

CARLOS EDUARDO CAMARGO DE ALBUQUERQUE

INTERAÇÕES DE VARIÁVEIS NO CICLO DE PRENSAGEM DE AGLOMERADOS

Tese apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de "Doutor em Ciência Florestais", Área de Concentração: Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais.

Orientador: Prof. Dr. Setsuo Iwakiri

CURITIBA
2002



Universidade Federal do Paraná
Setor de Ciências Agrárias – Centro de Ciências Florestais e da Madeira
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal
Av. Lothário Meissner, 3400 – Jardim Botânico – CAMPUS III
80210-170 - CURITIBA - Paraná
Tel. (41) 360.4212 - Fax. (41) 360.4211 - <http://www.floresta.ufpr.br/pos-graduacao>
e-mail: pinheiro@floresta.ufpr.br

PARECER

Defesa nº 459

A banca examinadora, instituída pelo colegiado do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, do Setor de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Paraná, após arguir o doutorando **CARLOS EDUARDO CAMARGO DE ALBUQUERQUE** em relação ao seu trabalho de tese intitulado "INTERAÇÕES DE VARIÁVEIS NO CICLO DE Prensagem de Aglomerados", é de parecer favorável à **APROVAÇÃO** do acadêmico, habilitando-o ao título de *Doutor em Ciências Florestais*, na área de concentração em *Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais*.

Dr. Setsuo Iwakiri

Professor e pesquisador do Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal da UFPR
Orientador e presidente da banca examinadora

Dr. Roberto Carlos Costa Lellis

Professor e pesquisador do Departamento de Produtos Florestais da UFRRJ
Primeiro examinador

Dr. João Vicente de Figueiredo Latorraca

Professor e pesquisador do Departamento de Produtos Florestais da UFRRJ
Segundo examinador

Ph.D. Sidon Keinert Junior

Professor e pesquisador do Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal da UFPR
Terceiro examinador

Dr. Jorge Luis Monteiro de Matos

Professor e pesquisador do Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal da UFPR
Quarto examinador



Curitiba, 15 de fevereiro de 2002.

Nivaldo Eduardo Rizzi

Coordenador do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal

Franklin Galvão

Vice-coordenador

À
Deus
Aos meus pais
Sylvia Helena e Carlos
À minha amada filha Lilibeth
À minha amada esposa Elizabeth
Aos meus avós Zélia e Sylvio
Aos meus sogros Elizabeth e Illydio
Às minhas irmãs Eliane, Elizabeth e Wilma
Aos meus sobrinhos Juliana, Pedro e João Eduardo
Ao meu
cunhado
e parentes
Aos meus verdadeiros e sinceros amigos

Dedico

AGRADECIMENTOS

À Deus, por tudo que tem me proporcionado.

À Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro e a Universidade Federal do Paraná, pela oportunidade oferecida para a realização deste curso.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) – Programa PICDT, pela concessão da bolsa e apoio financeiro.

Ao Professor Dr. Setsuo Iwakiri, pelos seus ensinamentos, objetiva orientação, convívio e amizade.

Ao Professor Dr. Jorge Luis Monteiro de Matos, em especial, pela co-orientação, ensinamentos, apoio, sugestões, amizade e convívio.

Ao Professor Dr. Sidon Keinert Junior, pela colaboração prestada no comitê de orientação.

Aos Professores Dra. Graciela Ines Bolzon de Muñiz, Dr. Umberto Klock, Dr. Ivan Tomaselli, Dra. Ghislaine, pelos ensinamentos oferecidos.

Ao Professor Dr. Sebastião do Amaral Machado, em especial, pela oportunidade do convívio.

Aos Professores Dr. Márcio, Dr. Dimas, e demais professores do DETF/UFPR, pelo convívio durante o curso.

Aos funcionários Ademir, Ricardo, Gilnei, Vitor, Herrera, Antônio e Dionéia, o reconhecimento de suas atividades e profissionalismo, que foram de fundamental importância para a realização deste trabalho.

Aos Professores Dr. Azarias Machado de Andrade, Dr. Heber dos Santos Abreu, Dr. Edvá de Oliveira Brito, Dr. João Vicente Figueiredo Latorraca, Dr. Acacio Geraldo de Carvalho, da UFRRJ, pela confiança em mim depositada.

À Biblioteca de Ciências Florestais e da Madeira, da UFPR, na pessoa da senhora Tania de Barros Baggio, pela ajuda na obtenção de trabalhos científicos e normatização das referências bibliográficas.

Ao amigo e colega de curso Prof. Lourival Marin Mendes, da UFLA, pela amizade, companheirismo, e a oportunidade de trabalharmos proficuamente juntos.

Ao amigo e colega de curso Prof. José Reinaldo Moreira da Silva, da UFLA, pela amizade, companheirismo e divertidas incursões no mundo da fotografia.

Ao acadêmico de Engenharia Florestal da UFPR Leopoldo K. Saldanha, pela valorosa contribuição, competência e profissionalismo.

Aos colegas de curso Alexsandro, Clair, Silvana, Martha, Alba, Guilherme, Zenóbio, Ricardo, Nilton, Nabor, Paixão, Carlos, Selma, Cristine.

À Berneck Aglomerados S.A., nas pessoas de Sedeur Maurício e Olvino Batista, pela gentil doação do material necessário à pesquisa, assim como pela gentil abertura da empresa no que fosse necessário para este trabalho.

À minha querida e amada esposa Elizabeth, pela presença e apoio em todos os momentos, e pelo convívio tão rico e especial que tivemos por quatro anos em Curitiba.

Em especial, ao meu bem mais precioso, fruto de um grande amor junto à minha esposa, minha tão amada e querida filha Lilibeth, nascida em Curitiba durante o período do Curso, após muitos anos de espera e esperança.

Aos médicos Dr. Carlos Eduardo Silvado e Dr. Ildeu Essfelder Hintz, um especial agradecimento e gratidão, pelos cuidados dedicados a minha esposa e, acima de tudo, possibilitarem o nascimento de minha amada filha Lilibeth.

A cidade de Curitiba, que acolheu carinhosamente minha família e nos proporcionou um novo horizonte para nossas vidas.

Aos meus pais Sylvia Helena e Carlos de Albuquerque, pela sólida formação, que serviu de base para minha vida profissional e para este Curso que ora se encerra.

Ao meu saudoso avô, Sylvio de Camargo, que por personificar um espírito empreendedor e de eterna busca do conhecimento, serviu de inspiração para que eu almejasse um crescimento profissional.

À todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

BIOGRAFIA

Carlos Eduardo Camargo de Albuquerque, filho de Carlos de Albuquerque e de Sylvia Helena Camargo de Albuquerque, nasceu na cidade do Rio de Janeiro, em 17 de novembro de 1956.

Em julho de 1982, graduou-se Engenheiro Florestal pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro - UFRRJ.

Em setembro de 1983, foi admitido como Professor Visitante, pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, nos períodos de 27 de setembro de 1983 a 15 de fevereiro de 1985 e 26 de maio de 1985 a 07 de julho de 1985.

Em novembro de 1984, concluiu o Curso de Especialização em Metodologia do Ensino Superior, pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro - UERJ.

Em julho de 1985, foi contratado como Professor Auxiliar pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, por aprovação em Concurso Público de Títulos e Provas.

Em março de 1993 iniciou, na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, o Curso de Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais, sob a orientação do Professor Dr. Azarias Machado de Andrade, do Departamento de Produtos Florestais, do Instituto de Florestas, obtendo o grau de Magister Scientiae em 04 de dezembro de 1995.

Em março de 1998 iniciou, na Universidade Federal do Paraná - UFPR, o Curso de Doutorado em Engenharia Florestal, na área de concentração em Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais, sob a orientação do Professor Dr. Setsuo Iwakiri.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE TABELAS	xii
LISTA DE FIGURAS	xx
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	xxiii
RESUMO	xxiv
ABSTRACT	xxv
1. INTRODUÇÃO	01
1.1. Objetivos	03
2. REVISÃO DA LITERATURA	04
2.1. Parâmetros de processamento	04
2.1.1. Transferência de calor e umidade	04
2.1.2. Quantidade de resina	06
2.1.3. Condições de prensagem	08
2.1.3.1. Teor de umidade	08
2.1.3.2. Tempo e temperatura de prensagem	11
2.2. Propriedades físicas	13
2.2.1. Densidade	13
2.2.2. Gradiente vertical de densidade	14
2.2.3. Absorção de água e inchamento em espessura	17
2.2.3.1. Considerações	17
2.2.3.2. Densidade	19
2.2.3.3. Geometria das partículas	20
2.2.3.4. Resina	21
2.3. Propriedades mecânicas	22
2.3.1. Considerações	22
2.3.2. Resistência à flexão estática	23
2.3.2.1. Módulo de ruptura	23
2.3.2.1.1. Influência da densidade no MOR	23
2.3.2.1.2. Influência da geometria das partículas no MOR	24
2.3.2.2. Módulo de elasticidade	25
2.3.2.2.1. Influência da densidade no MOE	26

2.3.2.2.2. Influência da geometria das partículas no MOE	27
2.3.3. Ligação interna	28
3. MATERIAIS E MÉTODOS	30
3.1. Matéria-prima	30
3.2. Fabricação de chapas de madeira aglomerada	32
3.2.1. Delineamento experimental	32
3.3. Quantificação do material	35
3.4. Formação do colchão	36
3.4.1. Uso de termopares	36
3.5. Prensagem	38
3.5.1. Pré definição das condições fixas de prensagem	38
3.5.2. Tempo de prensagem	39
3.6. Condicionamento	39
3.7. Avaliação das propriedades dos painéis	40
3.7.1. Gradiente vertical de densidade	42
3.7.2. Procedimento de cálculos para a determinação do gradiente vertical de densidade	44
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	45
4.1. Painéis homogêneos de partículas grossas	45
4.1.1. Evolução da temperatura em função do tempo	45
4.1.1.1. Efeito da densidade no tempo de aquecimento do painel	51
4.1.1.2. Efeito do teor de resina no tempo de aquecimento do painel	51
4.1.1.3. Efeito da adição de água no tempo de aquecimento do painel	51
4.1.1.4. Efeito do teor de catalisador no tempo de aquecimento do painel	54
4.1.2. Influência da densidade do painel	54
4.1.2.1. Influência da densidade na ligação interna	54
4.1.2.2. Influência da densidade na flexão estática (MOR e MOE)	55
4.1.2.3. Influência da densidade na absorção de água e inchamento em espessura	56
4.1.3. Influência do tempo de prensagem	59

4.1.3.1. Influência do tempo de prensagem na ligação interna	59
4.1.3.2. Influência do tempo de prensagem na flexão estática (MOR e MOE)	60
4.1.3.3. Influência do tempo de prensagem na absorção de água e inchamento em espessura	62
4.1.4. Influência da adição de água na superfície do colchão	64
4.1.4.1. Influência da adição de água na ligação interna	65
4.1.4.2. Influência da adição de água na flexão estática (MOR e MOE)	67
4.1.4.3. Influência da adição de água na absorção de água e inchamento em espessura	70
4.1.4.4. Influência da adição de água no gradiente vertical de densidade	76
4.1.5. Influência do teor de resina	80
4.1.5.1. Influência do teor de resina na ligação interna	80
4.1.5.2. Influência do teor de resina na flexão estática (MOR e MOE)	81
4.1.5.3. Influência do teor de resina na absorção de água e inchamento em espessura	82
4.1.6. Influência do teor de catalisador	83
4.1.6.1. Influência do teor de catalisador na ligação interna	83
4.1.6.2. Influência do teor de catalisador na flexão estática (MOR e MOE)	84
4.1.6.3. Influência do teor de catalisador na absorção de água e inchamento em espessura	85
4.2. Painéis homogêneos de partículas finas	88
4.2.1. Evolução da temperatura em função do tempo	88
4.2.2. Influência do tempo de prensagem	91
4.2.2.1. Influência do tempo de prensagem na ligação interna	92
4.2.2.2. Influência do tempo de prensagem na flexão estática (MOR e MOE)	93
4.2.2.3. Influência do tempo de prensagem na absorção de água e inchamento em espessura	94

4.2.3. Influência da adição de água na superfície do colchão	97
4.2.3.1. Influência da adição de água na ligação interna	97
4.2.3.2. Influência da adição de água na flexão estática (MOR e MOE)	98
4.2.3.3. Influência da adição de água na absorção de água e inchamento em espessura	100
4.2.4. Influência do teor de resina	103
4.2.4.1. Influência do teor de resina na ligação interna.....	103
4.2.4.2. Influência do teor de resina na flexão estática (MOR e MOE)	105
4.2.4.3. Influência do teor de resina na absorção de água e inchamento em espessura	106
4.3. Avaliação comparativa entre os painéis homogêneos de partículas grossas com os de partículas finas	108
4.3.1. Tempo de aquecimento no miolo do painel	108
4.3.2. Influência do tempo de prensagem	110
4.3.2.1. Influência do tempo de prensagem na ligação interna	110
4.3.2.2. Influência do tempo de prensagem na flexão estática (MOR e MOE)	111
4.3.2.3. Influência do tempo de prensagem na absorção de água e inchamento em espessura	113
4.3.3. Influência da adição de água	116
4.3.3.1. Influência da adição de água na ligação interna	116
4.3.3.2. Influência da adição de água na flexão estática (MOR e MOE)	118
4.3.3.3. Influência da adição de água na absorção e inchamento em espessura	120
4.3.4. Influência do teor de resina	124
4.3.4.1. Influência do teor de resina na ligação interna	124
4.3.4.2. Influência do teor de resina na flexão estática (MOR e MOE)	125
4.3.4.3. Influência do teor de resina na absorção de água e inchamento em espessura	126

5. CONCLUSÕES	129
6. RECOMENDAÇÕES	132
REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA	133
ANEXOS	136

LISTA DE TABELAS

	Página
1. DELINEAMENTO DA FASE EXPERIMENTAL	33
2. EFEITO DOS TRATAMENTOS NOS VALORES MÉDIOS DE TEMPO DE AQUECIMENTO ATÉ ATINGIR 95°C NO MIOLO DE AGLOMERADOS	50
3. EFEITO DA DENSIDADE NOS VALORES MÉDIOS DE LIGAÇÃO INTERNA EM AGLOMERADOS	55
4. EFEITO DA DENSIDADE NOS VALORES MÉDIOS DE FLEXÃO ESTÁTICA (MOR E MOE) EM AGLOMERADOS	56
5. EFEITO DA DENSIDADE NOS VALORES MÉDIOS DE ABSORÇÃO DE ÁGUA APÓS 2 E 24 HORAS DE IMERSÃO EM ÁGUA EM AGLOMERADOS	57
6. EFEITO DA DENSIDADE NOS VALORES MÉDIOS DE INCHAMENTO EM ESPESSURA APÓS 2 E 24 HORAS DE IMERSÃO EM ÁGUA EM AGLOMERADOS	58
7. EFEITO DO TEMPO DE PRENSAGEM NOS VALORES MÉDIOS DE DENSIDADE EM AGLOMERADOS PROGRAMADOS PARA 0,7 g/cm ³ DE DENSIDADE	59
8. MÉDIA DAS TEMPERATURAS ALCANÇADAS NO MIOLO DE AGLOMERADOS DEPOIS DE 4, 6 E 8 SEGUNDOS APÓS O TÉRMINO DA PRENSAGEM (95°C)	60
9. EFEITO DO TEMPO DE PRENSAGEM NOS VALORES MÉDIOS DE LIGAÇÃO INTERNA EM AGLOMERADOS	60
10. EFEITO DO TEMPO DE PRENSAGEM NOS VALORES MÉDIOS DE FLEXÃO ESTÁTICA (MOR E MOE) EM AGLOMERADOS	62
11. EFEITO DO TEMPO DE PRENSAGEM NOS VALORES MÉDIOS DE ABSORÇÃO DE ÁGUA APÓS 2 E 24 HORAS DE IMERSÃO EM ÁGUA EM AGLOMERADOS.....	63

12. EFEITO DO TEMPO DE PRENSAGEM NOS VALORES MÉDIOS DE INCHAMENTO EM ESPESSURA APÓS 2 E 24 HORAS DE IMERSÃO EM ÁGUA EM AGLOMERADOS	64
13. EFEITO DO TEMPO DE PRENSAGEM NOS VALORES MÉDIOS DE ESPESSURA EM AGLOMERADOS	64
14. EFEITO DA ADIÇÃO DE ÁGUA NOS VALORES MÉDIOS DE LIGAÇÃO INTERNA PARA O TEMPO DE PRENSAGEM DE 1 E DE 2 MINUTOS APÓS ATINGIR 95°C NO MIOLO DE AGLOMERADOS	67
15. EFEITO DA ADIÇÃO DE ÁGUA NOS VALORES MÉDIOS DE MÓDULO DE RUPTURA PARA O TEMPO DE PRENSAGEM DE 1 E DE 2 MINUTOS APÓS ATINGIR 95°C NO MIOLO DE AGLOMERADOS	68
16. EFEITO DA ADIÇÃO DE ÁGUA NOS VALORES MÉDIOS DE MÓDULO DE ELASTICIDADE PARA O TEMPO DE PRENSAGEM DE 1 E DE 2 MINUTOS APÓS ATINGIR 95°C NO MIOLO DE AGLOMERADOS	69
17. EFEITO DA ADIÇÃO DE ÁGUA NOS VALORES MÉDIOS DE ABSORÇÃO DE ÁGUA APÓS 2 E 24 HORAS DE IMERSÃO EM ÁGUA, PARA O TEMPO DE PRENSAGEM DE 1 MINUTO APÓS ATINGIR 95°C NO MIOLO DE AGLOMERADOS	71
18. EFEITO DA ADIÇÃO DE ÁGUA NOS VALORES MÉDIOS DE ABSORÇÃO DE ÁGUA APÓS 2 E 24 HORAS DE IMERSÃO EM ÁGUA, PARA O TEMPO DE PRENSAGEM DE 2 MINUTOS APÓS ATINGIR 95°C NO MIOLO DE AGLOMERADOS	72
19. EFEITO DA ADIÇÃO DE ÁGUA NOS VALORES MÉDIOS DE DENSIDADE PARA O TEMPO DE PRENSAGEM DE 1 E DE 2 MINUTOS APÓS ATINGIR 95°C NO MIOLO DE AGLOMERADOS	73
20. EFEITO DA ADIÇÃO DE ÁGUA NOS VALORES MÉDIOS DE INCHAMENTO EM ESPESSURA APÓS 2 E 24 HORAS DE IMERSÃO EM ÁGUA PARA O TEMPO DE PRENSAGEM DE 1 MINUTO APÓS ATINGIR 95°C NO MIOLO DE AGLOMERADOS	74

21. EFEITO DA ADIÇÃO DE ÁGUA NOS VALORES MÉDIOS DE ESPESSURA EM AGLOMERADOS PARA O TEMPO DE PRENSAGEM DE 1 E DE 2 MINUTOS APÓS ATINGIR 95°C NO MIOLO	74
22. EFEITO DA ADIÇÃO DE ÁGUA NOS VALORES MÉDIOS DE INCHAMENTO EM ESPESSURA APÓS 2 E 24 HORAS DE IMERSÃO EM ÁGUA PARA O TEMPO DE PRENSAGEM DE 2 MINUTOS APÓS ATINGIR 95°C NO MIOLO DE AGLOMERADOS	76
23. EFEITO DO TEOR DE RESINA NOS VALORES MÉDIOS DE LIGAÇÃO INTERNA PARA PRENSAGEM ATÉ 95°C NO MIOLO DE AGLOMERADOS	80
24. EFEITO DO TEOR DE RESINA NOS VALORES MÉDIOS DE FLEXÃO ESTÁTICA (MOR E MOE) PARA PRENSAGEM ATÉ 95°C NO MIOLO DE AGLOMERADOS	81
25. EFEITO DO TEOR DE RESINA NOS VALORES MÉDIOS DE ABSORÇÃO DE ÁGUA APÓS 2 E 24 HORAS DE IMERSÃO EM ÁGUA PARA PRENSAGEM ATÉ 95°C NO MIOLO DE AGLOMERADOS	82
26. EFEITO DO TEOR DE RESINA NOS VALORES MÉDIOS DE INCHAMENTO EM ESPESSURA APÓS 2 E 24 HORAS DE IMERSÃO EM ÁGUA PARA PRENSAGEM ATÉ 95°C NO MIOLO DE AGLOMERADOS	83
27. EFEITO DO TEOR DE CATALISADOR NOS VALORES MÉDIOS DE LIGAÇÃO INTERNA PARA PRENSAGEM ATÉ 95°C NO MIOLO DE AGLOMERADOS	84
28. EFEITO DO TEOR DE CATALISADOR NOS VALORES MÉDIOS DE FLEXÃO ESTÁTICA (MOR E MOE) PARA PRENSAGEM ATÉ 95°C NO MIOLO DE AGLOMERADOS.....	85
29. EFEITO D TEOR DE CATALISADOR NOS VALORES MÉDIOS DE DENSIDADE EM AGLOMERADOS.....	86
30. EFEITO DO TEOR DE CATALISADOR NOS VALORES MÉDIOS DE ESPESSURA EM AGLOMERADOS	86

31. EFEITO DO TEOR DE CATALISADOR NOS VALORES MÉDIOS DE ABSORÇÃO DE ÁGUA APÓS 2 E 24 HORAS DE IMERSÃO EM ÁGUA PARA Prensagem até 95°C NO MIOLO DE AGLOMERADOS	87
32. EFEITO DO TEOR DE CATALISADOR NOS VALORES MÉDIOS DE INCHAMENTO EM ESPESSURA APÓS 2 E 24 HORAS DE IMERSÃO EM ÁGUA PARA Prensagem até 95°C NO MIOLO DE AGLOMERADOS	87
33. EFEITO DO TEOR DE RESINA NOS VALORES MÉDIOS DE TEMPO DE AQUECIMENTO PARA Prensagem até 95°C NO MIOLO DE AGLOMERADOS	90
34. EFEITO DA ADIÇÃO DE ÁGUA NOS VALORES MÉDIOS DE TEMPO DE AQUECIMENTO PARA Prensagem até 95°C NO MIOLO DE AGLOMERADOS	91
35. EFEITO DO TEMPO DE Prensagem NOS VALORES MÉDIOS DE LIGAÇÃO INTERNA EM AGLOMERADOS	92
36. EFEITO DO TEMPO DE Prensagem NOS VALORES MÉDIOS DE DENSIDADE EM AGLOMERADOS PROGRAMADOS PARA 0,7 g/cm ³ DE DENSIDADE	93
37. EFEITO DO TEMPO DE Prensagem NOS VALORES MÉDIOS DE FLEXÃO ESTÁTICA (MOR E MOE) EM AGLOMERADOS	94
38. EFEITO DO TEMPO DE Prensagem NOS VALORES MÉDIOS DE ABSORÇÃO DE ÁGUA APÓS 2 E 24 HORAS DE IMERSÃO EM ÁGUA EM AGLOMERADOS	96
39. EFEITO DO TEMPO DE Prensagem NOS VALORES MÉDIOS DE INCHAMENTO EM ESPESSURA APÓS 2 E 24 HORAS DE IMERSÃO EM ÁGUA EM AGLOMERADOS	96
40. EFEITO DA ADIÇÃO DE ÁGUA NOS VALORES MÉDIOS DE LIGAÇÃO INTERNA PARA O TEMPO DE Prensagem DE 1 E DE 2 MINUTOS APÓS ATINGIR 95°C NO MIOLO DE AGLOMERADOS	98
41. EFEITO DA ADIÇÃO DE ÁGUA NOS VALORES MÉDIOS DE MÓDULO DE RUPTURA PARA O TEMPO DE Prensagem DE	

1. INTRODUÇÃO

A atual tendência mundial, na qual o Brasil se insere, consiste no aumento da utilização de madeira proveniente de plantios e manejos sustentados. Neste contexto, o crescimento dos produtos de madeira reconstituída é de singular importância, uma vez que pode suprir em quantidade e qualidade as opções de mercado existente, assim como das que ainda podem vir a existir. Este tipo de indústria se caracteriza pela preocupação com a melhor e mais eficiente utilização da matéria-prima madeira, onde se objetiva a utilização total, restringindo ao máximo o desperdício ou perda. Ainda é necessário um longo caminho a percorrer para atingir tal objetivo, mas o avanço tecnológico dos últimos anos trilhou com competência este caminho, alcançando um aproveitamento nunca antes atingido, oferecendo produtos com maior qualidade e, além disso, novos e diversificados produtos que até então não existiam, a exemplo do MDF, OSB, Fineboard, entre outros.

Apesar dos recentes produtos inseridos no mercado nacional, como o MDF, o consumo de aglomerados continua em expansão, e para continuar no mercado, há necessidade de uma constante evolução para se atingir novas e direcionadas características nos painéis, a fim de conquistar novas utilizações.

Desta forma, para tal evolução, o conhecimento do comportamento da madeira sob diversas condições no ciclo de prensagem deve ser cada vez mais profundo, pois é fundamental para que se possa obter processos mais precisos, que fornecerão produtos melhores e mais homogêneos.

As empresas responsáveis pela produção de chapas de partículas, preocupam-se com um contínuo aprimoramento de seus produtos, principalmente com a competição do aglomerado com novos tipos de painéis surgidos recentemente no mercado. Desta forma, além da escolha das espécies e do processo produtivo, é preciso verificar e controlar outras variáveis, a fim de se obter painéis de melhor qualidade, mas aliados a um processo produtivo econômico.

Neste contexto, o controle efetivo da temperatura, umidade e tempo de prensagem, assim como outras variáveis, no ciclo de produção, tornam-se mais importantes e até decisivas. Então, o desenvolvimento da temperatura no interior do colchão de partículas, durante a prensagem, assume uma posição de destaque numa otimização efetiva do ciclo de prensagem. Para tanto, acredita-se que o controle preciso do desenvolvimento desta temperatura no interior do colchão, deve ser baseada em um monitoramento preciso e em tempo real durante o processo de prensagem. Esta possibilidade ao ser empregada pela indústria pode contribuir sobremaneira na obtenção de uma otimização efetiva do ciclo de prensagem, que ocorreria de forma individualizada para cada operação de prensagem.

1.1. OBJETIVOS

Este trabalho tem por objetivo analisar as interações de algumas variáveis no ciclo de prensagem em painéis aglomerados, levando-se em conta a transmissão de temperatura e o tempo de prensagem.

Através dos resultados nos ensaios físico-mecânicos, analisar os seguintes efeitos:

- densidade do painel;
- tempo de prensagem;
- adição de água nas camadas superficiais do colchão de partículas;
- teor de resina;
- teor de catalisador;
- geometria de partículas.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Parâmetros de processamento

2.1.1. Transferência de calor e umidade

Numa prensagem convencional à quente, de acordo com Maku (1959) citado por Hata et al (1989), quanto mais elevado o teor de umidade das partículas, menor será o tempo para o miolo do painel atingir 100°C. Entretanto, esta temperatura se mantém constante pelo tempo necessário até as partículas reduzirem sua umidade para níveis inferiores a 10% quando, então, a temperatura volta a subir.

De acordo com Iwakiri (1989), quanto mais elevada a temperatura de prensagem, maior será o fluxo de vapor. Esta condição permite uma melhor densificação das camadas mais internas dos painéis, o que resulta em resistência mais elevada em ligação interna, mas uma inferior resistência em flexão estática.

Segundo Strickler (1959), no início de um ciclo de prensagem, os pratos aquecidos ao tocar o colchão de partículas transfere este calor para as camadas superficiais deste, portanto, um gradiente de temperatura é criado. Este gradiente, de temperatura decrescente, tende a se reduzir durante o processo, visto que o miolo do painel também inicia seu aquecimento. Com o aquecimento do miolo do painel, um segundo gradiente se forma, desta vez, do centro do painel para as bordas através da linha central. O fluxo desta energia térmica, que se dá enquanto houver um gradiente de temperatura, ocorre nas formas de convecção, condução e radiação.

No caso de formação de painéis de aglomerados, a principal transferência de calor se faz pela convecção, que consiste na movimentação do vapor aquecido, seguido pela condução, que se resume na transmissão de calor pelo contato entre as partículas de madeira e, a radiação, neste caso, é desconsiderada. A compactação da madeira na prensagem aumenta a condução

de calor, uma vez que a madeira não é considerada uma boa condutora térmica, contudo, a convecção é a responsável pela maior rapidez na penetração do calor e, desta forma, a umidade desempenha um papel fundamental (Strickler, 1959).

No início da prensagem, há uma rápida transferência de calor para a superfície do colchão, provocando uma momentânea redução de temperatura dos pratos aquecidos, por 1 ou 2 minutos. Quando iguala-se as temperaturas dos pratos com a superfície do colchão, o ritmo de transferência de calor dos pratos para a madeira é regido pelo gradiente de temperatura. Entretanto, a movimentação do calor através do painel a partir da superfície é regido, em primeiro lugar, pelo teor de umidade. Ao iniciar a vaporização na superfície do painel, aumenta-se a pressão de vapor nos espaços de ar desta região e, por conseguinte, estabelece-se um gradiente de pressão de vapor no gradiente do painel. Na seqüência, outro gradiente se forma, do centro para as bordas do painel, através de um plano central (Strickler, 1959).

Durante o fluxo de vapor, ocorre uma condensação do vapor nas camadas centrais mais frias do painel. A umidade condensada se acumula até o ponto em que a perda de umidade pelas bordas exceda a migração do vapor vindo da superfície. O acúmulo de umidade se dá nas regiões de baixa temperatura e, portanto, logo após a prensagem, as bordas concentram maior teor de umidade que na região central. Como o único escape de umidade se dá pelas bordas, estas se mantêm mais frias que o centro do painel durante a prensagem (Strickler, 1959).

Com o transcorrer da prensagem, de acordo com Strickler (1959), as camadas superficiais começam a secar e, por conseguinte, reduz-se a pressão de vapor nestas camadas, com a região central do painel passando a possuir uma pressão de vapor superior. Em outras palavras, reverte-se o gradiente de vapor. Contudo, o gradiente de temperatura não reverte, repelindo a umidade mais elevada do miolo.

Harless et al (1987), em um estudo de simulações, considerou o efeito de um gradiente inicial irregular de umidade em um colchão com 30 camadas. As 8 camadas mais superficiais, sendo 4 camadas em cada face do colchão, possuem 18% de umidade, e as 22 camadas restantes, mais internas, com 7%

de umidade. Nestas condições, mostrou que houve um sensível aumento da penetração do calor, com a umidade vaporizada tendo penetrado mais profundamente no painel antes de se condensar.

Considerando uma prensagem com injeção de vapor, de acordo com Hata et al (1989), utilizando-se partículas com 0% de umidade, a temperatura do miolo se mantém constante durante a injeção de vapor, quando esta se processa por um tempo prolongado. Neste caso, a entrada e saída de vapor na camada interna do painel entra em equilíbrio, e a pressão torna-se constante. Ao interromper a injeção de vapor, a pressão e a temperatura no miolo são reduzidas, devido a saída de vapor pelas bordas do painel. Todavia, em seguida, a temperatura volta a subir gradualmente.

A injeção de vapor por até 120 segundos não aumenta o teor de umidade das partículas para acima de 10%. Mas, ao empregar-se partículas com 11% de umidade, o processo transcorre similarmente ao das partículas secas, contudo, a temperatura na camada interna se reduz para 100°C com a parada da injeção de vapor, mas o aumento da temperatura que vem a seguir, se processa num ritmo mais lento do que no caso das partículas secas, devido ao fato de que parte da energia dos pratos aquecidos é parcialmente consumido na evaporação da água presente nas partículas (Hata et al, 1989).

2.1.2. Teor de resina

Kimoto et al (1964) citado por Kelly (1977), verificaram apenas uma leve melhora nas propriedades de resistência e inchamento quando aumentaram o teor de resina uréia-formaldeído de 10% para 15% (sólidos sobre madeira seca). Neste estudo foi empregado um longo tempo de prensagem (18 minutos), mas a temperatura da prensa foi relativamente mais baixa (130°C), em painéis de ½ polegada de espessura ($\pm 1,28$ cm).

Lehmann (1970) citado por Kelly (1977), empregando resina uréia-formaldeído, encontrou apenas uma leve melhora nos valores de MOR, MOE e inchamento em espessura, enquanto que na ligação interna a melhora foi

significativa, quando comparou os resultados do aumento de 4% para 8% do teor de resina.

É de se ressaltar que o teor de resina baseado no peso da madeira seca é muito dependente da geometria das partículas; entretanto, na prática, as dificuldades inerentes na determinação da área superficial por unidade de peso da madeira, limita a difusão no uso de cálculos por unidade de área superficial de partículas. Ou seja, para cada configuração de partícula há um teor ótimo de resina, dependendo do tipo de painel e da economia de produção (Kelly, 1977).

Eusebio e Generalla (1983), em estudo da distribuição da resina de acordo com o tamanho das partículas verificaram que esta distribuição por unidade de área diminuiu com a redução do tamanho das partículas.

A influência do pH sobre a solidificação da junta de cola é significativa. Foi verificado que álcalis ou ácidos extremos reduzem a resistência da liga de cola e, materiais celulósicos como a madeira, são particularmente afetados. Portanto, o pH influencia a solidificação do adesivo, e pode ser controlado (Kollmann, 1975).

Os adesivos, então, operam em seus próprios e controlados pH's, destinados a produzir uma certa solubilidade, ritmo de solidificação, e o grau da solidificação, que é específico para cada formulação. É bom ressaltar que o pH da madeira, muitas vezes, entra em conflito com o do adesivo, a exemplo de que se uma fina linha de cola solidifica a um pH = 8, a madeira possuindo um pH = 4, causará um conflito com prováveis conseqüências. Além disso, adesivos que curam sob a atuação de catalisadores ácidos, a exemplo das uréias, provocam o inconveniente de uma cura demasiadamente rápida em madeiras ácidas, o que pode ocorrer numa indústria de chapas de partículas, ocasionando uma pré-cura antes da prensagem do painel (Marra, 1992).

Uma mudança no pH pode ocorrer como resultado de uma absorção de extrativos, e isto pode afetar o desenvolvimento da coesão, inibindo as reações de endurecimento. Em tempo, a madeira possui um valor de pH variável na faixa compreendida entre 3 e 6 (Marra, 1992; Iwakiri, 1998).

2.1.3. Condições de prensagem

A operação de prensagem é uma etapa extremamente crítica na produção de aglomerados. É nesta operação que muitas das propriedades físicas são definidas, especialmente aquelas influenciadas pelo gradiente vertical de densidade. As condições de prensagem mais importantes que afetam as propriedades dos aglomerados são o teor de umidade do colchão de partículas, a velocidade de fechamento da prensa, o tempo e a temperatura de prensagem (Kelly, 1977).

2.1.3.1. Teor de umidade

O teor de umidade se constitui em um fator decisivo no desenvolvimento do gradiente vertical de densidade, assim como no tempo total de prensagem.

O teor de umidade exerce influência sobre a resistência da madeira à compressão, pois o colchão de partículas com teores mais elevados de umidade atingem, sob pressão, uma desejada espessura em um período de tempo mais curto. Neste caso, a umidade atua em conjunto com a temperatura, proporcionando uma maior plasticização da madeira que, então, oferece menor resistência à compressão (Matos, 1988).

Quando a umidade das camadas superficiais do painel são vaporizadas, pelo contato com os pratos aquecidos da prensa, migram para o miolo do painel e, desta forma, a resina reage mais facilmente do que se fosse transferência de calor por condução. Entretanto, a umidade em excesso, ao migrar para as camadas internas do painel, impõe um ciclo de prensagem muito mais longo, a fim de eliminar essa umidade pelas bordas evitando a delaminação com a liberação da pressão e abertura da prensa. Outrossim, ressalva-se que umidade em excesso interfere na reação química de polimerização e condensação inerentes ao processo de cura da resina (Kelly, 1977).

Heebink et al (1972) citado por Kelly (1977), afirmou que 12% representa o teor de umidade ótimo para um colchão de distribuição uniforme de partículas. Umidades inferiores requerem pressões mais elevadas para consolidar o colchão e podem comprometer ligações entre partículas. Contudo, umidades superiores requerem ciclos de prensagem mais longos a fim de permitir que uma quantidade suficiente de água seja liberada.

Segundo Moslemi (1974), níveis demasiadamente elevados ou reduzidos de umidade na mistura de partículas, resultam em problemas operacionais, produzindo chapas com baixa qualidade. Todavia, o teor de umidade ideal depende de inúmeros fatores, como natureza do processo, tipo e dimensão das partículas, densidade da madeira, entre outros.

O teor de umidade, então, é um dos mais importantes fatores na manufatura de chapas de partículas. Na indústria, as partículas de madeira são secas a um teor de umidade entre 3 e 6% dependendo do tipo e do teor da resina (Moslemi, 1974; Kollmann, Kuenzi, Stamm, 1975; Tsoumis, 1991). Após a mistura das partículas secas com a resina, o teor de umidade eleva-se para uma faixa compreendida entre 8 e 14% (Tsoumis, 1991).

Partículas com umidade muito elevada, causam bolsões de vapor na região central da chapa durante a prensagem (Kollmann, 1975; Tsoumis, 1991). Tal efeito prejudica o desenvolvimento de uma resistência adequada na chapa, especialmente a perpendicular a superfície desta, que se torna muito reduzida. Além disso, partículas muito úmidas necessitam de um período de tempo mais longo na prensagem, o que reduz a capacidade de produção da indústria (Kollmann, 1975).

Em contrapartida, segundo Kollmann (1975), partículas secas em demasia também provocam adversidades, conforme a descrição a seguir:

- Risco de incêndios nos secadores;
- Descargas eletrostáticas perigosas em tubos transportadores, no caso das partículas serem transportadas pneumaticamente;
- Aumento nocivo da quantidade de pó na unidade industrial;
- As bordas das chapas, antes do esquadreamento, tendem a desagregar-se;

- Partículas muito secas são muito leves, e tendem a serem sopradas para fora das superfícies das chapas durante o fechamento da prensa.

Por outro lado, as partículas excessivamente secas ou úmidas, também influenciam o comportamento dos aditivos, e conduz a um tempo de prensagem muito longo por diversas razões (Kollmann, 1975).

Marian (1958) citado por Moslemi (1974), afirmou que a resistência máxima ocorre em uma faixa de umidade das partículas compreendida entre 8 e 12%. Kehr & Schoelzel (1968) citados por Moslemi (1974), em experimentos com chapas de partículas de três camadas com teor de umidade uniforme, com exceção das superfícies que receberam 100 gramas de água pulverizada por metro quadrado, mostraram que as resistências máximas em flexão, assim como de ligação interna, foram obtidas em chapas produzidas a partir de partículas com umidade entre 11% e 13,5%.

Mallari et al (1986), empregando madeira de *Shorea* sp., verificaram que o teor de umidade ótimo para as propriedades e qualidades de aglomerados, considerando diversos tipos de resinas, entre eles a UF, foi de 13%.

Um colchão com umidade elevada torna as partículas mais flexíveis, independente de sua densidade original. A umidade adicionada ajuda a comprimir melhor o colchão durante a prensagem à quente. Entretanto, a umidade em excesso no colchão requer um tempo total de prensagem mais longo, devido ao efeito retardante na cura da resina. Esta situação pode provocar a delaminação no miolo e, ocasionalmente, esta pode atingir a superfície do painel, durante a prensagem à quente (Moslemi., 1974).

Em contrapartida, o colchão com uma umidade excessivamente reduzida, provoca uma baixa transferência de calor da superfície para o miolo. Portanto, o painel obtido pode ter uma densidade desuniforme, além de uma aspereza superficial inaceitável. Além disso, provoca uma inibição do fluxo da resina e transferência, e as partículas muito secas geram uma alta absorção de resina, prejudicando a obtenção de uma liga suficiente na área de contato partícula-partícula. Contudo, o principal inconveniente associado à um colchão muito seco, está relacionado com a redução da área total de

contato na estrutura do colchão, devido à falta de flexibilidade, particularmente nas espécies de madeira densa (Moslemi, 1974).

Wong et al (1998), estudando chapas de aglomerados produzidas com partículas de *Shorea* spp. e isocianato como resina, verificaram que as chapas produzidas com alta umidade nas faces e baixa umidade na parte central, promovem um aumento na densidade máxima existente no gradiente vertical de densidade, em até 22% e 12%, respectivamente, em chapas de 0,5 e 0,7 g/cm³ de densidade média.

Outrossim, Maku et al (1959) citados por Moslemi (1974), em experimento empregando um tempo de prensagem inferior a cinco minutos, obtiveram melhores resultados de resistência ao cisalhamento em chapas produzidas a partir de colchão de partículas com umidades entre 14 e 18,5%.

Segundo Moslemi (1974), é aconselhável que chapas produzidas com madeira de baixa densidade possuam um teor de umidade relativamente inferior àquelas produzidas com madeiras densas. Neste caso, a manufatura de um painel requer um grande volume de partículas, que sofrerá uma compactação, com escape elevado de água na forma de vapor, em um curto intervalo de tempo, pois o ciclo de prensagem requerido é curto. Como a compactação das partículas dificulta a permeabilidade, o fluxo de vapor é prejudicado, e uma umidade em excesso no colchão de partículas pode produzir chapas de baixa resistência e, em casos extremos, causar estouros e bolhas nas chapas.

As ligações internas são proporcionais à densidade da parte central da chapa. Outrossim, considerando chapas convencionais, com distribuição normal de umidade no gradiente vertical destas, a resistência ao arrancamento de parafusos está correlacionado com a densidade média da chapa (Wong et al, 1998).

2.1.3.2. Tempo e temperatura de prensagem

A prensagem por pratos aquecidos é o método mais comum na indústria, mas devido ao fato do painel não ser uniformemente aquecido

através de sua espessura, a cura da resina também não é. Desta forma, a cura tem seu início nas camadas superficiais, desenrolando-se em direção às camadas internas, finalizando o processo no miolo do painel. Ressalva-se que o tempo de prensagem deve ser o suficiente para que o excesso de água migre para fora do painel através de suas bordas laterais, antes da finalização da prensagem. Um painel com a parte central bem curada só irá delaminar na abertura da prensa se a pressão de vapor superar a ligação interna do painel (Kelly, 1977).

Lehmann et al (1973) citado por Kelly (1977) afirmaram que, quando do emprego de resina uréia-formaldeído, temperatura acima de 93°C no miolo durante 15 segundos é suficiente para a realização da cura. Por sua vez, Heebink et al (1972) citado por Kelly (1977), descreveram que a cura ocorre a partir de 104°C de temperatura no miolo durante 30 a 42 segundos.

Subiyanto et al (1988), em estudos específicos sobre as características de cura de algumas resinas, verificaram que a resina uréia-formaldeído e a isocianato curaram antes da temperatura atingir 100°C.

Otlev (1971) citado por Kelly (1977), empregando umidade superficial de 11% a 13%, e no miolo de 3% a 5%, afirmou que maior umidade na superfície não elevou a umidade no miolo da chapa, mas acelerou a razão de cura da resina, provavelmente devido a mais elevada transferência de calor ocasionada pelo maior fluxo de vapor.

Tempos de prensagem mais curtos são desejáveis, pois proporcionam maior produtividade na indústria, além de reduzir o consumo de energia. Entretanto, a redução no tempo de prensagem pode acarretar uma redução nas propriedades de resistência dos painéis (Matos, 1988).

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

2.2. Propriedades físicas

2.2.1. Densidade

Segundo Maloney (1993), a densidade da madeira consiste na variável relativa à espécie da madeira mais importante quanto as propriedades do painel. Além disso, a densidade da madeira é um importante fator levado em consideração quando na escolha de espécies a serem utilizadas.

Os dois fatores mais importantes que controlam a densidade final média dos painéis de aglomerado são a densidade da madeira e a compactação do colchão na prensagem à quente. A mudança em um destes fatores requer um ajuste no outro, se a densidade média do painel permanecer constante (Kelly, 1977).

Considerando painéis de mesma densidade, mas com diferentes razões de compactação, não possuem as mesmas propriedades, pois o painel com razão de compactação inferior emprega espécies mais densas. Portanto, há uma interdependência entre os parâmetros de processamento nas propriedades da chapa produzida. Desta forma, isolar o efeito de um único parâmetro de processamento é muito difícil, podendo, no máximo, ser aproximado (Kelly, 1977).

A operação de prensagem, por sua vez, objetiva consolidar as partículas componentes do colchão em uma espessura desejada, polimerizando a resina entre as partículas individuais. Durante este processo, elimina-se boa parte dos espaços vazios do colchão comprimindo a estrutura da madeira e, em seqüência, assegura-se a retenção do colchão consolidado após a liberação da pressão com a abertura da prensa (Kelly, 1977).

A densidade média do painel, considerando uma determinada espessura, não é só dependente da quantidade e da densidade da madeira empregada que compõe o colchão mas, também, das condições de processamento anteriores à operação de prensagem como, por exemplo, da espécie botânica empregada, da preparação e secagem da madeira, do teor de resina e outros aditivos (Kelly, 1977).

De modo geral, em um painel de aglomerado convencional, se sua densidade for inferior à da madeira empregada, o resultado não será satisfatório (Larmore, 1959; Lynam, 1959; Suchsland, 1967; Hse, 1975 citados por Kelly, 1977). A compactação do colchão, para uma densidade média mais elevada que a da madeira empregada, permite uma melhor superfície de contato entre as partículas do colchão. Desta forma, há um melhor recobrimento das partículas pela resina, aprofundando o contato entre elas, reduzindo as lacunas (Kelly, 1977).

Portanto, de acordo com Maloney (1993), prefere-se o uso de espécies de baixa densidade (0,3 a 0,5 g/cm³), devido ao fato de que a madeira pouco densa permite sua compressão em um painel de média densidade, com a garantia de se formar um suficiente contato entre as partículas, permitindo uma boa ligação. Portanto, espécies mais densas não podem ser usadas na produção de painéis de média densidade por não atingirem uma boa ligação, mas podem ser empregadas na produção de painéis de densidade mais elevada.

O teor de umidade das partículas não influencia na densidade final média do painel, mas afeta o gradiente vertical de densidade deste. Como a resistência à compressão da madeira é inversamente relacionada com o teor de umidade, a pressão necessária para comprimir o colchão de partículas até uma determinada espessura, é inferior quando o teor de umidade aumenta. Contudo, o excesso de umidade deve ser removido do colchão antes da cura da resina e, se houver uma abertura da prensa antes da saída desta umidade, ocorre o perigo da delaminação, decorrente da saída do vapor durante a abertura da prensa (Kelly, 1977).

2.2.2. Gradiente vertical de densidade

Os aglomerados, segundo Kelly (1977), sendo formados em prensas de pratos aquecidos, não possuem densidade uniforme através de suas espessuras. Portanto, de acordo com Suo e Bowyer (1994), estes painéis se distinguem da madeira sólida e dos compensados por apresentarem um gradiente vertical de densidade. Este gradiente, normalmente apresenta alta

densidade próxima às faces e baixa no miolo. Durante a prensagem, segundo Winistorfer et al (1999), há uma interação da transferência de calor e umidade, com a velocidade de consolidação e as características do colchão de partículas, que então produzem a distribuição da densidade no colchão, na condição típica de alta na superfície e baixa no centro.

Segundo Kelly (1977), completado por Suo e Bowyer (1994), o gradiente de densidade é muito dependente da geometria das partículas, distribuição de umidade no colchão, razão de compactação, tempo de fechamento da prensa, temperatura dos pratos da prensa, reatividade da resina, e resistência à compressão das partículas. Suzuki e Miyamoto (1998), verificaram também que a densidade do painel e o teor de resina afetam o gradiente de densidade.

Certas propriedades dos painéis são afetadas pela forma do gradiente, por exemplo, um gradiente desuniforme de densidade melhora a resistência à flexão estática, a exemplo do MOR e MOE (Suo e Bowyer, 1994; Wong et al., 1999). Contudo, outras propriedades, a exemplo da tração perpendicular às faces do painel, assim como o cisalhamento interlaminar, são prejudicados (Kelly, 1977). Por outro lado, um gradiente uniforme de densidade melhora a ligação interna, em detrimento da resistência à flexão (Suo e Bowyer, 1994; Wong et al., 1999).

Os painéis com gradiente de densidade homogêneo têm suas propriedades mecânicas como MOR, MOE, ligação interna e resistência ao arrancamento de parafuso, altamente correlacionadas com a densidade média do painel (Wong et al., 1999).

Plath e Schnitzler (1974) citados por Kelly (1977), apresentaram uma alta correlação entre o gradiente vertical de densidade e a resistência a tração perpendicular às faces do painel. Como os ensaios das normas técnicas consideram a espessura total do painel, a ruptura ocorre no ponto mais fraco na direção da espessura.

De acordo com Kelly (1977), no início do processo de prensagem, as camadas superficiais do colchão são primeiramente aquecidas e, portanto, suas resistências à compressão são inferiores à das camadas internas que ainda se encontram mais frias. Segundo Suo e Bowyer (1994), sob uma

pressão constante, a resistência da madeira decresce com a elevação da temperatura e/ou umidade, tornando a compressão do colchão mais fácil sob altas temperaturas e elevado teor de umidade. Ou seja, o colchão recebe maior compressão nestas condições.

Desta forma, a compressão da estrutura da madeira ocorre primeiramente próximo à superfície do colchão e, se a prensa finaliza o seu fechamento antes de ocorrer a compressão da estrutura da madeira na camada interna, toda a compressão estrutural da madeira se localizará próximo da superfície, o que determina altas densidades nessas camadas, e baixas no miolo (Kelly, 1977).

Durante a prensagem, a cada redução da altura do colchão sob pressão por um determinado tempo, é considerado um esforço distribuído através da sua espessura. Se o colchão é dividido em um certo número de camadas de mesma espessura, cada camada recebe uma porção da pressão total. A magnitude da pressão recebida em cada camada, depende da temperatura e do teor de umidade presente na camada, ou seja, se a temperatura e/ou umidade forem superiores numa determinada camada, maior pressão ou deformação ela recebe (Suo e Bowyer, 1994).

Um método empregado no controle do gradiente vertical de densidade consiste no tratamento de choque com vapor. Esta técnica emprega o vapor para o rápido aquecimento do interior do painel, equalizando a razão de redução da resistência à compressão da madeira, através da espessura do painel. Portanto, como a resistência à compressão é inversamente proporcional ao teor de umidade, a umidade adicional proporcionada pelo vapor reduz essa resistência e a compressão se processa numa pressão inferior (Kelly, 1977).

Um método comum destinado a aumentar a transferência de calor durante a prensagem consiste na distribuição desigual de umidade através da espessura do colchão. Ou seja, em painéis homogêneos, borrifa-se água na superfície do colchão, e com a superfície a um teor de umidade superior ao miolo do painel, aumenta-se a transferência de calor, assim como o gradiente vertical de densidade (Kelly, 1977).

Após o aumento inicial de temperatura no miolo, há uma perda de calor, provavelmente, devido a perda de umidade na camada interna, assim como ao calor consumido na evaporação da água para a atmosfera através da linha central, e nem tanto pela liberação através da condensação da água que vem da superfície na forma de vapor (Maku et al, 1959; Strickler, 1959 citados por Kelly, 1977).

Strickler (1959) citado por Kelly (1977), descreveu que um alto teor de umidade nas camadas superficiais aumenta a densidade nestas camadas, assim como nas camadas intermediárias, mas ocorre um decréscimo no miolo do painel.

Heebink et al (1972) citado por Kelly (1977), consideraram que o teor e distribuição de umidade no colchão são as variáveis mais importantes na influência sobre o gradiente vertical de densidade.

Maloney (1970) citado por Kelly (1977), mostrou em estudos de aglomerados com teor de resina mais elevado nas faces do painel, que os mesmos apresentaram densidades 11% superiores nestas regiões quando comparados com painéis com teor de resina inferior. Entretanto, verificou-se que, sem o ajuste no teor de sólidos, o aumento no teor de resina significa, também, um aumento no teor de água e, por conseguinte, as diferenças no gradiente de densidade, neste caso, são devidas à diferença de umidade.

2.2.3. Absorção de água e inchamento em espessura

Os painéis aglomerados se contraem sob as mesmas condições da madeira sólida, entretanto, a magnitude dessas alterações dimensionais nos painéis é muito maior na direção da espessura.

2.2.3.1. Considerações

Segundo Vital e Wilson (1980), em aglomerados e flakeboards o aumento em adsorção de água está relacionado, principalmente, com a

exposição de condições de umidade relativa. Nos aglomerados, a alteração na umidade relativa se relaciona com fatores que afetam a adsorção de água na seguinte ordem decrescente de importância: tipo de resina; razão comprimento/espessura da partícula e densidade do painel.

O inchamento em espessura constitui-se em uma das propriedades mais importantes em termos de estabilidade dimensional em painéis. Esta propriedade pode ser afetada pela espécie da madeira, geometria das partículas, densidade dos painéis, teor de resina, teor de parafina, eficiência na aplicação da cola, e condições de prensagem (Brito, 1995).

Segundo Vital e Wilson (1980), a adsorção de água decresce com o aumento da densidade do painel, mas este decréscimo é menor quando em condições de umidades relativas altas. Em aglomerados, empregando-se resinas fenólicas ou uréicas, o menor incremento em adsorção de água deve ocorrer em painéis com alta densidade formados com partículas finas.

Estudos realizados por Hsu e Maloney (1989), demonstraram que a estabilização dimensional de aglomerados, confeccionados com uréia-formaldeído, pode ser realizada por um pré-tratamento com vapor antes da prensagem. Os resultados confirmaram uma melhora significativa em inchamento em espessura e expansão linear já a partir de 1 minuto de pré-tratamento. Com a adição de vapor por 3 a 4 minutos as propriedades físicas e mecânicas continuaram a melhorar, contudo, propriedades de resistência foram reduzidas com adição de vapor por períodos de tempo mais longos.

Sekino e Irle (1996), apresentaram resultados em que os painéis produzidos com prensagem à quente, têm suas partículas afetadas pela alta temperatura. A alta temperatura aumenta a acidez e cristalinidade das partículas e, por conseguinte, diminui a higroscopicidade. Mais especificamente, as partículas prensadas sob alta temperatura da prensa, apresentaram um nível de equilíbrio no teor de umidade correspondente a uma faixa de 73 a 93% das partículas não prensadas com calor. Outrossim, verificou-se diferenças de higroscopicidade entre a superfície e o miolo do painel. Essas diferenças foram maiores quando verificadas sob condições de baixas umidades relativas, enquanto que em umidades relativas acima de 80%, foi insignificante.

2.2.3.2. Densidade

A relação da densidade com o inchamento em espessura é muito discutido entre os pesquisadores. Vital et al (1974) citado por Kelly (1977), correlacionaram a densidade com o inchamento em espessura nos ensaios de imersão em água por 24 horas. Neste estudo, os painéis com 1,6 de razão de compactação absorveram menores quantidades de água do que os de 1,2. Ou seja, com maior razão de compactação, o painel se torna mais denso, e a absorção de água pelo painel é inferior devido a menor porosidade e maior quantidade de massa lenhosa e ligações interpartículas, provocando, então, uma penetração de água mais lenta. Também foi encontrado, com algumas exceções, um menor inchamento em espessura, provavelmente devido à baixa absorção de água ocasionada pela densidade mais elevada, além de uma provável ligação interpartículas mais forte.

Roffael e Rauch (1972) citados por Kelly (1977), realizaram ensaios de imersão em água empregando longos períodos de imersão. Neste caso, a absorção de água reduziu com o aumento da densidade, contudo, o inchamento aumentou. Então, a razão inchamento/absorção foi constante nos painéis menos densos durante 10 dias, enquanto que nos painéis de densidades mais elevadas, esta razão aumentou com o tempo de imersão, até atingir um limite máximo, e depois reduziu com o prolongar do processo de imersão. Este resultado reflete a baixa razão de inchamento decorrente da lenta difusão provocada pela baixa porosidade, em que a água é obrigada a seguir um caminho mais longo através dos componentes da massa de partículas.

Lehmann (1974) citado por Kelly (1977), também estudando os ensaios de imersão em água por períodos mais longos, comparou os resultados de 24 horas com os de 30 dias de imersão. Com 24 horas, os painéis mais densos apresentaram menor absorção e inchamento, enquanto que com 30 dias, o inchamento reverteu seu comportamento, tornando-se superior aos dos painéis menos densos, ou seja, resultados que refletem que o período de tempo de 24 horas não é suficiente para os painéis mais densos entrarem em equilíbrio de umidade na imersão, indo de encontro com a lenta razão de difusão da água nestes painéis.

O aumento do inchamento em espessura por imersão em água, segundo Xu e Winistorfer (1995), está correlacionado com a densidade da camada do painel. Os aglomerados, MDF e OSB estudados apresentaram altos valores de inchamento em regiões de superfície com densidades mais elevadas.

Suzuki e Miyamoto (1998), afirmam que os painéis expostos sob condições de 40°C de temperatura e 90% de umidade, apresentaram maiores expansões lineares com o aumento da densidade do painel.

2.2.3.3. Geometria das partículas

Trabalhos de Jorgensen e Odel (1961), Post (1958) citados por Kelly (1977), não apresentaram um efeito significativo do comprimento dos flakes na estabilidade em espessura do painel. Lehmann (1974) citado por Kelly (1977), também não encontrou efeito significativo do comprimento das partículas flakes no inchamento de painéis sob ensaio de imersão em água; contudo, flakes mais finos resultaram em um inchamento levemente inferior. Brumbaugh (1960), Heebink e Hann (1959) citados por Kelly (1977), por sua vez, verificaram uma menor estabilidade na espessura com flakes mais curtos, pois nesta condição há uma maior proporção de superfícies de topo, que possuem uma absorção muito maior, em relação à superfície total da partícula. Entretanto, segundo Moslemi (1974), partículas mais curtas e espessas produzem painéis com menor inchamento, mas com maior instabilidade linear, devido a maior proporção de partículas verticalmente posicionadas durante a formação do painel.

Vital, Wilson e Kanarek (1980), num estudo de efeito de parâmetros na estabilidade dimensional em Douglas fir, encontraram para aglomerados um ótimo resultado em expansão linear e inchamento em espessura quando empregaram partículas com 0,15 mm de espessura. Além disso, afirmaram que a estabilidade dimensional pode ser melhorada com a redução da densidade do painel.

A literatura, de modo geral, indica uma melhor estabilidade na espessura de painéis quando se utiliza partículas mais finas. A menor massa

de cada partícula em conjunto com o aumento do número de interfaces partícula-partícula, permite uma melhor dispersão do inchamento higroscópico nas lacunas interpartículas. Consequentemente, este inchamento nos espaços macroscópicos do painel, e não um inchamento interno das partículas, resulta em menor inchamento em espessura (Kelly, 1977).

2.2.3.4. Resina

Os efeitos da umidade na madeira, na formação e na performance da liga adesiva, são muitas e variadas. O princípio aceito é o de que com a elevação da umidade na cola, ocasiona elevação dos níveis de mobilidade, e vice-versa. Em termos de performance da liga adesiva, o fator chave é o de que o conteúdo de umidade causa alterações dimensionais, e tais mudanças provocam tensões na linha de cola (Marra, 1992).

Considerando a interação temperatura-umidade, ocorre uma migração da umidade que se afasta da fonte de calor. Esta ação altera a distribuição da umidade, produzindo gradientes de umidade por toda a montagem, perturbando o balanço de água na linha de cola. Desta forma, o interior da linha de cola receberá uma quantidade adicional de umidade e, portanto, isto irá elevar a mobilidade, que pode conduzir a condições de uma linha de cola “faminta” (Marra, 1992).

Madeiras de baixa densidade e alta porosidade são melhores umectadas mas, a presença de extrativos em excesso ou extrativos apolares (terpenos, ácidos graxos) produzem um efeito adverso. Outrossim, a secagem de madeira a altas temperaturas, acima de 160°C, resulta na redução da umectação pela inativação da superfície (Tsoumis, 1991).

O aumento no teor de resina, segundo Kelly (1977) e Moslemi (1974), melhora a estabilidade em espessura do painel, devido a melhora nas ligações interpartículas. Entretanto, acima de um determinado nível, o aumento no teor de resina não mais melhora a ligação, pois apenas eleva o recobrimento da partícula com a resina.

A elevação de 6 para 12% no teor de resina provoca um leve aumento na expansão linear e uma redução no inchamento em espessura (Suzuki e Miyamoto, 1998).

2.3. Propriedades mecânicas

2.3.1. Considerações

Na obtenção das partículas para a produção de aglomerados, normalmente emprega-se picadores de partículas, e este procedimento promove uma considerável destruição na estrutura da madeira, como quebra de parênquima, fibras libriformes e traqueídeos. Desta forma, a resistência mecânica das partículas obtidas é consideravelmente mais baixa do que a da madeira que as originaram. Ou seja, a estrutura final do painel representa uma unidade que possui vazios e rupturas, que reduzem a resistência mecânica, em vez de um elemento maciço (Razinkov e Murzin, 1997).

A interação entre as variáveis de processamento afetam bastante o resultado das propriedades, sendo que, em muitas instâncias, a separação dessas interações não é possível.

Na produção de aglomerados em laboratório, a saída do excesso de umidade se processa pelas bordas em menos tempo do que na indústria, em decorrência das reduzidas dimensões dos painéis confeccionados em laboratório. Por conseguinte, a indústria necessita de um tempo superior. Outrossim, a formação do colchão pelas indústrias é mais uniforme do que o realizado manualmente em laboratório. Desta forma, a variação de densidade através do painel industrial tende a ser menos pronunciada do que a verificada em laboratório (Kelly, 1977).

2.3.2. Resistência à flexão estática

2.3.2.1. Módulo de ruptura (MOR)

Os parâmetros influenciadores do MOR mais estudados são: densidade do painel, geometria e orientação das partículas.

O MOR é uma propriedade de relevada importância, pois determina a aplicabilidade dos painéis de partículas de madeira para uso estrutural (Iwakiri, 1989).

2.3.2.1.1. Influência da densidade no MOR

Estudos realizados por Hse (1975) citado por Kelly (1977), analisando painéis de aglomerado com diferentes densidades e várias espécies com distintas densidades, encontraram uma alta correlação entre a razão de compactação e o MOR. Ressalva-se que a razão de compactação foi definida como sendo a densidade do painel dividido pela densidade da madeira.

Vital et al (1974) citados por Kelly (1977), em estudo onde utilizaram espécies com alta variabilidade em densidade na produção de aglomerados de densidade constante, encontraram valores de MOR mais elevados quando a razão de compactação subiu de 1,2 para 1,6. Entretanto, mantendo-se a mesma razão de compactação, empregando madeiras com densidades diferentes, os valores em MOR obtidos não foram constantes como reportado por Hse (1975) citado por Kelly (1977), e sim, aumentaram linearmente com o aumento da densidade do painel, que no caso, foi decorrente de um aumento na densidade da madeira.

Stewart e Lehmann (1973) citados por Kelly (1977), também encontraram um aumento linear nos valores de MOR com o aumento da densidade do painel. Todavia, estes valores se reduziram com o aumento da densidade da madeira, ou seja, quando a razão de compactação decresceu.

A razão de compactação é diretamente proporcional à densidade do painel, considerando constante a densidade da madeira. Os resultados, de modo geral, indicam que os valores de MOR aumentam com a densidade do painel, por conseguinte, o aumento da razão de compactação eleva o MOR.

A densidade da superfície do painel afeta sensivelmente os valores de MOR, decorrentes dos esforços de flexão serem mais intensos nas camadas superficiais do painel. Portanto, os valores de MOR dependem do gradiente vertical de densidade. Teor de umidade mais elevado aumenta a compressibilidade das camadas superficiais durante a prensagem, o que resulta em maior densificação destas camadas e o MOR com valores mais elevados (Strickler, 1959; Heebink et al 1972 citados por Kelly, 1977).

2.3.2.1.2. Influência geometria das partículas no MOR

A dificuldade em encontrar uma geometria ideal das partículas, objetivando obter os melhores resultados em MOR, ou em qualquer outra propriedade, reside no fato da não uniformidade das seguintes variáveis que afetam o gradiente vertical de densidade: espécies, densidade média do painel, tipo e teor de resina e condições de prensagem. Por exemplo, uma dimensão ideal de partículas para o melhor resultado em MOR não necessariamente o seria para a estabilidade dimensional ou para ligação interna (Kelly, 1977).

Post (1961) citado por Kelly (1977), estabeleceu que a razão de esbeltez consiste no melhor indicador do efeito da geometria da partícula sobre os valores de MOR.

Brumbaugh (1960) citado por Kelly (1977), afirmou que o aumento no comprimento de partículas tipo "flake" de 1,27 a 10,16 cm elevou os resultados em MOR, entretanto, o aumento em espessura de 0,23 a 0,46 mm não promoveu alteração significativa em MOR. Então, indicou que para uma condição ótima em todas as propriedades do painel, requer-se uma razão de esbeltez, definido como a relação entre comprimento e espessura da partícula, de pelo menos 400. Contudo, considerando-se apenas os resultados dos

valores de MOR, estes se mostraram crescentes até uma razão de esbeltez de 250, permanecendo-se constante acima desta razão.

As pesquisas, de modo geral, mostram que a espessura das partículas possui mais influência nos resultados de MOR do que o comprimento delas, pelo menos em comprimentos acima de 5 cm. Nessas condições, os resultados de MOR ficam sensivelmente mais reduzidos quando as partículas têm sua espessura aumentada para acima de 0,51 mm (Kelly, 1977).

Eusebio e Generalla (1983) verificaram que, com a redução do tamanho das partículas, a distribuição da resina aumentou por unidade de peso, já que uma partícula de menor dimensão possui uma área exposta superior em relação ao seu peso, resultando em melhora nos valores de MOR e ligação interna.

Com relação à largura das partículas e sua influência nos valores de MOR, poucos estudos foram realizados.

Kusian (1968) citado por Kelly (1977), por sua vez, verificou um aumento nos valores de MOR com o crescimento da largura das partículas, mas quando esta se aproximou das dimensões do comprimento, os valores de MOR se reduziram.

2.3.2.2. Módulo de elasticidade (MOE)

Esta propriedade consiste de um importante indicador da rigidez à flexão. De maneira geral, MOE e MOR são afetados de modo similar por vários parâmetros de processamento. O aumento da densidade do painel, ou da superfície deste, assim como melhor alinhamento das partículas nas camadas superficiais, e teor de resina mais elevado, normalmente elevam os valores obtidos de MOE e MOR (Kelly, 1977).

Kelly (1977) citado por Xu e Suchsland (1998), também considera que o aumento do MOE pode-se dar pelo aumento no teor de resina de 0% até 4% ou 10%, dependendo do tipo de partícula e da resina empregada. Acima destes valores, o aumento do MOE se dá muito lentamente. Segundo Xu e Suchsland (1998), esta condição se explica pelo fato de que na fase inicial do aumento

de resina, mais e mais partículas são ligadas ao sistema, e quando todas elas estão conectadas, um acréscimo de resina promove apenas um crescimento muito pequeno no MOE.

Wong et al (1998), comparando resultados de painéis de aglomerado produzidos com teor homogêneo e heterogêneo de umidade no colchão de partículas, verificou um aumento significativo no MOE em painéis com alto teor de umidade próximo à superfície do colchão, independentemente da velocidade de fechamento da prensa.

2.3.2.2.1. Influência da densidade no MOE

Painéis aglomerados com a mesma densidade média, possuem valores de MOE mais elevados quando a densidade da madeira decresce, ou seja, em outras palavras, quando a razão de compactação aumenta.

Hse (1975) citado por Kelly (1977), analisando espécies de diferentes densidades, verificou o aumento do MOE devido a elevação da razão de compactação. Contudo, Vital et al (1974) citado por Kelly (1977), por sua vez, analisando duas razões de compactação em painéis de várias densidades decorrentes de várias misturas de quatro espécies exóticas, encontrou uma alta relação linear entre o MOE e a densidade do painel, sob uma determinada razão de compactação. Além disso, divergindo de Hse (1975) citado por Kelly (1977), concluiu que é possível um determinado valor de MOE ser obtido em duas diferentes razões de compactação, dependendo da densidade do painel.

Ressalva-se que não deve ser comparado diretamente os resultados apresentados por estes dois autores acima mencionados, visto que empregaram geometrias de partículas e resinas diferentes.

Xu e Suchsland (1998), em estudos de simulação, considerando painéis com a mesma razão de compactação, mas empregando-se espécies diferentes, mostraram que os valores de MOE foram superiores nos painéis que utilizaram espécies mais densas. Entretanto, ao se utilizar painéis de mesma densidade, os valores de MOE foram inferiores com madeiras mais densas. Ou seja, de acordo com a simulação, concluíram que os valores de MOE

aumentam linearmente com a razão de compactação mas, considerando a mesma razão de compactação, espécies mais densas proporcionam valores de MOE inferiores.

O gradiente vertical de densidade, segundo Geimer et al (1975) citado por Kelly (1977), mostrou uma influência muito forte sobre o MOE. Muitos pesquisadores, a fim de evitar o efeito do gradiente vertical de densidade, empregam constantes razão de fechamento da prensa, temperaturas e teor de umidade.

Heebink et al (1972) citado por Kelly (1977), considerando painéis com gradiente vertical de densidade decorrente de teores de umidades diferenciados entre superfície e o miolo, assim como Bismark (1974) citado por Kelly (1977), em painéis com gradiente vertical de densidade decorrente do aumento da velocidade de fechamento da prensa, verificaram a relação efetiva do gradiente vertical de densidade na elevação dos valores de MOE.

Os valores obtidos de MOE são afetados pela densidade do painel, Shuler (1974), Lehmann (1974) citados por Kelly (1977), encontraram uma relação linear positiva entre o MOE e a densidade em todos os teores de resina empregados.

2.3.2.2.2. Influência da geometria das partículas no MOE

Os valores de MOE são muito dependentes do comprimento das partículas. Portanto, uma partícula mais comprida acarreta um painel com valores de MOE sensivelmente mais elevados (Heebink e Hann, 1959; Heebink et al, 1964; Lehmann, 1974 citados por Kelly, 1977).

Ao se considerar a espessura da partícula, o seu efeito não aparece tão bem definido. Stewart e Lehmann (1973) citados por Kelly (1977), não encontraram um efeito significativo na mudança da espessura das partículas, de 0,13 para 0,41 mm. Entretanto, Gatchell et al (1966) citado por Kelly (1977), por sua vez, verificaram um aumento nos valores de MOE quando reduziram a espessura das partículas de 0,76 mm para 0,38 mm, e deste para 0,18 mm. Nesta mesma linha de resultados, Lehmann (1974) citado por Kelly

(1977), verificou um decréscimo efetivo no MOE quando a espessura das partículas aumentou de 0,76 para 1,14 mm, utilizando 5 cm de comprimento de partícula e o mesmo teor de resina.

Desta feita, Rackwitz (1963) citado por Kelly (1977), encontrou uma razão comprimento/espessura ótima na faixa de 100 a 130. Ou seja, os valores de MOE aumentaram com a razão de esbeltez, evoluindo até a faixa citada, mas ao se aumentar esta razão para níveis acima desta faixa, os valores de MOE permaneceram constantes.

Considerando-se a largura das partículas, estas, por sua vez, só possuem uma leve influência nos valores de MOE, assim com no MOR.

Xu e Suchsland (1998), em estudos de simulação, verificaram que a influência do tamanho das partículas sobre o MOE pode ser explicado, pelo fato de que, as partículas pequenas podem ter uma maior tendência de orientação fora do plano, do que em relação às partículas maiores. Acredita-se que esta consideração seja a responsável pela redução do MOE citado pela literatura, em vez do efeito do tamanho da partícula em si. Pela simulação, os autores concluíram que o tamanho das partículas não influenciou o MOE, mas a orientação delas reduziu o MOE.

2.3.3. Ligação interna

O ensaio de ligação interna afere o grau de adesão entre as partículas, em amostras submetidas à esforços de tração perpendicular. A ruptura, que normalmente ocorre na porção média da sua espessura, corresponde a região de inferior nível de densidade e ligação entre as partículas (Iwakiri, 1989).

Ligação interna, ou resistência à tração perpendicular às faces do painel, tem seus valores elevados quando se aumenta a densidade do painel, o teor de resina, o tempo e temperatura de prensagem.

Schulte e Fruhwald (1996), encontraram uma alta correlação ($r = 0,81$) entre densidade média e a ligação interna em seus estudos. Contudo, em relação a densidade mínima, os resultados de correlação foram contraditórios e mais baixos, especialmente nos painéis homogêneos. Os rompimentos nos

ensaios de ligação interna, independente da espessura, se apresentaram entre 25 a 75% da espessura dos painéis, não sendo possível encontrar uma correlação entre a posição da falha e os parâmetros derivados do gradiente de densidade.

A maior densificação do painel quando ocorre nas camadas superficiais, formando o gradiente vertical de densidade, aumenta a resistência à flexão, contudo, a ligação interna tem seus valores reduzidos (Strickler, 1959; Plath e Schnitzler, 1974 citados por Kelly, 1977).

O aumento nos valores de ligação interna decorrente do aumento da razão de compactação de 0,9 para 1,5 foi verificado por Hse (1975) citado por Kelly (1977). Por outro lado, Vital et al (1974) citado por Kelly (1977), encontraram resultados opostos, ou seja, com o aumento da razão de compactação de 1,2 para 1,6 os valores de ligação interna reduziram. Estes resultados foram explicados como decorrentes de um aumento na quebra das partículas flakes com a elevação da compactação.

Com relação à umidade, ressalva-se que, segundo Lehmann (1960), Hart e Rice (1963), Gatchell et al (1966) e Heebink et al (1972) citados por Kelly (1977), teores excessivos de umidade no miolo, durante a prensagem, interferem negativamente na reação química da cura da resina.

Já considerando a temperatura no miolo do colchão, de acordo com Roffael et al (1972) citado por Kelly (1977), quando este atinge 104°C, a ligação interna melhora seus índices, desde que esta temperatura, assim como a maior parte da água removida na prensagem não interfiram na cura da resina.

No caso de prensagem com injeção de vapor, de acordo com Subiyanto, Kawai e Sasaki (1989), todos os painéis produzidos por este sistema possuem melhor estabilidade dimensional do que os painéis produzidos no sistema convencional de prensagem por pratos quentes. Outrossim, seus estudos apresentaram os melhores resultados em ligação interna quando empregaram temperaturas de vapor mais reduzidas (120 a 140°C) e tempo de prensagem mais longo (120 a 150 segundos).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Matéria-prima

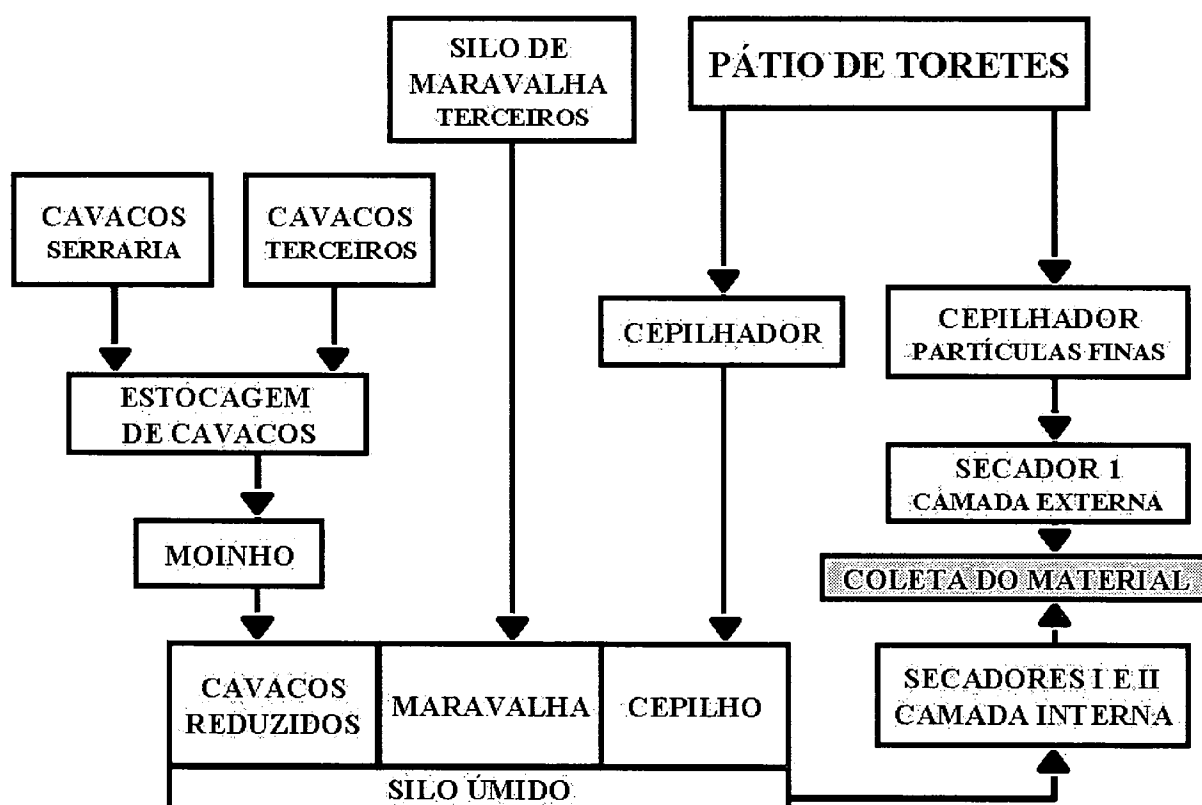
Neste trabalho empregou-se material particulado proveniente da Berneck Aglomerados S.A. A resina uréia-formaldeído e o catalisador cloreto amônio, utilizados pela empresa na manufatura de seus painéis, foram fornecidos pela mesma.

A matéria-prima fornecida pela empresa, era constituída de partículas de *Pinus* sp., provenientes de toretes oriundos de fazendas fornecedoras, partículas de serraria da própria empresa e de terceiros, e maravalha de terceiros.

O material particulado pronto obtido diretamente da linha de produção na saída dos secadores rotativos. Dois tipos de madeira particulada foram utilizados: o primeiro que era destinado pela Empresa à camada interna dos painéis, caracterizado por partículas grossas, e o segundo destinado à camada externa, onde predominam partículas finas (Figura 1).

Diferente do processamento da Empresa, as chapas produzidas neste estudo foram homogêneas, ou seja, de uma única camada.

FIGURA 1 - FLUXO INDUSTRIAL DE OPERAÇÕES DE PREPARO DA MATÉRIA PRIMA PARA AGLOMERADOS QUE ORIGINOU O MATERIAL PARTICULADO DO ESTUDO



O material coletado foi acondicionado em sacos plásticos, devidamente identificados, e em seguida conduzido ao laboratório para a manufatura dos painéis e dos posteriores ensaios.

3.2. Fabricação de chapas de madeira aglomerada

3.2.1. Delineamento experimental

Neste estudo, optou-se pelo ciclo de prensagem em que o parâmetro base do experimento fosse a temperatura de 95°C a ser atingida no miolo do painel. Portanto, deu-se início a fase experimental considerando-se as seguintes variáveis:

1. 2 tipos de granulometrias - o tipo 1 consistiu de material particulado fino, e o tipo 2, material particulado grosso;
2. 3 densidades para os painéis – 0,5, 0,7 e 0,9 g/cm³;
3. 3 umidades para o colchão de partículas – com adição de 0, 3 e 6% de umidade nas camadas superficiais do colchão, antes da prensagem. Cada camada corresponde, em peso, a ¼ do painel;
4. 3 níveis do catalisador cloreto de amônio – 2, 3 e 4%;
5. 2 níveis de resina uréia-formaldeído – 8 e 12%.

A adição de água nas camadas superficiais do colchão objetiva acentuar a transmissão de calor e desenvolver o gradiente vertical de densidade, contudo, deve ser evitado um prejuízo na consolidação do painel, assim como um ciclo de prensagem demasiadamente longo.

O delineamento experimental seguiu o apresentado na Tabela 1 e Figuras 2 e 3.

Após a realização dos ensaios físico-mecânicos, os resultados obtidos foram analisados pela adição de testes de correlação e por comparações entre médias pelo teste de Tukey, adotando-se o nível de significância de 5% de probabilidade. Outrossim, analisou-se as interações entre as variáveis estudadas.

TABELA 1 – DELINEAMENTO DA FASE EXPERIMENTAL

GRANULO	DENSIDADE (g/cm ³)	RESINA (%)	ÁGUA (%)	CAD (%)	TEMPO DE PRENSAGEM	REP.	TRAT.
GROSSA	0,5	8	0	2	até 95°C	5	T1
					até 95°C	5	T2
	0,7	8	0	2	até 95°C + 1 min	5	T4
					até 95°C + 2 min	3	T5
				3	até 95°C + 1 min	5	T6
					até 95°C + 2 min	5	T7
			6	até 95°C + 1 min	5	T8	
				até 95°C + 2 min	5	T9	
			0	até 95°C	5	T11	
				até 95°C	5	T12	
	0,9	8	0	2	até 95°C	5	T10
					até 95°C	5	T3
FINA	0,7	8	0	2	até 95°C	3	T13
					até 95°C + 1 min	3	T14
			3	até 95°C + 2 min	3	T15	
				até 95°C + 1 min	3	T16	
		12	até 95°C + 2 min	3	T17		
			até 95°C	5	T18		

Cad – catalisador adicionado; REP – repetições; TRAT – tratamento.

FIGURA 2 – FLUXOGRAMA DO DELINEAMENTO EXPERIMENTAL DOS AGLOMERADOS DE PARTÍCULAS GROSSAS

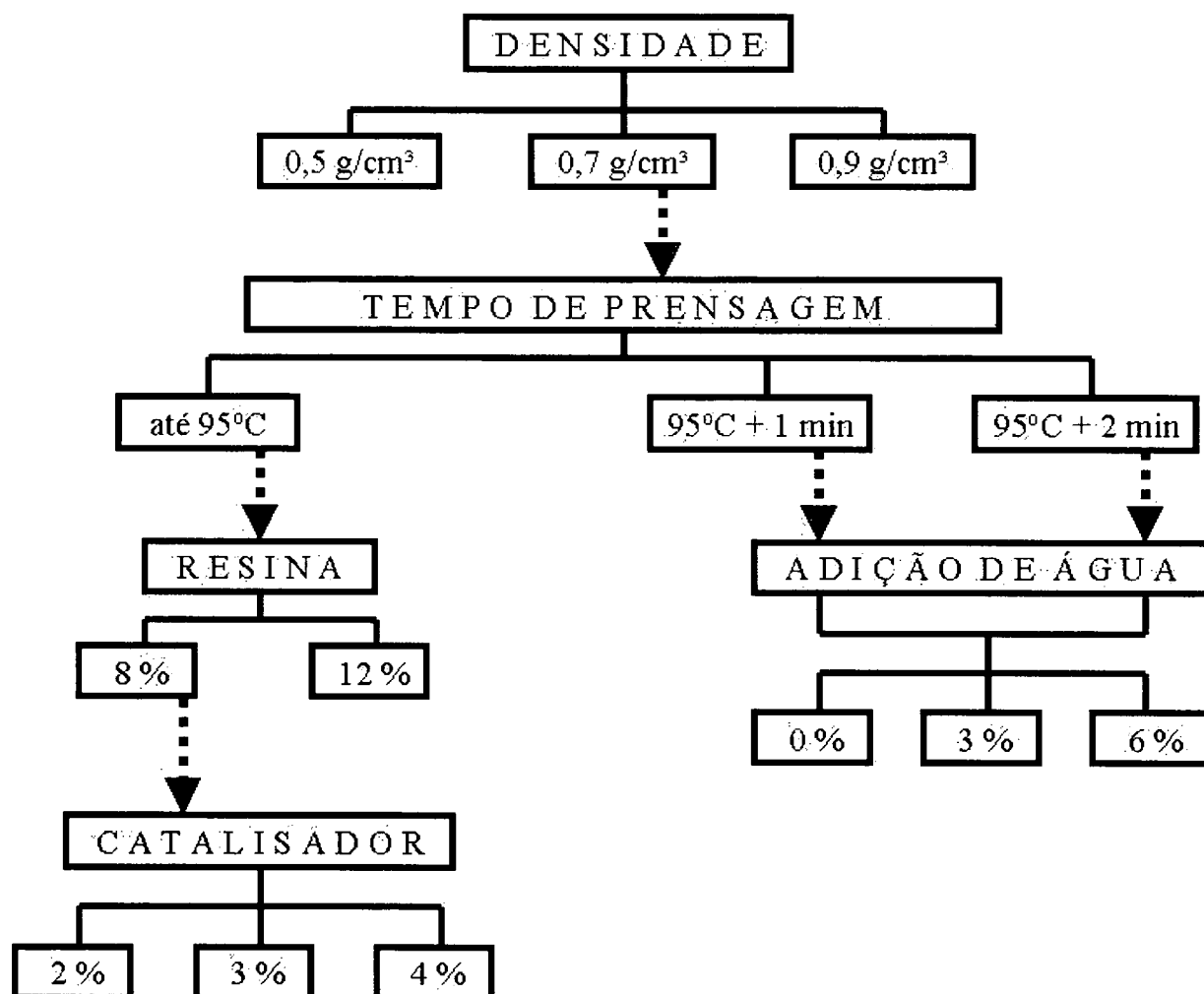
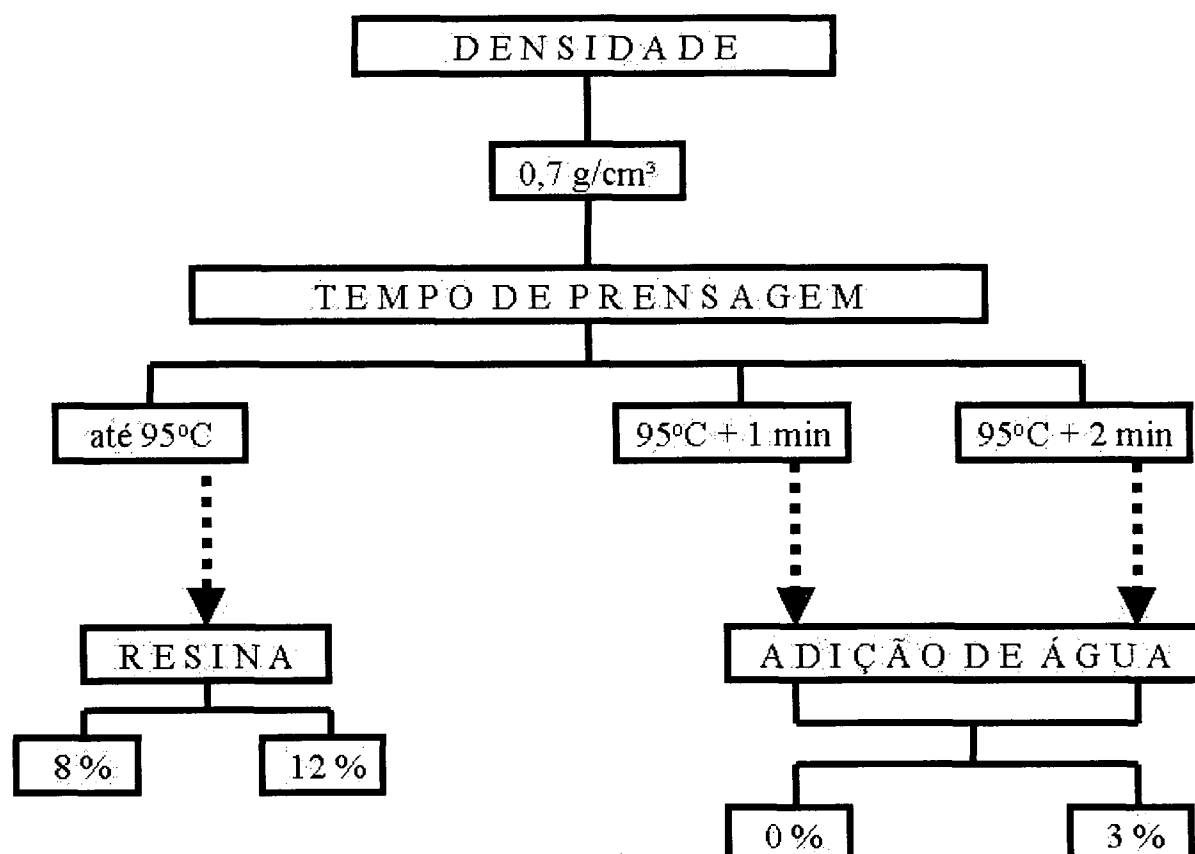


FIGURA 3 – FLUXOGRAMA DO DELINEAMENTO EXPERIMENTAL DOS AGLOMERADOS DE PARTÍCULAS FINAS



3.3. Quantificação do material

Foi considerado para o efeito de cálculo do material, as dimensões das chapas de 55 × 50 × 1,5 cm.

Considerando-se, também, que a umidade de equilíbrio foi de 12%, e que os tratamentos estudados empregaram, como variáveis, as densidades de 0,5, 0,7 e 0,9 g/cm³, os teores de 8 e 12% de resina uréia-formaldeído (UF) e 2, 3 e 4% do catalisador cloreto de amônio, adotou-se os cálculos descritos no ANEXO 2.

3.4. Formação do colchão

As partículas foram misturadas com a resina, por meio de pulverização em um aplicador tipo tambor rotativo, e então depositadas manualmente em uma caixa de formação nas dimensões de 50 × 55 cm. Utilizou-se placas de alumínio nas superfícies para evitar o contato direto do colchão com os pratos quentes da prensa.

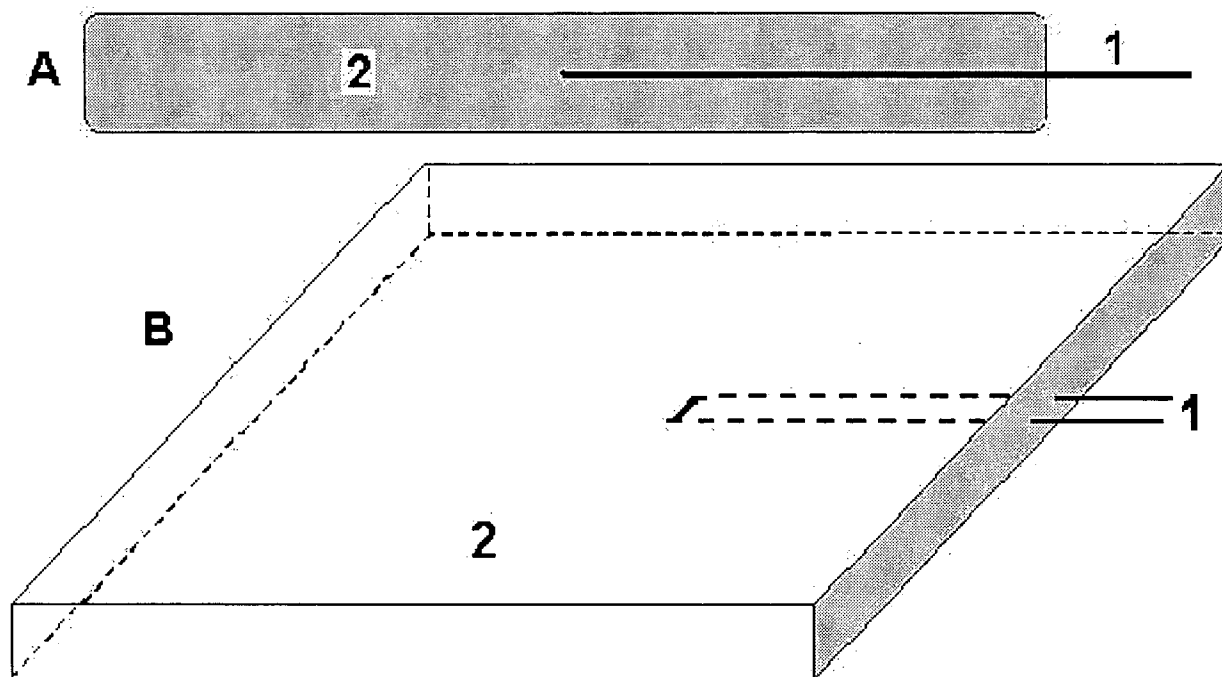
Este procedimento foi empregado em todos os tratamentos, incluindo os dois tipos de partículas.

3.4.1. Uso de termopares

Para a mensuração da temperatura no interior do colchão, empregou-se cabos termopares do tipo “J” instalados no interior destes (Figura 4), que eram conectados a um módulo condicionador de sinais analógicos, o qual era acoplado a uma placa de conversão analógica/digital instalada em um microcomputador (Figura 5), onde os dados gerados foram armazenados e processados. As leituras de temperaturas foram realizadas em intervalos de um segundo, durante os períodos de prensagem.

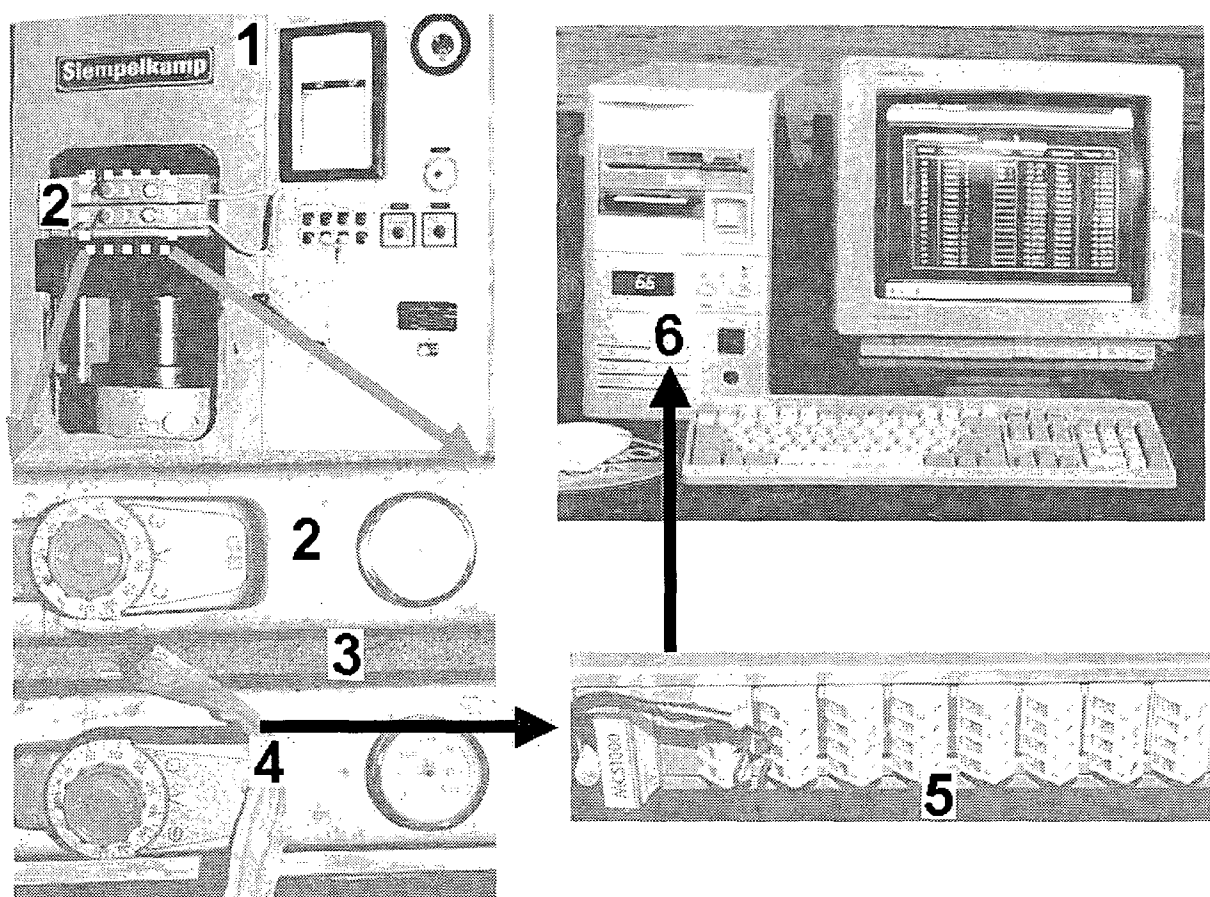
A colocação dos termopares foi realizada durante a formação do colchão de partículas já misturadas com a resina. Ou seja, após a pesagem, depositou-se 50% da mistura partículas-resina na caixa de formação, e então posicionou-se o termopar no centro da massa de partículas, terminando-se esta operação com a distribuição do restante da mistura.

FIGURA 4 – ESQUEMA DO POSICIONAMENTO DO CABO TERMOPAR NO COLCHÃO DE PARTÍCULAS ANTES DA Prensagem



A - visão do esquema em corte da espessura do colchão; B - visão do esquema em perspectiva do colchão; 1 - cabo termopar posicionado a $\frac{1}{2}$ da espessura do colchão; 2 - colchão de partículas.

FIGURA 5 – IMAGEM FOTOGRÁFICA APRESENTANDO O EQUIPAMENTO DESTINADO A OBTENÇÃO DE DADOS DO CICLO DE PENSAGEM DA FASE EXPERIMENTAL



1. Prensa hidráulica de pratos eletricamente aquecidos; 2. Detalhe dos pratos aquecidos em operação de prensagem; 3. Visão da borda de colchão de partículas sob operação de prensagem à quente; 4. Cabo termopar; 5. Módulo condicionador de sinais analógicos; 6. Microcomputador com placa de conversão analógica/digital instalada.

3.5. Prensagem

3.5.1. Pré-definição das condições fixas de prensagem

Com a conclusão da etapa de formação do colchão, este foi conduzido à prensa, onde efetivou-se a prensagem sob 40 kg/cm^2 de pressão específica e 150°C de temperatura.

Outrossim, como se objetivou o controle da temperatura no interior dos painéis, o início destas medições deu-se no momento em que a face superior do colchão entrava em contato com o prato aquecido da prensa, situação esta que ocorria no início do fechamento da prensa. Este posicionamento se baseou no fato de que o início da transmissão da temperatura, dos pratos da prensa para o colchão de partículas, iniciava-se no momento supracitado.

O tempo de fechamento da prensa, por sua vez, não foi considerado como variável neste estudo, mas correspondeu ao valor aproximado de 50 segundos.

3.5.2. Tempo de prensagem

O tempo de prensagem foi uma variável experimental considerada, mas não da forma convencional. O presente estudo baseou-se no tempo transcorrido até que o miolo do painel atingisse 95°C, mais os adicionais de tempo de 0, 1 e 2 minutos.

Registrou-se a temperatura dos painéis por até 8 segundos após o término da prensagem, para se verificar o seu comportamento.

3.6. Condicionamento

Após a conclusão da prensagem, os painéis foram identificados, esquadrejados e, então, conduzidos à câmara de climatização sob $20 \pm 3^\circ\text{C}$ de temperatura e 65% de umidade relativa do ar, a fim de que os painéis atingissem uma umidade de equilíbrio média em torno de 12%.

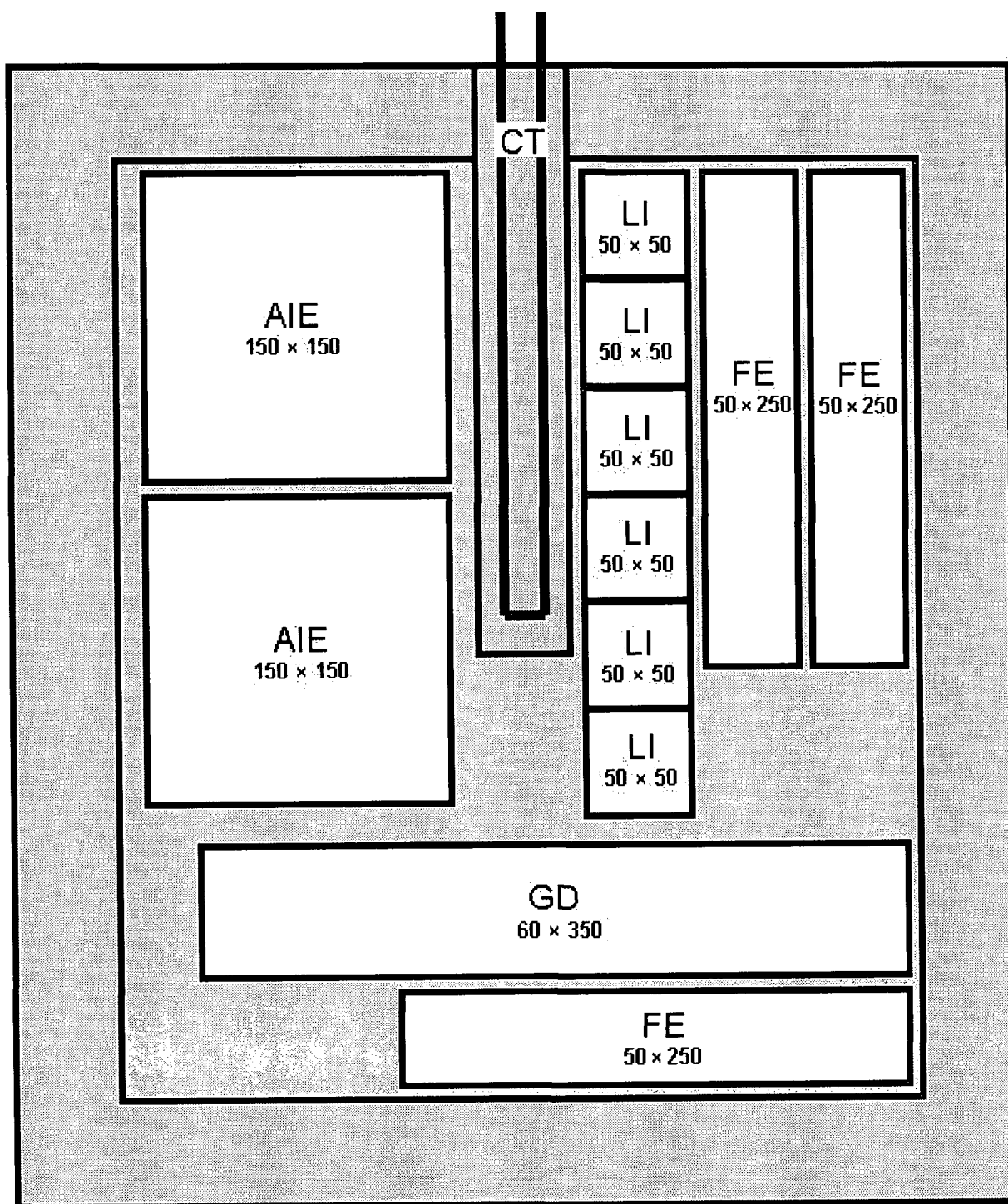
3.7. Avaliação das propriedades dos painéis

As seguintes propriedades dos painéis foram avaliadas pelas normas ASTM D-1037 (1999) e DIN 52362 (1982):

1. Ligação interna (6 corpos de prova por painel);
2. Propriedades mecânicas quanto a flexão estática - MOR e MOE (3 corpos de prova por painel);
3. Absorção de água e inchamento em espessura por imersão em água por 2 e 24 horas (2 corpos de prova por painel);
4. Gradiente de densidade do painel (1 corpo de prova por painel).

A distribuição dos corpos de prova em cada painel é apresentada pela Figura 6.

FIGURA 6 – ESQUEMA APRESENTANDO O POSICIONAMENTO DOS CORPOS DE PROVA OBTIDOS DOS AGLOMERADOS, COM A LOCALIZAÇÃO DO CABO TERMOPAR



CT – cabo termopar; AIE – corpo de prova para os ensaios de absorção e inchamento; FE – corpo de prova para flexão estática; GD – corpo de prova para gradiente de densidade; LI – corpo de prova para ligação interna.

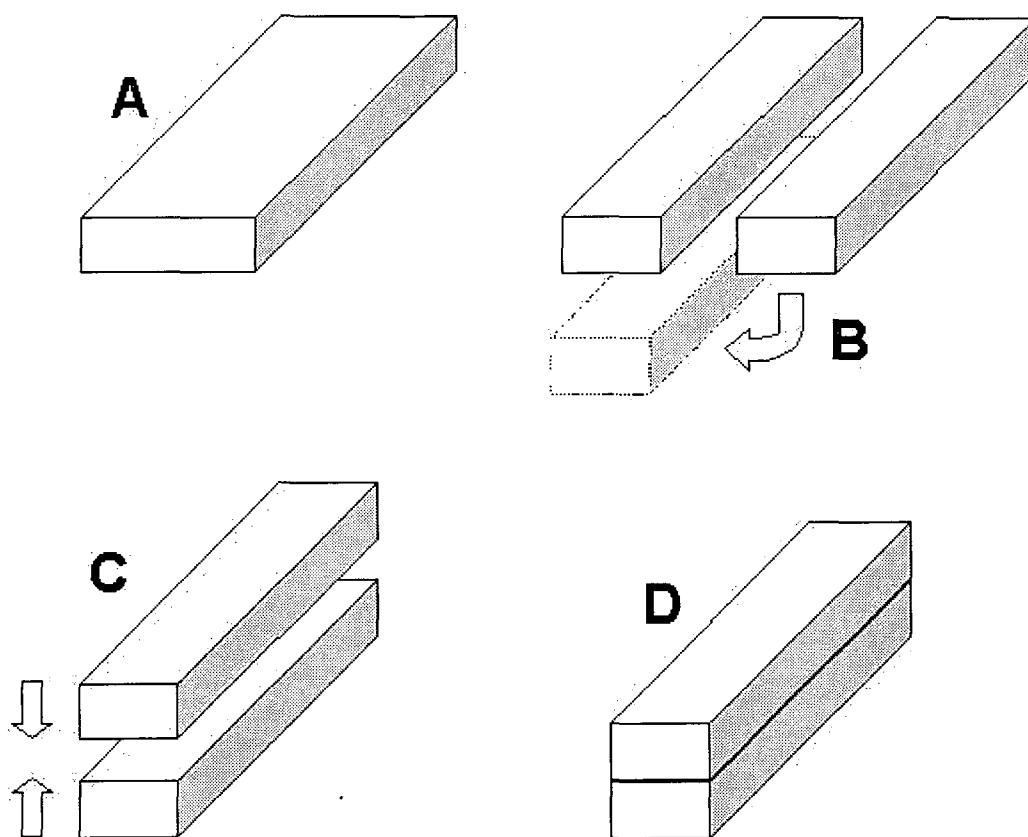
3.7.1. Gradiente vertical de densidade

O gradiente vertical de densidade foi avaliado para uma melhor análise dos tratamentos que envolveram adição de umidade nas camadas superficiais do colchão de partículas.

A metodologia empregada seguiu o procedimento realizado por Matos (1988), descrita a seguir:

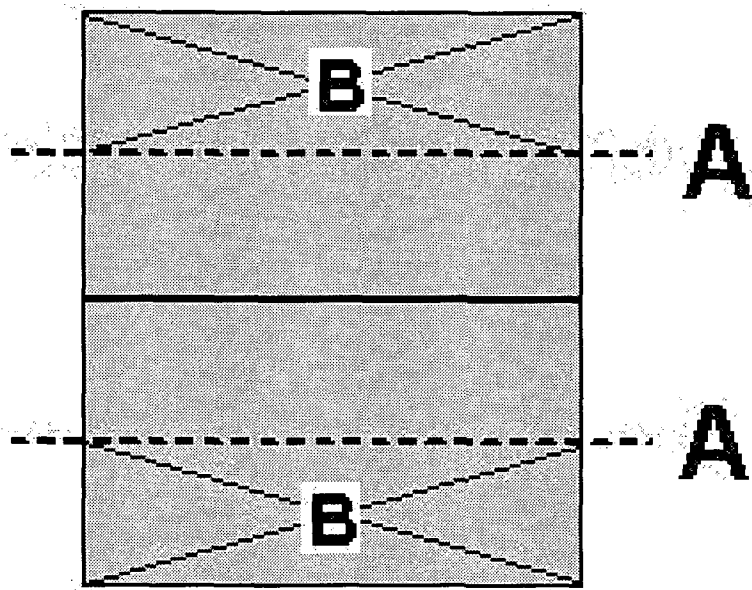
1. Os corpos de prova destinados ao ensaio de gradiente de densidade, com dimensões de 60 × 350 mm, foram cortados longitudinalmente ao meio, e as duas partes resultantes então coladas uma sobre a outra (Figura 7);
2. Após a colagem das peças, formou-se, então, uma nova peça, que foi mensurada nas suas dimensões e peso;
3. A partir de então, a peça foi passada numa plaina, para retirada de um milímetro, em uma das faces, sendo logo em seguida mensurada novamente na espessura e peso. Esta operação se repetiu até se atingir o miolo do painel e, a partir de então, repetiu-se esta seqüência de operações na outra face da peça, até atingir, novamente, o miolo do painel (Figura 8);
4. Realização do procedimento de cálculos para a determinação da densidade em cada camada retirada pela plaina, formando o gradiente vertical de densidade do painel;

FIGURA 7 – ESQUEMA DO PREPARO DO CORPO DE PROVA PARA O ENSAIO DE GRADIENTE DE DENSIDADE



A - corpo de prova obtido do painel (60 × 350 mm); B - corpo de prova cortado longitudinalmente ao meio, com indicação de posicionamento das peças resultantes; C - sobreposição das peças para colagem; D - peça colada pronta para o ensaio de gradiente de densidade.

FIGURA 8 – ESQUEMA DA RETIRADA DAS CAMADAS PELA PLAINA



A – miolo do painel; B – camadas retiradas pela plaina.

3.7.2. Procedimento de cálculos para a determinação do gradiente vertical de densidade

A determinação da densidade em cada camada retirada pela plaina, forma o gradiente vertical de densidade do painel. Portanto, adotou-se os cálculos descritos no ANEXO 3.

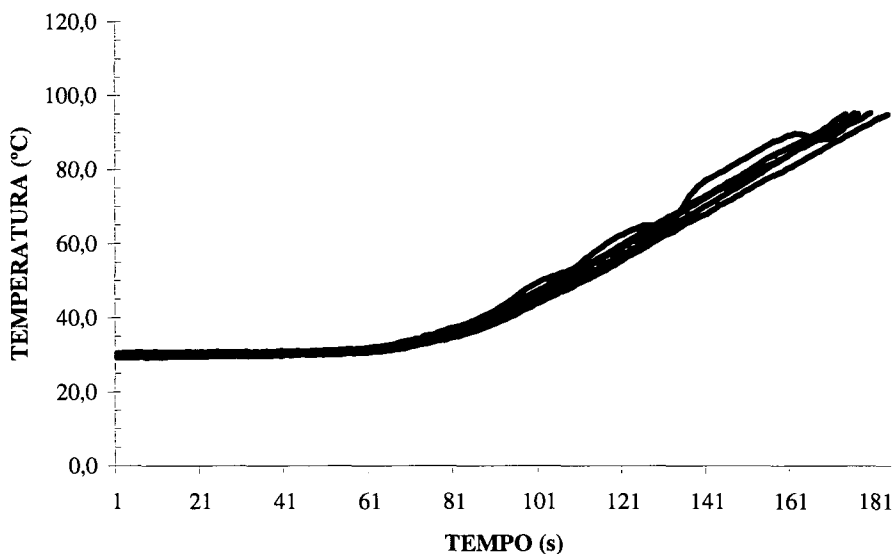
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Painéis homogêneos de partículas grossas

4.1.1. Evolução da temperatura em função do tempo

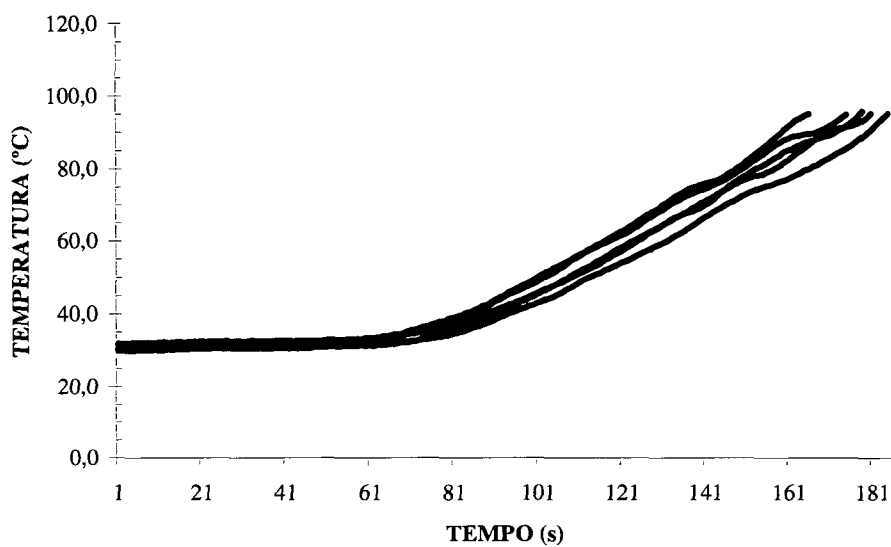
A evolução da temperatura durante a prensagem nos tratamentos estudados se apresentou, de modo geral, numa forma progressiva e regular (Figuras 9, 10, 11 e 16). Contudo, os tratamentos que empregaram a adição de 3% de água nas camadas superficiais do colchão de partículas, apresentaram uma oscilação da temperatura durante sua evolução (Figuras 12 e 13), apresentando temperaturas máximas de 115,7°C e 116,1°C registradas nos períodos de prensagem de 1 e de 2 minutos após o miolo atingir 95°C, respectivamente. No caso dos tratamentos que aplicaram 6% de água, a oscilação foi ainda mais acentuada, com temperaturas máximas registradas ligeiramente inferiores ao caso anterior, de 112,4°C e 113,7°C nos períodos de prensagem de 1 e de 2 minutos após o miolo atingir 95°C (Figuras 14 e 15). Verificou-se, desta forma, que a adição de água ocasionou uma acentuada oscilação de temperatura na fase de aquecimento do colchão, agravando-se quando do aumento do teor de água de 3% para 6%, além de proporcionar uma ligeira redução nas temperaturas máximas registradas, provavelmente devido ao excesso de água ainda presente no colchão no final da prensagem.

FIGURA 9 – EVOLUÇÃO DA TEMPERATURA ATÉ 95°C NO MIOLO DE AGLOMERADOS DE PARTÍCULAS GROSSAS SEM ADIÇÃO DE ÁGUA



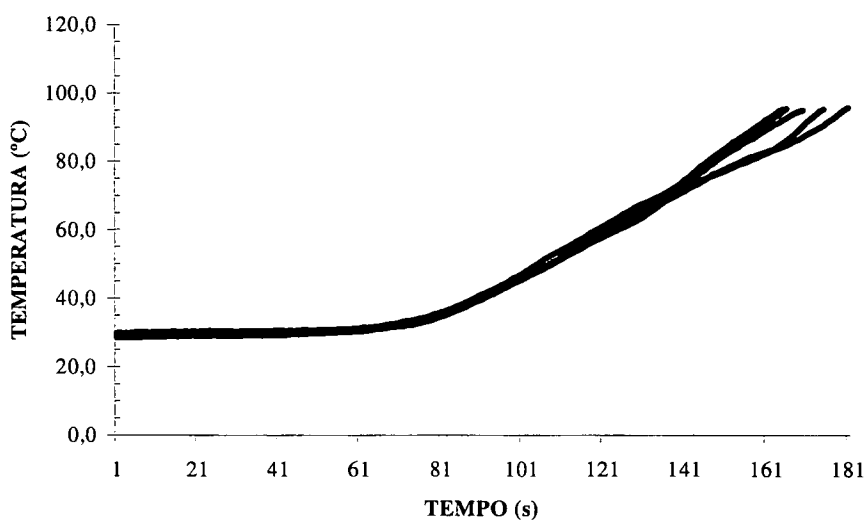
TRATAMENTO T2 (5 REPETIÇÕES)
TEMPO MÉDIO PARA ATINGIR 95°C: 177,2 s

FIGURA 10 – EVOLUÇÃO DA TEMPERATURA ATÉ 95°C NO MIOLO DE AGLOMERADOS DE PARTÍCULAS GROSSAS COM 3% DE CATALISADOR



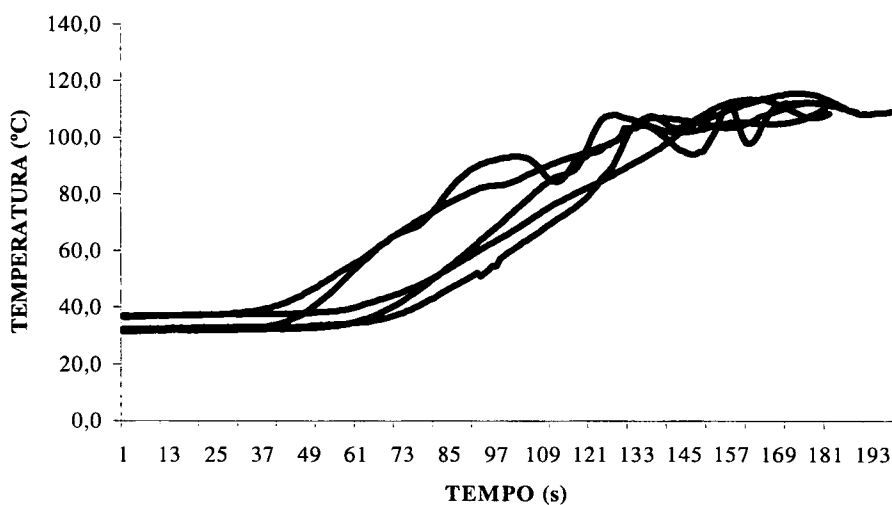
TRATAMENTO T11 (5 REPETIÇÕES)
TEMPO MÉDIO PARA ATINGIR 95°C: 176,2 s

FIGURA 11 – EVOLUÇÃO DA TEMPERATURA ATÉ 95°C NO MIOLO DE AGLOMERADOS DE PARTÍCULAS GROSSAS COM 4% DE CATALISADOR



TRATAMENTO T12 (5 REPETIÇÕES)
TEMPO MÉDIO PARA ATINGIR 95°C: 170,4 s

FIGURA 12 – EVOLUÇÃO DA TEMPERATURA ATÉ 1 MINUTO APÓS O MIOLO ATINGIR 95°C EM AGLOMERADOS DE PARTÍCULAS GROSSAS, COM ADIÇÃO DE 3% DE ÁGUA NAS CAMADAS SUPERFICIAIS



TRATAMENTO T6 (5 REPETIÇÕES)
TEMPO MÉDIO PARA ATINGIR 95°C: 125,8 s
 $T^{\circ}_{MAX} = 115,7^{\circ}C$

FIGURA 13 – EVOLUÇÃO DA TEMPERATURA ATÉ 2 MINUTOS APÓS O MIOLO ATINGIR 95°C EM AGLOMERADOS DE PARTÍCULAS GROSSAS, COM ADIÇÃO DE 3% DE ÁGUA NAS CAMADAS SUPERFICIAIS

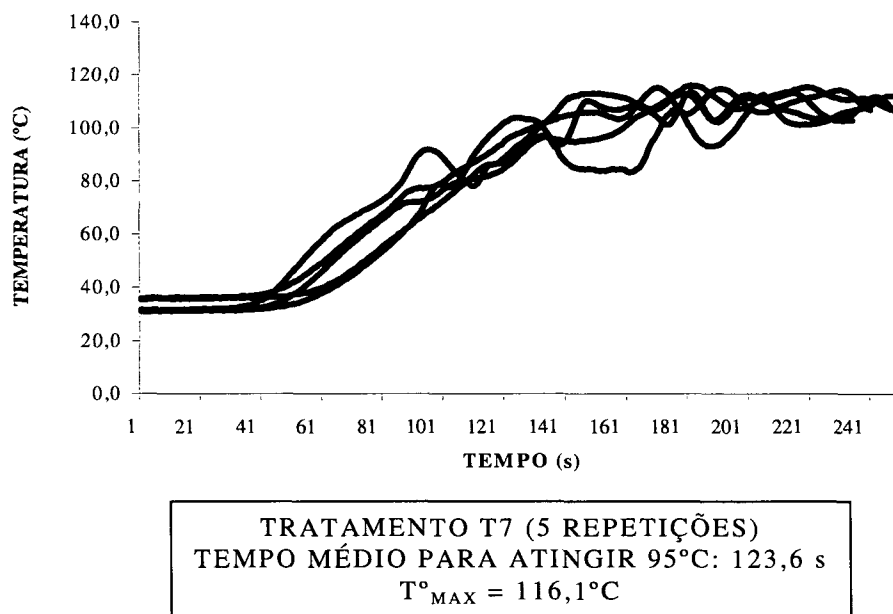


FIGURA 14 – EVOLUÇÃO DA TEMPERATURA ATÉ 1 MINUTO APÓS O MIOLO ATINGIR 95°C EM AGLOMERADOS DE PARTÍCULAS GROSSAS, COM ADIÇÃO DE 6% DE ÁGUA NAS CAMADAS SUPERFICIAIS

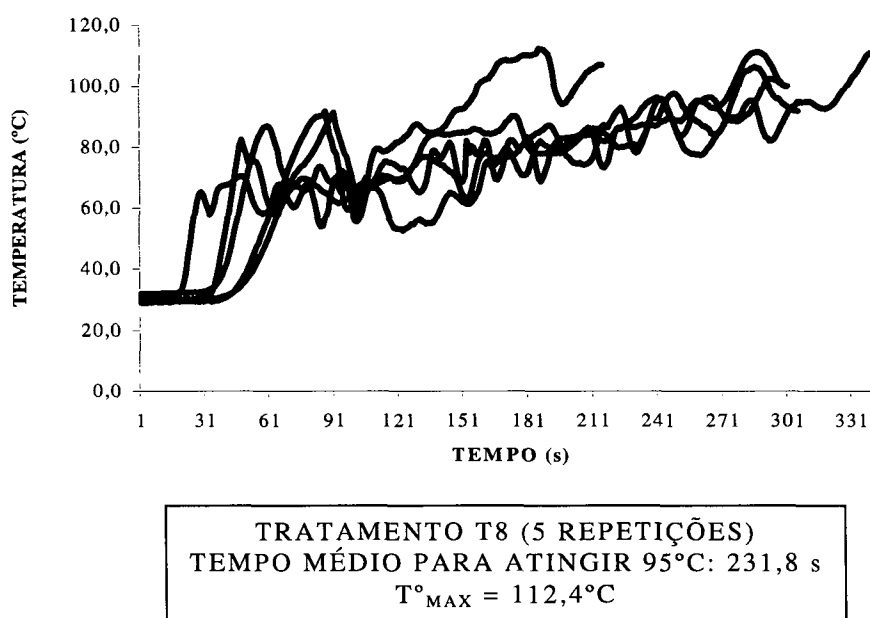
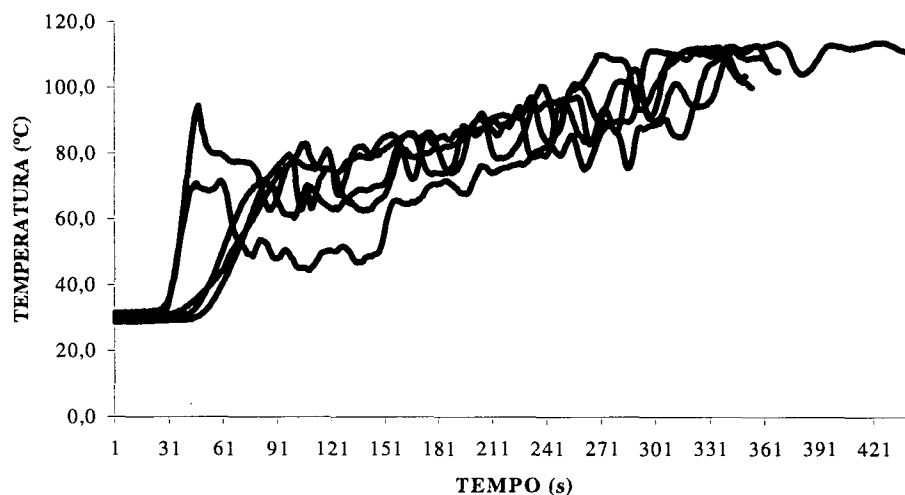
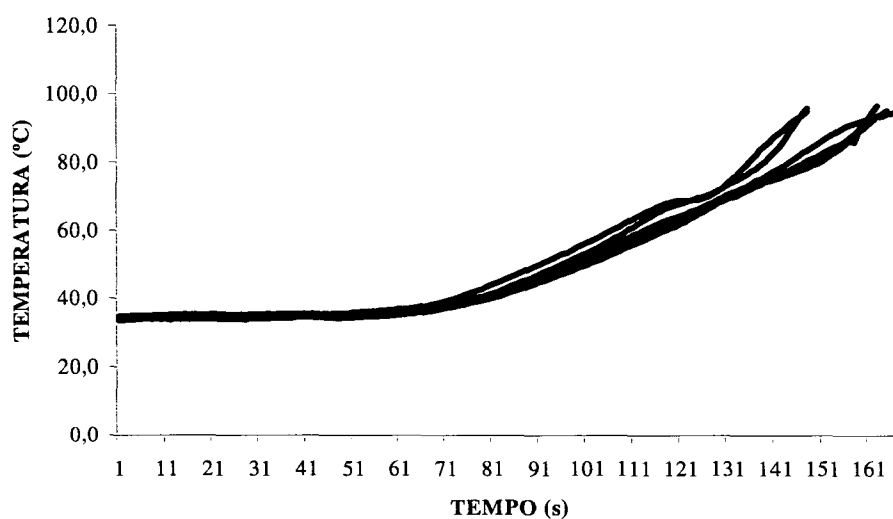


FIGURA 15 – EVOLUÇÃO DA TEMPERATURA ATÉ 2 MINUTOS APÓS O MIOLO ATINGIR 95°C EM AGLOMERADOS DE PARTÍCULAS GROSSAS, COM ADIÇÃO DE 6% DE ÁGUA NAS CAMADAS SUPERFICIAIS



TRATAMENTO T9 (5 REPETIÇÕES)
 TEMPO MÉDIO PARA ATINGIR 95°C: 254,2 s
 $T^{\circ}_{MAX} = 113,7^{\circ}C$

FIGURA 16 – EVOLUÇÃO DA TEMPERATURA ATÉ 95°C NO MIOLO DE AGLOMERADOS DE PARTÍCULAS GROSSAS COM 12% DE RESINA



TRATAMENTO T10 (5 REPETIÇÕES)
 TEMPO MÉDIO PARA ATINGIR 95°C: 157,4 s

A partir da análise das médias dos períodos de tempos levados para se atingir 95°C no miolo dos painéis (Tabela 2), observou-se algumas situações.

TABELA 2 – EFEITO DOS TRATAMENTOS NOS VALORES MÉDIOS DE TEMPO DE AQUECIMENTO ATÉ ATINGIR 95°C NO MIOLO DE AGLOMERADOS

TRATAMENTOS	TEMPO ATÉ 95°C (s)	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (%)
DENSIDADE		
T1 (0,5 g/cm ³)	135 c	4,20
T2 (0,7 g/cm ³)	177 b	2,20
T3 (0,9 g/cm ³)	238 a	4,10
TEOR DE RESINA		
T2 (8%)	177 a	2,20
T10 (12%)	157 a	6,14
ADIÇÃO DE ÁGUA		
T4 (0%)	181 c	5,97
T5 (0%)	169 c	2,97
T6 (3%)	126 d	5,55
T7 (3%)	124 d	5,26
T8 (6%)	232 b	20,40
T9 (6%)	254 a	15,15
TEOR DE CATALISADOR		
T2 (2%)	177 a	2,20
T11 (3%)	176 a b	4,10
T12 (4%)	170 a b	3,91

* Letras diferentes denotam diferenças estatísticas entre as médias ao nível de 95% de probabilidade.

4.1.1.1. Efeito da densidade no tempo de aquecimento do painel

Observou-se, de acordo com os resultados da análise estatística (Tabela 2 – densidade), que em painéis de densidades inferiores, o aquecimento se processa num ritmo mais rápido, visto que o painel possuirá mais espaços internos, facilitando a passagem dos vapores aquecidos, além de uma menor massa a ser aquecida. Por outro lado, uma densidade elevada proporciona poucos espaços para os vapores deslocarem, e somado com a elevada massa a ser aquecida, retarda o aquecimento. Segundo Strickler (1959) citado por Kelly (1977), a transmissão de calor pela translocação de vapor, denominada de convecção, é a mais rápida no ciclo de prensagem, enquanto que a condução, pelo contato físico entre as partículas, é sensivelmente mais lenta.

4.1.1.2. Efeito do teor de resina no tempo de aquecimento do painel

Os resultados da análise (Tabela 2 – teor de resina) mostraram que o aumento do teor de resina, de 8 para 12% não houve diferença estatística. Segundo Maloney (1970) citado por Kelly (1977), em estudos de aglomerados com teor de resina mais elevado nas faces do painel, verificou-se que, sem o ajuste no teor de sólidos, o aumento no teor de resina significa, também, um aumento no teor de água. Contudo, este efeito não foi suficiente para alterar o tempo de aquecimento até 95°C.

4.1.1.3. Efeito da adição de água no tempo de aquecimento do painel

De acordo com Maku (1959) citado por Hata et al (1989), quanto mais elevado o teor de umidade das partículas, menor o tempo para o miolo atingir 100°C. Entretanto, esta temperatura se mantém constante pelo tempo necessário até as partículas reduzirem sua umidade para níveis inferiores a 10% quando, então, a temperatura volta a subir. Kelly (1977), por sua vez,

declarou que a umidade em excesso, ao migrar para as camadas internas do painel, impõe um ciclo de prensagem muito mais longo.

Desta forma, pela Tabela 2 – adição de água, observou-se uma redução no tempo para se atingir 95°C nos tratamentos com adição de 3% de umidade nas camadas superficiais do colchão.

Verificou-se, contudo, uma oscilação na evolução da temperatura acima dos 95°C (Figuras 12 e 13), não verificada nos tratamentos sem adição de água, ou seja, a transmissão de calor foi irregular. Esta oscilação, entretanto, ocorreu em temperaturas próximas a 100°C e, segundo Strickler (1959), durante o fluxo de vapor, pode ocorrer uma condensação do vapor nas camadas centrais mais frias do painel. Além disso, após o aumento inicial de temperatura no miolo, há uma perda de calor, provavelmente, devido a perda de umidade na camada interna, assim como ao calor consumido na evaporação da água para a atmosfera através da linha central, e nem tanto pela liberação através da condensação da água que vem da superfície na forma de vapor (Maku et al, 1959; Strickler, 1959 citados por Kelly, 1977).

Portanto, a rápida redução do fluxo de vapor vindo da superfície, combinado com a condensação e troca de calor com as partículas e a perda da umidade da camada interna pelas bordas do painel, explicaria esta oscilação de temperatura. Ressalva-se ainda que, parte da energia dos pratos quentes foi absorvido na vaporização da umidade aplicada, assim como na umidade presente nas partículas. Aliado a isto, o fato do teor de 3% de água aplicado nas superfícies ter sido relativamente pequeno, permitiu seu rápido aquecimento e vaporização para o interior do painel, esgotando-se logo das camadas superficiais, permitindo o aumento da temperatura nestas camadas para valores acima de 100°C, que rapidamente se transmitiu para o miolo.

Segundo Hata et al (1989), no caso da prensagem com injeção de vapor, seu fluxo é contínuo e homogêneo, e a temperatura do miolo se mantém constante durante a injeção do vapor. Ao interromper o fluxo de vapor, a pressão e temperatura no miolo se reduzem para 100°C, devido a saída do fluxo de vapor para fora do painel, mas logo em seguida a temperatura volta a subir gradualmente.

No caso dos tratamentos com adição de umidade, o fluxo de vapor não é contínuo e nem homogêneo e, com a adição de 6% de umidade, em especial, a temperatura do miolo se elevou rapidamente nos momentos iniciais da prensagem mas, diferentemente das afirmações de Maku (1959) citado por Hata et al (1989), não atingiu rapidamente os 100°C, pois antes de se atingir 95°C, iniciou-se uma oscilação acentuada da mesma, demonstrando uma transmissão de calor bastante irregular (Figuras 14 e 15). Quanto ao tempo para se atingir 95°C, neste caso, foi estatisticamente superior aos tratamentos sem adição de água, e aos que aplicaram 3% de água (Tabela 2 – adição de água). Ou seja, o aumento da umidade aplicada nas camadas superficiais de 3% para 6% aumentou o tempo para se atingir 95°C. Neste caso, o teor de água aplicado nas superfícies de 6% consumiu mais energia dos pratos da prensa, que segundo Strickler (1959), no início da prensagem, a rápida transferência de calor para a superfície do colchão provoca uma momentânea redução de temperatura dos pratos aquecidos por 1 ou 2 minutos. Com a demora da eliminação do excesso de água pelas bordas, a temperatura não se eleva acima dos 100°C, retardando o aquecimento das camadas superficiais e, por conseguinte, do painel, assim como a oscilação de temperatura.

Em resumo, diferentemente do encontrado na literatura, um aumento no teor de umidade aplicado nas camadas superficiais, dependendo do nível do teor, pode aumentar o tempo para se atingir 100°C no miolo, embora o início da prensagem apresente um crescimento muito rápido da temperatura. Além disso, ocorre uma oscilação muito acentuada e demorada da temperatura no miolo, tornando um processo de aquecimento muito irregular e de difícil controle. Ou seja, os resultados obtidos mostram que a adição de umidade nas camadas superficiais deve ser efetuada com teores reduzidos de umidade já que o objetivo seria de aumentar o gradiente vertical de densidade a fim de obter melhores resultados em flexão estática.

4.1.1.4. Efeito do teor de catalisador no tempo de aquecimento do painel

Os resultados da análise (Tabela 2 – teor de catalisador) mostraram que o aumento no teor de catalisador, de 2% para 3% e 4% não ocasionou diferença estatística no tempo de aquecimento até 95°C. Embora o aumento nos teores de catalisador, sem compensação do teor de sólidos, aumenta-se a quantidade de água, este aumento não foi suficiente para alterar o tempo de aquecimento, com a temperatura elevando-se de forma regular como no tratamento com 2% de catalisador. Ou seja, o teor de água adicional é muito reduzido.

4.1.2. Influência da densidade do painel

4.1.2.1. Influência da densidade na ligação interna

Verificou-se diferenças estatísticas nos valores de ligação interna entre as densidades estudadas (Tabela 3). Outrossim, destaca-se uma variação acentuada entre os painéis de densidade 0,5 g/cm³ em relação aos demais.

De acordo com Larmore (1959); Lynam (1959); Suchsland (1967); Hse (1975) citados por Kelly (1977), se um painel aglomerado tiver sua densidade inferior à da madeira empregada, o resultado não será satisfatório.

Esta explicação vem de encontro com os resultados insatisfatórios encontrados na densidade de 0,5 g/cm³. Neste caso, a densidade das espécies mais utilizadas, *Pinus taeda* e *Pinus elliottii*, segundo Brito (1984), situam-se em torno de 0,44 e 0,47 g/cm³, respectivamente. Por conseguinte, para um painel projetado para densidade de 0,5 g/cm³, sob esta reduzida razão de compactação, a ligação entre as partículas torna-se pobre, verificado na Tabela 3 pela ligação interna inferior. Desta forma, a qualidade da chapa é bastante prejudicada, que no presente estudo produziu painéis com uma média em densidade de 0,44 g/cm³, abaixo do 0,50 g/cm³ esperado.

Hse (1975) citado por Kelly (1977), por sua vez, confirmou o aumento nos valores de ligação interna decorrente do aumento da razão de compactação de 0,9 para 1,5. O que confirma o resultado encontrado neste trabalho com as densidades de 0,7 e 0,9 g/cm³

TABELA 3 – EFEITO DA DENSIDADE NOS VALORES MÉDIOS DE LIGAÇÃO INTERNA EM AGLOMERADOS

TRATAMENTO	DENSIDADE (g/cm ³)	LIGAÇÃO INTERNA (kg/cm ²)	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (%)
T1	0,5	3,92 c	28,28
T2	0,7	8,74 b	11,81
T3	0,9	10,90 a	11,32

* Letras diferentes denotam diferenças estatísticas entre as médias ao nível de 95% de probabilidade.

4.1.2.2. Influência da densidade na flexão estática (MOR e MOE)

Geimer et al (1975) citado por Kelly (1977), afirmaram que o gradiente vertical de densidade mostrou uma influência muito forte sobre o MOE

Os resultados obtidos em valores de MOR e MOE (Tabela 4), que apresentaram tendências idênticas, evidenciaram uma variação crescente com o aumento da densidade, decorrente do aumento da razão de compactação. Destaca-se o resultado obtido pela densidade 0,9 g/cm³ em relação a de 0,7 g/cm³, com uma diferença bem superior ao verificado entre as densidades 0,5 e 0,7 g/cm³. Provavelmente, nos painéis de densidade 0,9 g/cm³, a densificação da superfície deve ter sido acentuada, contribuindo sobremaneira nos resultados.

TABELA 4 – EFEITO DA DENSIDADE NOS VALORES MÉDIOS DE FLEXÃO ESTÁTICA (MOR E MOE) EM AGLOMERADOS

TRATAMENTO	DENSIDADE (g/cm ³)	FLEXÃO ESTÁTICA (kgf/cm ²)	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (%)
MOR			
T1	0,5	52,76 c	18,89
T2	0,7	94,18 b	13,04
T3	0,9	139,46 a	8,99
MOE			
T1	0,5	6046 c	16,66
T2	0,7	10798 b	11,74
T3	0,9	13111 a	9,85

* Letras diferentes denotam diferenças estatísticas entre as médias ao nível de 95% de probabilidade.

4.1.2.3. Influência da densidade na absorção de água e inchamento em espessura

Roffael & Rauch (1972) e Lehmann (1974) citados por Kelly (1977), realizaram ensaios por imersão em água empregando longos períodos de imersão, e neste caso, o inchamento aumentou com a densidade, ou seja, em painéis densos a difusão é mais lenta.

Os resultados apresentados neste trabalho (Tabelas 5 e 6) estão em concordância com a literatura, ou seja, maior absorção de água nos painéis menos densos, e maior inchamento em espessura nos painéis mais densos.

Entretanto, diferente de Roffael e Rauch (1972) e Lehmann (1974) citados por Kelly (1977), não foi necessário aumentar o tempo de imersão acima de 24 horas para se verificar um inchamento mais elevado nos painéis mais densos. Deduz-se, então, que a difusão da água nos painéis mais densos não foi tão lenta e, provavelmente, decorrente do curto tempo de prensagem

dos painéis analisados (tempo até o miolo atingir 95°C), originando painéis de consolidação menos efetiva, o que facilita a penetração da água através de suas partículas. Outrossim, painéis mais densos possuem superior massa por volume e, por conseguinte, uma superior liberação de tensões de compressão.

TABELA 5 – EFEITO DA DENSIDADE NOS VALORES MÉDIOS DE ABSORÇÃO DE ÁGUA APÓS 2 E 24 HORAS DE IMERSÃO EM ÁGUA EM AGLOMERADOS

TRATAMENTO	DENSIDADE (g/cm ³)	ABSORÇÃO DE ÁGUA (%)	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (%)
2 HORAS			
T1	0,5	124,64 a	4,44
T2	0,7	99,49 b	2,90
T3	0,9	83,70 c	5,14
24 HORAS			
T1	0,5	133,73 a	4,58
T2	0,7	105,50 b	3,01
T3	0,9	91,12 c	4,62

* Letras diferentes denotam diferenças estatísticas entre as médias ao nível de 95% de probabilidade.

TABELA 6 – EFEITO DA DENSIDADE NOS VALORES MÉDIOS DE INCHAMENTO EM ESPESSURA APÓS 2 E 24 HORAS DE IMERSÃO EM ÁGUA EM AGLOMERADOS

TRATAMENTO	DENSIDADE (g/cm ³)	INCHAMENTO EM ESPESSURA (%)	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (%)
2 HORAS			
T1	0,5	10,59 c	30,35
T2	0,7	17,41 b	7,45
T3	0,9	24,44 a	12,33
24 HORAS			
T1	0,5	11,92 c	28,60
T2	0,7	19,68 b	6,90
T3	0,9	27,79 a	11,80

* Letras diferentes denotam diferenças estatísticas entre as médias ao nível de 95% de probabilidade.

Esta explicação baseia-se nas determinações de massa específica dos painéis produzidos. A Tabela 7 apresenta o resultado do teste de Tukey, em que os painéis produzidos apresentaram densidades estatisticamente diferentes entre os tempos de prensagem estudados. O tempo de prensagem mais longo, 2 min após o miolo atingir 95°C, proporcionou a densidade mais elevada, dentro do esperado. Portanto, houve consolidação mais efetiva neste caso, enquanto que os tempos de prensagem inferiores ocasionaram um aumento em espessura nos painéis após a prensagem, provavelmente devido à uma consolidação não efetiva, permitindo a liberação de tensões de compressão, o que reduziu a densidade.

TABELA 7 – EFEITO DO TEMPO DE PRENSAGEM NOS VALORES MÉDIOS DE DENSIDADE EM AGLOMERADOS PROGRAMADOS PARA 0,7 g/cm³ DE DENSIDADE

TRATAMENTO	TEMPO DE PRENSAGEM	DENSIDADE (g/cm ³)	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (%)
T2	até 95°C	0,58 c	3,00
T4	até 95°C + 1 min	0,61 b	3,64
T5	até 95°C + 2 min	0,69 a	3,98

* Letras diferentes denotam diferenças estatísticas entre as médias ao nível de 95% de probabilidade.

4.1.3. Influência do tempo de prensagem

4.1.3.1. Influência do tempo de prensagem na ligação interna

Segundo Roffael et al (1972) citado por Kelly (1977), quando o miolo do painel atinge 104°C, a ligação interna melhora seus índices. Para Lehmann et al (1973) citado por Kelly (1977) uma temperatura de 104°C no miolo durante 15 segundos é o suficiente para a realização da cura de resina uréia-formaldeído. Heebink et al (1972) citado por Kelly (1977), por sua vez, afirmou que a cura nestas mesmas condições necessita de 30 a 42 segundos. Contudo, Subiyanto et al (1988), verificaram que a resina uréia-formaldeído curou antes da temperatura atingir 100°C.

Desta forma, pode-se concluir que houve cura da resina no miolo dos painéis, mesmo naqueles onde o tempo de prensagem cessou ao se atingir 95°C nesta região. Ademais, por alguns momentos, após a abertura da prensa, a energia já absorvida pelos painéis foi suficiente para que o miolo aumentasse sua temperatura por alguns graus, geralmente atingindo temperaturas pouco acima de 100°C (Tabela 8), o que reforça o descrito na literatura, ou seja, houve temperatura suficiente para cura da resina no miolo do painel. Com isto, verificou-se uma igualdade estatística nos valores obtidos em ligação interna (Tabela 9).

A ligação interna é relacionada com a densidade média, contudo, apesar dos resultados apresentados na Tabela 7, os resultados não alteraram estatisticamente com o aumento da massa específica decorrente do aumento do tempo de prensagem. Pode-se concluir que o aumento da densidade, provavelmente, centrou-se no aumento do gradiente vertical de densidade, alterando-se pouco a densidade do miolo e, por conseguinte, mantendo-se os níveis de ligação interna.

TABELA 8 – MÉDIA DAS TEMPERATURAS ALCANÇADAS NO MIOLO DE AGLOMERADOS DEPOIS DE 4, 6 E 8 SEGUNDOS APÓS O TÉRMINO DA PRENSAGEM (95°C)

TEMPERATURA (°C) APÓS TÉRMINO DA PRENSAGEM			
término	término + 4 s	término + 6 s	término + 8 s
95	98,2	99,3	100,5

Tratamento: tempo até 95°C; 8% de resina; densidade 0,7 g/cm³; 2% de catalisador; sem adição de água.

TABELA 9 – EFEITO DO TEMPO DE PRENSAGEM NOS VALORES MÉDIOS DE LIGAÇÃO INTERNA EM AGLOMERADOS

TRATAMENTO	TEMPO DE PRENSAGEM	LIGAÇÃO INTERNA (kgf/cm ²)	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (%)
T2	até 95°C	8,74 a	11,81
T4	até 9 °C + 1 min	8,70 a b	12,88
T5	até 95°C + 2 min	7,86 a b	12,00

* Letras diferentes denotam diferenças estatísticas entre as médias ao nível de 95% de probabilidade.

4.1.3.2. Influência do tempo de prensagem na flexão estática (MOR e MOE)

Segundo a literatura, a razão de compactação é diretamente proporcional à densidade do painel, considerando constante a densidade da madeira. Os resultados, de modo geral, indicam que os valores de MOR aumentam com a densidade do painel, por conseguinte, o aumento da razão de

compactação eleva o MOR. A densidade da superfície do painel afeta sensivelmente os valores de MOR. Portanto, os valores de MOR dependem do gradiente vertical de densidade (Strickler, 1959; Heebink et al 1972 citados por Kelly, 1977).

Vital et al (1974) citado por Kelly (1977), encontrou uma alta relação linear entre o MOE e a densidade do painel, sob uma determinada razão de compactação. Xu e Suchsland (1998), concluíram que os valores de MOE aumentam linearmente com a densidade do painel ou razão de compactação. Heebink et al (1972), Bismark (1974) citados por Kelly (1977), verificaram a relação efetiva do gradiente vertical de densidade na elevação dos valores de MOE. Shuler (1974), Lehmann (1974) citados por Kelly (1977) encontraram uma relação linear entre o MOE e a densidade em todas os teores de resina empregados.

Baseado nestes conceitos, e ao analisar os dados contidos na Tabela 7, comparando-se com a da Tabela 10, verifica-se que os resultados foram diretamente proporcionais. Ou seja, a elevação do tempo de prensagem, nas condições empregadas neste trabalho, elevou a densidade dos painéis, e esta mudança de densidade é que alterou os resultados em MOR e MOE para níveis mais elevados, principalmente entre os tempos de prensagem de 1 e de 2 minutos após o miolo atingir 95°C (Tabela 7). Os resultados em MOR e MOE, entre os tempos de prensagem de até 95°C e 1 min após atingir 95°C, não apresentaram diferenças estatísticas.

TABELA 10 – EFEITO DO TEMPO DE PRENSAGEM NOS VALORES MÉDIOS DE FLEXÃO ESTÁTICA (MOR E MOE) EM AGLOMERADOS

TRATAMENTO	TEMPO DE PRENSAGEM	FLEXÃO ESTÁTICA (kgf/cm ²)	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (%)
MOR			
T2	até 95°C	94,18 b	13,04
T4	95°C + 1 min	102,47 b	11,86
T5	95°C + 2 min	161,38 a	12,87
MOE			
T2	até 95°C	10798 b	11,74
T4	95°C + 1 min	10956 b	13,29
T5	95°C + 2 min	18838 a	11,71

* Letras diferentes denotam diferenças estatísticas entre as médias ao nível de 95% de probabilidade.

4.1.3.3. Influência do tempo de prensagem na absorção de água e inchamento em espessura

A partir dos resultados da Tabela 7, verifica-se que a prensagem de menor intervalo de tempo (até atingir 95°C no miolo) originou painéis menos densos. Os painéis com tempo de prensagem até 95°C + 2 min foram mais densos, dentro dos níveis desejados, ou seja, a consolidação foi mais efetiva, enquanto que nos anteriores, houve uma situação inversa, decorrente da menor temperatura atingida do miolo, aliada ao excesso de umidade que não teve tempo suficiente para sair do colchão, prejudicando a cura da resina e permitiu que os painéis aumentassem em espessura após terminada a prensagem, como reação à pressão sofrida, reduzindo de forma significativa a compactação do painel, gerando densidades inferiores.

Através das Tabelas 7, 11 e 12, verifica-se que os painéis aumentaram a absorção de água com o decréscimo da densidade decorrente do aumento do tempo de prensagem de 1 min para 2 min após atingir 95°C, enquanto que no

inchamento em espessura, os resultados foram estatisticamente diferentes para os três tempos de prensagem, que diferentemente do citado pela literatura, apresentaram maior inchamento nos painéis mais densos, já verificado com 2 horas de ensaio. Este resultado pode ser explicado pelo fato de que, neste trabalho, os painéis menos densos decorrem de uma inferior densidade causada por uma consolidação não efetiva das partículas, o que provocou um aumento em espessura dos painéis logo após a prensagem, em torno de 19%. Portanto, não está se comparando painéis menos densos com mais densos simplesmente, e sim, painéis mais densos e efetivamente consolidados, com painéis menos densos e “inchados”, devido a consolidação não efetiva das partículas (Tabela 13).

TABELA 11 – EFEITO DO TEMPO DE PRENSAGEM NOS VALORES MÉDIOS DE ABSORÇÃO DE ÁGUA APÓS 2 E 24 HORAS DE IMERSÃO EM ÁGUA EM AGLOMERADOS

TRATAMENTO	TEMPO DE PRENSAGEM	ABSORÇÃO DE ÁGUA (%)	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (%)
2 HORAS			
T2	até 95°C	99,49 a	2,90
T4	95°C + 1 min	97,28 a	4,08
T5	95°C + 2 min	83,46 b	1,98
24 HORAS			
T2	até 95°C	105,50 a	3,01
T4	95°C + 1 min	103,22 a	3,92
T5	95°C + 2 min	92,49 b	2,09

* Letras diferentes denotam diferenças estatísticas entre as médias ao nível de 95% de probabilidade.

TABELA 12 – EFEITO DO TEMPO DE PRENSAGEM NOS VALORES MÉDIOS DE INCHAMENTO EM ESPESSURA APÓS 2 E 24 HORAS DE IMERSÃO EM ÁGUA EM AGLOMERADOS

TRATAMENTO	TEMPO DE PRENSAGEM	INCHAMENTO EM ESPESSURA (%)	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (%)
2 HORAS			
T2	até 95°C	17,41 c	7,45
T4	95°C + 1 min	20,11 b	12,28
T5	95°C + 2 min	33,41 a	4,18
24 HORAS			
T2	até 95°C	19,68 c	6,90
T4	95°C + 1 min	22,56 b	11,15
T5	95°C + 2 min	36,63 a	4,36

* Letras diferentes denotam diferenças estatísticas entre as médias ao nível de 95% de probabilidade.

TABELA 13 – EFEITO DO TEMPO DE PRENSAGEM NOS VALORES MÉDIOS DE ESPESSURA EM AGLOMERADOS

TRATAMENTO	TEMPO DE PRENSAGEM	ESPESSURA DO PAINEL (mm)	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (%)
T2	até 95°C	17,1 a	0,80
T4	95°C + 1 min	16,3 b	1,70
T5	95°C + 2 min	14,4 c	1,08

* Letras diferentes denotam diferenças estatísticas entre as médias ao nível de 95% de probabilidade.

4.1.4. Influência da adição de água na superfície do colchão

Neste procedimento foi abandonado o tempo mais curto de prensagem, ou seja, os ensaios de adição de água com tempo de prensagem correspondente ao tempo de aquecimento do miolo do painel até atingir 95°C. Esta decisão foi tomada em virtude dos painéis produzidos nesta condição de

tempo não terem consolidado o miolo em nível suficiente para manter a integridade do painel, ou seja, o miolo sofreu delaminação imediatamente após a abertura da prensa, evidenciando uma não consolidação. Desta forma, verificou-se a influência de um adicional de umidade aliado a um curto período de prensagem: não consolidação do miolo e a não formação do painel.

4.1.4.1. **Influência da adição de água na ligação interna**

Através dos resultados apresentados pela Tabela 14, verifica-se que houve um decréscimo significativo estatisticamente, comparado com 0% de água, nos valores de ligação interna para o tempo de prensagem de 1 minuto após o miolo atingir 95°C e adição de 3% de umidade. Já o tempo de prensagem mais longo, correspondente a 2 minutos após o miolo atingir 95°C, resultou em valor de ligação interna estatisticamente idêntico ao tempo de 1 min após 95°C, para os painéis que receberam 3 % de água.

Com a adição de 6% de água, os resultados (Tabela 14) em ligação interna foram estatisticamente diferentes entre os tempos de 1 e 2 min após atingir 95°C. Então, a adição de 6% requer um tempo de prensagem superior para que se possa melhorar os resultados. Neste caso, a água adicionada, mostrou-se excessiva, interferindo na cura da resina e, provavelmente, encontrava-se ainda em excesso no miolo do painel quando do término da prensagem.

Ressalva-se que, no caso da adição de 3% de água, o tempo para se atingir 95°C foi inferior em quase um minuto ao que não recebeu água adicional, ou seja, para a consolidação do painel houve a junção de 2 fatores negativos, o aumento da umidade com a redução do tempo de prensagem devido a maior velocidade na transmissão da temperatura para o miolo. No caso de 6% de umidade, entretanto, ocorreu o inverso, para se atingir 95°C no miolo foi necessário um tempo de mais de dois minutos em relação aos que receberam 3% de água, ou seja, o teor de água adicional teve uma influência negativa acentuada, requerendo um período de tempo de prensagem superior

ao que foi aplicado neste trabalho. Por conseguinte, a adição de 6% de água não favoreceu para a obtenção de menores tempos de aquecimento.

Verifica-se que houve uma melhora nos níveis de ligação interna quando do aumento para 2 minutos no tempo de prensagem na adição de 3% de água, embora com valores relativamente próximos, mas ainda não o suficiente para se atingir os níveis atingidos pelos painéis sem adição de água. Ou seja, seria necessário um tempo um pouco mais elevado de prensagem. Ressalva-se que, no caso de adição de 3% de água, o tempo médio para se atingir 95°C no miolo do painel foi inferior em quase um minuto em relação aos painéis que não receberam água (Tabela 2), Desta forma, o tempo total de prensagem com a adição de 3% de água é inferior. Provavelmente, um adicional de tempo seria suficiente para um resultado mais satisfatório em ligação interna com a adição de 3% de água.

Para a adição de 6% de umidade, o efeito descrito acima fica mais evidente e acentuado, ou seja, os níveis de ligação interna são ainda mais prejudicados, e o aumento do tempo de prensagem aplicado não alterou estatisticamente os valores de ligação interna, evidenciando uma necessidade de um aumento de tempo de prensagem. Neste caso, o tempo médio para se atingir 95°C no miolo dos painéis foi superior em mais de 1 minuto em relação aos painéis que não receberam água, ocasionado pelo excesso de água no colchão. Por conseguinte, a adição de 6% de água é excessiva, promovendo muitas desvantagens, enquanto que a adição de 3% pode ter alguma perspectiva de utilização, necessitando de maiores estudos, principalmente para teores em níveis inferiores a 3% de água.

TABELA 14 – EFEITO DA ADIÇÃO DE ÁGUA NOS VALORES MÉDIOS DE LIGAÇÃO INTERNA PARA O TEMPO DE Prensagem DE 1 E DE 2 MINUTOS APÓS ATINGIR 95°C NO MIOLO DE AGLOMERADOS

TRATAMENTO	ADIÇÃO DE ÁGUA (%)	LIGAÇÃO INTERNA (kgf/cm ²)	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (%)
1 MINUTO APÓS O MIOLO ATINGIR 95°C			
T4	0	8,70 a	12,88
T6	3	4,84 b	23,78
T8	6	5,07 b	16,17
2 MINUTOS APÓS O MIOLO ATINGIR 95°C			
T5	0	7,86 a	12,00
T7	3	6,32 b	16,37
T9	6	4,36 c	36,74

* Letras diferentes denotam diferenças estatísticas entre as médias ao nível de 95% de probabilidade.

4.1.4.2. Influência da adição de água na flexão estática (MOR e MOE)

A densidade da superfície do painel afeta sensivelmente os valores de MOR, por conseguinte, os valores de MOR dependem do gradiente vertical de densidade. Nesta linha de pensamento, ressalva-se que o teor de umidade mais elevado aumenta a compressibilidade das camadas superficiais durante a prensagem, o que resulta em maior densificação destas camadas e, por conseguinte valores mais elevados de MOR (Strickler, 1959; Heebink et al 1972 citados por Kelly, 1977). Wong et al (1998), encontraram a mesma tendência para valores de MOE em painéis feitos com alto teor de umidade próximo à superfície do colchão.

Analisando a Tabela 15, para o tempo de prensagem de 1 minuto após o miolo atingir 95°C, verifica-se que não houve mudança estatística em valores de MOR entre as adições de 0%, 3% e 6% de água. Então, neste caso, transparece a necessidade de um período maior de prensagem, inclusive para o tratamento sem adição de água, pois os painéis provavelmente não atingiram

uma consolidação efetiva nas camadas externas e, por conseguinte, os valores de MOR estão aquém do desejável e do possível.

Ainda em relação a Tabela 15, mas analisando o tempo de prensagem de 2 minutos após o miolo atingir 95°C, verifica-se diferenças estatísticas nos valores de MOR entre as adições de 0%, 3% e 6% de água. Neste caso, o tempo de prensagem propiciou uma melhor consolidação dos painéis, e nos painéis sem adição de água, os valores de MOR atingiram valores que representam uma consolidação das camadas superficiais mais efetiva. Com a adição de 3% e 6% de água, torna-se necessário o aumento do tempo de prensagem, pois ficou claro que o tempo aqui aplicado foi insuficiente.

TABELA 15 – EFEITO DA ADIÇÃO DE ÁGUA NOS VALORES MÉDIOS DE MÓDULO DE RUPTURA PARA O TEMPO DE PRENSAGEM DE 1 E DE 2 MINUTOS APÓS ATINGIR 95°C NO MIOLO DE AGLOMERADOS

TRATAMENTO	ADIÇÃO DE ÁGUA (%)	MÓDULO DE RUPTURA (kgf/cm ²)	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (%)
1 MINUTO APÓS O MIOLO ATINGIR 95°C			
T4	0	102,47 a	11,86
T6	3	101,83 a b	11,55
T8	6	99,02 a b	17,57
2 MINUTOS APÓS O MIOLO ATINGIR 95°C			
T5	0	161,38 a	12,87
T7	3	115,53 b	8,93
T9	6	102,58 c	14,54

* Letras diferentes denotam diferenças estatísticas entre as médias ao nível de 95% de probabilidade.

No caso de MOE, pela Tabela 16, no tempo de prensagem de 1 minuto após o miolo atingir 95°C, verifica-se o efeito da adição de água, com valores de MOE estatisticamente superior quando da aplicação de 6% de água. Isto se deve a melhor compressibilidade das camadas superficiais pela presença da

água, contudo, a consolidação efetiva não foi alcançada. Para o tempo de prensagem de 2 minutos após o miolo atingir 95°C (Tabela 16), os painéis sem adição de água apresentaram valores médios de MOE estatisticamente superiores aos que receberam adição de 3% e 6% de água. Portanto, os painéis que não receberam adição de água atingiram uma consolidação mais efetiva em suas camadas externas, desta forma, ao se aplicar a água, o tempo provavelmente se tornou insuficiente para se atingir a mesma consolidação, evidenciado pelos resultados em níveis inferiores de MOE.

TABELA 16 – EFEITO DA ADIÇÃO DE ÁGUA NOS VALORES MÉDIOS DE MÓDULO DE ELASTICIDADE PARA O TEMPO DE PENSAGEM DE 1 E DE 2 MINUTOS APÓS ATINGIR 95°C NO MIOLO DE AGLOMERADOS

TRATAMENTO	ADIÇÃO DE ÁGUA (%)	MÓDULO DE ELASTICIDADE (kgf/cm ²)	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (%)
1 MINUTO APÓS O MIOLO ATINGIR 95°C			
T4	0	10956 b	13,29
T6	3	11832 a b	7,50
T8	6	12686 a	14,36
2 MINUTOS APÓS O MIOLO ATINGIR 95°C			
T5	0	18838 a	11,71
T7	3	12408 b	9,78
T9	6	13077 b	16,38

* Letras diferentes denotam diferenças estatísticas entre as médias ao nível de 95% de probabilidade.

Com a adição de água nas camadas superficiais do colchão, para se obter uma consolidação que permita níveis satisfatórios em valores de MOR e MOE, evidencia-se uma necessidade de aumento no tempo de prensagem. Ou seja, mesmo nas camadas superficiais, que recebem o efeito dos pratos da prensa de forma mais incisiva, torna-se necessário um tempo de prensagem mais longo ao se aplicar água nas mesmas.

4.1.4.3. Influência da adição de água na absorção de água e inchamento em espessura

A Tabela 17 apresenta uma redução em absorção de água, em 2 horas de imersão, para painéis com adição de 6% de água, em prensagem de 1 minuto após se atingir 95°C no miolo. Pode-se concluir que o painel que não recebeu adição de água também não atingiu uma consolidação efetiva pelo curto período de prensagem, e após a finalização da prensagem liberou tensões de compressão, aumentando sua espessura e porosidade. Os painéis que receberam água, transmitiram calor mais rapidamente para seu interior na fase inicial de aquecimento, e isto influenciou na compressibilidade das partículas, pois sob atuação de umidade mais elevada e, conseqüentemente, mais vapor, a madeira torna-se mais flexível e o colchão cede mais facilmente à pressão exercida pela prensa, gerando, então, uma inferior porosidade.

No caso de imersão por 24 horas, os painéis com tempo de prensagem de 1 minuto após atingir 95°C no miolo (Tabela 17), apresentaram absorções estatisticamente idênticas. Neste caso, os espaços vazios foram preenchidos pela água, mas os painéis provavelmente não estão saturados, pois para tanto, segundo Roffael & Rauch (1972) citados por Kelly (1977), seria necessário uma imersão em água por vários dias.

TABELA 17 – EFEITO DA ADIÇÃO DE ÁGUA NOS VALORES MÉDIOS DE ABSORÇÃO DE ÁGUA APÓS 2 E 24 HORAS DE IMERSÃO EM ÁGUA, PARA O TEMPO DE Prensagem DE 1 MINUTO APÓS ATINGIR 95°C NO MIOLO DE AGLOMERADOS

TRATAMENTO	ADIÇÃO DE ÁGUA (%)	ABSORÇÃO DE ÁGUA (%)	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (%)
2 HORAS			
T4	0	97,28 a	4,08
T6	3	95,60 a	4,53
T8	6	89,79 b	3,06
24 HORAS			
T4	0	103,22 a	3,92
T6	3	102,00 a b	3,84
T8	6	99,16 a b	2,23

* Letras diferentes denotam diferenças estatísticas entre as médias ao nível de 95% de probabilidade.

Com relação à prensagem de 2 minutos após atingir 95°C no miolo, tanto em 2 horas como em 24 horas de imersão em água, (Tabela 18), verifica-se que os painéis que não receberam água atingem uma consolidação mais efetiva, visto apresentar uma absorção estatisticamente aos painéis que receberam água. No entanto, entre os painéis que receberam 3% e 6% de água, não houve diferença estatística nos resultados de absorção de água, que pode ser explicado da mesma forma que o dos painéis com tempo de prensagem de 1 minuto após atingir 95°C no miolo. Ressalva-se que, neste caso, os painéis com adição de água não atingiram uma consolidação efetiva, absorvendo maior quantidade de água por isto, já que sofreram um aumento de espessura logo após a prensagem, reduzindo suas densidades, o que aumenta a possibilidade de absorção.

TABELA 18 – EFEITO DA ADIÇÃO DE ÁGUA NOS VALORES MÉDIOS DE ABSORÇÃO DE ÁGUA APÓS 2 E 24 HORAS DE IMERSÃO EM ÁGUA, PARA O TEMPO DE PRENSAGEM DE 2 MINUTOS APÓS ATINGIR 95°C NO MIOLO DE AGLOMERADOS

TRATAMENTO	ADIÇÃO DE ÁGUA (%)	ABSORÇÃO DE ÁGUA (%)	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (%)
2 HORAS			
T5	0	83,46 b	1,98
T7	3	90,93 a	3,82
T9	6	89,88 a	6,66
24 HORAS			
T5	0	92,49 b	2,09
T7	3	97,43 a	3,71
T9	6	98,22 a	6,71

* Letras diferentes denotam diferenças estatísticas entre as médias ao nível de 95% de probabilidade.

A Tabela 19 apresenta a evolução da massa específica dos painéis conforme a adição de água, considerando os tempos de prensagem de 1 e de 2 minutos após atingir 95°C no miolo do painel. Com o tempo de prensagem de 1 min após atingir 95°C, não houve diferença estatística entre os painéis, evidenciando uma consolidação não efetiva em todos eles. Ou seja, o tempo de prensagem foi curto para uma consolidação efetiva, mesma para os painéis sem adição de água.

Aumentando-se o tempo de prensagem para 2 min após atingir 95°C, observa-se que há um aumento estatístico na densidade nos painéis que não receberam água, evidenciando uma consolidação efetiva. Entretanto, houve uma igualdade estatística entre os painéis que receberam 3% e 6% de água, o que evidencia um tempo de prensagem insuficiente para a consolidação efetiva dos painéis que receberam água.

TABELA 19 – EFEITO DA ADIÇÃO DE ÁGUA NOS VALORES MÉDIOS DE DENSIDADE PARA O TEMPO DE Prensagem DE 1 E DE 2 MINUTOS APÓS ATINGIR 95°C NO MIOLO DE AGLOMERADOS

TRATAMENTO	ADIÇÃO DE ÁGUA (%)	DENSIDADE (g/cm ³)	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (%)
1 MINUTO APÓS ATINGIR 95°C			
T4	0	0,61 a b	3,64
T6	3	0,61 a b	4,38
T8	6	0,62 a	3,75
2 MINUTOS APÓS ATINGIR 95°C			
T5	0	0,69 a	3,98
T7	3	0,64 b	4,38
T9	6	0,64 b	3,52

* Letras diferentes denotam diferenças estatísticas entre as médias ao nível de 95% de probabilidade.

Com relação ao inchamento em espessura, em imersão de 2 horas e 24 horas, tem-se a situação apresentada na Tabela 20, em que houve uma igualdade estatística nos resultados. Ressalva-se que houve um aumento em espessura, ocorrido logo após a prensagem (Tabela 21), decorrente da consolidação não efetiva, devido ao curto período de prensagem, e esta situação provavelmente influenciou nos resultados dos ensaios de inchamento. Desta forma, está se analisando painéis que já sofreram um aumento em espessura por consolidação não efetiva, e se não considerar esta situação, a interpretação dos resultados em inchamento pode se tornar errônea.

O aumento em espessura supra mencionado, ocorrido logo após a abertura da prensa, reduz a densidade do painel, devido significar um aumento direto em porosidade, entretanto, a massa lenhosa provavelmente reagiu liberando as tensões de compressão decorrente da consolidação não efetiva.

TABELA 20 – EFEITO DA ADIÇÃO DE ÁGUA NOS VALORES MÉDIOS DE INCHAMENTO EM ESPESSURA APÓS 2 E 24 HORAS DE IMERSÃO EM ÁGUA PARA O TEMPO DE Prensagem DE 1 MINUTO APÓS ATINGIR 95°C NO MIOLO DE AGLOMERADOS

TRATAMENTO	ADIÇÃO DE ÁGUA (%)	INCHAMENTO EM ESPESSURA (%)	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (%)
2 HORAS			
T4	0	20,11 a	12,28
T6	3	18,95 a b	13,06
T8	6	18,57 a b	12,98
24 HORAS			
T4	0	22,56 a b	11,15
T6	3	22,36 a b	12,08
T8	6	22,77 a	10,65

* Letras diferentes denotam diferenças estatísticas entre as médias ao nível de 95% de probabilidade.

TABELA 21 – EFEITO DA ADIÇÃO DE ÁGUA NOS VALORES MÉDIOS DE ESPESSURA EM AGLOMERADOS PARA O TEMPO DE Prensagem DE 1 E DE 2 MINUTOS APÓS ATINGIR 95°C NO MIOLO

TRATAMENTO	ADIÇÃO DE ÁGUA (%)	ESPESSURA (mm)	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (%)
1 MINUTO APÓS ATINGIR 95°C			
T4	0	16,3 a b	1,70
T6	3	16,5 a	2,41
T8	6	16,1 b	2,84
2 MINUTOS APÓS ATINGIR 95°C			
T5	0	14,4 b	1,08
T7	3	16,0 a	1,33
T9	6	15,8 a	2,98

* Letras diferentes denotam diferenças estatísticas entre as médias ao nível de 95% de probabilidade.

Considerando-se o tempo de prensagem de 2 minutos após o miolo do painel atingir 95°C (Tabela 22), verifica-se um inchamento estatisticamente superior nos painéis que não receberam água em relação aos que receberam 3% e 6% de água. Todavia, embora os painéis os painéis que receberam água apresentaram resultados estatisticamente iguais, ocorreu um aumento em espessura após a prensagem, devido a liberação das tensões de compressão causada pela provável consolidação não efetiva destes painéis (Tabela 21). Por conseguinte, a interpretação dos dados nos ensaios de inchamento sofre influência, pois os painéis que não receberam água liberam as tensões de compressão ao absorverem água, enquanto que os painéis que receberam adição de água, após a prensagem liberaram parte destas tensões, obtendo um aumento em espessura e porosidade.

A interpretação dos dados comparativos de inchamento em espessura por imersão em água, entre os painéis que receberam água e os que não receberam, fica então prejudicada. Para uma interpretação mais acuidada, seria necessário novos estudos com parâmetros que indicassem uma consolidação efetiva em todos os painéis sob análise.

TABELA 22 – EFEITO DA ADIÇÃO DE ÁGUA NOS VALORES MÉDIOS DE INCHAMENTO EM ESPESSURA APÓS 2 E 24 HORAS DE IMERSÃO EM ÁGUA PARA O TEMPO DE Prensagem DE 2 MINUTOS APÓS ATINGIR 95°C NO MIOLO DE AGLOMERADOS

TRATAMENTO	ADIÇÃO DE ÁGUA (%)	INCHAMENTO EM ESPESSURA (%)	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (%)
2 HORAS			
T5	0	33,41 a	4,18
T7	3	21,99 b	8,18
T9	6	22,97 b	21,61
24 HORAS			
T5	0	36,63 a	4,36
T7	3	25,89 b	7,22
T9	6	27,60 b	19,24

* Letras diferentes denotam diferenças estatísticas entre as médias ao nível de 95% de probabilidade.

4.1.4.4. Influência da adição de água no gradiente vertical de densidade

A adição de água promove um maior volume de vapor e transmissão de calor durante o ciclo de prensagem, com isso, as partículas resistem menos à pressão que recebem da prensa, adensando mais facilmente. Este comportamento promove uma acentuação do gradiente vertical de densidade do painel, entretanto, este resultado só acontece quando considera-se painéis com consolidação efetiva.

No caso do presente trabalho, o tempo mais longo de prensagem empregado (2 minutos após atingir 95°C no miolo) não foi suficiente para consolidar de forma efetiva os painéis que receberam 3 e 6% de água. Pela Tabela 19 verifica-se a redução da densidade em virtude da adição de água, pois com uma consolidação não efetiva, os painéis aumentaram em espessura logo após o encerramento da prensagem. Esta ocorrência contribuiu com a

redução do gradiente vertical de densidade, que pode ser comprovado pelas Figuras 17, 18 e 19. Então, para que o gradiente de densidade se tornasse mais heterogêneo, seria necessário uma consolidação efetiva dos painéis, e para que isto ocorresse seria necessário períodos de tempo de prensagem superiores aos aplicados neste trabalho.

FIGURA 17 - GRADIENTE VERTICAL DE DENSIDADE EM AGLOMERADOS SEM ADIÇÃO DE ÁGUA, COM TEMPO DE Prensagem DE 2 MINUTOS APÓS ATINGIR 95°C NO MIOLO (TRATAMENTO T5)

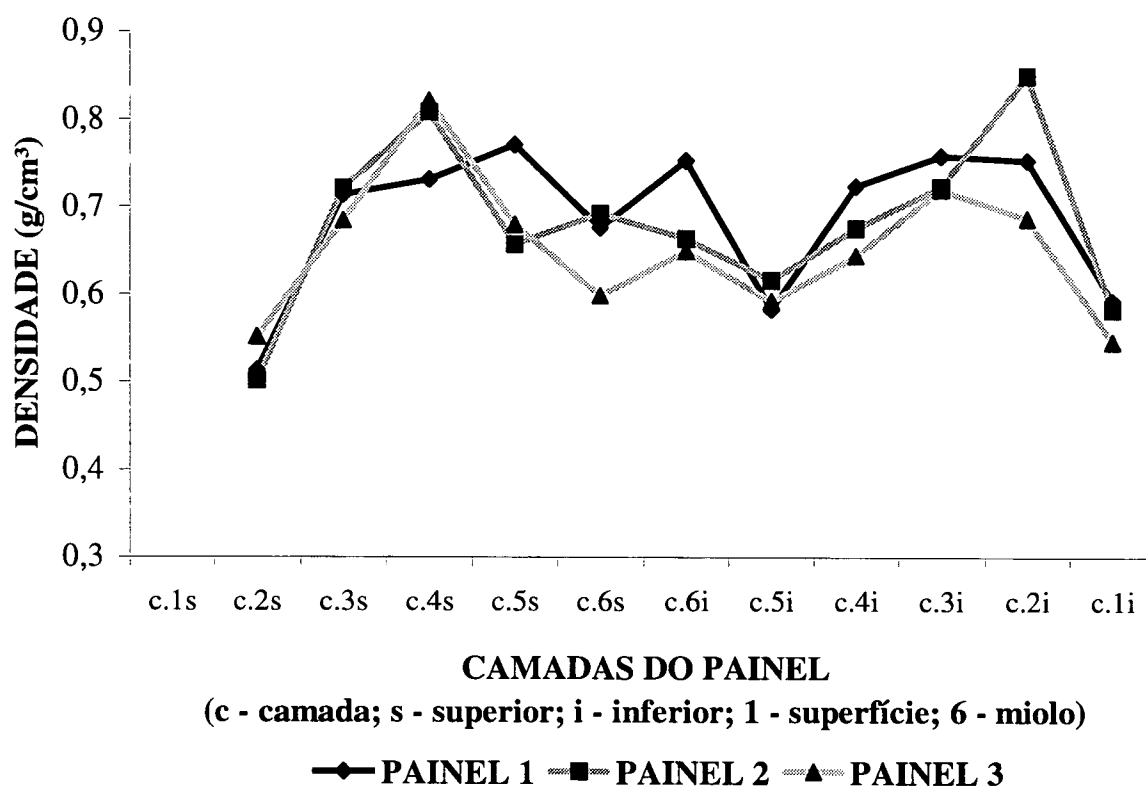
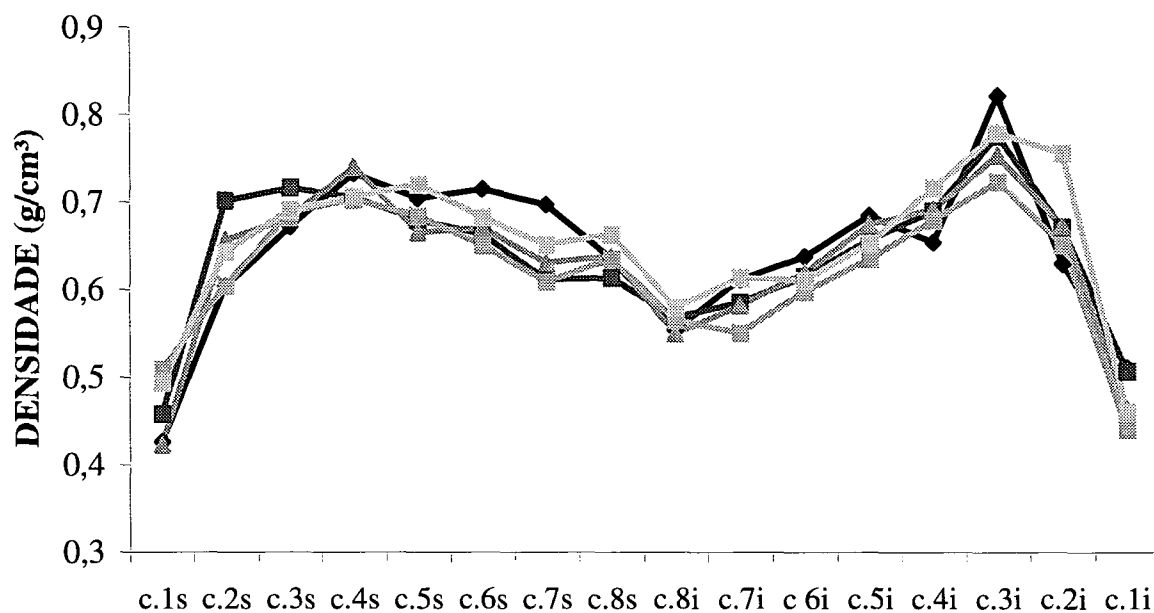


FIGURA 18 - GRADIENTE VERTICAL DE DENSIDADE EM AGLOMERADOS COM ADIÇÃO DE 3% DE ÁGUA E TEMPO DE Prensagem DE 2 MINUTOS APÓS ATINGIR 95°C NO MIOLO (TRATAMENTO T7)

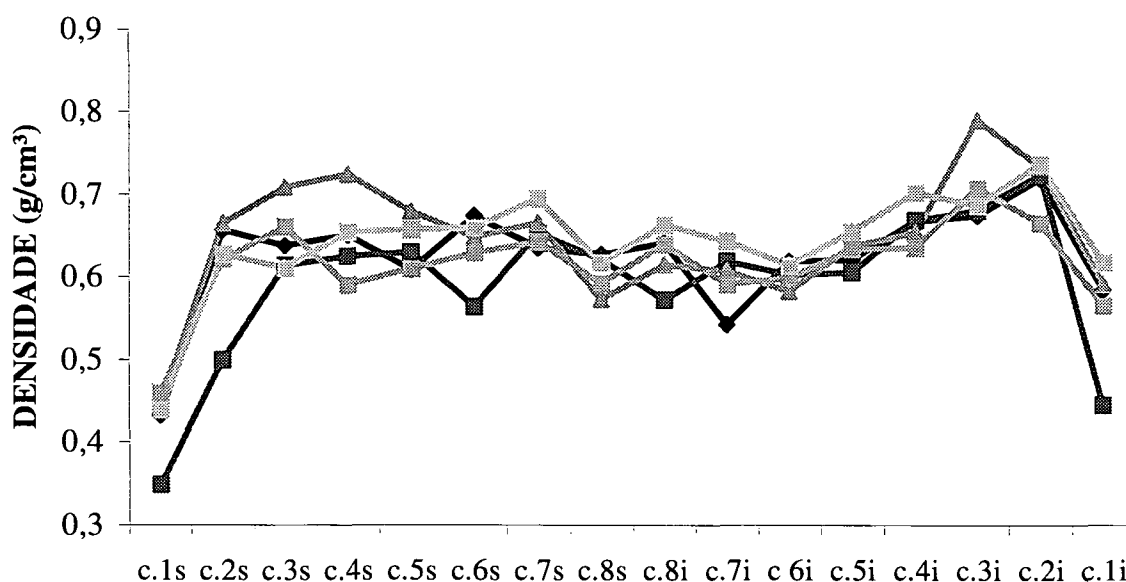


CAMADAS DO PAINEL

(c = camada; s = superior; i = inferior; 1 = superfície; 8 = miolo)

—◆— PAINEL 1 —■— PAINEL 2 —▲— PAINEL 3 —■— PAINEL 4 —◆— PAINEL 5

FIGURA 19 – GRADIENTE VERTICAL DE DENSIDADE EM AGLOMERADOS COM ADIÇÃO DE 6% DE ÁGUA E TEMPO DE PrensAGEM DE 2 MINUTOS APÓS ATINGIR 95°C NO MIOLO (TRATAMENTO T9)



CAMADAS DO PAINEL

(c = camada; s = superior; i = inferior; 1 = superfície; 8 = miolo)

◆ PAINEL 1 ■ PAINEL 2 ▲ PAINEL 3 ▣ PAINEL 4 ★ PAINEL 5

Observa-se que com o aumento no teor de água aplicada, o gradiente é mais homogêneo, pois os painéis se tornam ainda mais instáveis, com consolidação menos efetiva devido ao tempo insuficiente de prensagem. Por conseguinte, a má consolidação do painel repercute em um resultado contrário no gradiente vertical de densidade quando da adição de água nas camadas superficiais do colchão de partículas, ou seja, o gradiente tende a ser atenuado em vez de acentuado.

4.1.5. Influência do teor de resina

4.1.5.1. Influência do teor de resina na ligação interna

Pela Tabela 23 observa-se os resultados estatisticamente diferentes em ligação interna, onde se verifica que houve um decréscimo nos níveis de ligação interna nos painéis que receberam teores de resina em níveis mais elevados. Este resultado mostra que, ao aumentar o teor de resina, sem alteração nas proporções das soluções empregadas, automaticamente aumenta-se o teor de água e, desta forma, induz uma necessidade de aumento no tempo de prensagem. O tempo de prensagem empregado foi relativamente curto, e embora tenha proporcionado um nível de ligação interna satisfatório nos painéis que receberam 8% de resina, nos painéis que receberam 12% de resina o tempo não foi suficiente para uma consolidação efetiva, refletindo-se nos resultados inferiores em ligação interna. Portanto, o aumento no teor de resina, mantendo-se os mesmos padrões de solução e misturas, provoca uma necessidade de um período de prensagem superior, a fim de atingir uma consolidação efetiva no miolo do painel, em virtude do aumento do teor de água no colchão.

TABELA 23 – EFEITO DO TEOR DE RESINA NOS VALORES MÉDIOS DE LIGAÇÃO INTERNA PARA Prensagem até 95°C NO MIOLO DE AGLOMERADOS

TRATAMENTO	TEOR DE RESINA (%)	LIGAÇÃO INTERNA (kgf/cm ²)	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (%)
T2	8	8,74 a	11,81
T10	12	5,96 b	70,13

* Letras diferentes denotam diferenças estatísticas entre as médias ao nível de 95% de probabilidade.

4.1.5.2. Influência do teor de resina na flexão estática (MOR e MOE)

A Tabela 24 apresenta os resultados obtidos em MOR e MOE e, para os ensaios de flexão estática, a região que exerce maior influência localiza-se próxima à superfície da peça a sofrer o esforço de flexão, pois a resistência e flexibilidade desta região, e não a do miolo, que irão proporcionar bons resultados em módulo de ruptura e elasticidade.

No presente caso, verifica-se que houve diferença estatística entre os resultados, ou seja, os valores de MOR e MOE foram superiores na condição de 12% no teor de resina. Estes resultados, explica-se pela consolidação mais efetiva das partículas pela maior quantidade de resina disponível nas superfícies das partículas. Apesar dos resultados em ligação interna não terem sido favoráveis, as camadas externas parecem ter atingido consolidações mais efetivas, acarretando níveis superiores em flexão estática.

TABELA 24 – EFEITO DO TEOR DE RESINA NOS VALORES MÉDIOS DE FLEXÃO ESTÁTICA (MOR E MOE) PARA PRENSAGEM ATÉ 95°C NO MIOLO DE AGLOMERADOS

TRATAMENTO	TEOR DE RESINA (%)	FLEXÃO ESTÁTICA (kgf/cm ²)	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (%)
MOR			
T2	8	94,18 b	13,04
T10	12	114,07 a	31,14
MOE			
T2	8	10798 b	11,74
T10	12	13087 a	19,89

* Letras diferentes denotam diferenças estatísticas entre as médias ao nível de 95% de probabilidade.

4.1.5.3. Influência do teor de resina na absorção de água e inchamento em espessura

O aumento no teor de resina tende a tornar a consolidação das partículas mais efetiva, já que haverá um volume superior de resina por partícula. Esta condição, além de reduzir os espaços vazios, dificulta o contato da água com o material lenhoso. Portanto, com o aumento da proporção de 8 para 12% de resina, houve uma inferior absorção de água, nos dois períodos de ensaio, assim como valores inferiores de inchamento (Tabelas 25 e 26). Neste último caso, ressalva-se que pode não estar ocorrendo uma total saturação do material lenhoso, o que evidenciaria o efeito da resina em dificultar o contato da água com as partículas, retardando e reduzindo os índices de inchamento em espessura.

TABELA 25 – EFEITO DO TEOR DE RESINA NOS VALORES MÉDIOS DE ABSORÇÃO DE ÁGUA APÓS 2 E 24 HORAS DE IMERSÃO EM ÁGUA PARA Prensagem até 95°C no MIOLO DE AGLOMERADOS

TRATAMENTO	TEOR DE RESINA (%)	ABSORÇÃO DE ÁGUA (%)	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (%)
2 HORAS			
T2	8	99,49 a	2,90
T10	12	88,56 b	6,06
24 HORAS			
T2	8	105,50 a	3,01
T10	12	93,17 b	5,82

* Letras diferentes denotam diferenças estatísticas entre as médias ao nível de 95% de probabilidade.

TABELA 26 – EFEITO DO TEOR DE RESINA NOS VALORES MÉDIOS DE INCHAMENTO EM ESPESSURA APÓS 2 E 24 HORAS DE IMERSÃO EM ÁGUA PARA Prensagem ATÉ 95°C NO MIOLO DE AGLOMERADOS

TRATAMENTO	TEOR DE RESINA (%)	INCHAMENTO EM ESPESSURA (%)	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (%)
2 HORAS			
T2	8	17,41 a	7,45
T10	12	10,91 b	19,56
24 HORAS			
T2	8	19,68 a	6,90
T10	12	12,81 b	16,88

* Letras diferentes denotam diferenças estatísticas entre as médias ao nível de 95% de probabilidade.

4.1.6. Influência do teor de catalisador

4.1.6.1. Influência do teor de catalisador na ligação interna

A Tabela 27 apresenta os resultados obtidos com os ensaios de ligação interna entre os painéis com três níveis empregados em teor de catalisador. Verifica-se, então, que os valores médios de ligação interna com 3% e 4% de catalisador foram estatisticamente inferiores aos painéis que receberam 2% de catalisador. Observou-se que entre os painéis com 3% e 4% de catalisador os resultados em ligação interna foram idênticos estatisticamente. Este resultado é influenciado pelo aumento do teor de água decorrente do aumento da solução catalisadora. Outrossim, com o aumento no teor de catalisador a velocidade da cura pode ser alterada, o que demandaria uma mudança no ciclo de prensagem, como alteração na velocidade de fechamento da prensa e do

tempo de prensagem, por exemplo, a fim de calibrar o procedimento na nova condição para não prejudicar a consolidação dos painéis. Exemplificando, a cura não deve ocorrer antes do fechamento da prensa, ou seja, antes da concretização da compactação do colchão de partículas.

TABELA 27 – EFEITO DO TEOR DE CATALISADOR NOS VALORES MÉDIOS DE LIGAÇÃO INTERNA PARA Prensagem até 95°C NO MIOLO DE AGLOMERADOS

TRATAMENTO	TEOR DE CATALISADOR (%)	LIGAÇÃO INTERNA (kgf/cm ²)	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (%)
T2	2	8,74 a	11,81
T11	3	6,62 b	21,94
T12	4	6,29 b	22,05

* Letras diferentes denotam diferenças estatísticas entre as médias ao nível de 95% de probabilidade.

4.1.6.2. Influência do teor de catalisador na flexão estática (MOR e MOE)

O aumento no teor de catalisador eleva um pouco o teor de água, que auxilia na compactação das partículas por estas resistirem menos a pressão com uma vaporização mais acentuada. Aliado a isto, tem-se uma cura tendendo para ser mais rápida pelo aumento do catalisador, que aliado ao fato de que as camadas superficiais são as primeiras a se compactarem, e por se densificarem mais intensamente, devido a proximidade dos pratos aquecidos da prensa, promovem resultados positivos na flexão estática. Desta forma, verifica-se um aumento estatístico nos valores médios de MOR quando aumenta-se de 2% para 3% o teor de catalisador, mantendo-se idênticos para o teor de 4% de catalisador.

Com relação ao MOE, verifica-se, também, um aumento estatístico, mas apenas com o aumento de 2% para 4% de catalisador.

Portanto, para MOR o teor de catalisador ideal foi de 3%, enquanto que para o MOE foi de 4% (Tabela 28).

TABELA 28 – EFEITO DO TEOR DE CATALISADOR NOS VALORES MÉDIOS DE FLEXÃO ESTÁTICA (MOR E MOE) PARA Prensagem até 95°C NO MIOLO DE AGLOMERADOS

TRATAMENTO	TEOR DE CATALISADOR (%)	FLEXÃO ESTÁTICA (kgf/cm ²)	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (%)
MOR			
T2	2	94,18 b	13,04
T11	3	106,51 a	5,57
T12	4	107,89 a	11,22
MOE			
T2	2	10798 b	11,74
T11	3	11861 a b	7,77
T12	4	12248 a	8,65

* Letras diferentes denotam diferenças estatísticas entre as médias ao nível de 95% de probabilidade.

4.1.6.3. Influência do teor de catalisador na absorção e inchamento em espessura

Analisando a alteração nos teores de catalisador, considerando o tempo de prensagem de até o miolo atingir 95°C, pode-se concluir que empregou-se painéis com consolidações não efetivas. As Tabelas 29 e 30 apresentam os resultados em densidade e espessura dos painéis, e verificou-se que não houve diferença estatística em densidade, mas o teor de 4% ocasionou uma redução da espessura final do painel. O aumento de água envolvido com o aumento da solução catalisadora parece não ter afetado o suficiente para provocar alterações estatísticas, mas a melhora da consolidação com 4% de catalisador, verificado pelo resultado em espessura, ocorreu pelo efeito mais contundente do catalisador devido à sua maior quantidade.

TABELA 29 – EFEITO DO TEOR DE CATALISADOR NOS VALORES MÉDIOS DE DENSIDADE EM AGLOMERADOS

TRATAMENTO	TEOR DE CATALISADOR (%)	DENSIDADE (g/cm ³)	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (%)
T2	2	0,58 a b	3,00
T11	3	0,59 a b	3,01
T12	4	0,60 a	3,10

* Letras diferentes denotam diferenças estatísticas entre as médias ao nível de 95% de probabilidade.

TABELA 30 – EFEITO DO TEOR DE CATALISADOR NOS VALORES MÉDIOS DE ESPESSURA EM AGLOMERADOS

TRATAMENTO	TEOR DE CATALISADOR (%)	ESPESSURA (mm)	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (%)
T2	2	17,1 a	0,80
T11	3	16,9 a b	2,41
T12	4	16,7 b	1,84

* Letras diferentes denotam diferenças estatísticas entre as médias ao nível de 95% de probabilidade.

Pela Tabela 31, observa-se uma igualdade estatística entre os tratamentos, ou seja, o aumento nos teores catalisador de 2% para 3% e para 4% não alterou os valores de absorção em água nas imersões de 2 horas e 24 horas

A Tabela 32 apresentou um aumento estatístico nos valores de 4% de catalisador em relação aos demais. Apesar de se tratar de painéis com consolidações não efetivas, devido ao tempo reduzido da prensagem, até 95°C, o aumento para 4% no catalisador foi suficiente para melhorar a consolidação dos painéis, pois pelas Tabelas 29 e 30 verifica-se a influência exercida na densidade e espessura final dos painéis.

Torna-se necessário, no entanto, estudos mais minuciosos e específicos para se comprovar e desvendar os resultados encontrados.

TABELA 31 – EFEITO DO TEOR DE CATALISADOR NOS VALORES MÉDIOS DE ABSORÇÃO DE ÁGUA APÓS 2 E 24 HORAS DE IMERSÃO EM ÁGUA PARA Prensagem até 95°C NO MIOLO DE AGLOMERADOS

TRATAMENTO	TEOR DE CATALISADOR (%)	ABSORÇÃO DE ÁGUA (%)	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (%)
2 HORAS			
T2	2	99,49 a	2,90
T11	3	98,85 a b	3,52
T12	4	96,13 a b	3,04
24 HORAS			
T2	2	105,50 a	3,01
T11	3	105,00 a b	3,06
T12	4	103,30 a b	2,47

* Letras diferentes denotam diferenças estatísticas entre as médias ao nível de 95% de probabilidade.

TABELA 32 – EFEITO DO TEOR DE CATALISADOR NOS VALORES MÉDIOS DE INCHAMENTO EM ESPESSURA APÓS 2 E 24 HORAS DE IMERSÃO EM ÁGUA PARA Prensagem até 95°C NO MIOLO DE AGLOMERADOS

TRATAMENTO	TEOR DE CATALISADOR (%)	INCHAMENTO EM ESPESSURA (%)	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (%)
2 HORAS			
T2	2	17,41 a b	7,45
T11	3	15,84 b	8,27
T12	4	18,37 a	6,38
24 HORAS			
T2	2	19,68 a b	6,90
T11	3	18,22 b	8,16
T12	4	21,10 a	6,65

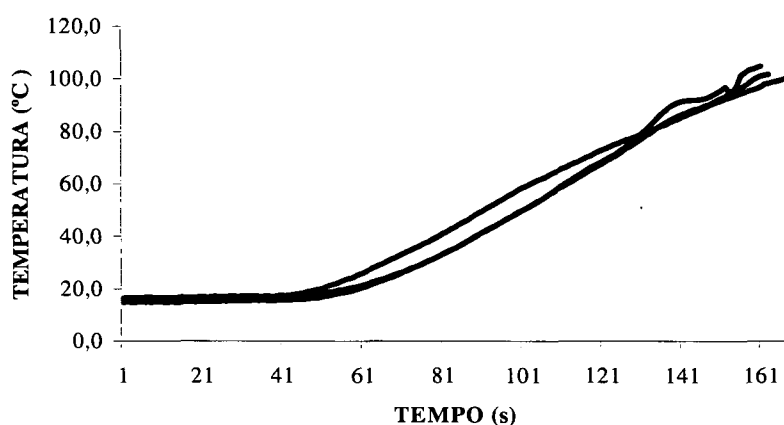
* Letras diferentes denotam diferenças estatísticas entre as médias ao nível de 95% de probabilidade.

4.2. Painéis homogêneos de partículas finas

4.2.1. Evolução da temperatura em função do tempo

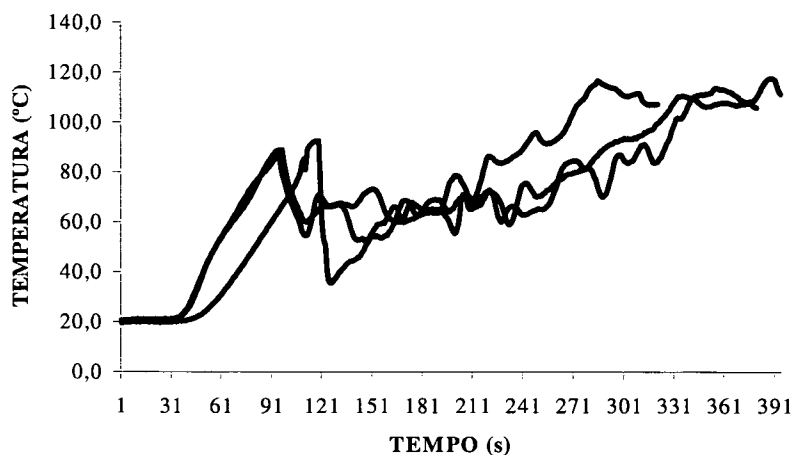
A evolução da temperatura durante a prensagem nos tratamentos que não receberam adição de água se apresentou, de modo geral, de forma progressiva e regular (Figura 20 e 23). Contudo, os tratamentos que empregaram a adição de 3% de água nas camadas superficiais do colchão de partículas, apresentaram uma acentuada oscilação da temperatura durante sua evolução (Figuras 21 e 22).

FIGURA 20 – EVOLUÇÃO DA TEMPERATURA ATÉ 95°C NO MIOLO DE AGLOMERADOS DE PARTÍCULAS FINAS SEM ADIÇÃO DE ÁGUA



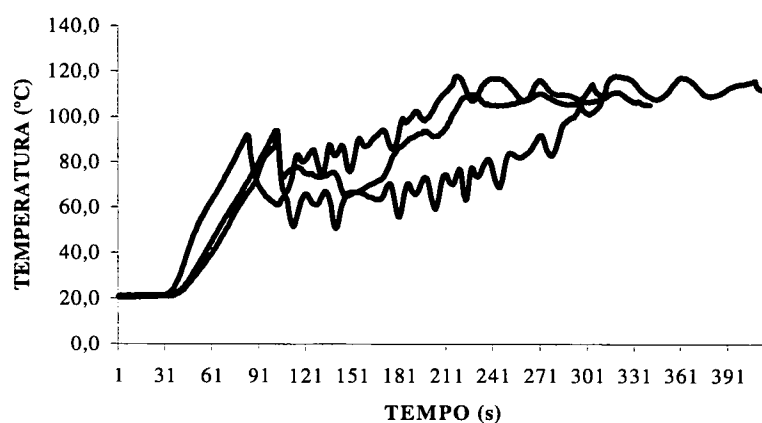
TRATAMENTO T13 (3 REPETIÇÕES)
TEMPO MÉDIO PARA ATINGIR 95°C: 169,3 s

FIGURA 21 – EVOLUÇÃO DA TEMPERATURA ATÉ 1 MINUTO APÓS O MIOLO ATINGIR 95°C, EM AGLOMERADOS DE PARTÍCULAS FINAS, COM ADIÇÃO DE 3% DE ÁGUA NAS CAMADAS SUPERFICIAIS



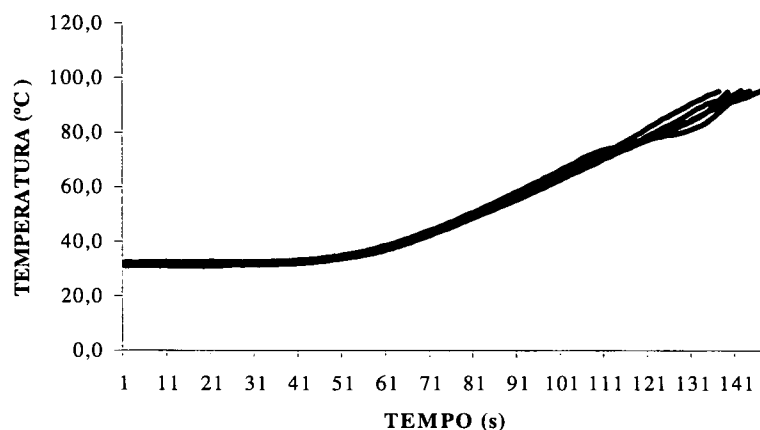
TRATAMENTO T16 (3 REPETIÇÕES)
 TEMPO MÉDIO PARA ATINGIR 95°C: 295,3 s
 $T_{MAX} = 117,6^{\circ}C$

FIGURA 22 – EVOLUÇÃO DA TEMPERATURA ATÉ 2 MINUTOS APÓS O MIOLO ATINGIR 95°C, EM AGLOMERADOS DE PARTÍCULAS FINAS, COM ADIÇÃO DE 3% DE ÁGUA NAS CAMADAS SUPERFICIAIS



TRATAMENTO T17 (3 REPETIÇÕES)
 TEMPO MÉDIO PARA ATINGIR 95°C: 225,0 s
 $T_{MAX} = 118,1^{\circ}C$

FIGURA 23 – EVOLUÇÃO DA TEMPERATURA ATÉ 95°C NO MIOLO DE AGLOMERADOS DE PARTÍCULAS FINAS COM 12% DE RESINA



TRATAMENTO T18 (5 REPETIÇÕES)
TEMPO MÉDIO PARA ATINGIR 95°C: 140,8 s

A partir dos valores médios dos tempos levados para se atingir 95°C no miolo dos painéis (Tabelas 33 e 34), pode-se observar o seguinte:

TABELA 33 – EFEITO DO TEOR DE RESINA NOS VALORES MÉDIOS DE TEMPO DE AQUECIMENTO PARA Prensagem até 95°C NO MIOLO DE AGLOMERADOS

TRATAMENTO	TEOR DE RESINA (%)	TEMPO DE AQUECIMENTO (s)	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (%)
T13	8	153 a	4,46
T18	12	141 a	2,81

* Letras diferentes denotam diferenças estatísticas entre as médias ao nível de 95% de probabilidade.

TABELA 34 – EFEITO DA ADIÇÃO DE ÁGUA NOS VALORES MÉDIOS DE TEMPO DE AQUECIMENTO PARA Prensagem até 95°C NO MIOLO DE AGLOMERADOS

TRATAMENTO	ADIÇÃO DE ÁGUA (%)	TEMPO DE AQUECIMENTO (s)	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (%)
T16 (95°C + 1 min)	3	295 a	14,72
T17 (95°C + 2 min)	3	225 b	23,61
T13 (até 95°C)	0	153 c	1,96
T15 (95°C + 2 min)	0	142 c d	3,62
T14 (95°C + 1 min)	0	141 c d	0,41

* Letras diferentes denotam diferenças estatísticas entre as médias ao nível de 95% de probabilidade.

A adição de 12% de resina não alterou estatisticamente o tempo para atingir 95°C. Ou seja, o adicional de água originado pelo aumento no teor de resina, neste caso, não foi suficiente para influenciar a transmissão de temperatura para o miolo do painel. Contudo, a adição de 3% de água representou um teor de água suficiente para provocar um aumento estatístico no tempo de aquecimento até 95°C. Além disso, ocorreu uma acentuada oscilação de temperatura no miolo do painel e, como esta oscilação ocorreu antes de se atingir 95°C, após uma rápida elevação inicial da temperatura, afetou o tempo de prensagem. Assim, esta condição se revelou de difícil controle, atrasando a cura do painel, além de não trazer vantagens no ciclo de prensagem.

4.2.2. Influência do tempo de prensagem

Empregou-se o mesmo procedimento aplicado nas partículas grossas, ou seja, o tempo de prensagem foi o tempo necessário para que o miolo do painel atingisse 95°C acrescido de 0, 1 e 2 minutos.

4.2.2.1. Influência do tempo de prensagem na ligação interna

Da mesma forma que no caso dos painéis de partículas grossas, acredita-se que o processo de cura da resina teve início no miolo dos painéis, nos tratamentos em que a prensagem cessou ao se atingir 95°C. Segundo Lehmann et al. (1973) citados por Kelly (1977), em seus estudos, afirmaram que temperaturas acima de 93°C no miolo da chapa, por 15 segundos, é suficiente para efetuar a cura da resina uréia-formaldeído.

Os resultados em valores de ligação interna foram estatisticamente idênticos, com o aumento no tempo de prensagem não influenciando nestes valores (Tabela 35).

Contudo, verificou-se um aumento estatístico no valor médio de densidade para o tempo de prensagem de 2 min após atingir 95°C (Tabela 36). Pode-se deduzir que a elevação no tempo tornou a consolidação mais efetiva entre as partículas e, com isto, promoveu uma tendência no aumento da densidade. A densidade média alcançada neste caso está dentro do esperado, o que significa uma consolidação efetiva do painel, enquanto que os tempos mais curtos de prensagem a consolidação não foi efetiva, provocando um aumento na espessura do painel após a prensagem, decorrente da liberação das tensões de compressão, reduzindo a densidade.

TABELA 35 – EFEITO DO TEMPO DE PRENSAGEM NOS VALORES MÉDIOS DE LIGAÇÃO INTERNA EM AGLOMERADOS

TRATAMENTO	TEMPO DE PRENSAGEM	LIGAÇÃO INTERNA (kgf/cm ²)	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (%)
T13	até 95°C	5,79 a b	26,04
T14	até 95°C + 1 min	6,23 a b	20,98
T15	até 95°C + 2 min	6,74 a	21,70

* Letras diferentes denotam diferenças estatísticas entre as médias ao nível de 95% de probabilidade.

TABELA 36 – EFEITO DO TEMPO DE PRENSAGEM NOS VALORES MÉDIOS DE DENSIDADE EM AGLOMERADOS PROGRAMADOS PARA 0,7 g/cm³ DE DENSIDADE

TRATAMENTO	TEMPO DE PRENSAGEM	DENSIDADE (g/cm ³)	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (%)
T13	até 95°C	0,65 b	4,06
T14	até 95°C + 1 min	0,66 b	5,45
T15	até 95°C + 2 min	0,69 a	3,19

* Letras diferentes denotam diferenças estatísticas entre as médias ao nível de 95% de probabilidade.

4.2.2.2. Influência do tempo de prensagem na flexão estática (MOR e MOE)

Verifica-se que nos resultados em MOR que não há diferença estatística com a mudança no tempo de prensagem. Contudo, houve um aumento estatístico em MOE quando do aumento no tempo de prensagem de 1 min para 2 min após se atingir 95°C no miolo.

Analisando a Tabela 36, relativa a variação de densidade em função do tempo de prensagem, verifica-se que o tempo mais longo apresenta um resultado em densidade dentro do esperado. Todavia, como se trata de painéis de partículas finas, sua resistência à carga da prensagem é inferior ao das partículas grossas, com as partículas acomodando-se mais facilmente e, desta forma, a densidade encontrada pode não representar uma consolidação efetiva dos painéis, que só novas pesquisas direcionadas poderá responder. Então, os valores médios em MOR e MOE podem ser ainda superiores aos encontrados neste trabalho.

TABELA 37 - EFEITO DO TEMPO DE PRENSAGEM NOS VALORES MÉDIOS DE FLEXÃO ESTÁTICA (MOR E MOE) EM AGLOMERADOS

TRATAMENTO	TEMPO DE PRENSAGEM	FLEXÃO ESTÁTICA (kgf/cm ²)	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (%)
MOR			
T13	até 95°C	107,22 a b	8,66
T14	até 95°C + 1 min	102,69 a b	15,74
T15	até 95°C + 2 min	117,03 a	12,27
MOE			
T13	até 95°C	12348 b	12,86
T14	até 95°C + 1 min	12534 b	14,46
T15	até 95°C + 2 min	14364a	10,64

* Letras diferentes denotam diferenças estatísticas entre as médias ao nível de 95% de probabilidade.

4.2.2.3. Influência do tempo de prensagem na absorção de água e inchamento em espessura

A partir dos resultados da Tabela 36, verifica-se que a prensagem com os tempos de até 95°C e 1 min após 95°C apresentaram uma redução na densidade das chapas quando comparados aos de prensagem mais longa (2 minutos após atingir 95°C no miolo). Conforme já discutido anteriormente para partículas grossas, o maior tempo de prensagem consolidou de forma mais efetiva os painéis, tendo estes praticamente atingido a média desejada de densidade. Verifica-se, no entanto, que nas partículas finas a influência do tempo de prensagem na densidade não foi tão acentuado como nas partículas grossas, o que provavelmente se deve à menor reação à compactação devido às inferiores dimensões das partículas finas. Neste caso, a porosidade será menor devido ao melhor arranjo e contato entre as partículas finas, não tendo a mesma necessidade de tanta carga de pressão como no caso do colchão de partículas grossas, considerando, é claro, as mesmas proporções de resina, massa lenhosa e razão de compactação.

A partir da Tabela 38, no ensaio de 2 horas de imersão em água, verifica-se uma maior absorção de água nos painéis submetidos aos menores tempos de prensagem (até 95°C e 1 minuto após 95°C), quando comparados com os que sofreram a prensagem mais longa (2 minutos após o miolo atingir 95°C). Ou seja, provavelmente, com a prensagem em menos tempo proporciona painéis de consolidação não efetiva e menos densos, facilitando a absorção de água.

Ainda pela Tabela 38, no ensaio de imersão por 24 horas, no entanto, verifica-se uma igualdade estatística nos resultados em absorção de água. O tempo mais prolongado de imersão contribui para a equalização da absorção entre os painéis.

Na Tabela 39, a imersão por 2 horas e 24 horas mostra uma redução estatística nos valores médios de inchamento com o tempo de prensagem de até o miolo atingir 95°C. Nos períodos de 1 min após 95°C e 2 min após 95°C, os resultados em inchamento foram estatisticamente idênticos. Este comportamento se explica pelo fato da maior dificuldade dos painéis mais densos, pela consolidação mais efetiva obtida nos períodos mais longos de prensagem, em absorver água, retardando o inchamento.

Ressalva-se que, segundo Kelly (1977), o inchamento nos painéis de partículas mais finas se procede em níveis inferiores aos verificados pelos painéis de partículas grossas. Isto se deve à menor massa envolvida em cada partícula, aliado ao aumento do número de interfaces partícula – partícula, o que proporciona uma melhor dispersão do inchamento higroscópico entre os espaços interpartículas. Desta forma, o inchamento absorvido pelas lacunas macroscópicas do painel, resultam em inferior inchamento em espessura do painel de partículas mais finas nos ensaios de imersão em água.

TABELA 38 – EFEITO DO TEMPO DE PRENSAGEM NOS VALORES MÉDIOS DE ABSORÇÃO DE ÁGUA APÓS 2 E 24 HORAS DE IMERSÃO EM ÁGUA EM AGLOMERADOS

TRATAMENTO	TEMPO DE PRENSAGEM	ABSORÇÃO DE ÁGUA (%)	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (%)
2 HORAS			
T13	até 95°C	79,90 a	5,54
T14	95°C + 1 min	83,02 a	7,55
T15	95°C + 2 min	73,40 b	18,62
24 HORAS			
T13	até 95°C	90,93 a	3,22
T14	95°C + 1 min	90,34 a b	6,23
T15	95°C + 2 min	86,37 a b	6,45

* Letras diferentes denotam diferenças estatísticas entre as médias ao nível de 95% de probabilidade.

TABELA 39 – EFEITO DO TEMPO DE PRENSAGEM NOS VALORES MÉDIOS DE INCHAMENTO EM ESPESSURA APÓS 2 E 24 HORAS DE IMERSÃO EM ÁGUA EM AGLOMERADOS

TRATAMENTO	TEMPO DE PRENSAGEM	INCHAMENTO EM ESPESSURA (%)	CEFCIENTE DE VARIAÇÃO (%)
2 HORAS			
T13	até 95°C	16,40 b	6,90
T14	95°C + 1 min	19,11 a	5,29
T15	95°C + 2 min	19,56 a	4,23
24 HORAS			
T13	até 95°C	18,16 b	5,71
T14	95°C + 1 min	21,04 a	6,59
T15	95°C + 2 min	21,65 a	3,62

* Letras diferentes denotam diferenças estatísticas entre as médias ao nível de 95% de probabilidade

4.2.3. Influência da adição de água na superfície do colchão

Para as partículas finas foi aplicado apenas o tratamento de 3% de água aplicada nas camadas superficiais do colchão, variando-se o tempo de prensagem para 1 e 2 minutos além do ponto de 95°C atingido no miolo do painel.

4.2.3.1. Influência da adição de água na ligação interna

A Tabela 40 apresenta os resultados mostrando os valores de ligação interna praticamente não alteraram estatisticamente com a adição de 3% de água para os tempos de prensagem de 1 e 2 minutos após o miolo atingir 95°C. Contudo, ressalva-se que, no caso das partículas finas, o tempo para se atingir 95°C foi, em média, superior em quase 2 minutos ao que não se aplicou água. Portanto, houve um aumento de mais de 2 minutos no ciclo de prensagem, decorrente da fase de aquecimento para alcançar 95°C. Este tempo de prensagem superior, provavelmente, contribuiu para os valores de ligação interna se encontrarem no mesmo nível dos painéis que não tiveram água adicionada.

TABELA 40 – EFEITO DA ADIÇÃO DE ÁGUA NOS VALORES MÉDIOS DE LIGAÇÃO INTERNA PARA O TEMPO DE Prensagem DE 1 E DE 2 MINUTOS APÓS ATINGIR 95°C NO MIOLO DE AGLOMERADOS

TRATAMENTO	ADIÇÃO DE ÁGUA (%)	LIGAÇÃO INTERNA (kgf/cm ²)	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (%)
1 MINUTO APÓS ATINGIR 95°C			
T14	0	6,23 a	20,98
T16	3	6,26 a	13,50
2 MINUTOS APÓS ATINGIR 95°C			
T15	0	6,74 a	21,70
T17	3	6,94 a	10,07

* Letras diferentes denotam diferenças estatísticas entre as médias ao nível de 95% de probabilidade.

4.2.3.2. Influência da adição de água na flexão estática (MOR e MOE)

Observando-se a Tabela 41 verifica-se que houve um aumento estatístico nos valores médios em MOR com a adição de 3% de água, para o período de prensagem de 1 min após atingir 95°C. Para o tempo de prensagem de 2 min após atingir 95°C, não houve diferença estatística, ou seja, a aplicação de 3% de água não influenciou os valores médios de MOR. Acredita-se que as menores dimensões das partículas, que proporcionam uma área de contato por massa de partícula muito elevada, assim como uma massa por partícula muito baixa, auxiliou em uma consolidação mais efetiva com a adição de 3% de água, pois esta pode ser distribuída por uma área relativa às partículas muito mais elevada por camada, comparando-se com os painéis de partículas grossas.

TABELA 41 – EFEITO DA ADIÇÃO DE ÁGUA NOS VALORES MÉDIOS DE MÓDULO DE RUPTURA PARA O TEMPO DE PRENSAGEM DE 1 E DE 2 MINUTOS APÓS ATINGIR 95°C NO MIOLO DE AGLOMERADOS

TRATAMENTO	ADIÇÃO DE ÁGUA (%)	MÓDULO DE RUPTURA (kgf/cm ²)	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (%)
1 MINUTO APÓS ATINGIR 95 °C			
T14	0	102,69 b	15,74
T16	3	127,29 a	16,05
2 MINUTOS APÓS ATINGIR 95 °C			
T15	0	117,03 a	12,27
T17	3	128,24 a	23,19

* Letras diferentes denotam diferenças estatísticas entre as médias ao nível de 95% de probabilidade.

Através da Tabela 42, verifica-se que houve aumento estatístico nos valores médios em MOE quando da aplicação de 3% de água, para os dois tempos de prensagem. Portanto, ainda que com um período de tempo provavelmente ainda insuficiente para uma consolidação efetiva, o acréscimo de 3% de água possibilitou uma melhora significativa nos resultados em MOE, que possivelmente foi influenciado pelas reduzidas dimensões das partículas, havendo maior área de contato disponível de partículas para a diluição da água adicionada.

Aparentemente, a adição de 3% de água acelerou a consolidação das camadas superficiais, contudo, deve-se lembrar que no caso das partículas finas, o tempo de aquecimento até se atingir 95°C foi superior com a adição de água. Esta constatação dá a importância do tempo de prensagem ser baseado a partir de uma condição preestabelecida de temperatura interna do painel, e não de um período de tempo absoluto, que oculta a verdadeira condição no interior do painel.

TABELA 42 – EFEITO DA ADIÇÃO DE ÁGUA NOS VALORES MÉDIOS DE MÓDULO DE ELASTICIDADE PARA O TEMPO DE Prensagem DE 1 E DE 2 MINUTOS APÓS ATINGIR 95°C NO MIOLO DE AGLOMERADOS

TRATAMENTO	ADIÇÃO DE ÁGUA (%)	MÓDULO DE ELASTICIDADE (kgf/cm ²)	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (%)
1 MINUTO APÓS ATINGIR 95°C			
T14	0	12534 b	14,46
T16	3	16021 a	10,15
2 MINUTOS APÓS ATINGIR 95°C			
T15	0	14364 b	10,64
T17	3	16161 a	17,27

* Letras diferentes denotam diferenças estatísticas entre as médias ao nível de 95% de probabilidade.

4.2.3.3. Influência da adição de água na absorção de água e inchamento em espessura

Pela Tabela 43 verifica-se que não houve diferença estatística entre os valores médios de absorção de água, para 2 horas e 24 horas de imersão. Ou seja, a adição de 3% água não influenciou os painéis de forma que alterasse a absorção de água nos ensaios de imersão em água.

A adição de água retarda a cura da resina, e como já foi visto anteriormente que o tempo de prensagem não foi suficiente para consolidar de forma efetiva os painéis, e os que receberam adição de água a consolidação fica ainda mais prejudicada. Pela Tabela 44, verifica-se uma igualdade estatística em valores médios de densidade, indicando que a aplicação de 3% de água não alterou a densidade dos painéis, e provavelmente, também não alterou sua porosidade. Ressalva-se, no entanto, que os painéis provavelmente não atingiram a saturação, pois seria necessário vários dias de imersão, ou seja, a absorção verificada provavelmente está relacionada, na sua maior parte, com o preenchimento dos espaços vazios pela água.

TABELA 43 – EFEITO DA ADIÇÃO DE ÁGUA NOS VALORES MÉDIOS DE ABSORÇÃO DE ÁGUA APÓS 2 E 24 HORAS DE IMERSÃO EM ÁGUA EM AGLOMERADOS COM Prensagem de 2 minutos após atingir 95°C no MIOLO

TRATAMENTO	ADIÇÃO DE ÁGUA (%)	ABSORÇÃO DE ÁGUA (%)	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (%)
2 HORAS			
T15	0	73,40 a	18,62
T17	3	77,43 a	11,33
24 HORAS			
T15	0	86,37 a	6,45
T17	3	84,36 a	9,59

* Letras diferentes denotam diferenças estatísticas entre as médias ao nível de 95% de probabilidade.

TABELA 44 – EFEITO DA ADIÇÃO DE ÁGUA NOS VALORES MÉDIOS DE DENSIDADE EM AGLOMERADOS COM Prensagem de 2 minutos após atingir 95°C no MIOLO

TRATAMENTO	ADIÇÃO DE ÁGUA (%)	DENSIDADE (kg/cm ³)	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (%)
T15	0	0,69 a	3,19
T17	3	0,70 a	6,33

* Letras diferentes denotam diferenças estatísticas entre as médias ao nível de 95% de probabilidade.

De modo geral, segundo Kelly (1977), há uma melhor estabilidade na espessura de painéis quando se utiliza partículas mais finas, devido a menor massa de cada partícula, em conjunto com o aumento do número de interfaces partícula-partícula, promovendo uma melhor dispersão do inchamento higroscópico nas lacunas interpartículas. Ainda ocorre o efeito de que quando se emprega partículas muito pequenas, uma porção considerável se posiciona verticalmente, distribuindo melhor as expansões, reduzindo a de espessura e aumentando a linear.

No presente estudo verifica-se o mesmo resultado estatístico entre as imersões de 2 e de 24 horas, ou seja, não houve alteração no inchamento com a adição de 3% de água em relação aos que não receberam (Tabela 45). A consolidação entre esse painéis parece ter permanecido no mesmo nível, apesar da aplicação de 3% de água, embora possam não ter atingido uma efetiva consolidação.

TABELA 45 – EFEITO DA ADIÇÃO DE ÁGUA NOS VALORES MÉDIOS DE INCHAMENTO EM ESPESSURA APÓS 2 E 24 HORAS DE IMERSÃO EM ÁGUA EM AGLOMERADOS COM PRENSAGEM DE 2 MINUTOS APÓS ATINGIR 95°C NO MIOLO

TRATAMENTO	ADIÇÃO DE ÁGUA (%)	INCHAMENTO EM ESPESSURA (%)	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (%)
2 HORAS			
T15	0	19,56 a	4,23
T17	3	17,46 a	6,93
24 HORAS			
T15	0	21,65 a	3,62
T17	3	19,42 a	8,21

* Letras diferentes denotam diferenças estatísticas entre as médias ao nível de 95% de probabilidade.

4.2.4. Influência do teor de resina

4.2.4.1. Influência do teor de resina na ligação interna

O aumento no teor de resina de 8 para 12%, segundo os resultados apresentados pela Tabela 46, proporcionou um aumento estatístico nos valores de ligação interna, revelando uma consolidação mais efetiva no miolo do painel. Devido às reduzidas dimensões das partículas, o teor de resina por partículas se reduz quando se compara com partículas grossas, e o miolo do painel por ser uma zona neutra de pressão, combinada com baixos níveis em teores de resina interpartículas, tende a provocar linha de cola faminta entre elas, e aliado ao tempo insuficiente para cura da resina, ocasiona baixos níveis de ligação interna. Portanto, aumentando-se o teor de resina 8% para 12% a ligação interpartículas tende a melhorar, o que proporcionou a elevação da ligação interna, mesmo com um período de prensagem insuficiente.

O aumento no teor de água pelo maior volume de solução de resina é melhor absorvida pelas partículas, pois além da superior área de contato destas, as mesmas se apresentam num estado de rompimento generalizado de paredes celulares, decorrente da redução em suas diminutas dimensões. Aliado ao fato de terem uma inferior porosidade, o aumento do volume de água decorrente do teor mais elevado de resina não influenciou na consolidação das partículas.

Ressalva-se, no entanto, que o tempo de prensagem de até o miolo atingir 95°C, aparentemente, não foi suficiente para uma consolidação efetiva dos painéis, que pelas Tabelas 47 e 48, verifica-se um aumento estatístico densidade com o tempo de prensagem de 2 min após atingir 95°C, e uma espessura estatisticamente inferior no tempo de prensagem de 1 min e 2 min após o miolo atingir 95°C.

Portanto, com o tempo de prensagem mais curto, provavelmente ocorreu um inchamento em espessura após o encerramento do ciclo de prensagem, decorrente da liberação das tensões de compressão, devido a insuficiente consolidação das partículas.

Outrossim, com um tempo de prensagem mais longo, o aumento do teor de resina para 12% pode apresentar resultados melhores na ligação interna e, provavelmente, em flexão estática, já que um tempo de prensagem mais longo poderia consolidar de forma mais efetiva o painel.

A condição de partículas finas não facilita a formação de um gradiente vertical de densidade mais heterogêneo, pois apesar da condição de neutralidade de pressão no miolo do painel, as reduzidas dimensões das partículas facilitam sua compactação e suas ligações interpartículas.

TABELA 46 – EFEITO DO TEOR DE RESINA NOS VALORES MÉDIOS DE LIGAÇÃO INTERNA EM AGLOMERADOS

TRATAMENTO	TEMPO DE PRENSAGEM	TEOR DE RESINA (%)	LIGAÇÃO INTERNA (kgf/cm ²)	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (%)
T18	até 95°C	12	8,07 a	22,83
T15	95°C + 2 min	8	6,74 b	21,70
T14	95°C + 1 min	8	6,23 b c	20,98
T13	até 95°C	8	5,79 b c	26,04

* Letras diferentes denotam diferenças estatísticas entre as médias ao nível de 95% de probabilidade.

TABELA 47 – EFEITO DO TEOR DE RESINA NOS VALORES MÉDIOS DE DENSIDADE EM AGLOMERADOS

TRATAMENTO	TEMPO DE PRENSAGEM	TEOR DE RESINA (%)	DENSIDADE (g/cm ³)	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (%)
T18	até 95°C	12	0,62 c	5,70
T15	95°C + 2 min	8	0,69 a	3,19
T14	95°C + 1 min	8	0,66 b	5,45
T13	até 95°C	8	0,65 b	4,06

* Letras diferentes denotam diferenças estatísticas entre as médias ao nível de 95% de probabilidade.

TABELA 48 – EFEITO DO TEOR DE RESINA NOS VALORES MÉDIOS DE ESPESSURA EM AGLOMERADOS

TRATAMENTO	TEMPO DE PRENSAGEM	TEOR DE RESINA (%)	ESPESSURA (mm)	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (%)
T18	até 95°C	12	16,0 a	1,48
T15	95°C + 2 min	8	14,2 c	0,61
T14	95°C + 1 min	8	14,2 c	0,88
T13	até 95°C	8	15,0 b	1,15

* Letras diferentes denotam diferenças estatísticas entre as médias ao nível de 95% de probabilidade.

4.2.4.2. Influência do teor de resina na flexão estática (MOR e MOE)

O aumento no teor de resina de 8 para 12% ocasionou uma redução estatística nos valores de flexão estática, tanto em MOR quanto em MOE (Tabela 49). Conforme mencionado anteriormente, trata-se de painéis que não atingiram a devida consolidação pelo curto período de prensagem, e como ocorreu uma elevação na ligação interna, aliado a redução de densidade e aumento em espessura do painel, deduz-se que houve um prejuízo na consistência das ligações nas camadas superficiais, pois estas, após a conclusão da prensagem, reagiram contra a pressão sofrida expandindo-se pela sua fraca consolidação. Portanto, um período de prensagem mais longo poderia proporcionar resultados melhores e diferenciados.

TABELA 49 – EFEITO DO TEOR DE RESINA NOS VALORES MÉDIOS DE FLEXÃO ESTÁTICA (MOR E MOE) PARA Prensagem ATÉ 95°C NO MIOLO DE AGLOMERADOS

TRATAMENTO	TEOR DE RESINA (%)	FLEXÃO ESTÁTICA (kgf/cm ²)	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (%)
MOR			
T13	8	107,22 a	8,66
T18	12	88,72 b	20,04
MOE			
T13	8	12348 a	12,86
T18	12	10074 b	19,47

* Letras diferentes denotam diferenças estatísticas entre as médias ao nível de 95% de probabilidade.

4.2.4.3. Influência do teor de resina na absorção de água e inchamento em espessura

Com relação a absorção de água em 2 horas de imersão, os níveis obtidos foram estatisticamente iguais (Tabela 50), ou seja, a porosidade não foi alterada com o aumento do teor de resina, pelo menos nas camadas superficiais, pois a consolidação destes painéis provavelmente não foi efetiva, devido ao reduzido tempo de prensagem (tempo até o miolo atingir 95°C), já que os mesmos expandiram em espessura após a finalização da prensagem (Tabela 48).

Este aumento em espessura, devido a liberação das tensões de compressão, torna os painéis menos densos, possibilitando que os mesmos possam absorver mais água nas primeiras horas de imersão.

Todavia, já em relação a imersão por 24 horas, ocorreu uma redução estatística na absorção de água nos painéis que receberam 12% de resina (Tabela 50). Neste caso, conforme já anteriormente verificado, ocorreu um aumento significativo na ligação interna (Tabela 46) com a elevação do teor

de resina, por conseguinte, teores de resina em níveis mais elevados melhoram a ligação entre as partículas, dificultando o contato da água com a massa constituinte da partícula. Além disso, com o miolo do painel melhor consolidado, que se verificou pelos melhores resultados em ligação interna, absorverá a água de forma mais lenta. Segundo Roffael & Rauch (1972) e Lehmann (1974) citados por Kelly (1977), em seus estudos, 24 horas de imersão não foram suficientes para uma saturação completa, e sim, vários dias de imersão.

Com relação ao inchamento em espessura, através da Tabela 51, verificou-se que houve uma redução estatística em inchamento decorrente do aumento no teor de resina. A elevação no teor de resina dificulta o contato da água com as partículas e, conseqüentemente, a absorção de água por elas, acarretando uma redução nos índices de inchamento em espessura. Este resultado nos painéis de partículas finas é bem notado devido ao fato de que 8% de resina para estes painéis é considerado um teor relativamente reduzido para uma consolidação ideal.

TABELA 50 – EFEITO DO TEOR DE RESINA NOS VALORES MÉDIOS DE ABSORÇÃO DE ÁGUA APÓS 2 E 24 HORAS DE IMERSÃO EM ÁGUA PARA Prensagem até 95°C no miolo de aglomerados

TRATAMENTO	TEOR DE RESINA (%)	ABSORÇÃO DE ÁGUA (%)	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (%)
2 HORAS			
T13	8	79,90 a	5,54
T18	12	81,01 a	9,36
24 HORAS			
T13	8	90,93 a	3,22
T18	12	85,12 b	7,74

* Letras diferentes denotam diferenças estatísticas entre as médias ao nível de 95% de probabilidade.

TABELA 51 – EFEITO DO TEOR DE RESINA NOS VALORES MÉDIOS DE INCHAMENTO EM ESPESSURA APÓS 2 E 24 HORAS DE IMERSÃO EM ÁGUA PARA Prensagem até 95°C NO MIOLO DE AGLOMERADOS

TRATAMENTO	TEOR DE RESINA (%)	INCHAMENTO EM ESPESSURA (%)	COEFICIENTE EM ESPESSURA (%)
2 HORAS			
T13	8	16,40 a	6,90
T18	12	3,32 b	23,35
24 HORAS			
T13	8	18,16 a	5,71
T18	12	4,39 b	21,10

* Letras diferentes denotam diferenças estatísticas entre as médias ao nível de 95% de probabilidade.

4.3. Avaliação comparativa entre os painéis homogêneos de partículas grossas com os de partículas finas

4.3.1. Tempo de aquecimento no miolo do painel

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 52, o tempo de aquecimento do colchão de partículas finas se mostrou superior com a adição de água em teor de 3%. Este fato, provavelmente, se deve ao inferior volume de espaços vazios presente no colchão, dificultando a passagem do fluxo de vapor, que somado à maior área de contato das partículas, aumenta a troca de calor entre vapor e partículas. Além disso, a maior dificuldade da passagem do vapor também se manifesta na saída deste para o ambiente, que se processa pela linha central do painel, e com maior dificuldade na eliminação do excesso desta umidade, acentua-se a oscilação da temperatura assim como aumenta-se sua duração.

Nos painéis de partículas grossas, por sua vez, houve uma redução no tempo de aquecimento (Tabela 52), já que a umidade pode translocar-se para o miolo mais facilmente devido a maior porosidade, trocando menos calor com as partículas pelo fato de ter menor área de contato, devido as suas maiores dimensões, assim como pela passagem mais rápida de vapor.

Considerando painéis sem adição de água, o efeito dos vapores são mais reduzidos, e o transporte de calor se volta mais para a condução através do contato entre as partículas. Como as partículas finas possuem uma área de contato muito maior que as partículas grossas, aliado a uma reduzida massa por partícula, o tempo de aquecimento torna-se mais rápido do que nos painéis de partículas das grossas.

Ressalva-se que o aumento de água decorrente da elevação no teor de resina de 8 para 12%, não foi suficiente para alterar estatisticamente os valores médios de velocidade de aquecimento até atingir 95°C no miolo, tanto em painéis de partículas grossas quanto em painéis de partículas finas.

TABELA 52 – EFEITO DOS TRATAMENTOS NOS VALORES MÉDIOS DE TEMPO DE AQUECIMENTO ATÉ 95°C NO MIOLO DE AGLOMERADOS DE PARTÍCULAS GROSSAS E FINAS

TRATAMENTO	EFEITO	TEMPO DE AQUECIMENTO (s)	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (%)
PARTÍCULAS GROSSAS			
T10	Teor de resina: 12%	157 a b	6,14
T2	Resina: 8%; água: 0%	177 a	2,20
T5	Resina: 8%; água: 0%	169 a b	2,97
T7	Adição de água: 3%	124 c	5,26
PARTÍCULAS FINAS			
T18	Teor de resina: 12%	141 b c	2,81
T13	Resina: 8%; água: 0%	153 b	1,96
T15	Resina: 8%; água: 0%	142 b c	3,62
T17	Adição de água: 3%	225 a	23,60

Testemunha: 8% resina; 0% água; * Letras diferentes denotam diferenças estatísticas entre as médias ao nível de 95% de probabilidade.

4.3.2. Influência do tempo de prensagem

4.3.2.1. Influência do tempo de prensagem na ligação interna

A Tabela 64 apresenta os resultados estatisticamente idênticos, ou seja, não houve alteração nos valores médios de ligação interna com o aumento de tempo de prensagem. Portanto, a ligação interna é logo alcançada pelos painéis de partículas grossas, e o prolongamento do tempo de prensagem não melhorou os resultados.

Os painéis de partículas finas apresentaram o mesmo comportamento nos resultados, ou seja, não houve alteração nos valores médios de ligação interna com o aumento no tempo de prensagem. Contudo, é possível que os

resultados nas partículas finas ainda possam ser melhores com tempos de prensagem ainda mais longos.

TABELA 53 – EFEITO DO TEMPO DE PRENSAGEM NOS VALORES MÉDIOS DE LIGAÇÃO INTERNA EM AGLOMERADOS DE PARTÍCULAS GROSSAS E FINAS

TRATAMENTO	TEMPO DE PRENSAGEM	LIGAÇÃO INTERNA (kgf/cm ²)	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (%)
PARTÍCULAS GROSSAS			
T2	até 95°C	8,74 a	11,81
T5	95°C + 2 min	7,86 a	12,00
PARTÍCULAS FINAS			
T13	até 95°C	5,79 a	26,04
T15	95°C + 2 min	6,74 a	21,70

* Letras diferentes denotam diferenças estatísticas entre as médias ao nível de 95% de probabilidade.

4.3.2.2. Influência do tempo de prensagem na flexão estática (MOR e MOE)

As partículas grossas obtiveram valores estatisticamente superiores em valores médios de MOR com o aumento no tempo de prensagem de até 95°C para 2 min após atingir 95°C (Tabela 54). Contudo, nas partículas finas, os valores foram estatisticamente idênticos. É provável que seria necessário um período de tempo superior ao empregado para atingir uma consolidação efetiva nos painéis de partículas finas, que dependeria de novos estudos com períodos de tempo de prensagem mais longos.

A transmissão mais lenta de temperatura em colchões de partículas finas requer um período de tempo mais longo na prensagem, a fim de que se obtenha resultados efetivos.

Com relação aos resultados em MOE, pela Tabela 55, verifica-se que houve um aumento estatístico nos valores médios de MOE quando do aumento do tempo de prensagem de até 95°C para 2 min após atingir 95°C, para ambos os tipos de painéis.

Comparando-se os painéis de partículas finas e grossas, verifica-se o efeito da geometria das partículas nos resultados em flexão estática. Menores dimensões, principalmente o comprimento, prejudicam os resultados.

TABELA 54 – EFEITO DO TEMPO DE PRENSAGEM NOS VALORES MÉDIOS DE MÓDULO DE RUPTURA (MOR) EM AGLOMERADOS DE PARTÍCULAS GROSSAS E FINAS

TRATAMENTO	TEMPO DE PRENSAGEM	MÓDULO DE RUPTURA (kgf/cm ²)	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (%)
PARTÍCULAS GROSSAS			
T2	até 95°C	94,18 b	13,04
T5	95°C + 2 min	161,38 a	12,87
PARTÍCULAS FINAS			
T13	até 95°C	107,22 a	8,66
T15	95°C + 2 min	117,03 a	12,27

* Letras diferentes denotam diferenças estatísticas entre as médias ao nível de 95% de probabilidade.

TABELA 55 – EFEITO DO TEMPO DE PRENSAGEM NOS VALORES MÉDIOS DE MÓDULO DE ELASTICIDADE (MOE) EM AGLOMERADOS DE PARTÍCULAS GROSSAS E FINAS

TRATAMENTO	TEMPO DE PRENSAGEM	MÓDULO DE ELASTICIDADE (kgf/cm ²)	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (%)
PARTÍCULAS GROSSAS			
T2	até 95°C	10798 b	11,74
T5	95°C + 2 min	18838 a	11,71
PARTÍCULAS FINAS			
T13	até 95°C	12348 b	12,86
T15	95°C + 2 min	14364 a	10,64

* Letras diferentes denotam diferenças estatísticas entre as médias ao nível de 95% de probabilidade.

4.3.2.3. Influência do tempo de prensagem na absorção de água e inchamento em espessura

Verificou-se, pelos resultados das Tabelas 56 e 57, que os painéis de partículas grossas apresentam valores médios de absorção estatisticamente inferiores no tempo de prensagem de 2 min após atingir 95°C, para as imersões de 2 horas e 24 horas. Os painéis de partículas finas acompanhou o mesmo comportamento, a exceção da imersão por 24 horas, que apresentou valores estatisticamente idênticos.

O aumento no tempo de prensagem influenciou de forma mais evidente na redução em absorção de água nos painéis de partículas grossas. Painéis de menor tempo de prensagem (tempo até o miolo atingir 95°C), apresentaram maior absorção em 2 horas e 24 horas de imersão, devido a uma consolidação não efetiva, que causa uma inferior densidade e maior porosidade.

Outrossim, a redução em absorção de água, nos painéis de partículas finas, é influenciado pelo efeito da geometria das partículas na porosidade dos painéis.

TABELA 56 – EFEITO DO TEMPO DE PRENSAGEM NOS VALORES MÉDIOS DE ABSORÇÃO DE ÁGUA APÓS 2 HORAS DE IMERSÃO EM ÁGUA EM AGLOMERADOS DE PARTÍCULAS GROSSAS E FINAS

TRATAMENTO	TEMPO DE PRENSAGEM	ABSORÇÃO DE ÁGUA (%)	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (%)
PARTÍCULAS GROSSAS			
T2	até 95°C	99,49 a	2,90
T5	95°C + 2 min	83,46 b	1,98
PARTÍCULAS FINAS			
T13	até 95°C	79,90 a	5,54
T15	95°C + 2 min	73,40 b	18,62

* Letras diferentes denotam diferenças estatísticas entre as médias ao nível de 95% de probabilidade.

TABELA 57 – EFEITO DO TEMPO DE PRENSAGEM NOS VALORES MÉDIOS DE ABSORÇÃO DE ÁGUA APÓS 24 HORAS DE IMERSÃO EM ÁGUA EM AGLOMERADOS DE PARTÍCULAS GROSSAS E FINAS

TRATAMENTO	TEMPO DE PRENSAGEM	ABSORÇÃO DE ÁGUA (%)	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (%)
PARTÍCULAS GROSSAS			
T2	até 95°C	105,50 a	3,01
T5	95°C + 2 min	92,49 b	2,09
PARTÍCULAS FINAS			
T13	até 95°C	90,93 a	3,22
T15	95°C + 2 min	86,37 a	6,45

* Letras diferentes denotam diferenças estatísticas entre as médias ao nível de 95% de probabilidade.

Nos resultados em inchamento em espessura dos painéis, de acordo com as Tabelas 58 e 59, os painéis de partículas apesar de se apresentarem mais estáveis dimensionalmente que o de partículas grossas, obteve a mesma tendência de resultados, ou seja, com o aumento do tempo de prensagem para 2 min após atingir 95°C, houve aumento estatístico nos valores médios de inchamento em espessura, tanto em imersão por 2 horas como em imersão por 24 horas. Ou seja, a diferença de geometria não alterou o comportamento em que com consolidação mais efetiva decorrente de um tempo de prensagem superior, eleva-se os valores de inchamento em espessura, que traduz a liberação das tensões de compressão com a absorção de água pelos painéis.

A diferença numérica de inchamento entre os painéis de partículas grossas e finas, é contemplada por Kelly (1977), pois em painéis de partículas finas há uma melhor dispersão do inchamento higroscópico nas lacunas interpartículas, ou seja, o inchamento se procede nos espaços macroscópicos do painel, resultando em inchamento em espessura em proporções inferiores.

TABELA 58 – EFEITO DO TEMPO DE PRENSAGEM NOS VALORES MÉDIOS DE INCHAMENTO EM ESPESSURA APÓS 2 HORAS DE IMERSÃO EM ÁGUA EM AGLOMERADOS DE PARTÍCULAS GROSSAS E FINAS

TRATAMENTO	TEMPO DE PRENSAGEM	INCHAMENTO EM ESPESSURA (%)	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (%)
PARTÍCULAS GROSSAS			
T2	até 95°C	17,41 b	7,45
T5	95°C + 2 min	33,41 a	4,18
PARTÍCULAS FINAS			
T13	até 95°C	16,40 b	6,90
T15	95°C + 2 min	19,56 a	4,23

* Letras diferentes denotam diferenças estatísticas entre as médias ao nível de 95% de probabilidade.

TABELA 59 – EFEITO DO TEMPO DE PRENSAGEM NOS VALORES MÉDIOS DE INCHAMENTO EM ESPESSURA APÓS 24 HORAS DE IMERSÃO EM ÁGUA EM AGLOMERADOS DE PARTÍCULAS GROSSAS E FINAS

TRATAMENTO	TEMPO DE PRENSAGEM	INCHAMENTO EM ESPESSURA (%)	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (%)
PARTÍCULAS GROSSAS			
T2	até 95°C	19,68 b	6,90
T5	95°C + 2 min	36,63 a	4,36
PARTÍCULAS FINAS			
T13	até 95°C	18,16 b	5,71
T15	95°C + 2 min	21,65 a	3,62

* Letras diferentes denotam diferenças estatísticas entre as médias ao nível de 95% de probabilidade.

4.3.3. Influência da adição de água

4.3.3.1. Influência da adição de água na ligação interna

De acordo com a Tabela 60, nas partículas grossas, o resultado apresentado pelos painéis que não receberam água atingiram valores médios em ligação interna estatisticamente superior aos que receberam água. Além disso, entre os painéis que receberam 3% de água, os de tempo de tempo de prensagem mais longo, 2 min após atingir 95°C, obtiveram valores médios de ligação interna estatisticamente superior aos que foram prensados com o tempo de 1 min após atingir 95°C. Portanto, os painéis que não receberam água atingiram uma consolidação mais efetiva no miolo, e entre os que receberam 3% de água, o tempo de prensagem mais longo foi suficiente para tornar a consolidação mais efetiva no miolo dos painéis, aumentando os valores de ligação interna. Entretanto, verifica-se que para os painéis que receberam 3% de água, o tempo de 2 min após atingir 95°C ainda não é

suficiente para uma consolidação ideal, pois os valores obtidos ainda são estatisticamente inferiores aos que não receberam água.

No caso das partículas finas, os níveis de ligação interna não foram alterados estatisticamente com a adição de 3% de umidade para os tempos de prensagem de 1 minuto após o miolo atingir 95°C, assim como para o tempo de prensagem de 2 minutos após o miolo atingir 95°C. Ressalva-se que, neste caso, o tempo para se atingir 95°C foi, em média, superior em mais de um minuto aos que não receberam água (Tabela 52), oposto do que ocorreu com os painéis de partículas grossas. Desta forma, houve um aumento no tempo total de prensagem, e este tempo de prensagem superior provavelmente influenciou na consolidação dos painéis, já que permite a eliminação do excesso de umidade pelas bordas do painel por um tempo mais prolongado, o que pode refletir em melhores resultados em ligação interna.

Ressalva-se que o efeito da geometria das partículas em painéis de partículas finas reduz a porosidade destes e, conseqüentemente, a velocidade de transmissão de calor por convecção, já que o fluxo de vapor fica prejudicado, o que provavelmente contribuiu para o aumento do tempo de aquecimento com a adição de 3% de água.

Além disso, provavelmente não se atingiu uma consolidação ideal nos painéis de partículas finas, sendo necessário novos estudos com outros períodos de prensagem.

TABELA 60 – EFEITO DA ADIÇÃO DE ÁGUA NOS VALORES MÉDIOS DE LIGAÇÃO INTERNA PARA Prensagem de 1 e de 2 minutos após atingir 95°C no miolo de aglomerados de partículas grossas e finas

TRATAMENTO	TEMPO DE Prensagem	ADIÇÃO DE ÁGUA (%)	LIGAÇÃO INTERNA (kgf/cm ²)	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (%)
------------	--------------------	--------------------	--	-----------------------------

PARTÍCULAS GROSSAS

T4	95°C + 1 min	0	8,70 a	12,88
T5	95°C + 2 min	0	7,86 a	12,00
T6	95°C + 1 min	3	4,84 c	23,78
T7	95°C + 2 min	3	6,32 b	16,37

PARTÍCULAS FINAS

T14	95°C + 1 min	0	6,23 a b c	20,98
T15	95°C + 2 min	0	6,74 a b	21,70
T16	95°C + 1 min	3	6,26 a b c	13,50
T17	95°C + 2 min	3	6,94 a	10,07

* Letras diferentes denotam diferenças estatísticas entre as médias ao nível de 95% de probabilidade; ¹ tempo de prensagem de 1 minuto após atingir 95°C no miolo; ² tempo de prensagem de 2 minutos após atingir 95°C no miolo.

4.3.3.2. Influência da adição de água na flexão estática (MOR e MOE)

A adição de 3% de água auxiliou na compactação dos painéis, além disso, ressalva-se que, no caso das partículas finas, o tempo de aquecimento foi superior com a adição de água, aumentando o tempo real total da prensagem melhorando a consolidação. O oposto ocorreu com as painéis de partículas grossas, ou seja, o tempo de aquecimento foi mais curto, reduzindo o tempo real de prensagem, acarretando uma consolidação menos efetiva. Todavia, de modo geral, as partículas finas apresentam uma melhor estabilidade em relação as partículas grossas. Esta condição é verificada pelos resultados em MOR e MOE (Tabelas 61 e 62) onde nas partículas grossas há uma redução estatística nos valores médios em MOR e MOE com a adição de 3% de água, enquanto que nas partículas finas não houve diferença estatística

para MOR e ocorreu o inverso em MOE, ou seja, a aplicação de 3% de água aumentou os valores.

O maior tempo de prensagem, devido ao aquecimento mais lento nos painéis de partículas finas que receberam 3% de água, provavelmente contribuiu para uma consolidação mais efetiva das camadas mais externas dos painéis, contribuindo para resultados melhores em flexão estática.

Ressalva-se que a oscilação de temperatura durante o aquecimento nos painéis que receberam água evidencia uma condição de não permitir uma determinação precisa do aquecimento, o que leva a uma necessidade de estudos com adição de água em níveis mais reduzidos, a fim de se encontrar respostas mais conclusivas. Portanto, a adição de água, dependendo do teor, pode desestabilizar o controle do ciclo de prensagem.

TABELA 61 – EFEITO DA ADIÇÃO DE ÁGUA NOS VALORES MÉDIOS DE MÓDULO DE RUPTURA (MOR) PARA PRENSAGEM DE 2 MINUTOS APÓS ATINGIR 95°C NO MIOLO DE AGLOMERADOS DE PARTÍCULAS GROSSAS E FINAS

TRATAMENTO	ADIÇÃO DE ÁGUA (%)	MÓDULO DE RUPTURA (kgf/cm ²)	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (%)
PARTÍCULAS GROSSAS			
T5	0	161,38 a	12,87
T7	3	115,53 b	8,93
PARTÍCULAS FINAS			
T15	0	117,03 a	12,27
T17	3	128,24 a	23,19

* Letras diferentes denotam diferenças estatísticas entre as médias ao nível de 95% de probabilidade.

TABELA 62 – EFEITO DA ADIÇÃO DE ÁGUA NOS VALORES MÉDIOS DE MÓDULO DE ELASTICIDADE (MOE) PARA Prensagem de 2 minutos após atingir 95°C no MIOLO DE AGLOMERADOS DE PARTÍCULAS GROSSAS E FINAS

TRATAMENTO	ADIÇÃO DE ÁGUA (%)	MÓDULO DE ELASTICIDADE (kgf/cm ²)	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (%)
PARTÍCULAS GROSSAS			
T5	0	18838 a	11,71
T7	3	12408 b	9,78
PARTÍCULAS FINAS			
T15	0	14364 b	10,64
T17	3	16161 a	17,27

* Letras diferentes denotam diferenças estatísticas entre as médias ao nível de 95% de probabilidade.

4.3.3.3. Influência da adição de água na absorção e inchamento em espessura

As Tabelas 63 a 66 apresentam os resultados em absorção de água e inchamento em espessura por imersão em 2 e 24 horas.

TABELA 63 – EFEITO DA ADIÇÃO DE ÁGUA NOS VALORES MÉDIOS DE ABSORÇÃO DE ÁGUA APÓS 2 HORAS DE IMERSÃO EM ÁGUA PARA Prensagem de 2 minutos após atingir 95°C no miolo de aglomerados de partículas grossas e finas

TRATAMENTO	ADIÇÃO DE ÁGUA (%)	ABSORÇÃO DE ÁGUA (%)	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (%)
PARTÍCULAS GROSSAS			
T5	0	83,46 b	1,98
T7	3	90,93 a	3,82
PARTÍCULAS FINAS			
T15	0	73,40 a	18,62
T17	3	77,43 a	11,33

* Letras diferentes denotam diferenças estatísticas entre as médias ao nível de 95% de probabilidade.

TABELA 64 – EFEITO DA ADIÇÃO DE ÁGUA NOS VALORES MÉDIOS DE ABSORÇÃO DE ÁGUA APÓS 24 HORAS DE IMERSÃO EM ÁGUA PARA Prensagem de 2 minutos após atingir 95°C no miolo de aglomerados de partículas grossas e finas

TRATAMENTO	ADIÇÃO DE ÁGUA (%)	ABSORÇÃO DE ÁGUA (%)	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (%)
PARTÍCULAS GROSSAS			
T5	0	92,49 b	2,09
T7	3	97,43 a	3,71
PARTÍCULAS FINAS			
T15	0	86,37 a	6,45
T17	3	84,36 a	9,59

* Letras diferentes denotam diferenças estatísticas entre as médias ao nível de 95% de probabilidade.

Com relação a absorção, a consolidação comprometida dos painéis de partículas grossas com a adição de 3% de água se reflete num aumento estatístico nos valores médios de absorção tanto para 2 horas como para 24 horas de imersão em água.

Nos painéis de partículas finas, devido a elevação do tempo de aquecimento com a adição de água, houve uma igualdade estatística entre os valores médios de absorção entre os painéis que não receberam água e os que receberam 3% de água, em 2 horas e em 24 horas de imersão.

Ressalva-se que a absorção é mais lenta nos painéis de partículas finas, estando estes mais distantes de uma saturação que os de partículas grossas. Desta forma, os painéis de partículas finas absorvem água em proporções menores que os de partículas grossas, apresentando-se de forma mais estável.

TABELA 65 – EFEITO DA ADIÇÃO DE ÁGUA NOS VALORES MÉDIOS DE INCHAMENTO EM ESPESSURA APÓS 2 HORAS DE IMERSÃO EM ÁGUA PARA Prensagem de 2 minutos APÓS ATINGIR 95°C NO MIOLO DE AGLOMERADOS DE PARTÍCULAS GROSSAS E FINAS

TRATAMENTO	ADIÇÃO DE ÁGUA (%)	INCHAMENTO EM ESPESSURA (%)	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (%)
PARTÍCULAS GROSSAS			
T5	0	33,41 a	4,18
T7	3	21,99 b	8,18
PARTÍCULAS FINAS			
T15	0	19,56 a	4,23
T17	3	17,46 a	6,93

* Letras diferentes denotam diferenças estatísticas entre as médias ao nível de 95% de probabilidade.

TABELA 66 – EFEITO DA ADIÇÃO DE ÁGUA NOS VALORES MÉDIOS DE INCHAMENTO EM ESPESSURA APÓS 24 HORAS DE IMERSÃO EM ÁGUA PARA Prensagem de 2 minutos APÓS ATINGIR 95°C NO MIOLO DE AGLOMERADOS DE PARTÍCULAS GROSSAS E FINAS

TRATAMENTO	DENSIDADE	ADIÇÃO DE ÁGUA (%)	INCHAMENTO EM ESPESSURA (%)	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (%)
PARTÍCULAS GROSSAS				
T5	0,69 a	0	36,63 a	4,36
T7	0,64 b	3	25,89 b	7,22
PARTÍCULAS FINAS				
T15	0,69 a	0	21,65 a	3,62
T17	0,70 a	3	19,42 a	8,21

* Letras diferentes denotam diferenças estatísticas entre as médias ao nível de 95% de probabilidade.

No inchamento em espessura, os painéis de partículas grossas apresentaram valores médios de inchamentos em espessura estatisticamente superiores aos painéis que não receberam água. Isto se deve às consolidações mais efetivas nos painéis sem adição de água, refletidas em superiores densidades .

Nos painéis de partículas finas, a consolidação provavelmente ocorre em níveis próximos entre os painéis que receberam água com os que não receberam, pois a aplicação de 3% de água nestes painéis aumenta o tempo de prensagem em mais de um minuto, devido ao aquecimento mais lento até atingir 95°C. Ressalva-se que, provavelmente, a saturação total não foi atingida em nenhum dos casos com os painéis de partículas finas, que tendo uma absorção mais lenta, apresenta uma resposta em inchamento também de forma mais vagarosa. De qualquer forma, ressalva-se que, os painéis de partículas finas apresentam resultados homogêneos, sendo mais estáveis que os de partículas grossas.

4.3.4. Influência do teor de resina

4.3.4.1. Influência do teor de resina na ligação interna

Através da Tabela 67, observa-se comportamento inverso nos resultados médios em ligação interna obtidos entre os painéis de partículas grossas e finas. Nos dois casos a consolidação dos painéis possivelmente não foi efetiva, devido ao tempo insuficiente de prensagem, pois a densidade ficou abaixo do projetado de $0,7 \text{ g/cm}^3$.

Nos painéis de partículas grossas, o aumento do teor de água decorrente do aumento da solução de resina de 8 para 12% reduziu estatisticamente os valores médios de ligação interna, provavelmente pela maior porosidade, que pode possibilitar um acúmulo de umidade vaporizada no miolo do colchão, e antes de que sua eliminação pelas bordas se finalizasse, o ciclo de prensagem se encerra, o que prejudica uma efetiva consolidação na região central, reduzindo os valores de ligação interna.

Nos painéis de partículas finas, por sua vez, ocorreu o inverso, já que apresentou aumento estatístico nos valores médios de ligação interna com o aumento na quantidade de resina. A consolidação no miolo do painel, neste caso, foi mais efetiva. Ressalva-se que 8% de resina para painéis de partículas finas é considerado uma quantidade insuficiente para uma efetiva consolidação, desta forma, o aumento na quantidade de resina para 12%, supre em parte esta deficiência, proporcionando uma melhor consolidação no miolo do painel, independentemente do tempo de prensagem aplicado, provavelmente, não ter sido longo o suficiente para uma consolidação efetiva.

TABELA 67 – EFEITO DO TEOR DE RESINA NOS VALORES MÉDIOS DE LIGAÇÃO INTERNA PARA Prensagem até 95°C no miolo de aglomerados de partículas grossas e finas

TRATAMENTO	DENSIDADE	TEOR DE RESINA (%)	LIGAÇÃO INTERNA (kgf/cm ²)	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (%)
PARTÍCULAS GROSSAS				
T2	0,58	8	8,74 a	11,81
T10	0,59	12	5,96 b	70,13
PARTÍCULAS FINAS				
T13	0,66	8	5,79 b	26,04
T18	0,62	12	8,07 a	22,83

* Letras diferentes denotam diferenças estatísticas entre as médias ao nível de 95% de probabilidade.

4.3.4.2. Influência do teor de resina na flexão estática (MOR e MOE)

Nos painéis de partículas grossas, o aumento de resina implica em aumento de água, e apesar da inferior consolidação no miolo, o aumento de resina de 8% para 12% acarretou um aumento estatístico nos valores médios de MOR e MOE, indicando uma consolidação mais efetiva das camadas superficiais com o aumento na quantidade de resina (Tabela 68).

Com os painéis de partículas finas, houve uma redução estatística nos valores médios de MOR e MOE com o aumento na quantidade de resina (Tabela 68). A maior quantidade de água presente no aumento da quantidade de resina, aliado à menor porosidade e tempo insuficiente de prensagem afetou negativamente os resultados em flexão estática. Novos estudos, com tempos de prensagem superiores ao aqui estudados, poderiam esclarecer melhor este comportamento.

TABELA 68 – EFEITO DO TEOR DE RESINA NOS VALORES MÉDIOS DE FLEXÃO ESTÁTICA (MOR E MOE) PARA Prensagem ATÉ 95°C NO MIOLO DE AGLOMERADOS DE PARTÍCULAS GROSSAS E FINAS

TRATAMENTO	TEOR DE RESINA (%)	FLEXÃO ESTÁTICA (kgf/cm ²)	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (%)
PARTÍCULAS GROSSAS – MOR			
T2	8	94,18 b	13,04
T10	12	114,07 a	31,14
PARTÍCULAS FINAS – MOR			
T13	8	107,22 a	8,66
T18	12	88,72 b	20,04
PARTÍCULAS GROSSAS – MOE			
T2	8	10798 b	11,74
T10	12	13087 a	19,89
PARTÍCULAS FINAS – MOE			
T13	8	12348 a	12,86
T18	12	10074 b	19,47

* Letras diferentes denotam diferenças estatísticas entre as médias ao nível de 95% de probabilidade.

4.3.4.3. Influência do teor de resina na absorção de água e inchamento em espessura

Pela Tabela 69 verifica-se uma redução estatística nos valores médios de absorção de água nos painéis de partículas grossas em 2 horas e 24 horas de imersão em água. Ou seja, o aumento de resina dificultou o acesso da água nos painéis, reduzindo sua porosidade.

Para os painéis de partículas finas, a absorção em imersão por 24 horas foi estatisticamente inferior com o aumento na quantidade de resina. Contudo, para imersão de 2 horas, não houve diferença estatística. Observa-

se, contudo, que os painéis de partículas finas tiveram redução de flexão estática e aumento na ligação interna com o aumento de resina, e esta observada pode explicar em parte este comportamento, pois evidencia uma redução na consolidação das camadas superficiais e um aumento na consolidação da camada interna. Ou seja, a camada interna foi menor acessível a ação da água.

TABELA 69 – EFEITO DO TEOR DE RESINA NOS VALORES MÉDIOS DE ABSORÇÃO DE ÁGUA APÓS 2 E 24 HORAS DE IMERSÃO EM ÁGUA PARA Prensagem até 95°C no miolo de aglomerados de partículas grossas e finas

TEOR DE RESINA (%)	ABSORÇÃO DE ÁGUA (%)	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (%)	TUKEY*
PARTÍCULAS GROSSAS – 2 HORAS			
T2	8	99,49 a	2,90
T10	12	88,56 b	6,05
PARTÍCULAS FINAS – 2 HORAS			
T13	8	79,90 a	5,54
T18	12	81,01 a	9,36
PARTÍCULAS GROSSAS – 24 HORAS			
T2	8	105,50 a	3,01
T10	12	93,17 b	5,82
PARTÍCULAS FINAS – 24 HORAS			
T13	8	90,93 a	3,22
T18	12	85,11 b	7,74

* Letras diferentes denotam diferenças estatísticas entre as médias ao nível de 95% de probabilidade.

Por meio da Tabela 70, verifica-se uma redução estatística nos valores médios de inchamento em espessura nos painéis de partículas grossas e finas, nos dois períodos de imersão (2 horas e 24 horas). Este comportamento caracteriza a maior dificuldade do contato da água com as partículas de madeira com o aumento no recobrimento das partículas pela resina devido à sua maior quantidade. Fato este mais notado, numericamente, nos painéis de partículas finas, pois neste caso, 8% de resina é uma quantidade pequena, e o aumento de 8% para 12% supre em parte esta deficiência. Ou seja, a quantidade mais elevada de resina melhora a consolidação do painel.

TABELA 70 – EFEITO DO TEOR DE RESINA NOS VALORES MÉDIOS DE INCHAMENTO EM ESPESSURA APÓS 2 E 24 HORAS DE IMERSÃO EM ÁGUA PARA Prensagem até 95°C no miolo de aglomerados de partículas grossas e finas

TRATAMENTO	TEOR DE RESINA (%)	INCHAMENTO EM ESPESSURA (%)	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (%)
PARTÍCULAS GROSSAS – 2 HORAS			
T2	8	17,41 a	7,45
T10	12	10,91 b	19,56
PARTÍCULAS FINAS – 2 HORAS			
T13	8	16,40 a	6,90
T18	12	3,32 b	23,35
PARTÍCULAS GROSSAS – 24 HORAS			
T2	8	19,68 a	6,90
T10	12	12,81 b	16,88
PARTÍCULAS FINAS – 24 HORAS			
T13	8	18,16 a	5,71
T18	12	4,39 b	21,10

* Letras diferentes denotam diferenças estatísticas entre as médias ao nível de 95% de probabilidade.

5. CONCLUSÕES

Tempo de prensagem:

1. O tempo de prensagem correspondente até o miolo do painel atingir 95°C, foi suficiente para obter resultados satisfatórios em ligação interna nos painéis que não receberam água;
2. Tempo de prensagem correspondente até o miolo do painel atingir 95°C foi insuficiente para uma consolidação efetiva em todos os tratamentos, confirmado pelos resultados de inchamento em espessura nos ensaios de imersão em água, assim como pelos valores obtidos em massa específica, tendo em vista que esta só foi atingida com o acréscimo de dois minutos após o miolo atingir 95°C;
3. Para os painéis que não receberam água, o tempo de prensagem de 2 minutos após o miolo atingir 95°C proporcionou os melhores resultados em densidade e flexão estática, indicando uma consolidação efetiva dos mesmos;
4. Tempo de prensagem inferior ao mínimo necessário para uma boa consolidação originou painéis menos densos, devido ao aumento da espessura destes após a abertura da prensa, decorrente de uma insuficiente consolidação dos painéis;
5. O período de tempo de prensagem baseado numa condição preestabelecida de temperatura no miolo do painel, permitirá um melhor controle na consolidação deste, pois será possível determinar e efetuar, simultaneamente, e em tempo real, um período de tempo ideal para a prensagem em curso;
6. Com base nos resultados obtidos, considerando a produção de painéis com 15 mm de espessura, tanto de partículas grossas como de partículas finas, com 3% de umidade, densidade = 0,7 g/cm³, 8% de resina uréia-formaldeído em solução, 2% de catalisador em solução aquosa, conclui-se que, o tempo total de prensagem, a partir de 4 minutos, em laboratório, foi suficiente para uma consolidação efetiva, considerando-se como início da contagem de tempo o momento do fechamento total da prensa.

Qualquer condição que aumente o teor de água requer aumento no tempo de prensagem;

Densificação:

7. Painéis mais densos dificultam a transferência de temperatura;
8. Quando a consolidação das camadas superficiais dos painéis é prejudicada por períodos curtos de prensagem, ocorrerá influência negativa nos valores de MOR e MOE;

Adição de água nas camadas superficiais:

9. A adição de 3% de água nas camadas superficiais do colchão acelera a elevação de temperatura no miolo dos painéis de partículas grossas, mas essa evolução se apresenta de forma oscilante;
10. A adição de 6% de água nas camadas superficiais do colchão torna o aquecimento mais lento nos painéis de partículas grossas, apresentando uma oscilação acentuada na evolução da temperatura, evidenciando uma excessivo teor de água;
11. A adição de 6% de água requer um tempo total de prensagem mais prolongado;
12. Nos painéis de partículas finas, a adição de 3% de umidade foi suficiente para provocar uma acentuada oscilação da temperatura durante o aquecimento do painel, além de tornar este aquecimento mais lento;
13. A adição de água nas camadas superficiais a partir de 3%, para os painéis de partículas grossas, em relação ao peso seco do painel, influenciou negativamente a ligação interna, assim como os resultados em flexão estática, tornando-se necessário, desta forma, tempos de prensagem ainda superiores aos aplicados no presente estudo, a fim de se obter uma consolidação efetiva dos painéis;
14. A oscilação acentuada de temperatura verificada durante o aquecimento dos painéis que receberam água, dificulta um controle preciso do ciclo de

prensagem, prejudicando a determinação de um tempo ideal de prensagem;

Aumento nos teores de resina e catalisador:

15. Aumento nos teores de resina e catalisador, sem a compensação nos teores de sólidos, podem alterar a velocidade da elevação da temperatura no painel, devido ao decorrente aumento no teor de água;
16. Para os painéis de partículas grossas, mantendo-se o mesmo tempo de prensagem, e elevando-se teor de resina, eleva-se a quantidade de água adicionada e, por conseguinte, afeta-se negativamente os resultados em ligação interna, mas melhora-se as respostas em flexão estática (MOR e MOE), devido a uma melhor densificação das camadas superficiais;
17. Para obter uma melhor densificação das camadas superficiais, não é imprescindível o aumento nos teores de resina, já que alterações nos teores de umidade nessas camadas, aliado a tempos de prensagem adequados podem contribuir para a heterogeneidade do gradiente vertical de densidade;

Painéis de partículas finas:

18. Considerando ensaios de absorção de água, os painéis de partículas finas são mais estáveis dimensionalmente do que os de partículas grossas, principalmente em painéis com adição de 3% de água;
19. Estes painéis apresentaram comportamento diferenciado aos de partículas grossas quando da aplicação de 3% de água, havendo uma oscilação de temperatura mais acentuada durante o aquecimento, que por sua vez, foi mais lento em mais de 2 minutos;
20. O aumento no teor de resina de 8% para 12% requer uma compensação no tempo de prensagem nos painéis de partículas finas para a eliminação do excesso de água pelas bordas dos painéis, evitando um comprometimento na consolidação geral destes.

6. RECOMENDAÇÕES

- Maiores estudos, considerando adições de água em variados teores, principalmente numa faixa compreendida abaixo de 6% para painéis de partículas grossas, e de 3% para painéis de partículas finas, se tornam necessários para uma otimização da interação quantitativa da água com a temperatura e o tempo de prensagem;
- Considerando a ligação interna do painel, novos estudos com adições de água em níveis inferiores a 3% devem ser desenvolvidos;
- Desenvolver estudos com variação no tempo de fechamento da prensa, visando alteração no gradiente de densidade, a fim de obter melhores resultados em MOR e MOE para painéis com a mesma razão de compactação;
- desenvolver estudos com uma maior gama de períodos de tempo de prensagem, a fim de verificar e comparar os resultados dos ensaios físico-mecânicos;
- Desenvolver estudos mais específicos relacionando dimensões das partículas e densidade dos painéis com a estabilidade dimensional, para tempos acima de 24 horas de imersão em água, visando a determinação do ponto da completa saturação das peças;
- A indústria de aglomerados pode implementar um sistema de prensagem que monitore, em tempo real, a temperatura no interior do colchão. Desta forma, será possível otimizar o ciclo de prensagem de forma efetiva e individualizada para cada painel.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Normas Técnicas**. Rio de Janeiro, 1998.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Standard test methods for evaluating properties of wood-based fiber and particle panel materials**, ASTM D 1037-96a. Philadelphia: v.04.10 (Annual book of ASTM standards), 1999.

BRITO, E. O. **A viabilidade de utilização de espécies de pinus para a produção de chapas de composição estruturais “waferboards”**. Curitiba: 1984. 104f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, 1984.

BRITO, E. O. **Produção de chapas de partículas de madeira a partir de maravalhas de *Pinus elliottii* Engelm. Var. *elliottii* plantado no sul do Brasil**. Curitiba: 1995. 123f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, 1995.

EUSEBIO, G. A., GENERALLA, N. C. Effect of particle size on resin adhesive distribution in particleboard manufacture of kaatoan bangkal (*Anthcephalus chinensis* (Lam.) Rich. ex Walp.). **FPRDI – Journal**, Philippines, v.12, n.3-4, p.12-19, 1983.

HARLESS, T. E. G. et al. A model to predict the density profile of particleboard, **Wood and Fiber Science**, Madison, v.19, n.1, p.81-92, 1987.

HATA, T. et al. Production of particleboard with steam-injection. **Wood Science and Technology**, Berlin, n.23, p.361-369, 1989.

HSU, W. E., MALONEY, T. M. Steam pretreatment for dimensionally stabilizing UF-bonded particleboard. In: **WASHINGTON STATE UNIVERSITY INTERNATIONAL PARTICLEBOARD COMPOSITE MATERIALS SYMPOSIUM, 23., 1989, Pulmann. Proceedings of the Twenty-Third Washington State University International Particleboard Composite Materials Symposium**, Pulmann: University Press, 1989. p.37-53.

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

IWAKIRI, S., **Painéis de madeira**. Curitiba: FUPEF/Série didática n°1/98, 1998. 128p.

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

KOLLMANN, F. F. P, KUENZI, E. W., STAMM, A. J. **Principles of wood science and technology.** Berlin: Springer-Verlag, 1975. 703p.

MALLARI, V. C. JR. et al. The manufacturing of particleboard I. Types of adhesives and optimum moisture content. **Journal of the Japan Wood Research Society**, Tokyo, v.32, n.6, p.425-431, 1986.

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

MARRA, A. A., **Technology of wood bonding.** Nova York: Van Nostrand Reinhold, 1992. 453p.

MATOS, J. L. M. **Ciclo da prensa em chapas de partículas estruturais.** Curitiba: 1988. 164f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, 1988.

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

NORMEN FÜR HOLZFASERPLATEN SPANPLATTEN SPERRHOLZ: testing of wood chipboards, bending test, determination of bending strength. **DIN 52362**, 1982, p. 39-40.

RAZINKOV, E., MURZIN, V. Chip wood microstructure. **Drevarsky-Vyskum**, Russia, v.42, n.1, p.23-30, 1997.

SCHULTE, M., FRUHWALD, A. Some investigations concerning density profile, internal bond and relating failure position of particleboard. **Holz als Roh und Werkstoff**, Berlin, v.54, n.5, p.289-294, 1996.

SEKINO, N., IRLE, M. A. Particleboard hygroscopicity: its prediction and the influence of hot-pressing. **Journal of the Japan Wood Research Society**, Tokyo, v.42, n.1, p.43-50, 1996.

STRICKLER, M. D. Effect of press cycle and moisture content on properties of Douglas-fir flakeboard. **Forest Products Journal**, Madison, v.9, n.7, p.203-215, 1959.

SUBIYANTO, B., KAWAI, S., SASAKI, H. Curing conditions of particleboard adhesives III. Optimum conditions of curing adhesives in steam injection pressing of particleboard. **Journal of the Japan Wood Research Society**, Tokyo, v.35, n.5, p.424-430, 1989.

SUBIYANTO, B., KAWAI, S., TANAHASHI, M., SASAKI, H. Curing conditions of particleboard adhesives II. Curing of adhesives under high steam pressures or temperatures. **Journal of the Japan Wood Research Society**, Tokyo, v.35, n.5, p.419-423, 1989.

SUBIYANTO, B. et al. Studies of curing condition of particleboard adhesives I. Effect of environmental temperature and adhesive temperature on gelation time. **Journal of the Japan Wood Research Society**, Tokyo, v.34, n.4, p.333-336, 1988.

SUO, S., BOWYER, J. L. Simulation modeling of particleboard density profile. **Wood and Fiber Science**, Madison, v.26, n.3, p.397-411, 1994.

SUZUKI, S., MIYAMOTO, K. Effect of manufacturing parameters in the linear expansion and density profile of particleboard. **Journal of Wood Science**, Tokyo, v.44, n.6, p.444-450, 1998.

TSOUMIS, G. T. **Science and technology of wood: structure, properties, utilization**. New York: Chapman & Hall, 1991. 494p.

VITAL, B. R., WILSON, J. B. W. Adsorption of particleboard and flakeboard, **Wood and Fiber**, Madison, v.12, n.4, p.264-271, 1980.

VITAL, B. R., WILSON, J. B. KANAREK, P. H. Parameters affecting dimensional stability of flakeboard and particleboard. **Forest Products Journal**, Madison, v.30, n.12, p.23-29, 1980.

WINISTORFER et al. Densification of wood composite mats during pressing: implications of mat structure and pressing schedules on density profile formation and panel properties. In: **INTERNATIONAL CONFERENCE ON THE DEVELOPMENT OF WOOD SCIENCE, 4., 1999, Missenden Abbey. Proceedings of the Fourth International Conference on the Development of Wood Science**, High Wycombe: FPRC, p.375-382, 1999.

WONG, E. D. et al. Effects of mat moisture content and press closing speed on the formation of density profile and properties of particleboard. **Japan Wood Science**, Tokyo, v.44, p.287-295, 1998.

WONG et al. Formation of the density profile and its effects on the properties of particleboard. **Wood Science and Technology**, Berlin, v.33, n.4, p.327-340, 1999.

XU, W., WINISTORFER, P. M. A procedure to determine thickness swell distribution in wood composite panels. **Wood and Fiber Science**, Madison, v.27, n.2, p.119-125, 1995.

XU, W., SUCHSLAND, O. Modulus of elasticity of wood composite panels with a uniform vertical density profile: a model. **Wood and Fiber Science**, Madison, v.30, n.3, p.293-300, 1998.

1 E DE 2 MINUTOS APÓS ATINGIR 95°C NO MIOLO DE AGLOMERADOS	99
42. EFEITO DA ADIÇÃO DE ÁGUA NOS VALORES MÉDIOS DE MÓDULO DE ELASTICIDADE PARA O TEMPO DE PRENSAGEM DE 1 E DE 2 MINUTOS APÓS ATINGIR 95°C NO MIOLO DE AGLOMERADOS	100
43. EFEITO DA ADIÇÃO DE ÁGUA NOS VALORES MÉDIOS DE ABSORÇÃO DE ÁGUA APÓS 2 E 24 HORAS DE IMERSÃO EM ÁGUA EM AGLOMERADOS COM PRENSAGEM DE 2 MINUTOS APÓS ATINGIR 95°C NO MIOLO.....	101
44. EFEITO DA ADIÇÃO DE ÁGUA NOS VALORES MÉDIOS DE DENSIDADE EM AGLOMERADOS COM PRENSAGEM DE 2 MINUTOS APÓS ATINGIR 95°C NO MIOLO	101
45. EFEITO DA ADIÇÃO DE ÁGUA NOS VALORES MÉDIOS DE INCHAMENTO EM ESPESSURA APÓS 2 E 24 HORAS DE IMERSÃO EM ÁGUA EM AGLOMERADOS COM PRENSAGEM DE 2 MINUTOS APÓS ATINGIR 95°C NO MIOLO	102
46. EFEITO DO TEOR DE RESINA NOS VALORES MÉDIOS DE LIGAÇÃO INTERNA EM AGLOMERADOS	104
47. EFEITO DO TEOR DE RESINA NOS VALORES MÉDIOS DE DENSIDADE EM AGLOMERADOS	104
48. EFEITO DO TEOR DE RESINA NOS VALORES MÉDIOS DE ESPESSURA EM AGLOMERADOS	105
49. EFEITO DO TEOR DE RESINA NOS VALORES MÉDIOS DE FLEXÃO ESTÁTICA (MOR E MOE) PARA PRENSAGEM ATÉ 95°C NO MIOLO DE AGLOMERADOS	106
50. EFEITO DO TEOR DE RESINA NOS VALORES MÉDIOS DE ABSORÇÃO DE ÁGUA APÓS 2 E 24 HORAS DE IMERSÃO EM ÁGUA PARA PRENSAGEM ATÉ 95°C NO MIOLO DE AGLOMERADOS	107
51. EFEITO DO TEOR DE RESINA NOS VALORES MÉDIOS DE INCHAMENTO EM ESPESSURA APÓS 2 E 24 HORAS DE	

IMERSÃO EM ÁGUA PARA PRENSAGEM ATÉ 95°C NO MIOLO DE AGLOMERADOS	108
52. EFEITO DOS TRATAMENTOS NOS VALORES MÉDIOS DE TEMPO DE AQUECIMENTO ATÉ 95°C NO MIOLO DE AGLOMERADOS DE PARTÍCULAS GROSSAS E FINAS.....	110
53. EFEITO DO TEMPO DE PRENSAGEM NOS VALORES MÉDIOS DE LIGAÇÃO INTERNA EM AGLOMERADOS DE PARTÍCULAS GROSSAS E FINAS	111
54. EFEITO DO TEMPO DE PRENSAGEM NOS VALORES MÉDIOS DE MÓDULO DE RUPTURA (MOR) EM AGLOMERADOS DE PARTÍCULAS GROSSAS E FINAS	112
55. EFEITO DO TEMPO DE PRENSAGEM NOS VALORES MÉDIOS DE MÓDULO DE ELASTICIDADE (MOE) EM AGLOMERADOS DE PARTÍCULAS GROSSAS E FINAS	113
56. EFEITO DO TEMPO DE PRENSAGEM NOS VALORES MÉDIOS DE ABSORÇÃO DE ÁGUA APÓS 2 HORAS DE IMERSÃO EM ÁGUA EM AGLOMERADOS DE PARTÍCULAS GROSSAS E FINAS	114
57. EFEITO DO TEMPO DE PRENSAGEM NOS VALORES MÉDIOS DE ABSORÇÃO DE ÁGUA APÓS 24 HORAS DE IMERSÃO EM ÁGUA EM AGLOMERADOS DE PARTÍCULAS GROSSAS E FINAS	114
58. EFEITO DO TEMPO DE PRENSAGEM NOS VALORES MÉDIOS DE INCHAMENTO EM ESPESSURA APÓS 2 HORAS DE IMERSÃO EM ÁGUA EM AGLOMERADOS DE PARTÍCULAS GROSSAS E FINAS	115
59. EFEITO DO TEMPO DE PRENSAGEM NOS VALORES MÉDIOS DE INCHAMENTO EM ESPESSURA APÓS 24 HORAS DE IMERSÃO EM ÁGUA EM AGLOMERADOS DE PARTÍCULAS GROSSAS E FINAS	116
60. EFEITO DA ADIÇÃO DE ÁGUA NOS VALORES MÉDIOS DE LIGAÇÃO INTERNA PARA PRENSAGEM DE 1 E DE 2	

MINUTOS APÓS ATINGIR 95°C NO MIOLO DE AGLOMERADOS DE PARTÍCULAS GROSSAS E FINAS	118
61. EFEITO DA ADIÇÃO DE ÁGUA NOS VALORES MÉDIOS DE MÓDULO DE RUPTURA (MOR) PARA Prensagem de 2 minutos após atingir 95°C no miolo de aglomerados de partículas grossas e finas	119
62. EFEITO DA ADIÇÃO DE ÁGUA NOS VALORES MÉDIOS DE MÓDULO DE ELASTICIDADE (MOE) PARA Prensagem de 2 minutos após atingir 95°C no miolo de aglomerados de partículas grossas e finas.....	120
63. EFEITO DA ADIÇÃO DE ÁGUA NOS VALORES MÉDIOS DE ABSORÇÃO DE ÁGUA APÓS 2 HORAS DE IMERSÃO EM ÁGUA PARA Prensagem de 2 minutos após atingir 95°C no miolo de aglomerados de partículas grossas e finas	121
64. EFEITO DA ADIÇÃO DE ÁGUA NOS VALORES MÉDIOS DE ABSORÇÃO DE ÁGUA APÓS 24 HORAS DE IMERSÃO EM ÁGUA PARA Prensagem de 2 minutos após atingir 95°C no miolo de aglomerados de partículas grossas e finas	121
65. EFEITO DA ADIÇÃO DE ÁGUA NOS VALORES MÉDIOS DE INCHAMENTO EM ESPESSURA APÓS 2 HORAS DE IMERSÃO EM ÁGUA PARA Prensagem de 2 minutos após atingir 95°C no miolo de aglomerados de partículas grossas e finas	122
66. EFEITO DA ADIÇÃO DE ÁGUA NOS VALORES MÉDIOS DE INCHAMENTO EM ESPESSURA APÓS 24 HORAS DE IMERSÃO EM ÁGUA PARA Prensagem de 2 minutos após atingir 95°C no miolo de aglomerados de partículas grossas e finas	123
67. EFEITO DO TEOR DE RESINA NOS VALORES MÉDIOS DE LIGAÇÃO INTERNA PARA Prensagem até 95°C no miolo de aglomerados de partículas grossas e finas	125

68. EFEITO DO TEOR DE RESINA NOS VALORES MÉDIOS DE FLEXÃO ESTÁTICA (MOR E MOE) PARA PRENSAGEM ATÉ 95°C NO MIOLO DE AGLOMERADOS DE PARTÍCULAS GROSSAS E FINAS	126
69. EFEITO DO TEOR DE RESINA NOS VALORES MÉDIOS DE ABSORÇÃO DE ÁGUA APÓS 2 E 24 HORAS DE IMERSÃO EM ÁGUA PARA PRENSAGEM ATÉ 95°C NO MIOLO DE AGLOMERADOS DE PARTÍCULAS GROSSAS E FINAS	127
70. EFEITO DO TEOR DE RESINA NOS VALORES MÉDIOS DE INCHAMENTO EM ESPESSURA APÓS 2 E 24 HORAS DE IMERSÃO EM ÁGUA PARA PRENSAGEM ATÉ 95°C NO MIOLO DE AGLOMERADOS DE PARTÍCULAS GROSSAS E FINAS	128

LISTA DE FIGURAS

	Página
1. FLUXO INDUSTRIAL DE OPERAÇÕES DE PREPARO DA MATÉRIA PRIMA PARA AGLOMERADOS QUE ORIGINOU O MATERIAL PARTICULADO DO ESTUDO	31
2. FLUXOGRAMA DO DELINEAMENTO EXPERIMENTAL DOS AGLOMERADOS DE PARTÍCULAS GROSSAS	34
3. FLUXOGRAMA DO DELINEAMENTO EXPERIMENTAL DOS AGLOMERADOS DE PARTÍCULAS FINAS	35
4. ESQUEMA DO POSICIONAMENTO DO CABO TERMOPAR NO COLCHÃO DE PARTÍCULAS ANTES DA Prensagem	37
5. IMAGEM FOTOGRÁFICA APRESENTANDO O EQUIPAMENTO DESTINADO A OBTENÇÃO DE DADOS DO CICLO DE Prensagem DA FASE EXPERIMENTAL	38
6. ESQUEMA APRESENTANDO O POSICIONAMENTO DOS CORPOS DE PROVA OBTIDOS DOS AGLOMERADOS, COM A LOCALIZAÇÃO DO CABO TERMOPAR	41
7. ESQUEMA DO PREPARO DO CORPO DE PROVA PARA O ENSAIO DE GRADIENTE DE DENSIDADE	43
8. ESQUEMA DA RETIRADA DAS CAMADAS PELA PLAINA	44
9. EVOLUÇÃO DA TEMPERATURA ATÉ 95°C NO MIOLO DE AGLOMERADOS DE PARTÍCULAS GROSSAS SEM ADIÇÃO DE ÁGUA	46
10. EVOLUÇÃO DA TEMPERATURA ATÉ 95°C NO MIOLO DE AGLOMERADOS DE PARTÍCULAS GROSSAS COM 3% DE CATALISADOR	46
11. EVOLUÇÃO DA TEMPERATURA ATÉ 95°C NO MIOLO DE AGLOMERADOS DE PARTÍCULAS GROSSAS COM 4% DE CATALISADOR	47

12. EVOLUÇÃO DA TEMPERATURA ATÉ 1 MINUTO APÓS O MIOLO ATINGIR 95°C EM AGLOMERADOS DE PARTÍCULAS GROSSAS, COM ADIÇÃO DE 3% DE ÁGUA NAS CAMADAS SUPERFICIAIS.....	47
13. EVOLUÇÃO DA TEMPERATURA ATÉ 2 MINUTOS APÓS O MIOLO ATINGIR 95°C EM AGLOMERADOS DE PARTÍCULAS GROSSAS, COM ADIÇÃO DE 3% DE ÁGUA NAS CAMADAS SUPERFICIAIS.....	48
14. EVOLUÇÃO DA TEMPERATURA ATÉ 1 MINUTO APÓS O MIOLO ATINGIR 95°C EM AGLOMERADOS DE PARTÍCULAS GROSSAS, COM ADIÇÃO DE 6% DE ÁGUA NAS CAMADAS SUPERFICIAIS.....	48
15. EVOLUÇÃO DA TEMPERATURA ATÉ 2 MINUTOS APÓS O MIOLO ATINGIR 95°C EM AGLOMERADOS DE PARTÍCULAS GROSSAS, COM ADIÇÃO DE 6% DE ÁGUA NAS CAMADAS SUPERFICIAIS.....	49
16. EVOLUÇÃO DA TEMPERATURA ATÉ 95°C NO MIOLO DE AGLOMERADOS DE PARTÍCULAS GROSSAS COM 12% DE RESINA	49
17. GRADIENTE VERTICAL DE DENSIDADE EM AGLOMERADOS SEM ADIÇÃO DE ÁGUA, COM TEMPO DE Prensagem DE 2 MIN APÓS ATINGIR 95°C NO MIOLO	77
18. GRADIENTE VERTICAL DE DENSIDADE EM AGLOMERADOS COM ADIÇÃO DE 3% DE ÁGUA E TEMPO DE Prensagem DE 2 MIN APÓS ATINGIR 95°C NO MIOLO	78
19. GRADIENTE VERTICAL DE DENSIDADE EM AGLOMERADOS COM ADIÇÃO DE 6% DE ÁGUA E TEMPO DE Prensagem DE 2 MIN APÓS ATINGIR 95°C NO MIOLO	79
20. EVOLUÇÃO DA TEMPERATURA ATÉ 95°C NO MIOLO DE AGLOMERADOS DE PARTÍCULAS FINAS SEM ADIÇÃO DE ÁGUA	88
21. EVOLUÇÃO DA TEMPERATURA ATÉ 1 MINUTO APÓS O MIOLO ATINGIR 95°C, EM AGLOMERADOS DE PARTÍCULAS	

FINAS, COM ADIÇÃO DE 3% DE ÁGUA NAS CAMADAS SUPERFICIAIS.....	89
22. EVOLUÇÃO DA TEMPERATURA ATÉ 2 MINUTOS APÓS O MIOLO ATINGIR 95°C, EM AGLOMERADOS DE PARTÍCULAS FINAS, COM ADIÇÃO DE 3% DE ÁGUA NAS CAMADAS SUPERFICIAIS.....	89
23. EVOLUÇÃO DA TEMPERATURA ATÉ 95°C NO MIOLO DE AGLOMERADOS DE PARTÍCULAS FINAS COM 12% DE RESINA	90

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Abreviaturas	Descrição
Al.....	Resina na forma líquida
As	Resina na forma sólida
ASTM	American Society of Testing Materials
Cad	Catalisador adicionado
Cl.....	Catalisador na forma líquida
Cs	Catalisador na forma sólida
D.....	Densidade
Dcp	Densidade por camada do painel
DIN	Deutsche Industrie Normen
DP.....	Densidade do painel
E ₀	Espessura original do corpo de prova
E ₁	Espessura do corpo de prova após a retirada de uma camada pela plaina
FF	Fenol-formaldeído
GL	Graus de liberdade
M	Massa
M ₀	Massa a 0 % de umidade
M ₁₂	Massa a 12 % de umidade
M ₃	Massa a 3 % de umidade
MDF.....	Medium density fiberboard
MOE	Módulo de elasticidade
MOR	Módulo de ruptura
OSB	Oriented strand board
P _r	Posição relativa da camada do painel
Ts	Teor de sólidos
UF.....	Uréia-formaldeído
V.....	Volume

RESUMO

O presente trabalho objetivou analisar as interações de algumas variáveis no ciclo de prensagem em painéis aglomerados, tais como a adição de água nas camadas superficiais do colchão de partículas, e o aumento na quantidade de resina e catalisador, levando-se em conta a transmissão de temperatura e o tempo de prensagem. Para tanto, empregou-se um método de medição e registro de temperatura em tempo real no miolo do painel, através de um equipamento eletrônico de aquisição de dados (Aqdados). As análises foram baseadas nos resultados obtidos nos ensaios de ligação interna, flexão estática, absorção de água e inchamento em espessura. A partir dos resultados obtidos, verificou-se a necessidade de estudos mais específicos e detalhados para cada variável estudada, a fim de se obter novas e esclarecedoras respostas. De modo geral, os painéis de partículas finas se apresentam como uma opção interessante para o mercado, visto que não transpareceu ser fundamental a necessidade do aumento do teor de resina, além de se comportarem de forma mais estável e homogênea que os painéis de partículas grossas. Outrossim, verificou-se que, em laboratório e na condição padrão estudada, um período de tempo de prensagem a partir de 4 min é suficiente para se atingir uma consolidação satisfatória nos painéis de partículas grossas. Contudo, a adição de água requer um aumento no tempo de prensagem. O monitoramento da temperatura no miolo colchão de partículas durante a prensagem se revela como uma ferramenta fundamental para a efetiva otimização do ciclo de prensagem de aglomerados.

ABSTRACT

The purpose of the present work is to analyze the interactions among some variables of the pressing cycle in particleboard, like the application of water in the mat superficial layers, resin and catalyst increasing, considering temperature transmission and pressing time. So far, a method of real time temperature measurement and record in the mat core has been applied through the data acquisition electronic equipment (Aqdados). The analysis were based on the tests of tensile strength perpendicular to surface, static bending, water absorption and thickness swelling. From the results, the necessity of more specific and detailed studies to each variable applied was verified, in order to obtain new and informative answers. In general, particleboard made of fine particles are an interesting market option, since the necessity of resin increase hasn't appeared to be fundamental, besides behaving in a more stable and homogeneous way than the particleboard made of coarse particles. Moreover, it was observed that, in the pattern condition studied in laboratory, the pressing time period from 4 minutes is enough to reach satisfactory consolidation in panels made of coarse particles. However, the application or increase of the water quantity requires a enlargement of the pressing time. The real time temperature measurement in mat core during the pressing cycle is the important mean to obtain a effective optimizing of pressing cycle.

ANEXOS

ANEXO 1 – ANOVA DOS TRATAMENTOS

ANEXO 2 – QUANTIFICAÇÃO DO MATERIAL

**ANEXO 3 – PROCEDIMENTO DE CÁLCULOS PARA A
DETERMINAÇÃO DO GRADIENTE VERTICAL DE
DENSIDADE**

ANEXO 1 – ANOVA DOS TRATAMENTOS

ANEXO 1.1 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL
TRATAMENTOS DO EFEITO TEMPO DE AQUECIMENTO
NO MIOLO DO PAINEL ATÉ ATINGIR 95°C

FONTE DE VARIACÃO	SOMA DE QUADRADOS	GL	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO	166391,0	17	9787,71	22,04*	0,0000
ERRO	26645,5	60	444,091		
TOTAL	193037,0	77			

* = Significativo ao nível de 95 % de probabilidade; NS = Não significativo.

ANEXO 1.2 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL
TRATAMENTOS DO EFEITO LIGAÇÃO INTERNA

FONTE DE VARIACÃO	SOMA DE QUADRADOS	GL	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO	1480,62	17	87,0954	33,44*	0,0000
ERRO	1171,91	450	2,60424		
TOTAL	2652,53	467			

* = Significativo ao nível de 95 % de probabilidade; NS = Não significativo.

ANEXO 1.3 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL
TRATAMENTOS DO EFEITO MÓDULO DE RUPTURA

FONTE DE VARIACÃO	SOMA DE QUADRADOS	GL	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO	106667,0	17	6274,53	22,05*	0,0000
ERRO	61470,6	216	284,586		
TOTAL	168138,0	233			

* = Significativo ao nível de 95 % de probabilidade; NS = Não significativo.

ANEXO 1.4 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL
TRATAMENTOS DO EFEITO MÓDULO DE ELASTICIDADE

FONTE DE VARIACÃO	SOMA DE QUADRADOS	GL	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO	1,44106E9	17	8,47683E7	30,72*	0,0000
ERRO	5,95951E8	216	2,75903E6		
TOTAL	2,03701E9	233			

* = Significativo ao nível de 95 % de probabilidade; NS = Não significativo.

ANEXO 1.5 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL
TRATAMENTOS DO EFEITO ABSORÇÃO DE ÁGUA EM 2
HORAS DE IMERSÃO EM ÁGUA

FONTE DE VARIACÃO	SOMA DE QUADRADOS	GL	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO	23875,3	17	1404,43	48,89*	0,0000
ERRO	3964,23	138	28,7263		
TOTAL	27839,6	155			

* = Significativo ao nível de 95 % de probabilidade; NS = Não significativo.

ANEXO 1.6 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL
TRATAMENTOS DO EFEITO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA EM
24 HORAS DE IMERSÃO EM ÁGUA

FONTE DE VARIACÃO	SOMA DE QUADRADOS	GL	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO	23466,8	17	1380,4	64,44*	0,0000
ERRO	2956,05	138	21,4206		
TOTAL	26422,9	155			

* = Significativo ao nível de 95 % de probabilidade; NS = Não significativo.

ANEXO 1.7 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL
TRATAMENTOS DO EFEITO DE INCHAMENTO EM
ESPESSURA EM 2 HORAS DE IMERSÃO EM ÁGUA

FONTE DE VARIÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	GL	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO	5597,56	17	329,268	63,26*	0,0000
ERRO	718,319	138	5,20521		
TOTAL	6315,88	155			

* = Significativo ao nível de 95 % de probabilidade; NS = Não significativo.

ANEXO 1.8 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL
TRATAMENTOS DO EFEITO INCHAMENTO EM
ESPESSURA EM 24 HORAS DE IMERSÃO EM ÁGUA

FONTE DE VARIÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	GL	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO	7055,4	17	415,023	70,28*	0,0000
ERRO	814,941	138	5,90537		
TOTAL	7870,34	155			

* = Significativo ao nível de 95 % de probabilidade; NS = Não significativo.

ANEXO 1.9 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL
TRATAMENTOS DO EFEITO DENSIDADE

FONTE DE VARIÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	GL	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO	0,897118	17	0,0527717	69,96*	0,0000
ERRO	0,16292	216	0,000754259		
TOTAL	1,06004	233			

* = Significativo ao nível de 95 % de probabilidade; NS = Não significativo.

ANEXO 1.10 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL
TRATAMENTOS DO EFEITO ESPESSURA DO PAINEL

FONTE DE VARIACÃO	SOMA DE QUADRADOS	GL	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO	285,86	17	16,8153	90,62*	0,0000
ERRO	40,0792	216	0,185552		
TOTAL	325,939	233			

* = Significativo ao nível de 95 % de probabilidade; NS = Não significativo.

ANEXO 2 – QUANTIFICAÇÃO DO MATERIAL

ANEXO 2.1. PESO DO PAINEL

Considerando-se as densidades 0,5; 0,7 e 0,9 g/cm³.

$$D = M_{12} / V$$

$$M_{12} = D \times V$$

$$M_{12} = 0,5 \text{ g/cm}^3 \times 4125 \text{ cm}^3 \rightarrow M = 2062,5 \text{ g (DP = 0,5 g/cm}^3)$$

$$M_{12} = 0,7 \text{ g/cm}^3 \times 4125 \text{ cm}^3 \rightarrow M = 2887,5 \text{ g (DP = 0,7 g/cm}^3)$$

$$M_{12} = 0,9 \text{ g/cm}^3 \times 4125 \text{ cm}^3 \rightarrow M = 3712,5 \text{ g (DP = 0,9 g/cm}^3)$$

Sendo:

DP = densidade do painel (g/cm³);

M₁₂ = massa do painel condicionado a 12% (g);

V = volume do painel.

ANEXO 2.2. CONSTITUIÇÃO DO PAINEL

Considerando-se 8 e 12% de resina aplicada, seguiu-se as proporções descritas a seguir:

Partes em peso de partículas a 0% de umidade -	100	100
Partes em peso de sólidos de resina -	8	12
Partes em peso de água -	12	12
<hr/>		
Total (partes em peso = M ₁₂)	120	124

ANEXO 2.3. CÁLCULO DA MASSA DE PARTÍCULAS POR PAINEL

Sendo:

M = massa em g;

M₀ = massa das partículas a 0% de umidade;

M₃ = massa das partículas a 3% de umidade

Para painéis com densidade = 0,5 g/cm³ e 8% de resina:

$$M_{12} = 2062,5 \text{ g}$$

M_{12} = massa da chapa a 12% de umidade = 120 partes

$$M_0 = (M_{12} \times 100) / 120 = (2062,5 \times 100) / 120$$

$$M_0 = 1718,75 \text{ g}$$

$$M_3 = (3/100 + 1) \times M_0 = 1,03 \times 1718,75$$

$$M_3 = 1770,3 \text{ g}$$

Para painéis com densidade = 0,7 g/cm³ e 8% de resina:

$$M_{12} = 2887,5 \text{ g}$$

M_{12} = massa da chapa a 12% de umidade = 120 partes

$$M_0 = (M_{12} \times 100) / 120 = (2887,5 \times 100) / 120$$

$$M_0 = 2406,5 \text{ g}$$

$$M_3 = (3/100 + 1) \times M_0 = 1,03 \times 2406,5$$

$$M_3 = 2478,7 \text{ g}$$

Para painéis com densidade = 0,9 g/cm³ e 8% de resina:

$$M_{12} = 3712,5 \text{ g}$$

M_{12} = massa da chapa a 12% de umidade = 120 partes

$$M_0 = (M_{12} \times 100) / 120 = (3712,5 \times 100) / 120$$

$$M_0 = 3093,75 \text{ g}$$

$$M_3 = (3/100 + 1) \times M_0 = 1,03 \times 3093,75$$

$$M_3 = 3186,6 \text{ g}$$

Para painéis com densidade = 0,7 g/cm³ e 12% de resina:

$$M_{12} = 2887,5 \text{ g}$$

M_{12} = massa da chapa a 12% de umidade = 124 partes

$$M_0 = (M_{12} \times 100) / 124 = (2887,5 \times 100) / 124$$

$$M_0 = 2328,6 \text{ g}$$

$$M_3 = (3/100 + 1) \times M_0 = 1,03 \times 2328,6$$

$$M_3 = 2398,5 \text{ g}$$

ANEXO 2.4. CÁLCULO DA RESINA POR PAINEL

Sendo:

As = resina na forma sólida

Al = resina na forma líquida

Ts = 66% (teor de sólidos da resina – fornecido pela empresa)

Considerando densidade = 0,5 g/cm³ e 8% de resina:

$$As = M_0 \times 8/100 = 1718,75 \times 0,08$$

$$As = 137,5 \text{ g}$$

$$Al = As \times 100/Ts = 137,5 \times 100/66$$

$$Al = 208,3 \text{ g}$$

Considerando densidade = 0,7 g/cm³ e 8% de resina:

$$As = M_0 \times 8/100 = 2406,5 \times 0,08$$

$$As = 192,52 \text{ g}$$

$$Al = As \times 100/Ts = 192,52 \times 100/66$$

$$Al = 291,7 \text{ g}$$

Considerando densidade = 0,7 g/cm³ e 12% de resina:

$$As = M_0 \times 12/100 = 2328,6 \times 0,12$$

$$As = 279,4 \text{ g}$$

$$Al = As \times 100/Ts = 279,4 \times 100/66$$

$$Al = 423,4 \text{ g}$$

Considerando densidade = 0,9 g/cm³ e 8% de resina:

$$As = M_0 \times 8/100 = 3093,75 \times 0,08$$

$$As = 247,5 \text{ g}$$

$$Al = As \times 100/Ts = 247,5 \times 100/66$$

$$Al = 375 \text{ g}$$

ANEXO 2.5. CÁLCULO DO CATALISADOR POR PAINEL

Sendo:

Cs = catalisador na forma sólida

Cl = catalisador na forma líquida em solução a 24%

Considerando densidade = 0,5 g/cm³, 8% de resina e 2% de catalisador:

$$Cs = 2/100 \times As = 2/100 \times 137,5$$

$$Cs = 2,75 \text{ g}$$

$$Cl = 100/24 \times Cs = 100/24 \times 2,75$$

$$Cl = 11,5 \text{ g}$$

Considerando densidade = 0,7 g/cm³, 8% de resina e 2% de catalisador:

$$Cs = 2/100 \times As = 2/100 \times 192,52$$

$$Cs = 3,85 \text{ g}$$

$$Cl = 100/24 \times Cs = 100/24 \times 3,85$$

$$Cl = 16,04 \text{ g}$$

Considerando densidade = 0,7 g/cm³, 8% de resina e 3% de catalisador:

$$Cs = 3/100 \times As = 3/100 \times 192,52$$

$$Cs = 5,78 \text{ g}$$

$$Cl = 100/24 \times Cs = 100/24 \times 5,78$$

$$Cl = 24,08 \text{ g}$$

Considerando densidade = 0,7 g/cm³, 8% de resina e 4% de catalisador:

$$Cs = 4/100 \times As = 4/100 \times 192,52$$

$$Cs = 7,70 \text{ g}$$

$$Cl = 100/24 \times Cs = 100/24 \times 7,70$$

$$Cl = 32,1 \text{ g}$$

Considerando densidade = 0,7 g/cm³, 12% de resina e 2% de catalisador:

$$Cs = 2/100 \times As = 2/100 \times 279,4$$

$$Cs = 5,59 \text{ g}$$

$$Cl = 100/24 \times Cs = 100/24 \times 5,59$$

$$Cl = 23,28 \text{ g}$$

Considerando densidade = 0,9 g/cm³, 8% de resina e 2% de catalisador:

$$Cs = 2/100 \times As = 2/100 \times 247,5$$

$$Cs = 4,95 \text{ g}$$

$$Cl = 100/24 \times Cs = 100/24 \times 4,95$$

$$Cl = 20,63 \text{ g}$$

ANEXO 2.6. CÁLCULO DA MASSA DE ÁGUA ADICIONADA POR PAINEL

Considerando-se adições de água nos teores de 3 e 6%:

Estes tratamentos, foram aplicados para o painel de densidade = 0,7 g/cm³, 8% de resina e 2% de catalisador.

Portanto, considera-se a massa seca de partículas de: $M_0 = 2406,5 \text{ g}$

Para adição de 3% → 36,1 g de água por face do painel;

Para adição de 6% → 72,2 g de água por face do painel.

**ANEXO 3 – PROCEDIMENTO DE CÁLCULOS PARA A
DETERMINAÇÃO DO GRADIENTE VERTICAL DE
DENSIDADE**

ANEXO 3.1. CÁLCULO DA DENSIDADE DO CORPO DE PROVA

$$DP = \frac{\textit{peso}}{\textit{espessura} \times \textit{largura} \times \textit{comprimento}}$$

ANEXO 3.2. CÁLCULO DA DENSIDADE POR CAMADA RETIRADA PELA PLAINA

$$D_{cp} = \frac{P_1 - P_2}{(E_1 - E_2) \times \textit{largura} \times \textit{comprimento}}$$

Sendo:

$P_1 - P_2$ → diferença em peso do corpo de prova após a retirada de uma camada pela passagem na plaina;

$E_1 - E_2$ → diferença em espessura após a retirada de uma camada pela passagem na plaina.

Obs.: A espessura da camada retirada pode ser pré-determinada, sendo dependente da precisão da plaina empregada. Então, com a espessura original do painel e a determinação da espessura da camada retirada pela plaina, estabelece-se quantas camadas devem ser retiradas até atingir o miolo do painel.

ANEXO 3.3. DETERMINAÇÃO DA POSIÇÃO RELATIVA DA CAMADA RETIRADA O GRADIENTE DO PAINEL

$$P_r (\%) = \frac{E_0 - E_1}{E_1} \times 100$$

Sendo:

P_r = posição relativa da camada no painel em porcentagem, onde 0% corresponde à posição de superfície e 50% ao miolo.

E_0 = espessura original do corpo de prova

E_1 = espessura do corpo de prova após a retirada da camada pela plaina