6,67	6,98	7,52	7,19
MT	8,19	8,43	8,08	8,06	7,73	7,43	6,80	6,37	6,53	7,16	7,67	7,88	7,53
DF	7,33	7,45	7,69	7,22	6,53	5,95	5,57	5,06	5,32	6,34	7,22	7,70	6,62
GO	7,76	7,56	7,60	7,20	6,75	6,29	5,73	5,28	5,57	6,51	7,24	7,78	6,77
BR	7,68	7,78	7,94	7,95	7,83	7,60	7,29	6,93	6,87	7,07	7,21	7,46	7,47
Máx	9,35	9,30	9,30	9,35	9,15	9,14	8,55	8,15	8,39	8,73	8,92	9,14	8,96
Min	6,35	6,64	7,10	7,20	6,53	5,95	5,57	5,06	5,08	5,43	5,75	5,95	6,05
Ampl	3,00	2,66	2,20	2,15	2,62	3,19	2,98	3,09	3,31	3,30	3,17	3,19	2,91

TABELA 11. A. Estimativa da Umidade de Equilíbrio média anual da Madeira maciça de Folhosa, para os 26 estados brasileiros calculada pela equação de Nelson (1983).

Local	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ag	Set	Out	Nov	Dez	Méd
AM	17,21	17,45	17,96	18,16	18,20	17,32	16,67	16,02	15,78	15,79	15,75	16,79	16,92
AC	18,16	18,17	18,16	18,17	17,51	16,58	15,97	15,69	16,00	16,58	17,09	18,16	17,19
RO	18,63	18,14	16,53	15,56	17,30	18,18	15,28	15,87	16,53	17,28	17,70	15,87	16,91
PA	17,71	18,53	18,53	18,51	18,06	17,18	16,54	15,95	15,60	15,37	15,78	16,81	17,05
AP	17,28	17,70	18,14	18,62	18,13	17,28	16,89	15,53	14,15	13,90	14,15	15,23	16,42
TO	15,58	16,00	16,02	14,82	12,94	11,48	10,45	9,44	9,98	12,91	14,45	15,37	13,29
MA	16,27	17,09	17,34	17,08	16,17	14,78	13,64	12,69	12,52	13,19	13,78	14,68	14,94
PI	13,66	14,41	15,09	14,73	13,32	11,64	10,60	9,74	9,36	10,12	11,00	12,10	12,15
MG	15,10	14,56	14,71	14,72	14,48	14,18	13,43	12,52	12,70	13,51	14,50	15,38	14,15
CE	12,65	13,89	15,47	15,71	14,40	13,61	12,45	11,14	10,63	10,92	10,82	11,25	12,75
RN	12,12	12,85	13,98	14,34	14,18	13,48	12,78	12,00	11,48	11,46	11,43	12,05	12,68
PB	12,98	12,97	14,94	15,18	15,27	15,42	15,44	13,44	12,68	12,27	11,89	12,41	13,74
PE	12,37	12,75	13,90	14,48	14,82	15,06	14,94	14,13	12,33	11,86	11,62	12,05	13,36
AL	12,94	13,61	14,15	15,38	16,25	16,17	16,60	15,70	14,77	13,52	12,91	13,08	14,59
SE	14,70	14,31	14,67	15,12	14,59	14,52	14,77	14,77	14,74	14,88	14,91	14,96	14,75
BA	13,51	13,54	13,75	14,44	14,54	14,53	14,13	13,22	12,66	12,68	13,08	13,35	13,62
ES	15,16	14,87	15,17	15,40	15,75	15,95	15,96	15,41	15,38	15,57	15,63	15,77	15,50
RJ	15,25	15,21	15,46	15,60	15,84	15,76	15,32	14,96	15,10	15,44	15,38	15,60	15,41
SP	15,36	14,97	14,92	14,81	14,92	14,44	13,58	12,81	13,41	14,36	14,25	14,88	14,39
PR	14,20	14,49	14,62	14,65	15,05	15,02	14,58	13,96	13,62	14,12	13,10	13,70	14,26
SC	14,82	15,31	15,45	15,61	15,91	15,87	15,58	14,93	15,11	14,62	14,30	14,41	15,16
RS	13,68	14,40	14,70	14,88	15,82	15,64	15,44	14,93	14,71	14,04	13,49	13,70	14,62
MS	15,26	14,95	15,48	15,81	14,41	14,07	12,69	11,50	12,26	12,82	13,48	14,67	13,95
MT	16,10	16,63	15,86	15,83	15,11	14,46	13,11	12,15	12,52	13,87	14,98	15,43	14,67
DF	14,25	14,50	15,04	14,01	12,52	11,25	10,42	9,31	9,89	12,10	14,01	15,04	12,70
GO	15,17	14,75	14,82	13,98	12,99	11,98	10,78	9,79	10,43	12,46	14,05	15,23	13,03
BR	15,00	15,23	15,57	15,60	15,33	14,84	14,16	13,37	13,24	13,68	13,98	14,54	14,55
Máx	18,63	18,53	18,53	18,62	18,20	18,18	16,89	16,02	16,53	17,28	17,70	18,16	17,19
Min	12,12	12,75	13,75	13,98	12,52	11,25	10,42	9,31	9,36	10,12	10,82	11,25	12,15
Ampl	6,51	5,78	4,78	4,64	5,68	6,93	6,47	6,70	7,18	7,16	6,88	6,91	5,04

TABELA 12. A. Estimativa da Umidade de Equilíbrio média anual da Madeira maciça de Conífera, para os 26 estados brasileiros calculada pela equação de Nelson (1983).

Local	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ag	Set	Out	Nov	Dez	Méd
AM	17,22	17,45	17,93	18,11	18,15	17,32	16,71	16,1	15,87	15,88	15,85	16,82	16,95
AC	18,12	18,12	18,12	18,12	17,50	16,63	16,05	15,79	16,08	16,62	17,11	18,12	17,20
RO	18,56	18,1	16,58	15,66	17,30	18,14	15,4	15,96	16,58	17,29	17,68	15,95	16,93
PA	17,69	18,47	18,46	18,45	18,02	17,19	16,59	16,03	15,7	15,48	15,87	16,84	17,07
AP	17,29	17,68	18,1	18,55	18,09	17,28	16,92	15,64	14,33	14,1	14,33	15,35	16,47
TO	15,68	16,08	16,1	14,96	13,2	11,81	10,84	9,89	10,40	13,17	14,62	15,49	13,52
MA	16,33	17,10	17,34	17,10	16,24	14,93	13,85	12,95	12,80	13,43	13,98	14,84	15,07
PI	13,87	14,58	15,22	14,88	13,55	11,96	10,98	10,17	9,81	10,53	11,36	12,4	12,44
MG	15,23	14,72	14,86	14,87	14,65	14,36	13,66	12,79	12,96	13,73	14,66	15,49	14,33
CE	12,92	14,09	15,58	15,8	14,57	13,82	12,73	11,49	11,01	11,28	11,19	11,6	13,01
RN	12,42	13,11	14,17	14,52	14,4	13,7	13,04	12,31	11,81	11,8	11,76	12,35	12,95
PB	13,23	13,22	15,08	15,3	15,39	15,53	15,55	13,66	12,94	12,56	12,2	12,69	13,95
PE	12,65	13,01	14,1	14,64	14,96	15,19	15,08	14,31	12,62	12,17	11,95	12,35	13,59
AL	13,19	13,83	14,33	15,5	16,31	16,24	16,65	15,8	14,92	13,74	13,17	13,32	14,75
SE	14,85	14,48	14,83	15,25	14,75	14,69	14,92	14,92	14,89	15,03	15,05	15,1	14,89
BA	13,73	13,76	13,96	14,6	14,70	14,69	14,32	13,45	12,92	12,95	13,32	13,58	13,83
ES	15,29	15,01	15,29	15,51	15,84	16,03	16,04	15,52	15,49	15,67	15,73	15,86	15,61
RJ	15,37	15,33	15,56	15,7	15,92	15,85	15,44	15,1	15,23	15,55	15,5	15,7	15,52
SP	15,47	15,11	15,06	14,96	15,06	14,61	13,79	13,07	13,64	14,53	14,43	15,02	14,56
PR	14,38	14,65	14,78	14,81	15,18	15,15	14,74	14,15	13,84	14,3	13,34	13,91	14,44
SC	14,96	15,43	15,56	15,71	16,00	15,96	15,68	15,06	15,24	14,78	14,47	14,58	15,29
RS	13,88	14,57	14,86	15,02	15,91	15,74	15,55	15,07	14,86	14,23	13,71	13,91	14,78
MS	15,38	15,09	15,59	15,9	14,57	14,26	12,96	11,83	12,55	13,08	13,7	14,82	14,14
MT	16,17	16,67	15,95	15,92	15,24	14,62	13,35	12,45	12,79	14,06	15,12	15,54	14,82
DF	14,43	14,67	15,17	14,2	12,79	11,6	10,82	9,77	10,32	12,4	14,20	15,18	12,96
GO	15,29	14,9	14,97	14,17	13,2	12,29	11,15	10,22	10,82	12,74	14,24	15,35	13,28
BR	15,14	15,36	15,68	15,7	15,4	14,98	14,34	13,6	13,48	13,89	14,17	14,7	14,71
Máx	18,56	18,47	18,46	18,55	18,2	18,14	16,92	16,1	16,58	17,29	17,68	18,12	17,75
Min	12,42	13,01	13,96	14,17	12,8	11,6	10,82	9,77	9,81	10,53	11,19	11,6	11,80
Ampl	6,14	5,45	4,5	4,38	5,36	6,54	6,1	6,33	6,77	6,76	6,49	6,52	5,95

TABELA 13. A. Estimativa da Umidade de Equilíbrio média anual da Madeira em geral, para os 26 estados brasileiros calculada pela equação de Nelson (1983).

Local	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ag	Set	Out	Nov	Dez	Méd
AM	18,41	18,67	19,21	19,41	19,45	18,53	17,85	17,17	16,92	16,92	16,89	17,98	18,12
AC	19,42	19,42	19,42	19,42	18,73	17,76	17,12	16,82	17,15	17,75	18,29	19,42	18,39
RO	19,91	19,4	17,71	16,68	18,51	19,43	16,4	17,02	17,71	18,49	18,93	17,01	18,10
PA	18,94	19,8	19,8	19,78	19,31	18,39	17,72	17,09	16,73	16,49	16,92	17,99	18,25
AP	18,49	18,93	19,39	19,89	19,39	18,49	18,08	16,66	15,21	14,95	15,21	16,34	17,59
TO	16,71	17,15	17,17	15,91	13,9	12,41	11,33	10,27	10,84	13,91	15,52	16,49	14,31
MA	17,43	18,29	18,55	18,28	17,33	15,87	14,68	13,68	13,51	14,21	14,82	15,77	16,03
PI	14,7	15,48	16,2	15,82	14,34	12,58	11,48	10,59	10,19	10,99	11,91	13,06	13,11
MG	16,21	15,64	15,8	15,8	15,56	15,24	14,46	13,50	13,69	14,54	15,57	16,5	15,21
CE	13,64	14,94	16,59	16,84	15,47	14,64	13,43	12,06	11,52	11,82	11,72	12,17	13,74
RN	13,09	13,85	15,03	15,41	15,2	14,51	13,77	12,96	12,41	12,4	12,35	13,01	13,67
PB	13,99	13,97	16,04	16,29	16,38	16,54	16,57	14,47	13,66	13,24	12,85	13,39	14,78
PE	13,35	13,74	14,95	15,56	15,91	16,16	16,04	15,18	13,31	12,81	12,56	13,01	14,38
AL	13,94	14,65	15,21	16,5	17,41	17,33	17,78	16,84	15,86	14,55	13,91	14,08	15,67
SE	15,79	15,38	15,76	16,23	15,67	15,6	15,86	15,86	15,82	15,98	16,01	16,06	15,83
BA	14,54	14,57	14,79	15,51	15,62	15,61	15,19	14,23	13,64	13,67	14,09	14,37	14,65
ES	16,27	15,97	16,28	16,52	16,89	17,09	17,11	16,53	16,5	16,7	16,76	16,91	16,63
RJ	16,36	16,32	16,58	16,73	16,98	16,9	16,44	16,06	16,2	16,56	16,5	16,73	16,53
SP	16,47	16,07	16,02	15,9	16,02	15,52	14,61	13,81	14,44	15,43	15,32	15,97	15,46
PR	15,26	15,57	15,7	15,74	16,15	16,12	15,66	15,01	14,66	15,17	14,1	14,74	15,32
SC	15,91	16,43	16,57	16,74	17,06	17,01	16,71	16,02	16,21	15,71	15,37	15,49	16,27
RS	14,71	15,47	15,79	15,98	16,96	16,78	16,56	16,02	15,80	15,1	14,51	14,74	15,70
MS	16,37	16,05	16,60	16,95	15,48	15,13	13,68	12,43	13,23	13,81	14,51	15,75	15,00
MT	17,26	17,81	17,00	16,97	16,22	15,53	14,12	13,12	13,50	14,91	16,08	16,55	15,76
DF	15,32	15,58	16,14	15,07	13,50	12,17	11,31	10,14	10,75	13,06	15,06	16,15	13,69
GO	16,28	15,84	15,92	15,03	14,00	12,94	11,67	10,64	11,31	13,44	15,1	16,34	14,04
BR	16,11	16,35	16,7	16,73	16,4	15,93	15,22	14,39	14,26	14,72	15,03	15,62	15,62
Máx	19,91	19,8	19,8	19,89	19,4	19,43	18,08	17,17	17,71	18,49	18,93	19,42	18,39
Mín	13,09	13,74	14,79	15,03	13,5	12,17	11,31	10,14	10,19	10,99	11,72	12,17	13,11
Ampl	6,82	6,06	5,00	4,86	5,95	7,26	6,78	7,03	7,52	7,5	7,21	7,24	5,28