

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA E CIÊNCIAS DOS MATERIAIS

ÁREA INTERNUNIDADES:

INSTITUTO DE QUÍMICA DE SÃO CARLOS,
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS E
INSTITUTO DE FÍSICA DE SÃO CARLOS

CPH: Chapas de Partículas Homogêneas - Madeiras do Nordeste do Brasil

Maria Fátima do Nascimento

Tese de Doutorado apresentada à
Área Internunidades em Ciências
Engenharia dos Materiais, Campus de
São Carlos da Universidade de São
Paulo, como parte dos requisitos para
obtenção do Título de Doutor em
Ciência e Engenharia de Materiais.

Orientador: Prof. Dr. Francisco Antonio Rocco Lahr

**São Carlos
2003.**

AGRADECIMENTOS:

À Deus, energia pura, que nos alimenta de amor e de infinita compreensão.

Ao Professor Francisco Antonio Rocco Lahr pelo desprendimento, demonstrando tranqüilidade e compreensão nos momentos árdusos, pela orientação correta, apoio constante, seriedade e amizade.

Aos Profissionais do Laboratório de Madeiras: Professores Drs. Antonio Alves Dias e Carlito Calil Junior. Ao Professor Almir Salles pelo constante incentivo. A professora Akemi Ino origem inicial da caminhada acadêmica. Aos profissionais Silvio, Cido, Arnaldo, Samuel e Jaime. À secretária Tânia pela compreensão. Ao Roberto pela assistência paciente na área de computação. Ao Bragatto pelo auxílio constante no setor de revisão bibliográfica. Ao José Francisco pelo incansável e persistente trabalho prestado no desenvolvimento desta tese. A todos os colegas do LaMEM que de forma direta e indireta auxiliaram neste trabalho.

Aos amigos Fabrício (paciência e persistência no momento de cumprimento de disciplinas), Cristiane, Elen, Alexandre Monteiro, todos profissionais que mais de perto acompanharam, passo a passo, esta tese apoiando e incentivando transmitindo força e amizade nos momentos difíceis.

Aos meus familiares, pai (transmitindo toda experiência de sertanejo) mãe (companheira incansável) e irmãos e a Geraldo Antonio do Nascimento (in memorian), pelo incentivo e a certeza da finalização deste trabalho.

Aos componentes da secretaria de Pós graduação e aos Professores da Interunidades pela paciência e dedicação.

Ao Professor Dr. José Augusto Marcondes Agnelli, da UFSCAR, departamento de Engenharia de Materiais, pela colaboração nos ensaios de intemperismo artificial.

Aos profissionais Adailton, Newton e Dora do IBAMA, da cidade de Natal, no Estado de Rio Grande do Norte, interligados ao Ministério de Meio Ambiente, pelos esclarecimentos sobre a região e fornecimentos das espécies de madeiras utilizadas neste trabalho.

As indústrias: Eucatex, Duratex, Tafisa, Berneck, Solven, Kell, Alba Química, Montana Química e Bandeirantes Química, ao Departamento da Mecânica - EESC - USP pela colaboração.

À Fundação de Amparo à pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP, pelo apoio financeiro.

A todos, inclusive os amigos que porventura não tenham sido citados, o mais sincero agradecimento.

*Ao Professor Dr. João Cesar Hellmeister,
(in memorian).*

"Vocês que fazem parte dessa massa"
*famílias sertanejas.
"Que passam nos projetos do futuro"
... mas não são realizados...
"É duro tanto ter que caminhar
E dar muito mais do que receber
E ter que demonstrar sua coragem"
...a força interior do sertanejo o faz acreditar...
"À margem do que possa parecer
E ver que toda essa engrenagem
Já sente a ferrugem lhe comer"
...fome de aprender a pescar.
...fome de trabalhar...
"Eh! OH! Oh! Vida de gado
Povo marcado eh! Povo feliz.."
...apesar da vida sofrida deste povo marcado, dentro de cada alma,
sorri a esperança de serem ótimos pescadores,
no seu habitat rico de possibilidades...
"...O povo foge da ignorância
Apesar de viver tão perto dela
E sonham com melhores tempos idos
Contemplam esta vida numa cela"
...o povo do sertão é prisioneiro sem advogados de defesa...
"Esperam novas possibilidades de verem esse mundo se acabar"
Esperam plantar e verem renascer as flores da esperança,
mudando o cenário de galhos secos para folhas verdes e solo fértil.
"A arca de Noé, o dirigível
Não voam nem se pode flutuar"
A arca do sertanejo é caatinga gerando vida;
Fato este não acontecerá e o sertanejo não poderá voar , flutuar e dirigir este sonho,
sem o auxílio de homens com almas refletidas
na união e no progresso deste povo e do Brasil.
Eh! Oh! Vida de gente
Povo reerguido eh!, povo feliz..*

"Zé Ramalho
* Fátima (Fati)

SUMÁRIO

Lista de Figuras	I
Lista de Tabelas	II
RESUMO	01
ABSTRACT	02
1. INTRODUÇÃO	03
1.1. Generalidades	03
1.2. Objetivos	05
CAPÍTULO I	
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	06
2.1. Região Nordeste	06
2.1.2. Características da região Nordeste do Brasil	07
2.1.3. Espécies de Madeira da Caatinga	10
2.1.4. Reflorestamento	13
2.1.4.1. Reflorestamento da Região Nordeste do Brasil	14
2.1.4.2. Desenvolvimento Sustentável	17
2.1.4.3. Atualidades do Setor Florestal do Nordeste	18
2.2. Produtos Derivados da Madeira	20
2.2.1. Chapas de Partículas - Origem	20
2.2.2. Chapas de Partículas de Madeira Aglomerada	25
2.2.3. Tipos de Partículas de Madeira	26
2.2.4. Efeito da Umidade na Formação das Chapas de Partículas	29
2.2.5. Resinas e Aplicabilidade nas Chapas de Partículas Aglomerada	30
2.2.6. Adesivos e suas Características	30
2.2.7. Efeito da Densidade na Chapa de Partículas	33
2.2.8. Aspectos da Fabricação das Chapas de Partículas de Aglomerado	33
2.2.9. Mercado dos produtos Derivados da Madeira	37
2.2.9.1. Mercado Internacional	37
2.2.9.2. Mercado Nacional	38
2.2.9.3. Custo de Chapas de Aglomerado do Mercado	40
2.3. Referências a Documentos Normativos – Ensaio Mecânicos	41
2.3.1. Flexão Estática	41
2.3.2. Teste de Arrancamento do Prego	43
2.3.3. Ensaio de Tração Paralela às Faces	43
2.3.4. Ensaio de Tração Perpendicular	43
2.4. Intemperismo Natural	44
2.5. Envelhecimento Artificial Acelerado/Intemperismo Artificial Acelerado	45
2.6. Acabamentos – Como proteger a Madeira?	47
2.7. Conclusões da Revisão Bibliográfica	48
CAPÍTULO II	
3. MATERIAIS E MÉTODOS	50
3.1. Materiais	50
3.2. Fabricação de Chapas de Partículas Homogêneas	51
3.2.1. Fabricação de CPH – 1ª Fase	51
3.2.2. Fabricação de CPH – 2ª Fase	52
3.2.3. Fabricação de CPH – 3ª Fase	54
3.3. Métodos de Ensaio	59
CAPÍTULO III	
4. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DE RESULTADOS	62
4.1. Ensaio de Flexão Estática	62
4.1.1. Ensaio de Flexão Estática – corpos-de-prova extraídos de chapas industrializadas de Pinus e Eucalipto	64
4.1.2. Ensaio de Flexão Estática – corpos-de-prova de CPH – Angico (2ª fase)	65

SUMÁRIO

4.1.3. Ensaio de Flexão Estática – corpos-de-prova extraídos de Pinus (3ª fase)	67
4.1.4. Ensaio de Flexão Estática – corpos-de-prova extraídos de CPH de Angico, Jurema-preta e Algaroba (3ª fase)	69
4.1.5. Ensaio de Flexão Estática - Conclusões	74
4.2. Ensaio de Tração paralela às Faces	74
4.2.1. Generalidades	74
4.2.2. Resultados de Ensaio	75
4.2.3. Ensaio de Tração Paralela às Faces - Conclusões	77
4.3. Ensaio Tração Perpendicular às Faces	77
4.3.1. Preparação dos corpos-de-prova	77
4.3.2. Resultados dos Ensaio	80
4.3.3. Ensaio de Tração Perpendicular às Faces - Conclusões	82
4.4. Ensaio de Arrancamento de Parafusos	82
4.4.1. Generalidades	82
4.4.2. Ensaio de Arrancamento de Parafusos – corpos-de-prova extraídos de chapas industrializadas de Pinus e Eucalipto	84
4.4.3. Ensaio de Arrancamento de Parafusos – corpos-de-prova de CPH de Angico, Jurema-preta e Algaroba (3ª fase)	85
4.4.4. Ensaio de arrancamento de Parafusos – Conclusões	87
4.5. Inchamento e Absorção	87
4.5.1. Generalidades	87
4.5.2. Ensaio de Inchamento e Absorção – Corpos-de-prova extraídos de chapas industrializadas de Pinus e Eucalipto	88
4.5.3. Ensaio de Inchamento e Absorção – Corpos-de-prova de CPH de Angico, Jurema-preta e Algaroba	90
4.5.4. Ensaio de Inchamento e Absorção - Conclusões	91
4.6. Comparação Final de Resultados – Propriedades Físicas e Mecânicas	92
CAPITULO IV	
5. INTEMPERISMO NATURAL/ARTIFICIAL – APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS	96
5.1. Intemperismo natural – primeira fase	96
5.2. Intemperismo natural – segunda fase	101
5.2.1. Conclusões do ensaio de intemperismo natural	108
5.3. Intemperismo Artificial	109
5.3.1. Generalidades	109
5.3.2. Resultados obtidos	111
5.3.3. Conclusões do ensaio de intemperismo artificial	118
CAPITULO V	
6. CONCLUSÕES FINAIS	121
7. BIBLIOGRAFIA	123
ANEXO	
8. APLICAÇÕES	135

Lista de Figuras

I

FIGURAS	Descrição	Pag.
01	Mapa – Região Nordeste do Brasil	07
02	Regiões do Brasil e Região da Caatinga	08
03	Caatinga do Estado de R.G.N. na região de Nízea Floresta	09
04	Sertão do Estado de R.G.N. na região de Nízea Floresta	09
05	Agreste do Estado de R.G.N. na região de Nízea Floresta	10
06	Seridó sem manejo e recuperado no Estado de R.G.N. na região de Nízea Floresta	10
07	Angico	11
08	Jurema Preta	12
09	Algaroba	12
10	Sertão do Cariri – Reflorestamento com a espécie Sabiá; Manejo da caatinga da região da cidade de Natal.	16
11	Localização dos principais pólos de fabricação de produtos derivados de madeira do Brasil	22
12	Capacidade Instalada de Indústria de chapas de partículas aglomeradas	25
13	Partículas	26
14	Cavacos tipo flocos	27
15	Cavacos tipo aparas (“shaving”)	27
16	Cavacos tipo “slivers”	28
17	Chapas de partículas homogêneas – CPH – Jurema Preta; Angico e Algaroba	29
18	Chapas de aglomerado	35
19	Chapas de partículas aglomeradas	37
20	Câmara de Ensaio de Envelhecimento Artificial	47
21	Toras da espécie Angico e a obtenção de cavacos	52
22	Equipamentos para aplicação de pressão e temperatura	53
23	Retirada da CPH da forma de fabricação	54
24	Acabamento da CPH	54
25	Prensa hidráulica	55
26	Moinho, estufa e encoladeira	56
27	CPH – Fabricação final com maior porcentagem de “shaving”	57
28	Granulometria dos cavacos das CPH	59
29	Tipos de Cavacos que compõem as CPH	59
30	Preparação do corpo-de-prova para ensaio de flexão estática	60
31	Máquinas de ensaio Amsler e Dartec	61
32	Ensaio de flexão estática, CPH de Angico	66
33	Ensaio de tração paralela às faces	75
34	Confecção de corpo-de-prova – ensaio e tração perpendicular	79
35	Ensaio de tração perpendicular	80
36	Ensaio de arrancamento de parafuso	83
37	Arrancamento de parafusos, chapas de eucalipto	84
38	Ensaio de arrancamento de parafusos, CPH de Angico	85
39	Corpos-de-prova – ensaio de inchamento e absorção	90
40	Corpos-de-prova ao natural e revestido de esmalte sintético	98
41	Aplicações e secagem de impermeabilizantes	98
42	Fixação dos corpos-de-prova no solo	99
43	Corpos-de-prova fixados na área de experimentação	99
44	Aspecto de corpo-de-prova de chapas de partículas de madeira aglomerada em contato com o solo	100
45	Aspecto de corpo-de-prova de chapas de partículas de madeira	100
46	Aplicação dos produtos	101
47	Painel e corpos-de-prova em exposição ao intemperismo natural	102
48	Intemperismo natural – Angico (2000)	105

49	Fissuras, inchamento, desprendimento de partículas – CPH – Angico com epóxi, revestida de esmalte e CCA	106
50	Jurema-preta natural impregnada de pentox e epóxi	107
51	Intemperismo algaroba – natural, pentox, e esmalte sintético	108
52	Câmara de envelhecimento artificial e seus dispositivos externos	109
53	Esquema interno da câmara	110
54	Corpos-de-prova – ensaios e envelhecimento artificial	110
55	Envelhecimento artificial - angico	113
56	Envelhecimento artificial - algaroba	115
57	Envelhecimento artificial – jurema-preta	117
58	Corpos-de-prova antes e após o ensaio de envelhecimento artificial	119
59	Corpos-de-prova após o envelhecimento artificial	120
60	Possíveis aplicações de CPH	139
61	Aplicações em divisórias, pisos e portas	140
62	Aplicações em embalagens	141
63	Aplicações em decoração	142
64	Aplicações de CPH em objetivos de decoração – Mesa piano e porta-caneta	143

Lista de Tabelas**II**

TABELAS	Descriminação	Pags.
01	Características da resina uréia formaldeído	32
02	Consumo mundial de chapas de aglomerado	33
03	Projeção dos produtos derivados de madeira	34
04	Tipos de produtos localização e capacidade nominal de empresas do Brasil	39
05	Granulometria dos cavacos das CPH	58
06	Propriedades de chapas de aglomerado de pinus elliotti	64
07	Ensaio de flexão estática de corpos-de-prova de chapas de partículas de aglomerado de eucalipto citriodora	65
08	Propriedades de CPH – Angico (2ª fase)	66
09	Propriedades das CPH de Eucalipto (3ª fase)	67
10	Força/ deslocamento – Pinus Elliottii	68
11	Propriedades das CPH de Angico (3ª fase)	69
12	Força/ deslocamento – Angico	70
13	Propriedades das CPH Jurema-preta (3ª fase)	71
14	Força/ deslocamento – Jurema-preta	71
15	Propriedades das CPH Algaroba (3ª fase)	72
16	Força/ deslocamento	73
17	Resistência à tração paralela às faces – CPH - Angico	76
18	Resistência à tração paralela às faces – CPH – Jurema-preta	76
19	Resistência à tração paralela às faces – CPH – Algaroba	77
20	Resistência à tração perpendicular às faces – CPH – Angico	81
21	Resistência à tração perpendicular às faces – CPH – Jurema-preta	81
22	Resistência à tração perpendicular às faces – CPH – Algaroba	82
23	Resistência ao arrancamento de parafuso, chapas industrializadas de Pinus	84
24	Resistência ao arrancamento de parafuso, chapas industrializadas de Eucalipto	85
25	Resistência ao arrancamento de parafuso, chapas industrializadas de Angico	86
26	Resistência ao arrancamento de parafuso, chapas industrializadas de Jurema-preta	86
27	Resistência ao arrancamento de parafuso, chapas industrializadas de Algaroba	87
28	Absorção e inchamento, chapas industrializadas de Pinus	89
29	Absorção e inchamento, chapas industrializadas de Eucalipto	89
30	Absorção e inchamento, chapas industrializadas de Angico	90
31	Absorção e inchamento, chapas industrializadas de Jurema-preta	91
32	Absorção e inchamento, chapas industrializadas de Algaroba	91
33	Resumo das propriedades mecânicas de chapas de partículas de madeiras	92
34	Resumo das propriedades físicas de chapas de partículas de madeiras	93
35	MOE de algumas espécies de madeiras maciças	94
36	MOE das CPH fabricadas com madeiras do NE do Brasil	94
37	Espécies expostas ao intemperismo natural	102
38	Resultados intemperismo em CPH de Angico	104
39	Resultados intemperismo em CPH de Angico	105
40	Resultados intemperismo em CPH de Jurema-preta	106
41	Resultados intemperismo em CPH de Algaroba	107
42	Resultados intemperismo em CPH de Angico	112
43	Resultados intemperismo em CPH de Angico	112

44	Resultados intemperismo em CPH de Angico	113
45	Resultados intemperismo em CPH de Algaroba	114
46	Resultados intemperismo em CPH de Algaroba	114
47	Resultados intemperismo em CPH de Algaroba	115
48	Resultados intemperismo em CPH de Jurema-preta	116
49	Resultados intemperismo em CPH de Jurema-preta	116
50	Resultados intemperismo em CPH de Juema-preta	117
51	Estoque Florestal para três espécies do semi-árido de 4 Estados do Nordeste	121