

PRODUÇÃO DE PAINÉIS DE CIMENTO-MADEIRA COM ADIÇÃO DE DIFERENTES PROPORÇÕES DE CASCA E MICROSSÍLICA**PRODUCTION OF WOOD-CEMENT BONDED PARTICLEBOARDS WITH DIFFERENT CONTENTS OF BARK AND MICROSILICA**

Gilmar Correia Silva¹ João Vicente de Figueiredo Latorraca² Roberto Carlos Costa Lelis²
Divino Eterno Teixeira³ Jair Figueiredo do Carmo¹ Érika da Silva Ferreira¹

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da adição de microsilica em três porcentagens (0, 20 e 30%) sobre as propriedades físicas e mecânicas de painéis cimento-madeira de *Eucalyptus urophylla* compostos por três relações madeira:casca (100:0, 95:5 e 90:10). Os resultados mostraram que o efeito mais significativo do aditivo sobre os painéis produzidos ocorreu naqueles que continham casca, e que a adição de 20% do aditivo foi mais eficiente sobre as propriedades físicas e mecânicas.

Palavras-chave: microsilica; painéis de cimento-madeira; *Eucalyptus urophylla*.

ABSTRACT

This work's objective was to evaluate the effect of three percentages of addition of microsilica (0, 20 and 30%) on the physical and mechanical properties of wood-cement bonded particleboards of *Eucalyptus urophylla* composed by three wood:bark ratios (100:0, 95:5 and 90:10). Results showed that the most significant effect of the additive on the produced panels was in those containing bark, and that of 20% of additive was more efficient on the physical and mechanical properties.

Key words: microsilica; wood-cement bonded particleboard; *Eucalyptus urophylla*.

INTRODUÇÃO

Em função de suas características, os painéis de cimento-madeira têm seu uso ampliado para além daqueles em que são aplicados os painéis convencionais, apresentando grandes possibilidades de uso, especialmente em ambientes úmidos e com riscos de incêndios (Chapola, 1989).

Os aditivos minerais, como a sílica ativa ou microsilica, são um dos mais promissores aditivos para uso em painéis minerais (Lange *et al.*, 1989). A substituição do cimento Portland por várias porções de sílica possibilita melhorias nas propriedades de resistência de painéis produzidos partindo de espécies de baixa compatibilidade com o aglomerante. Entretanto, a efetiva proporção de sílica para substituir o cimento na mistura depende da aptidão da espécie.

A microsilica é um material extraído partindo da escória da fabricação de ligas metálicas, cinzas de cascas de arroz e de material restante das colheitas de grãos. O aditivo é caracterizado como um material extremamente fino, de 10 a 100 vezes menor que o grão de cimento, que preenche vazios entre os grãos maiores, propiciando uma estrutura mais compacta, reagindo com a cal livre melhorando a resistência e durabilidade do compósito.

A adição do aditivo deixa o compósito mais impermeável e, em contato com hidróxido de cálcio, liberado pela hidratação do cimento, resulta na formação do silicato de cálcio hidratado (C-S-H). Essa reação provoca uma redução considerável do tamanho dos poros. Ao mesmo tempo, eles ficam praticamente incomunicáveis entre si, impedindo a passagem de fluídos, melhorando significativamente a qualidade de cristalinização do cimento, tornando-o muito mais resistente à compressão e à tração (Latorraca, 2000).

Estudos realizados por Pardo *et al.* (2001) mostraram que a microsilica em contato com o cimento já

1. Acadêmico do Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais e Florestais, Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro da UFRRJ, Caixa Postal 74527, CEP: 23890-000, Seropédica (RJ).
2. Engenheiro Florestal, Dr., Professor do Departamento de Produtos Florestais, Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro da UFRRJ, Caixa Postal 74527, CEP: 23890-000, Seropédica (RJ).
3. Engenheiro Florestal, Analista Ambiental do Laboratório de Produtos Florestais, Instituto Brasileiro do Meio Ambiente (IBAMA), CEP: 70000-000, Brasília (DF).

Recebido para publicação em 3/11/2004 e aceito em 10/02/2006.

hidratado, reage transformando a sílica amorfa em cristobalita, acompanhada pela retração da matriz do compósito. A retração da matriz, que não é compensada pelos agregados presentes (que formam uma estrutura rígida), pode resultar em poros na microestrutura. Essa microestrutura promove a presença de espaços disponíveis para o escoamento do fluido.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da adição de aditivo mineral (microssílica) sobre as propriedades físicas e mecânicas de painéis cimento-madeira produzidos com três composições de madeira:casca.

MATERIAL E MÉTODOS

Matéria-Prima

Cinco árvores da espécie *Eucalyptus urophylla* foram coletadas em um povoamento da FLONA Mário Xavier – IBAMA, localizada no município de Seropédica, RJ. O aglutinante empregado na composição foi o cimento Portland ARI e como aditivo químico o Cloreto de cálcio (CaCl_2). Foi aplicado ainda o aditivo mineral microssílica.

Parâmetros do Processo

Foram utilizados os seguintes parâmetros no estudo das propriedades dos painéis:

- Relação madeira:cimento = 1:2,75
- Relação água:cimento = 1:2,50 (40% de água com base no peso do cimento)
- Aditivo químico = 4% (com base no peso do cimento)
- Aditivo mineral = porcentagens aplicadas com base no peso do cimento (0, 20 e 30%)
- Massa específica nominal do painel = $1,25 \text{ g/cm}^3$
- Dimensão do painel = 40 cm largura x 40 cm comprimento x 1,6 cm espessura
- Parâmetros de prensagem:
 - pressão específica = 3,92 MPa
 - temperatura de prensagem = ambiente
 - tempo de grampeamento = 24 h
 - acondicionamento = 27 dias

Processo de Produção dos Painéis

Foram produzidos painéis partindo das relações madeira:casca: 100:00, 95:05 e 90:10. Para cada relação foram adicionadas as seguintes porcentagens de aditivo mineral: 0, 20 e 30 %.

As seguintes fases foram seguidas para manufatura dos painéis: determinação da densidade básica da madeira; cálculo dos compostos do painel; obtenção e preparação das partículas; formação do colchão e prensagem dos painéis e acondicionamento.

Determinação da massa específica básica da madeira

Por meio dos discos extraídos foram coletadas amostras para determinação da massa específica básica da madeira. Para tanto, foram retirados discos a 0, 25, 50, 75 e 100% da altura total do tronco e um disco extra no diâmetro à altura do peito (DAP). O método empregado na determinação do volume das amostras foi o da balança hidrostática.

Cálculo dos compostos do painel

A metodologia utilizada para se efetuar os cálculos dos compostos de cada painel foi a sugerida por Souza (1994). Os parâmetros necessários para o cálculo de um painel são: comprimento, largura e massa específica do painel (0%), conteúdo de umidade da madeira (u.m.), relação de madeira:cimento, relação de água:cimento e taxa de água de hidratação-cimento.

Obtenção e preparo das partículas de madeira e da casca

As toras de 2,0 m foram descascadas e seccionadas em discos de 3,6 cm de espessura e reduzidos em blocos com as dimensões compatíveis com a capacidade do gerador de partículas. Posteriormente, as partículas de madeira e a casca foram moídas em moinho de martelo e secas ao ar livre. Para efeito do

cálculo da quantidade de água de cada painel, foi necessário medir o teor de umidade das partículas, que foi realizado pelo método da pesagem.

Utilizando-se uma peneira mecânica, foi obtida a fração granulométrica cujas partículas passaram pela peneira de 2,08 mm de abertura e ficaram retidas na peneira de 0,61 mm de abertura.

Formação do colchão e prensagem dos painéis

Devidamente calculados e pesados, o cimento, as partículas de madeira e/ou casca, água e o aditivo químico foram misturados em uma betoneira de eixo inclinado. Inicialmente foram colocadas as partículas de madeira que foram lentamente pulverizadas com a água contendo o aditivo químico diluído. Em seguida, foi adicionado o cimento sobre as partículas até homogeneização da mistura.

A seguir, o material foi retirado da betoneira, sendo a massa de cada painel devidamente pesada, separada e distribuída aleatoriamente na caixa formadora do colchão com as dimensões de 40 cm de largura e 40 cm de comprimento. Essa caixa foi colocada sobre uma chapa de alumínio untada com óleo mineral de baixa viscosidade para facilitar a retirada do painel após sua prensagem e grampeamento. Retirando-se a caixa, duas barras de ferro de 16 mm foram colocadas sobre a chapa para o controle da espessura final. A seguir, foi sobreposta outra chapa de alumínio também untada com óleo. Já carregada com o painel e os aparatos para o grampeamento, a prensa foi fechada a uma pressão específica de 3,92 MPa. Após grampear os painéis, transcorreu-se a fase de restrição por grampeamento. Passadas 24 horas, os grampos foram retirados e os painéis identificados e encaminhados para fase de acondicionamento.

Acondicionamento

Os painéis foram acondicionados em câmara climática com temperatura e umidade relativa controladas ($20 \pm 1^\circ\text{C}$ e $65 \pm 5\%$). Para todos os tratamentos, do início da prensagem até os ensaios dos corpos-de-prova, foram transcorridos 28 dias.

Testes Mecânicos e Físicos dos Painéis

As propriedades dos painéis foram avaliadas de acordo com a norma americana ASTM D – 1037 (1982) e a norma alemã DIN 52362 (1982), sendo adotado os seguintes ensaios:

Propriedades Mecânicas

- Flexão estática (FE) – Módulo de elasticidade (MOE) e Módulo de ruptura (MOR): teste de acordo com a norma DIN 52362
- Ligação interna (LI) – teste de acordo com a norma ASTM D1037

Propriedades Físicas

- Inchamento em Espessura (IE) – teste de acordo com a norma ASTM D1037
- Absorção de água (AA) – teste de acordo com a norma ASTM D1037
- Massa específica aparente dos Painéis – dimensões e massa dos corpos-de-prova

Para obtenção da massa específica aparente de cada painel, determinou-se, inicialmente, a massa específica aparente de cada corpo-de-prova, obtendo-se a seguir a média para cada tratamento.

Delineamento Experimental e Análise Estatística

O experimento seguiu o delineamento inteiramente ao acaso com arranjo fatorial do tipo 3 x 3 (relação madeira:casca x percentagem de aditivo), totalizando nove tratamentos e, com três repetições, um total de 27 painéis produzidos (Tabela 1).

Os resultados foram analisados estatisticamente por meio de análise de variância (ANOVA). O uso da análise de covariância (ANCOVA) foi condicionado ao resultado da ANOVA aplicada à massa específica dos painéis. O teste de Tukey a 95% de probabilidade foi empregado, todas as vezes que a hipótese de nulidade foi rejeitada.

TABELA 1: Tratamentos empregados para a composição dos painéis cimento-madeira.
 TABLE 1: Treatments of the wood-cement bonded particleboards.

Tratamento	Relação madeira:casca	Aditivo mineral (%)	Repetições
T ₁	100:0	0	3
T ₂		20	3
T ₃		30	3
T ₄	95:5	0	3
T ₅		20	3
T ₆		30	3
T ₇	90:10	0	3
T ₈		20	3
T ₉		30	3

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Massa Específica Básica da Madeira

A massa específica básica obtida para a madeira de *Eucalyptus urophylla* foi de 0,44 g/cm³ aos 5 anos de idade. Esse valor influencia na quantidade de partícula empregada na formação do painel, pois está diretamente relacionado ao seu peso.

Massa Específica Aparente (MEA) dos Painéis

A massa específica aparente (MEA) média dos painéis por tratamento é apresentada na Tabela 2. A ANOVA indicou diferença significativa entre as MEA's. A pequena diferença ocorrida na MEA dos painéis pode estar relacionada à adição do aditivo mineral na composição destes. Por causa desse fato, foi realizada a análise de covariância (ANCOVA), a fim de se eliminar o efeito da MEA sobre as propriedades avaliadas. Para tanto, foi realizado o ajuste das MEA's, obtendo-se a média ajustada (MEA_A) pela ANCOVA.

TABELA 2: Massa específica aparente média dos painéis sem ajuste (MEA) e com ajuste (MEA_A) por tratamento.

TABLE 2: Average density of the wood-cement bonded particleboards adjusted and not adjusted for each treatment.

Tratamento	Massa específica aparente dos painéis		
	MEA (12%) (g/cm ³)	CV (%)	MEA _A (g/cm ³)
T ₁	1,339 a	0,60	1,350
T ₂	1,385 b	1,58	
T ₃	1,351 ab	0,85	
T ₄	1,345 a	0,36	
T ₅	1,344 a	0,76	
T ₆	1,350 ab	0,66	
T ₇	1,345 a	0,57	
T ₈	1,366 ab	0,99	
T ₉	1,387 b	1,70	

Em que: Médias seguidas por letras distintas dentro da mesma coluna mostram diferença estatística ao nível de 95% de probabilidade de acordo com o teste de Tukey. CV = Coeficiente de variação.

Propriedades Mecânicas

Ligação interna (LI)

Os valores médios ajustados pela ANCOVA para LI são apresentados na Tabela 3. Os resultados da ANCOVA indicaram que os fatores isoladamente influenciaram significativamente a propriedade, assim como a sua interação.

TABELA 3: Valores médios para a propriedade de Ligação interna (LI) dos painéis.
 TABLE 3: Average values for the Internal Bonding (IB) of the wood-cement bonded particleboards.

Fonte de Variação			Ligação Interna	
Fatores/Níveis – Interações			Resistência (MPa)	CV (%)
A – Relação Madeira:Casca				
1 – 100:0			0,68 A	-
2 – 95:5			0,59 b	-
3 – 90:10			0,56 c	-
B – Percentual de Aditivo				
1 – 0			0,59 ab	-
2 – 20			0,65 a	-
3 – 30			0,58 b	-
A x B – Interação				
T ₁	A ₁ x B ₁	(100:0 – 0)	0,68 a	7,53
T ₂	A ₁ x B ₂	(100:0 – 20)	0,74 a	6,95
T ₃	A ₁ x B ₃	(100:0 – 30)	0,61 b	8,39
T ₄	A ₂ x B ₁	(95:5 – 0)	0,56 b	9,22
T ₅	A ₂ x B ₂	(95:5 – 20)	0,63 a	8,13
T ₆	A ₂ x B ₃	(95:5 – 30)	0,59 ab	8,71
T ₇	A ₃ x B ₁	(90:10 – 0)	0,54 a	9,48
T ₈	A ₃ x B ₂	(90:10 – 20)	0,58 a	8,81
T ₉	A ₃ x B ₃	(90:10 – 30)	0,54 a	9,45

Em que: Letras minúsculas diferentes dentro da mesma seção e coluna denotam médias estatisticamente diferentes a 95% de probabilidade pelo teste de Tukey; CV = Coeficiente de variação.

Os valores médios de resistência à LI para o fator A (relação madeira:casca) indicaram diferença significativa entre os três níveis da relação, sendo a relação madeira:casca 100:0, aquela com maior valor médio (0,68 MPa), enquanto a relação madeira:casca 90:10 gerou menor valor médio de LI (0,56 MPa).

Para o fator B (percentagem de aditivo) não houve diferença significativa entre os percentuais de aditivo 0 e 20%, com resistência à LI de 0,59 e 0,65 MPa respectivamente. Não houve também diferença significativa entre 0 e 30% de aditivo. A diferença estatística foi verificada entre os percentuais de aditivos 20 e 30%.

A interação entre os fatores (A x B) foi significativa, exceto quando se adiciona 10% de casca na mistura. Para a relação madeira:casca 100:0, o desdobramento da interação mostrou que não houve diferença significativa entre os valores obtidos entre os painéis produzidos sem a presença do aditivo (0%) e aqueles produzidos com 20% de aditivo mineral. Os valores médios obtidos por estes foram de 0,68 e 0,74 MPa respectivamente. Os painéis produzidos com 30% de aditivo mineral apresentaram valor médio de LI de 0,61 MPa, diferenciando-se estatisticamente dos demais.

Para a relação madeira:casca 95:5, os painéis produzidos sem o aditivo mineral apresentaram diferença estatística de resistência à LI (0,56 MPa) daqueles produzidos com 20% de aditivo (0,63 MPa), enquanto que a adição de 30% na composição dos painéis não gerou diferença significativa das demais composições, apresentando valor médio de 0,59 MPa.

Para a relação 90:0 não foi observada diferença estatística de resistência à LI para as três porcentagens de aditivo mineral aplicadas na composição dos painéis.

Em estudo realizado por Latorraca (2000), no qual utilizou-se 10% de microsilica em painéis cimento-madeira de *Eucalyptus. urophylla*, o maior valor obtido de LI foi de 0,30 MPa.

Nota-se, de maneira geral, que a adição de 20% de microsilica tende a elevar os valores de LI nas três relações madeira:casca, embora em sua maioria, não tenham apresentado resultados estatisticamente diferentes.

Módulo de elasticidade (MOE)

Os valores médios de MOE são apresentados na Tabela 4. Analisando-se a relação madeira:casca para a propriedade MOE, verifica-se que não houve diferença significativa quando os painéis foram compostos pela adição de 5 e de 10% de casca, apresentando valores de MOE de 2111,9 e 1882,09 MPa respectivamente. Entretanto, a relação madeira:casca 100:0 diferenciou-se das outras duas, apresentando valor de MOE de 2885,90 MPa.

Para o fator percentagem de aditivo separadamente, nota-se que não houve diferença significativa de MOE entre aqueles painéis produzidos sem a presença do aditivo mineral (2256,94 MPa) e aqueles com adição de 20 e 30% de aditivo. A diferença foi observada entre essas duas últimas porcentagens cujos valores médios foram de 2469,31 e 2153,65 MPa respectivamente.

A interação dos fatores indicou igualdade de MOE para os painéis produzidos sem a adição do aditivo mineral e aqueles produzidos com 20% de aditivo dentro da relação madeira:casca 100:00 com 3224,2 e 3053,78 MPa respectivamente. Ainda para os painéis sem casca, a adição de 30% de microssilica reduziu significativamente a rigidez dos painéis, apresentando valor médio de 2379,83 MPa.

Dentro da relação madeira:casca 95:5, observou-se diferença estatística entre os tratamentos compostos por 0 e 20% de aditivo mineral, com valores de MOE de 1989,99 e 2257,14 MPa respectivamente. Os painéis produzidos com 30% de aditivo não apresentaram diferença estatística dos demais, com valor médio de 2088,77 MPa.

Para a relação madeira:casca 90:10, os painéis produzidos sem o aditivo mineral (MOE de 1556,73 MPa) foram estatisticamente diferentes daqueles produzidos com 20 e 30% de aditivo, apresentando valor médio de MOE de 2096,91 e 1992,54 MPa respectivamente.

Nota-se que com o aumento da casca na composição dos painéis, a adição de 20 e 30% eleva a rigidez dos painéis. Gerotto *et al.* (2000) observaram, em trabalho realizado com aditivos minerais em composição com o cimento Portland, que a microssilica tem sido amplamente utilizada em razão do seu tamanho micrométrico e forma arredondada. Essas qualidades proporcionam, na matriz do cimento, melhora de suas resistências mecânicas, especialmente a rigidez.

Módulo de ruptura (MOR)

Os valores médios de MOR, apresentados na Tabela 4, mostram que, separadamente, os fatores geraram diferença significativa entre os níveis avaliados.

Para o fator relação madeira:casca, os três níveis, diferiram estatisticamente entre si, sendo que os painéis sem adição de casca apresentaram o maior valor médio (21,01 MPa), enquanto que níveis maiores (90:5 e 90:10) de inclusão de casca contribuíram para diminuir a resistência dos Painéis.

O fator percentagem de aditivo não mostrou diferença significativa entre os painéis produzidos com 20 e 30% de aditivo. Esses painéis geraram maiores valores médios em relação àqueles produzidos sem a adição de microssilica.

Houve efeito significativo da interação entre os fatores para o MOR. Notou-se que, dentro da relação madeira:casca 100:00, não há uma tendência clara quanto ao efeito do aditivo. A adição de 30% de microssilica reduziu efetivamente o MOR, entretanto a adição de 20% não demonstrou alteração significativa na resistência dos painéis.

Quando se adicionou 5 ou 10% de casca na mistura a adição de microssilica influenciou significativamente a resistência dos painéis. Não foi observada diferença significativa do MOR entre adições de 20 e 30% de microssilica. Portanto, a combinação de casca, até o nível estudado (10%), mais o aditivo mineral proporcionou painéis com resistência superior àquelas sem adição de casca (100:0).

Propriedades Físicas

Inchamento em espessura em 2 horas (IE 2 h)

Os valores médios de IE 2 h são apresentados na Tabela 5. Para o fator madeira:casca, a composição 100:0 apresentou menor variação dimensional (0,64%), diferenciando-se estatisticamente das outras duas composições. Para o fator aditivo, essa diferença estatística foi observada quando se adicionaram 20 e 30%

de aditivo, proporcionando menores variações dimensionais (0,67 e 0,73%), em relação à média dos painéis sem a presença do aditivo. Ou seja, a presença do aditivo, independente da percentagem e relação madeira:casca, causou efeito na variação dimensional dos painéis.

Avaliando-se a interação dos fatores, observou-se que, para a relação madeira:casca 100:0, os três níveis de aditivos não geraram diferença significativa entre si.

TABELA 4: Valores médios de Módulo de Elasticidade (MOE) e Módulo de Ruptura (MOR) dos painéis de cimento-madeira.

TABLE 4: Average values of Modulus of Elasticity (MOE) and Modulus of Rupture (MOR) of the wood-cement bonded particleboards.

Fonte de Variação			Flexão Estática			
Fatores/Níveis – Interações			MOE (Mpa)	CV (%)	MOR (Mpa)	CV (%)
A – Relação Madeira:Casca						
1 – 100:0			2885,90 a	-	21,01 a	-
2 – 95:5			2111,90 b	-	19,39 b	-
3 – 90:10			1882,09 b	-	14,66 c	-
B – Percentual de Aditivo						
1 – 0%			2256,94 ab	-	16,10 b	-
2 – 20%			2469,31 a	-	19,79 a	-
3 – 30%			2153,65 b	-	19,18 a	-
A x B – Interação						
T ₁	A ₁ x B ₁	(100:0 – 0)	3224,20 a	8,56	20,75 ab	11,79
T ₂	A ₁ x B ₂	(100:0 – 20)	3053,79 a	9,04	21,83 a	11,16
T ₃	A ₁ x B ₃	(100:0 – 30)	2379,83 b	11,60	20,49 b	11,88
T ₄	A ₂ x B ₁	(95:5 – 0)	1989,99 b	13,88	17,02 b	14,31
T ₅	A ₂ x B ₂	(95:5 – 20)	2257,14 a	12,23	20,99 a	11,60
T ₆	A ₂ x B ₃	(95:5 – 30)	2088,77 ab	13,20	20,16 a	12,08
T ₇	A ₃ x B ₁	(90:10 – 0)	1556,73 b	17,73	10,53 b	23,12
T ₈	A ₃ x B ₂	(90:10 – 20)	2096,91 a	13,17	16,57 a	14,69
T ₉	A ₃ x B ₃	(90:10 – 30)	1992,54 a	13,86	16,89 a	14,41

Em que: Letras minúsculas diferentes dentro da mesma seção e coluna denotam médias estatisticamente diferentes a 95% de probabilidade pelo teste de Tukey; CV = Coeficiente de variação.

Para as relações 95:5 e 90:10, verificou-se diferença estatística de IE 2 h entre os painéis produzidos sem o aditivo e as demais porcentagens, em que a presença do aditivo mineral reduziu significativamente a sua variação dimensional.

Pardo *et al.* (2001) afirmam que as partículas finas de microssilica levariam a uma melhor adesão, sobretudo na interface matriz-agregado, e também à diminuição da permeabilidade, o que pode explicar a melhoria da estabilidade dimensional dos painéis com adição de microssilica.

Inchamento em espessura em 24 horas (IE 24 h)

Para os valores de IE 24 h, nota-se que a adição de casca à mistura promoveu aumento significativo do inchamento em espessura dos painéis, assim como observado em IE 2 h. Para o fator percentagem de aditivo, não há uma tendência clara.

A interação entre os fatores indica que, para painéis sem adição de casca 100:0, a adição de microssilica aumenta a estabilidade dimensional destas.

Para a relação 95:5, a variação dimensional média dos painéis produzidos sem a presença do aditivo mineral (1,51%) não diferenciou daqueles produzidos com 20% de aditivo (1,48%). Já em relação àqueles produzidos com 30% de aditivo (1,38%) houve diferença estatística.

Para a relação 90:10 não foi observada diferença estatística entre 0 e 30% de aditivo, ou seja a presença do aditivo mineral não gerou efeito na variação dimensional em espessura após 24 h de imersão em

água.

A adição de 20% de microssilica gerou diferença significativa dos demais e ainda o menor valor médio de variação dimensional (1,37%). Esse resultado provavelmente está diretamente ligado à proteção oferecida pela matriz de cimento que envolve a partícula, associada ao efeito da redução de vazios provocado pela adição desse tipo de aditivo.

TABELA 5: Valores médios para a propriedade de inchamento em espessura (IE) em 2 e 24 h (IE 2 e 24 h).

TABLE 5: Average values of thickness swelling (IE) of the wood-cement bonded particleboards after 2 h and 24 h of water immersion.

Fonte de Variação			Inchamento em Espessura			
Fatores/Níveis - Interações			IE 2 h	CV	IE 24 h	CV
			(%)			
A – Relação Madeira:Casca						
1 – 100:0			0,64 a	-	1,32 a	-
2 – 95:5			0,88 b	-	1,46 b	-
3 – 90:10			0,83 b	-	1,50 b	-
B – Percentual de Aditivo						
1 – 0			0,95 b	-	1,51 b	-
2 – 20			0,67 a	-	1,35 a	-
3 – 30			0,73 a	-	1,41 ab	-
A x B - Interação						
T ₁	A ₁ x B ₁	(100:0 – 0)	0,68 a	12,88	1,46 b	7,66
T ₂	A ₁ x B ₂	(100:0 – 20)	0,56 a	15,64	1,20 a	9,32
T ₃	A ₁ x B ₃	(100:0 – 30)	0,69 a	12,69	1,29 a	8,67
T ₄	A ₂ x B ₁	(95:5 – 0)	1,12 b	7,82	1,51 b	7,41
T ₅	A ₂ x B ₂	(95:5 – 20)	0,76 a	11,52	1,48 ab	11,53
T ₆	A ₂ x B ₃	(95:5 – 30)	0,77 a	11,38	1,38 a	11,38
T ₇	A ₃ x B ₁	(90:10 – 0)	1,05 b	8,34	1,56 b	8,34
T ₈	A ₃ x B ₂	(90:10 – 20)	0,70 a	12,51	1,37 a	12,51
T ₉	A ₃ x B ₃	(90:10 – 30)	0,74 a	11,84	1,57 b	11,84

Em que: Letras minúsculas diferentes dentro da mesma seção e coluna denotam médias estatisticamente diferentes a 95% de probabilidade pelo teste de Tukey; CV = Coeficiente de variação.

Absorção de água em 2 horas (AA 2 h)

Os valores médios de AA 2 h são apresentados na Tabela 6. Para a relação madeira:casca, isoladamente, a inclusão em níveis crescentes de casca à mistura provocou aumentos proporcionais na absorção de água dos painéis. O maior valor médio de absorção foi observado para a relação 90:10 (6,51 %).

Para o fator aditivo, isoladamente, a adição de microssilica à mistura diminuiu significativamente a absorção de água, sendo que a adição de 20% de aditivo promoveu a menor absorção de água (5,18%) diferindo-se estatisticamente dos demais.

A interação dos fatores para AA 2 h mostrou que, para a relação madeira:casca 100:0, o valor médio dos painéis produzidos sem a presença de aditivo não gerou diferença estatística daqueles produzidos com 30%, enquanto que aqueles produzidos com 20% do aditivo apresentaram diferença significativa dos demais promovendo menor valor médio de absorção (4,14%).

Para a relação 95:5, os três níveis de aditivo mineral diferiram estatisticamente. O maior valor médio de absorção foi para os painéis produzidos sem o aditivo mineral (6,23%) e o menor para aqueles em que foram adicionados 20% de aditivo (5,18%).

Na relação 90:10, os painéis produzidos sem aditivo geraram diferença estatística e maiores valores médios de absorção (7,10%) em relação àqueles produzidos com 20 (6,20) e 30% (6,22%) de aditivo.

Em valor numérico, a adição de 20% do aditivo gerou menor absorção de água. Gerotto *et al.* (2000) citam que, com a adição de microssilica, a porosidade da matriz do cimento é substancialmente reduzida. A

forma e tamanho da microssilica certamente favorecem a impermeabilidade do compósito.

TABELA 6: Valores médios para a propriedade Absorção de água (AA) 2 e 24 h (AA 2 e 24 h).

TABLE 6: Average values of water absorption (AA) of the wood-cement bonded particleboards after 2 h and 24 h of water immersion.

Fonte de Variação			Absorção de Água			
Fatores/Níveis – Interações			AA 2 h	CV	AA 24 h	CV
			(%)			
A – Relação Madeira:Casca						
1 – 100:0			4,98 a	-	9,39 a	-
2 – 95:5			5,82 b	-	10,63 b	-
3 – 90:10			6,51 c	-	9,67 a	-
B – Percentual de Aditivo						
1 – 0			6,31 c	-	10,46 b	-
2 – 20			5,18 a	-	8,83 a	-
3 – 30			5,82 b	-	10,41 b	-
A x B – Interação						
T ₁	A ₁ x B ₁	(100:0 – 0)	5,61 b	13,09	8,72 a	11,69
T ₂	A ₁ x B ₂	(100:0 – 20)	4,14 a	17,74	8,79 a	11,60
T ₃	A ₁ x B ₃	(100:0 – 30)	5,20 b	14,13	10,67 b	9,55
T ₄	A ₂ x B ₁	(95:5 – 0)	6,23 c	11,79	10,71 b	9,52
T ₅	A ₂ x B ₂	(95:5 – 20)	5,18 a	14,18	9,92 a	10,28
T ₆	A ₂ x B ₃	(95:5 – 30)	6,05 b	12,14	11,28 c	9,04
T ₇	A ₃ x B ₁	(90:10 – 0)	7,10 b	10,35	11,96 c	8,52
T ₈	A ₃ x B ₂	(90:10 – 20)	6,20 a	11,85	7,76 a	13,14
T ₉	A ₃ x B ₃	(90:10 – 30)	6,22 a	11,81	9,29 b	10,97

Em que: Letras minúsculas diferentes dentro da mesma seção e coluna denotam médias estatisticamente diferentes a 95% de probabilidade pelo teste de Tukey; CV = Coeficiente de variação.

Absorção de água em 24 horas (AA 24 h)

Para a variável AA 24 h, o fator madeira:casca, isoladamente, não proporcionou diferença entre as relações 100:0 e 90:10, com valores de 9,39 e 9,67% respectivamente, e a maior absorção foi verificada para a relação 95:05 com 10,63%. Para o fator percentual de aditivo, isoladamente, a adição de 20% de microssilica gerou menor valor médio de AA 24 h (8,83%), diferenciando-se das demais composições.

A interação entre os fatores indicou igualdade estatística entre os valores médios de absorção daqueles painéis produzidos sem a presença de aditivo (8,72%) e aqueles produzidos com 20% (8,79%). A adição de 30% de aditivo gerou maior valor médio de absorção (10,67%), gerando diferença estatística dos demais.

Para a relação 95:5, houve diferença significativa entre os três níveis de aditivo. O menor valor médio de AA 24 h foi para os painéis produzidos com 20% de aditivo (9,92%), enquanto que a adição de 30% de aditivo promoveu a maior absorção (11,28%).

Para a relação 90:10 também foi observada diferença estatística entre os três níveis de aditivo. A adição de 20% gerou menor valor médio (7,76%), e a ausência do aditivo promoveu a maior absorção (11,96%).

CONCLUSÕES

A propriedade de LI não sofre efeito significativo do aditivo mineral quando os painéis apresentam 10% de casca em sua composição. A adição de 20% de aditivo faz-se necessária apenas quando o painel apresenta em sua composição 5% de casca.

Para a variável MOE, a adição de 30% de microssilica tende a reduzir a rigidez do painel quando este é composto por 100% de madeira, enquanto que a adição de 20% do aditivo produz aumento da rigidez quando o painel apresenta casca em sua composição.

O efeito da adição de 20 e 30% de microssílica em painéis compostos pela relação madeira:casca 95:5 e 90:10 resulta em aumento de MOR.

A adição de 20 e 30% de aditivo mineral em painéis produzidos com as relações madeira:casca 95:5 e 90:10 reduz a variação dimensional em espessura após 2 h de imersão em água, enquanto que para a relação 100:0 aditivo não promove efeito significativo.

A adição de 20% de microssílica proporciona menor variação em espessura após 24 h de imersão em água, para painéis produzidos pela relação madeira:casca 100:0.

A adição de 20% de microssílica tende a reduzir a absorção de água após 2 e 24 h de imersão em água dentro de todas as relações madeira:casca.

Avaliando-se o conjunto das propriedades estudadas, a inclusão da casca pode ser viabilizada com a adição de 20% de microssílica na composição dos painéis, melhorando as propriedades físicas e mecânicas dos painéis.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIAL. Standard methods of evaluating the properties of wood-base fiber and particle panel materials. In: **Annual Book of ASTM Standard**. Philadelphia, 1999. (ASTM D 1037)
- CHAPOLA, G.B.J. Effect of curing heat, alkali and cement set in cement particleboard on the visco-elastic properties of chip mattresses. **Wood Science and Technology**, v. 23, p. 131-138, 1989.
- DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. **Testing of wood chipboards, bending test, determination of bending strength**. DIN 52362, p. 39-40, 1982
- GEROTTO, M.V.; CABO, S.S.; INNOCENTINI, M.D.M.; PANDOLFELLI, V.C. Utilização de caulim e meta-caulim em substituição à microssílica em concretos refratários aluminosos auto-escoantes. **Cerâmica**, v. 46, n. 300, p. 200-209, 2000.
- LANGE, H.; SIMATUPANG, M.H.; NEUNAUER, A. Influence of latent hydraulic binders on the properties of wood-cement composite. In: **INORGANIC BONDED WOOD AND FIBER COMPOSITE MATERIALS**. Session II: Raw material considerations. **Proceedings...** USA. V. 1, 1989, p. 48-52
- LATORRACA, J.V.F. ***Eucalyptus* spp. na produção de painéis de cimento-madeira**. 2000. 191p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000.
- PARDO, A.R.F.; INNOCENTINI, M.D.M.; MENEGAZZO, B.; PANDOLFELLI, V.C. Permeabilidade de concretos refratários avançados. **Cerâmica**, v. 47, n. 302, p. 82-87, 2001.
- SOUZA, M.R. **Durability of cement-bonded particleboard made conventionally and carbon dioxide injection**. 1994. 123p. Tese (Doctor of Philosophy) – University of Idaho, Idaho, 1994.