

CHAPAS AGLOMERADAS CONFECCIONADAS COM UREIA-FORMALDEÍDO SOB ADIÇÃO DE TANINO EM PÓ

PARTICLEBOARDS MANUFACTURED WITH UREA-FORMALDEHYDE UNDER THE ADDITION OF POWDER TANNIN

Fabricio Gomes Gonçalves¹ Roberto Carlos Costa Lelis² José Tarcísio da Silva Oliveira¹
Rosilei Aparecida Garcia² Edvá Oliveira Brito²

RESUMO

Este trabalho teve por objetivo avaliar as propriedades tecnológicas de chapas aglomeradas fabricadas com partículas de *Acacia mangium* e adesivo ureia-formaldeído (UF) mediante adição de tanino comercial de *Acacia mearnsii* na forma de pó a suas partículas. As chapas foram fabricadas sob diferentes razões de compactação e o efeito destas nas propriedades tecnológicas foi avaliado. Utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado no esquema fatorial 4 x 4, sendo quatro porcentagens de adição de tanino em pó às partículas (0, 10, 20 e 30%), após aplicação do adesivo ureia-formaldeído e quatro razões de compactação nominais - 1,39, 1,55, 1,73, e 2,00. Foi utilizado o ciclo de prensagem com pressão de 3,92 MPa e temperatura de 140°C por 8 minutos. A adição de tanino em pó às partículas encoladas com ureia-formaldeído proporcionou melhoras em algumas propriedades físicas e mecânicas. Os resultados indicam a adição do tanino em pó como alternativa viável de utilização em chapas de partículas, sem necessidade de sua diluição.

Palavras-chave: adesivo natural; densidade; razão de compactação; *Acacia mangium*.

ABSTRACT

This work aimed to evaluate the technological properties of particleboards manufactured with particles of *Acacia mangium* and urea-formaldehyde adhesive by addition of powder form commercial tannin of *Acacia mearnsii* to their particles. The particleboards manufactured under different compaction ratio and the effect of these in the properties of the boards evaluated. It used a completely randomized design in the factorial outline 4 x 4 as follows: four percentages of substitution of powder form tannin to the adhesive urea-formaldehyde - 0, 10, 20 and 30%; and four nominal compaction ratios: 1.39, 1.55, 1.73, and 2.00. The pressing cycle used was 3.92 specific pressure with temperature of 140°C by 8 minutes. The addition of powder tannin to particles with urea-formaldehyde provided some improvements in the physical and mechanical properties. The results indicate that the addition of tannin powder is a viable alternative of use in particleboards, with no need for dilution.

Keywords: natural adhesive; density; compaction ratio; *Acacia mangium*.

INTRODUÇÃO

O aumento significativo na demanda por madeira proveniente de plantios de eucalipto e pinus, bem como a carência de novas áreas para plantios de reposição, que permitam a equiparação entre a oferta e demanda para diferentes indústrias madeireiras, faz com que haja uma busca por informações de outras espécies.

1 Engenheiro Florestal, Dr., Professor do Departamento de Ciências Florestais e da Madeira, Centro de Ciências Agrárias e Engenharias, Universidade Federal do Espírito Santo, Av. Governador Lindemberg, 316, Centro, CEP 29550-000, Jerônimo Monteiro (ES), Brasil. fabricio.goncalves@ufes.br / jose.t.oliveira@ufes.br

2 Engenheiro Florestal, Dr., Professor do Departamento de Produtos Florestais, Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rod. BR 465, Km 07, CEP 23890-000, Seropédica (RJ), Brasil. lelis@ufrj.br / rosileigar@hotmail.com / edvabrito@yahoo.com.br

Neste contexto, destaca-se a espécie *Acacia mangium* com potencial para suprimento de madeira em alguns segmentos industriais madeireiros, sendo cultivada em várias partes do mundo, possuindo ocorrência natural na Austrália, Indonésia, Malásia, Papua Nova Guiné e Java

(WONG et al., 1988; 1996; STARR et al., 2003); suportando solos ácidos, com pH entre 4,5 a 6,5 (JOKER, 2000); geadas e temperaturas superiores a 34°C (STARR et al., 2003).

A madeira apresenta densidade básica média para árvores adultas com sete anos de idade de 0,52 g cm⁻³ (VALE et al., 1999); o cerne da espécie apresenta certa vulnerabilidade à podridão por fungos (BARRY et al., 2005). Isto, de acordo com Lee et al. (1998), independe da idade e conforme Halfeld-Vieira et al. (2006) pode tornar o tronco oco, conforme observado por Gonçalves e Lelis (2012), resultando em perda de qualidade da madeira e rendimento. Pesquisas com esta espécie para confecção de painéis de madeira e compósitos com madeira é objeto de estudo de alguns autores já há algum tempo (WONG et al., 1988; SUDIN; IBRAHIM, 1990; ABDUL KHALI et al., 2002; IZRAN et al., 2010; KARLINASARI et al., 2012).

A formação de painéis aglomerados comerciais se dá por intermédio de partículas do tipo *slivers*, com distribuição aleatória e homogênea em três camadas. São produzidos sob temperatura que varia de 130 a 160°C, e compressão de 1,37 a 3,43 MPa, com teor de umidade final entre 5 a 12% (WATAI, 1987), além de não possuírem caráter estrutural. As partículas de madeira são unidas por adesivos sintéticos ou naturais (PIZZI, 1994), com uma densidade final entre 0,60 e 0,79 g cm⁻³ (KOLMANN et al., 1975) ou até mesmo com densidades inferiores.

Dentre as resinas mais utilizadas na confecção de chapas aglomeradas, destaca-se a resina à base de ureia-formaldeído por apresentar uma coloração clara após a cura (SELBO, 1975), ao seu baixo custo e ao menor tempo de reação na prensagem a quente (MALONEY, 1977), além de boa resistência ao calor e a solvente (SINA, 2008). Esta resina pode ser modificada mediante uso de adesivos de características naturais, a exemplo dos taninos, rotineiramente através de solução, visando a colagem em painéis reconstituídos à base de madeira (GONÇALVES et al., 2008; GONÇALVES; LELIS, 2009; CARNEIRO et al., 2009; MOUBARIK et al., 2010); porém, inexistem dados quantitativos que permitam inferir sua utilização direta na forma de pó.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a utilização do tanino comercial na forma de pó, aplicado às partículas da madeira de *Acacia mearnsii*, encoladas com ureia-formaldeído, na confecção de chapas aglomeradas, em quatro razões de compactação.

MATERIAL E MÉTODOS

Origem da Matéria-prima

Foi utilizada madeira de 10 árvores de *Acacia mangium* (50 meses de idade), escolhidas ao acaso, porém, com diâmetros entre 9 e 15 cm, provenientes de um cultivo experimental consorciado com 50% do híbrido *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*, localizado no município de Santa Bárbara - MG, pertencente à empresa Celulose Nipo-Brasileira S. A. - CENIBRA S.A. A região apresenta uma temperatura média anual de 21,9°C, precipitação média anual de 1.440 mm e umidade relativa média de 65%.

A densidade básica da madeira utilizada foi de 0,33 g cm⁻³, obtida pela média ponderada de discos de 2,5 cm de espessura obtidos nas posições 0, 25, 50, 75 e 100% da altura comercial (diâmetro mínimo de 7 cm), conforme resultados de Gonçalves e Lelis (2012).

Preparo das chapas

As árvores foram cortadas em toretes, retiradas as cascas e transformados em discos de aproximadamente 5,0 cm de espessura. Após, foram fracionados em partículas convencionais em um gerador de partículas, com comprimento variável, espessura média de 0,6 mm e largura entre 3 e 5 cm.

Estas partículas foram então secas ao ar, até atingiram um teor de umidade aproximado de 15%, sendo reduzidas em moinho de martelo com peneira de 9,35 mm para em seguida serem classificadas em um peneirador para retirada dos finos, utilizando-se na confecção das chapas, as partículas que transpassaram

pela peneira de 4,0 mm e ficarem retidas na peneira de 0,60 mm. Após, foram secas em estufa de circulação forçada a 65°C até o teor de umidade predeterminado de 5%, e armazenadas em sacos plásticos.

Para aplicação do adesivo foi utilizada uma encoladeira do tipo tambor rotativo equipada com uma pistola pneumática. O adesivo utilizado foi a ureia-formaldeído (MDP1021, diluído com água destilada a 10%). As propriedades tecnológicas da ureia-formaldeído foram determinadas conforme metodologia utilizada por Gonçalves e Lelis (2009). Utilizou-se uma proporção de 10% de adesivo sobre o peso seco das partículas. Adotou-se o sulfato de amônia $[(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4]$ a 24% em proporção de 2% sobre a massa total de sólidos como catalisador do adesivo. O tanino utilizado foi em forma de pó, comercializado com o nome de Phenothan AP com 12% de umidade.

O tanino foi aplicado na forma de pó diretamente sobre as partículas já encoladas com ureia-formaldeído, na própria encoladeira, com uma pequena peneira para permitir uma distribuição de forma homogênea (respeitando as devidas proporções em massa seca e proporção (0, 10, 20 e 30%). Definiram-se cinco rotações da encoladeira para envolvimento do tanino à ureia. Em seguida, as partículas foram pré-prensadas com auxílio de uma caixa formadora para uma melhor acomodação do colchão.

As chapas, em uma única camada, foram fabricadas com dimensões nominais de 40 x 40 x 1,27 cm em uma prensa hidráulica de abertura automática com aquecimento elétrico. Utilizou-se um tempo de prensagem de 8 minutos à temperatura de 140°C e pressão específica de 3,92 MPa. Foi confeccionado um total de 64 chapas.

Após a prensagem, as chapas foram mantidas em sala climatizada com umidade relativa de $65 \pm 5\%$ e temperatura de $20 \pm 3^\circ\text{C}$ até atingirem a umidade de equilíbrio, com posterior retirada de aproximadamente 4 cm da bordadura e confecção dos corpos de prova visando à realização dos ensaios tecnológicos.

Ensaio tecnológicos

Os ensaios mecânicos (flexão estática - módulos de ruptura e de elasticidade, ligação interna e arrancamento de parafuso na face) foram realizados em uma máquina universal de ensaios de 100 kN com aquisição de dados automatizada. O ensaio de arrancamento de parafuso foi realizado a partir das extremidades do corpo de prova utilizado no ensaio de resistência à flexão e módulo de elasticidade estática, unidos pelo adesivo acetato de polivinila (PVAc) com dimensão de 50 x 100 cm. Realizaram-se também ensaios físicos (absorção de água e inchamento em espessura), ambos, após duas e 24 horas de imersão em água. Todos os testes foram realizados conforme a norma ABNT NBR 14810-3 (2006) com os corpos de prova a uma umidade média de 10%.

Os resultados dos testes foram comparados com os valores estabelecidos pelas normas CS 236-66 (1968), ANSI A208.1 (1999) e ABNT NBR 14810-3 (2006).

Foi ainda realizada uma análise do pH em amostras fragmentadas a partir das chapas consolidadas (partículas + ureia-formaldeído + tanino em pó), conforme procedimento descrito por Almeida (2009) e Gonçalves e Lelis (2012), os quais a utilizaram para avaliação do pH em madeira.

Análise estatística

Utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado no esquema fatorial 4 x 4, sendo quatro porcentagens de substituição de tanino na forma de pó ao adesivo ureia-formaldeído, e quatro razões de compactação (Tabela 1). Para cada tratamento foram realizadas quatro repetições (chapas).

Depois do ensaio dos corpos de prova, os dados obtidos foram submetidos à análise de variância. Havendo interação entre os fatores, procedeu-se ao desdobramento apenas da razão de compactação dentro do adesivo, por esta se tratar de fator qualitativo, com a respectiva análise de regressão. O fator adesivo foi submetido à análise de variância dentro de cada razão de compactação com aplicação do teste de *Tukey*, sempre que a probabilidade de erro for inferior a 5% de probabilidade.

Na interação significativa, representou-se graficamente por meio do modelo linear, a relação entre a razão de compactação e as propriedades físicas e mecânicas, bem como do pH. Verificou-se a normalidade dos dados por meio do teste de *Shapiro-Wilk*, e a significância adotada foi de 5% de probabilidade.

TABELA 1: Tratamentos estudados, contendo uma espécie (*Acacia mangium*), quantidade de tanino comercial em pó aplicado nas partículas encoladas com ureia-formaldeído e quatro razões de compactação (RC).

TABLE 1: Studied treatments containing a species (*Acacia mangium*), quantity of powder form commercial tannin applied on the particles glued with urea formaldehyde and four compaction ratios (RC).

Tratamento	Relação Ureia-formaldeído:Tanino em pó (Adesivo)*	RC Nominal
T1	1	1,39
T2	2	
T3	3	
T4	4	
T5	1	1,55
T6	2	
T7	3	
T8	4	
T9	1	1,73
T10	2	
T11	3	
T12	4	
T13	1	2,00
T14	2	
T15	3	
T16	4	

* em que: 1 refere-se à relação 100:0; 2, relação 90:10; 3, relação 80:20; e 4, relação 70:30.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Propriedades físicas e químicas

A ureia-formaldeído utilizada, após a diluição, apresentava teor de sólidos de 64%, pH de 8,5, viscosidade de 371,86 cP e densidade de 1,23 g cm⁻³. Esta diluição foi necessária devido a sua elevada viscosidade.

Os valores médios obtidos para a densidade aparente (umidade de 10%) das chapas produzidas foram 0,46, 0,51, 0,57 e 0,67 g cm⁻³, e as razões de compactação reais foram 1,21, 1,36, 1,51 e 1,82, respectivamente. A razão de compactação real ficou abaixo do idealizado, porém, mantendo valores entre 9 e 12,9%. Kollmann et al. (1975) e Maloney (1977) afirmam que a faixa ideal para a razão de compactação está entre 1,3 a 1,6, no entanto, optou-se por razões fora deste limite, permitindo desta forma aferir melhores resultados com a espécie estudada.

A densidade aparente das chapas nos tratamentos variou na faixa de 0,34 a 0,80 g cm⁻³, o que permitiu a classificação das mesmas como sendo de baixa (< 0,64 g cm⁻³) e média (0,64 ≤ ρ ≤ 0,80 g cm⁻³) densidade, conforme a ANSI A-280.1 (1999). Os tratamentos 1 a 12 estão, desta forma, classificados como baixa densidade, e os tratamentos 13 a 16 como de média densidade. As chapas foram produzidas em quatro valores de razão de compactação, para que se permitisse uma análise da influência da adição do tanino em pó às partículas encoladas com ureia-formaldeído. A densidade das chapas variou um pouco dentro de cada grupo de razão de compactação devido à redução dos sólidos da ureia-formaldeído e da variação de tanino em pó.

O efeito da relação ureia-formaldeído:tanino (adesivo) nas razões de compactação para o inchamento

em espessura após duas e 24 horas (IE2 e IE24) pode ser observado na Tabela 2.

TABELA 2: Valores médios observados do efeito da relação ureia-formaldeído:tanino (adesivo) no inchamento em espessura (IE) para as razões de compactação (RC).

TABLE 2: Effect of the urea formaldehyde:tannin (adhesive) on the thickness swelling (IE) for each compaction ratio (RC), mean values.

Razão de compactação	Propriedade	Adesivo UF:tanino			
		1 (100:0)	2 (90:10)	3 (80:20)	4 (70:30)
RC 1 (1,21)	IE 2 horas (%)	22,52 (5,17) b	27,57 (7,54) a	22,99 (3,62) b	23,74 (2,73) b
	IE 24 horas (%)	27,62 (5,76) c	37,71 (8,94) a	30,52 (5,43) bc	32,81 (3,66) b
RC 2 (1,36)	IE 2 horas (%)	22,10 (3,87) a	17,25 (2,43) b	18,56 (3,56) b	23,36 (3,41) a
	IE 24 horas (%)	28,92 (5,02) b	26,10 (4,04) b	28,49 (4,98) b	35,51 (5,29) a
RC 3 (1,51)	IE 2 horas (%)	21,99 (2,92) a	10,11 (2,76) c	15,65 (2,32) b	21,18 (5,01) a
	IE 24 horas (%)	31,29 (3,97) b	24,05 (4,64) c	29,07 (6,06) b	38,00 (7,62) a
RC 4 (1,82)	IE 2 horas (%)	33,14 (8,55) a	11,45 (3,54) c	9,55 (3,55) c	18,30 (3,86) b
	IE 24 horas (%)	51,48 (12,16) a	27,55 (3,18) c	27,15 (3,75) c	36,36 (4,65) b

Em que: Médias seguidas de mesma letra na linha e para cada variável analisada não se diferem estatisticamente, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey. Valores entre parênteses é o desvio padrão.

Os valores médios de inchamento em espessura após duas e 24 horas de imersão, variaram entre 9,55 a 33,14% e 24,05 a 51,48%, respectivamente. Para Absorção de água após duas e 24 horas de imersão, os valores oscilaram entre 33,77 a 106,63% e 68,83 a 142,69%, intervalos bem superiores ao encontrado por Da Costa et al. (2005), em que os autores ainda afirmam que esta variação se deve às diferentes razões de compactação das chapas fabricadas.

O adesivo influenciou em todas as propriedades físicas avaliadas. Destaca-se que a aplicação de 10 e 20% de tanino em pó às partículas reduziu o inchamento em espessura após duas horas em todas as razões de compactação, com exceção da RC1, enquanto que a aplicação de 30% de tanino reduziu o inchamento em espessura após duas horas para a razão de compactação igual a 1,82. Os menores valores absolutos estão nos adesivos com 10 e 20% de tanino em pó, nas razões de compactação de 1,51 e 1,82. O mesmo comportamento foi observado para o inchamento após 24 horas. Praticamente, toda a relação ureia-formaldeído:tanino (adesivo) avaliado, atendeu ao requisito máximo de inchamento estabelecido pela norma CS 236-66 (1968), que é de 35%. A exceção mais expressiva está no adesivo com adição de 30% de tanino em pó nas razões de compactação de 1,21, 1,36 e 1,82.

A adição de 30% de tanino em pó proporcionou resultados para o inchamento em espessura, após duas horas, próximos e não significativos em relação ao adesivo com 100% de ureia-formaldeído, à exceção para a RC4, com melhores resultados. Destacam-se os maiores inchamentos médios após duas horas de imersão para a razão de compactação de 1,21. A adição de uma solução de tanino 50% à ureia-formaldeído permitiu melhorias significativas na estabilidade dimensional das chapas produzidas por Gonçalves et al. (2008) com partículas de *Eucalyptus urophylla*, indicando seu potencial de resistência à umidade em função dos polifenóis nele presentes, como já mencionado por Pizzi et al. (1981). Salienta-se que no presente estudo não foi aplicado formaldeído ao tanino, sendo utilizado somente aquele contido no adesivo químico ureico.

O efeito da relação ureia-formaldeído:tanino (adesivo) nas razões de compactação para a absorção de água após duas e 24 horas (AA2 e AA24) pode ser observado na Tabela 3.

Para a absorção de água após 24 horas de imersão, a presença do tanino a 10 e 20% reduziu esta absorção, independentemente da razão de compactação, exceto para a RC1. Nas razões de compactação RC1 e RC2, a adição de 20 e 30% de tanino em pó não reduziu significativamente a absorção de água após 24 horas.

TABELA 3: Valores médios observados do efeito da relação ureia-formaldeído:tanino (adesivo) na absorção de água para as razões de compactação (RC).

TABLE 3: Effect of the urea formaldehyde:tannin (adhesive) on the water absorption for each compaction ratio (RC), mean values.

Razão de compactação	Propriedade	Adesivo UF:tanino			
		1 (100:0)	2 (90:10)	3 (80:20)	4 (70:30)
RC 1 (1,21)	AA 2 horas (%)	98,09 (12,94) bc	106,63 (26,41) a	103,27 (11,14) ab	95,24 (10,42) c
	AA 24 horas (%)	133,58 (12,37) b	142,69 (25,36) a	134,59 (12,72) b	136,09 (13,79) ab
RC 2 (1,36)	AA 2 horas (%)	95,64 (24,16) a	65,93 (8,99) c	88,73 (13,79) a	78,22 (11,20) b
	AA 24 horas (%)	126,53 (8,41) a	105,41 (8,63) c	118,26 (11,91) b	120,71 (12,75) ab
RC 3 (1,51)	AA 2 horas (%)	66,78 (7,67) a	43,40 (8,20) c	51,07 (10,06) c	63,91 (9,60) a
	AA 24 horas (%)	106,84 (9,71) a	83,98 (8,04) c	97,21 (14,13) b	108,42 (8,43) a
RC 4 (1,82)	AA 2 horas (%)	75,52 (17,50) a	36,79 (9,40) c	33,77 (8,85) c	49,68 (11,97) b
	AA 24 horas (%)	116,99 (17,44) a	70,36 (8,85) c	68,83 (10,85) c	86,83 (9,50) b

Em que: Médias seguidas de mesma letra na linha e para cada variável analisada não se diferem estatisticamente, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey. Valores entre parênteses é o desvio padrão.

A utilização de tanino por meio de solução em água é objeto de estudo há algum tempo. Gonçalves et al. (2003), utilizando tanino de *Mimosa caesalpiniaefolia* e Gonçalves et al. (2008), utilizando tanino de *Acacia mearnsii*, encontraram valores de inchamento em espessura abaixo de 30% para chapas produzidas com ureia-formaldeído modificada com uma solução líquida de 10% e 20% de tanino; valores estes inferiores ao presente trabalho. A composição química estrutural dos taninos pode influenciar com resultados diferentes, conforme observaram Carneiro et al. (2009), os quais trabalharam com tanino sulfitado de *Anadenanthera peregrina* e encontraram valores superiores ao exigido pelas normas vigentes. Estes trabalhos, anteriormente citados, utilizaram solução de tanino adicionado ao adesivo químico, diferentemente do presente trabalho, o que pode explicar resultados pouco diferentes encontrados. Além disso, a adição do tanino em pó não prejudicou a qualidade dos painéis.

O efeito da relação ureia-formaldeído:tanino (adesivo) nas razões de compactação para o pH obtido nas partículas, a partir da fragmentação das chapas pode ser observado na Tabela 4.

TABELA 4: Valores médios observados do efeito da relação ureia-formaldeído:tanino (adesivo) nas razões de compactação (RC) para o pH das chapas.

TABLE 4: Effect of the urea formaldehyde:tannin (adhesive) on the pH of particles for each compaction ratio (RC), in particleboards, mean values.

Razão de compactação	Adesivo UF:tanino			
	1(100:0)	2 (90:10)	3 (80:20)	4 (70:30)
RC 1 (1,21)	5,52 a	5,53 a	5,76 b	5,80 c
RC 2 (1,36)	5,49 a	5,61 b	5,72 c	5,91 d
RC 3 (1,51)	5,48 a	5,64 b	5,89 d	5,84 c
RC 4 (1,82)	5,61 a	5,66 b	5,78 c	5,91 d

Em que: Médias seguidas de mesma letra na linha e para cada variável analisada não se diferem estatisticamente, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

A adição de tanino em pó proporcionou um aumento significativo nos valores de pH em praticamente todas as quatro razões de compactação. Destaca-se a adição de 30% de tanino na razão de compactação 1,36 e 1,82, com os maiores valores. Como esperado, os baixos valores de pH estão nos adesivos exclusivamente à base de ureia-formaldeído, diferindo-se dos demais, independentemente da razão de compactação, excluindo apenas aquele adesivo com adição de 10% de tanino, na razão de compactação de 1,21.

A Figura 1 ilustra a relação do inchamento em espessura após duas e 24 horas de imersão em água em função da razão de compactação, para as diferentes relações ureia-formaldeído:tanino em pó estudadas.

Observando-se a Figura 1, nota-se uma tendência de redução significativa para o Inchamento em espessura após duas horas de imersão para as três composições de adesivo com tanino à medida que se aumenta a razão de compactação.

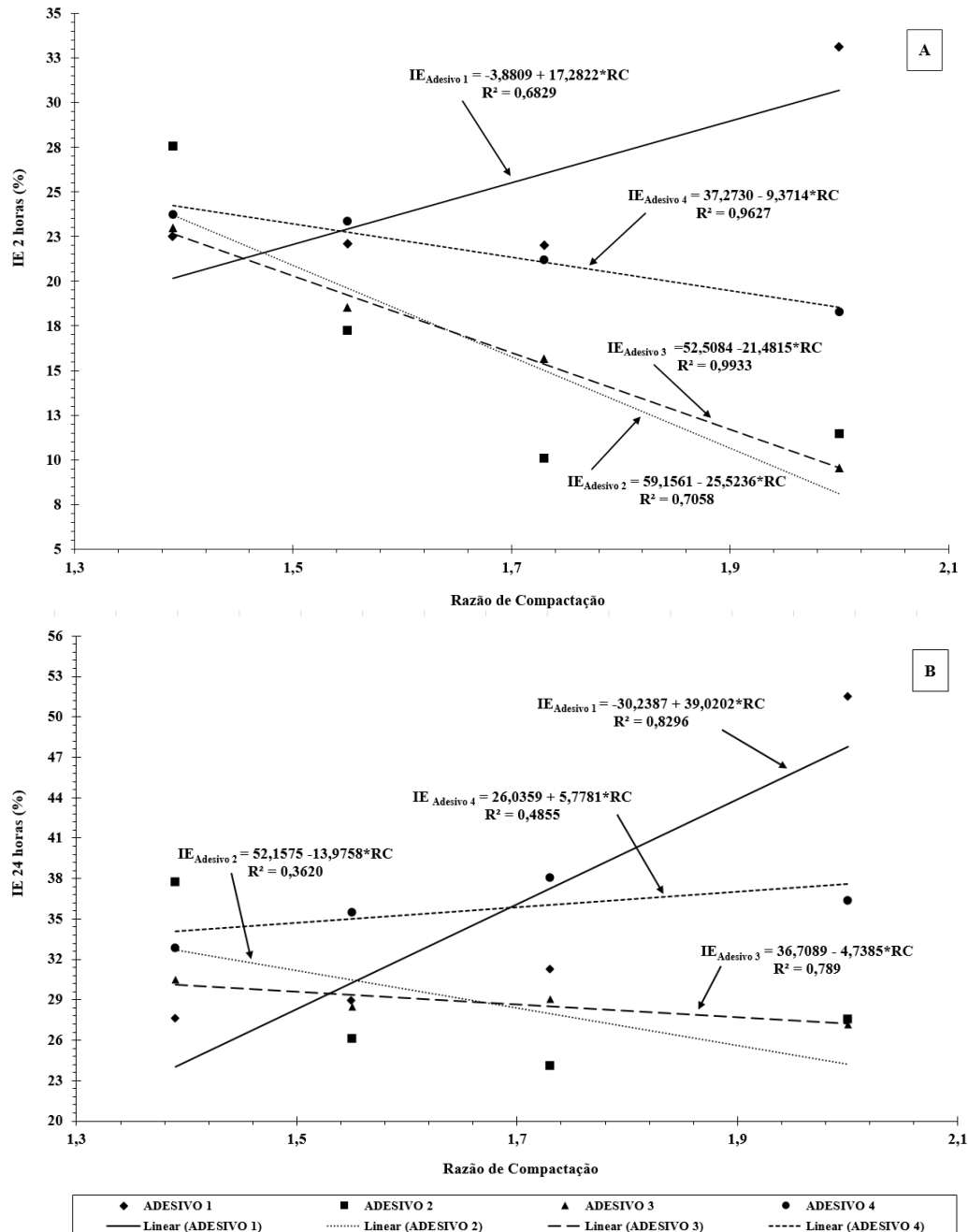


FIGURA 1: Efeito do inchamento em espessura após duas (A) e 24 horas (B) de imersão em água na razão de compactação.

FIGURE 1: Effect of thickness swelling after two (A) and twenty-four hours (B) water absorption in the compaction ratio.

Apenas ocorreu ligeiro aumento para o Inchamento em espessura após 24 de imersão, com adição de 30% de tanino. Este comportamento difere do apresentado por Iwakiri et al. (1996) e Da Costa et al. (2005). Segundo os autores, se espera que nas maiores razões de compactação, maior seria a instabilidade dimensional do painel, tendo em vista a maior densidade nominal. Fato decorrido da maior quantidade de massa de partículas por volume. A adição de 10 e 20% de tanino em pó proporcionou redução do inchamento em espessura após 24 horas de imersão em água, ocorrendo o mesmo em todas as demais proporções para imersão após duas horas.

Nota-se ainda que as chapas com apenas ureia-formaldeído apresentaram tendência linear significativa de aumento em ambos os inchamentos. O que está associado com a liberação da tensão de compressão proporcionado pela afinidade da ureia com as moléculas de água. Melo et al. (2010) avaliaram o inchamento em espessura após duas e 24 horas em chapas encoladas com ureia-formaldeído a uma razão de compactação de 1,41 (densidade nominal de $0,70 \text{ g cm}^{-3}$), encontrando valores médios de 7,94 e 29,14%, respectivamente. O presente trabalho difere dos autores anteriormente citados, uma vez que a estabilidade dimensional após 24 horas de imersão apresentou-se com valores menores para uma compactação muito próxima.

A Figura 2 ilustra a relação da absorção de água após duas e 24 horas de imersão em água em função da razão de compactação, para as diferentes relações ureia-formaldeído:tanino em pó estudadas.

A absorção de água após 24 horas apresentou melhores resultados a partir da aplicação de 10% de tanino em pó às partículas de madeira já encoladas com ureia-formaldeído. Para todas as situações, de forma geral, a adição de tanino em pó, não influenciou negativamente ($p > 0,05$) na instabilidade das chapas. Isto é interessante, pois não há necessidade de promover a diluição do mesmo em água, além de que a pulverização de soluções de tanino em concentrações acima de 30% poderia entupir a pistola. Assim, a utilização do tanino em pó em maiores concentrações pode ser uma boa alternativa.

Melo et al. (2010) encontraram para uma razão de compactação com partículas de madeira de *Eucalyptus grandis* valor igual a 1,41, próxima à menor deste estudo, e valores inferiores de absorção de água após duas e 24 de imersão, sendo respectivamente 10,23 e 39,01%. Este comportamento pode estar relacionado com a temperatura empregada mais elevada (180°C), além de outros fatores como a espécie empregada, tipo de adesivo, a forma de aplicação do tanino, densidade, dentre outros. Nota-se na Figura 2 que os valores de absorção de água para ambos os períodos de imersão em água foram decrescentes com o aumento da razão de compactação.

Existem técnicas que podem ser aplicadas para melhorar o desempenho da estabilidade dimensional em chapas à base de partículas, a exemplo do citado por Widyorini et al. (2005), em que os autores mencionam a injeção de vapor, por ser um método eficaz e relativamente simples.

Os modelos de regressão lineares ajustados para as propriedades de inchamento em espessura e absorção de água em função da razão de compactação foram significativos a 5% pelo teste F, com β_0 significativo pelo teste t ($p < 0,05$).

Propriedades mecânicas

O efeito da relação ureia-formaldeído:tanino (adesivo) nas razões de compactação para as propriedades mecânicas pode ser observado na Tabela 5.

A análise de variância detectou haver diferença estatística na interação adesivo x razão de compactação ($p < 0,05$) para as propriedades mecânicas estudadas.

De acordo com a Tabela 5, a variação do adesivo não influenciou na razão de compactação de 1,21 ($p < 0,05$) para os módulos de ruptura e de elasticidade. O adesivo com 100% de ureia-formaldeído apresentou resultados menos satisfatórios. Os módulos de ruptura e elasticidade foram influenciados pelas razões de compactação de 1,36, 1,51 e 1,82, sendo que a adição de tanino melhorou boa parte das propriedades mecânicas, estatisticamente. O adesivo com 10% de tanino, na razão de compactação 1,82 apresentou-se com melhor comportamento, porém, não diferindo estatisticamente do adesivo com 20% de tanino em todas as propriedades mecânicas estudadas.

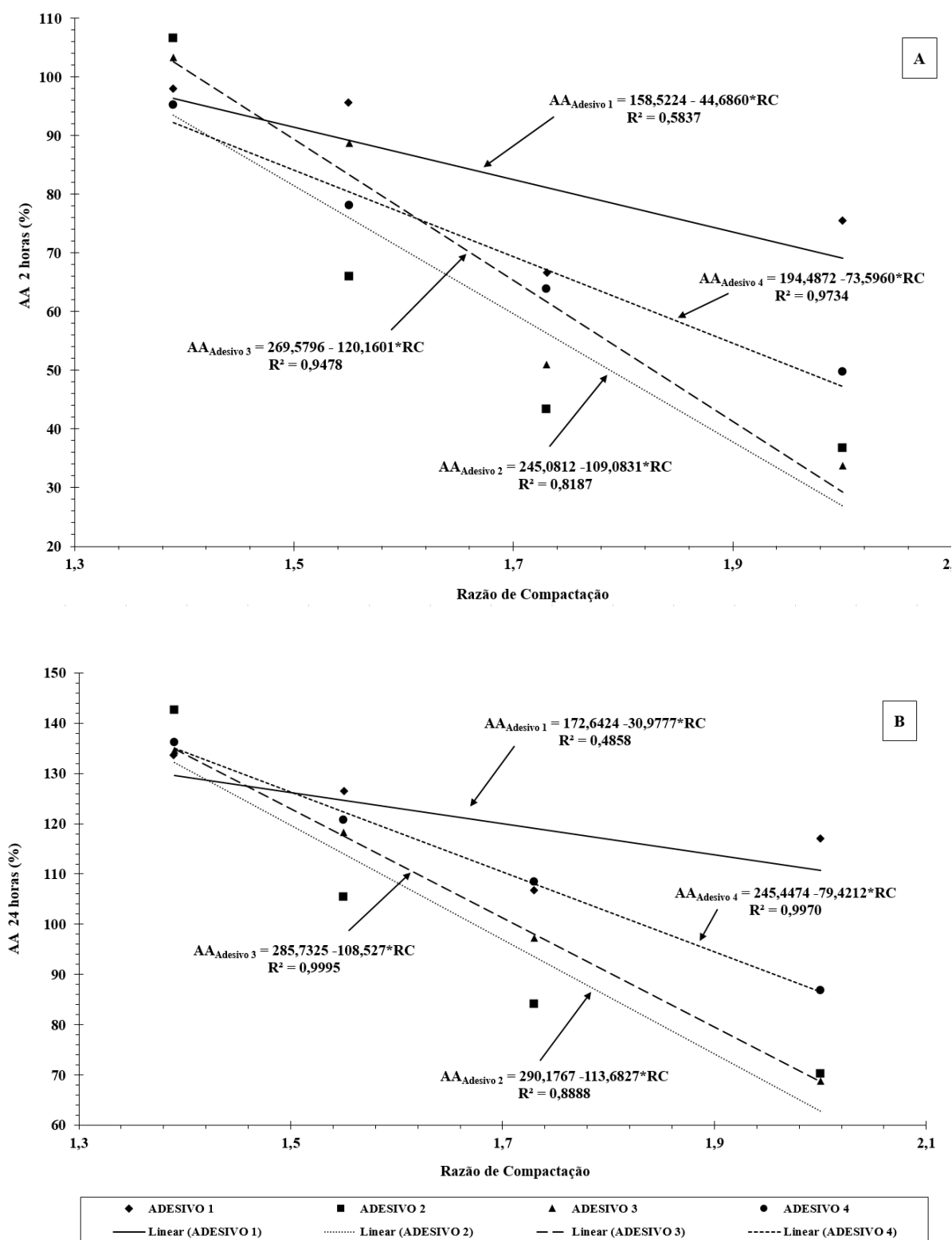


FIGURA 2: Efeito da absorção de água após duas (A) e 24 horas (B) de imersão em água na razão de compactação.

FIGURE 2: Effect of water absorption after two (A) and twenty-four hours (B) immersed in water in compaction ratio.

TABELA 5: Valores médios observados do efeito da relação ureia-formaldeído:tanino (adesivo) nas propriedades mecânicas para as razões de compactação (RC).

TABLE 5: Effect of the urea formaldehyde:tannin (adhesive) on the mechanical properties for compaction ratio (CR), mean values.

Razão de compactação	Propriedade	Adesivo			
		1 (100:0)	2 (90:10)	3 (80:20)	4 (70:30)
RC 1 (1,21)	MOR (MPa)	4,66 (1,31) a	4,45 (1,15) a	5,18 (1,07) a	4,44 (0,71) a
	MOE (MPa)	802,87 (166,68) a	817,72 (157,81) a	911,55 (163,22) a	794,38 (87,16) a
	LI (MPa)	0,30 (0,054) b	0,29 (0,153) b	0,41 (0,078) a	0,35 (0,080) ab
	Parafuso (N)	66,45 (7,47) b	105,69 (15,58) a	73,44 (10,67) b	70,76 (11,69) b
RC 2 (1,36)	MOR (MPa)	4,65 (1,50) b	7,09 (1,74) a	6,31 (2,11) ab	7,30 (1,68) a
	MOE (MPa)	895,09 (213,00) b	1131,87 (197,79) ab	1017,54 (330,53) ab	1228,12 (222,96) a
	LI (MPa)	0,27 (0,068) c	0,49 (0,071) a	0,39 (0,06) b	0,44 (0,067) ab
	Parafuso (N)	65,53 (10,43) b	93,59 (10,76) a	83,29 (13,06) a	79,29 (8,62) ab
RC 3 (1,51)	MOR (MPa)	6,30 (0,91) b	9,30 (2,04) a	9,99 (2,13) a	9,54 (1,40) a
	MOE (MPa)	1152,38 (159,27) b	1439,72 (226,55) ab	1623,34 (272,37) a	1576,79 (146,09) a
	LI (MPa)	0,38 (0,030) c	0,58 (0,062) a	0,55 (0,067) ab	0,50 (0,105) b
	Parafuso (N)	84,76 (6,02) b	117,19 (14,03) a	112,42 (13,05) a	58,72 (12,95) c
RC 4 (1,82)	MOR (MPa)	7,31 (2,00) c	14,20 (2,32) ab	14,60 (2,11) a	12,46 (3,51) b
	MOE (MPa)	1402,12 (240,35) c	2345,56 (674,84) a	2099,22 (192,69) ab	1927,78 (380,83) b
	LI (MPa)	0,31 (0,099) c	0,68 (0,084) a	0,71 (0,054) a	0,57 (0,075) b
	Parafuso (N)	111,69 (14,93) b	153,47 (12,82) a	146,81 (16,59) a	144,69(27,11) a

Em que: Médias seguidas de mesma letra na linha e para cada variável analisada não se diferem estatisticamente, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey. MOR = módulo de ruptura; MOE = módulo de elasticidade; LI = ligação Interna; Parafuso = resistência ao arrancamento de parafuso na face. Valores entre parênteses são o desvio padrão.

Em relação ao módulo de ruptura, as chapas confeccionadas na razão de compactação 1,82 atingiram o mínimo estipulado pela norma CS236-66 (1968), que é de 9,61 MPa para a classe 2, na qual se utilizou o tanino em pó, independentemente da proporção. A razão de compactação de 1,55 com 20% de tanino também atingiu o mínimo estipulado.

Para o módulo de elasticidade, o comportamento foi similar para o módulo de ruptura na razão de compactação 1,82, superando o mínimo de 1.716 MPa exigido pela norma CS236-66 (1968).

A Figura 3 ilustra a relação dos módulos de ruptura e de elasticidade em função da razão de compactação, para as diferentes relações ureia-formaldeído:tanino em pó estudadas.

De acordo com o apresentado na Figura 3A, a densificação das chapas foi linear e crescente para todos os adesivos utilizados, com bom ajuste para o módulo de ruptura (valores elevados de R^2), destacando-se os adesivos com 20 e 30% de tanino.

Para o módulo de elasticidade (Figura 3B), a densificação das chapas foi linear, crescente e significativa para todos os adesivos utilizados, mostrando ainda que a interação da propriedade mecânica ocorreu entre todos adesivos testados, destacando aquelas com 10, 20 e 30% de tanino, nas maiores razões de compactação. Porém, a adição de apenas 10% apresentou maior incremento.

Comportamento similar foi encontrado por Melo et al. (2010), no qual foi adicionado tanino de acácia negra à ureia-formaldeído. Os autores obtiveram maiores resultados com o tanino como aglutinante na estabilidade dimensional e resistência mecânica, sendo esta última, também influenciada positivamente com o aumento da massa específica.

A Figura 4 ilustra a relação da ligação interna em função da razão de compactação, para as diferentes relações ureia-formaldeído:tanino em pó estudados.

Para a ligação interna, pode-se afirmar que a adição do tanino na forma de pó proporcionou melhoria significativa em praticamente todas as razões de compactação, qualquer que seja a concentração ($p < 0,05$). As chapas atingiram os valores mínimos de ligação interna (0,21 MPa) exigida pela norma CS 236-66, para aquelas chapas de baixa e média densidade, independentemente da razão de compactação e do adesivo utilizado.

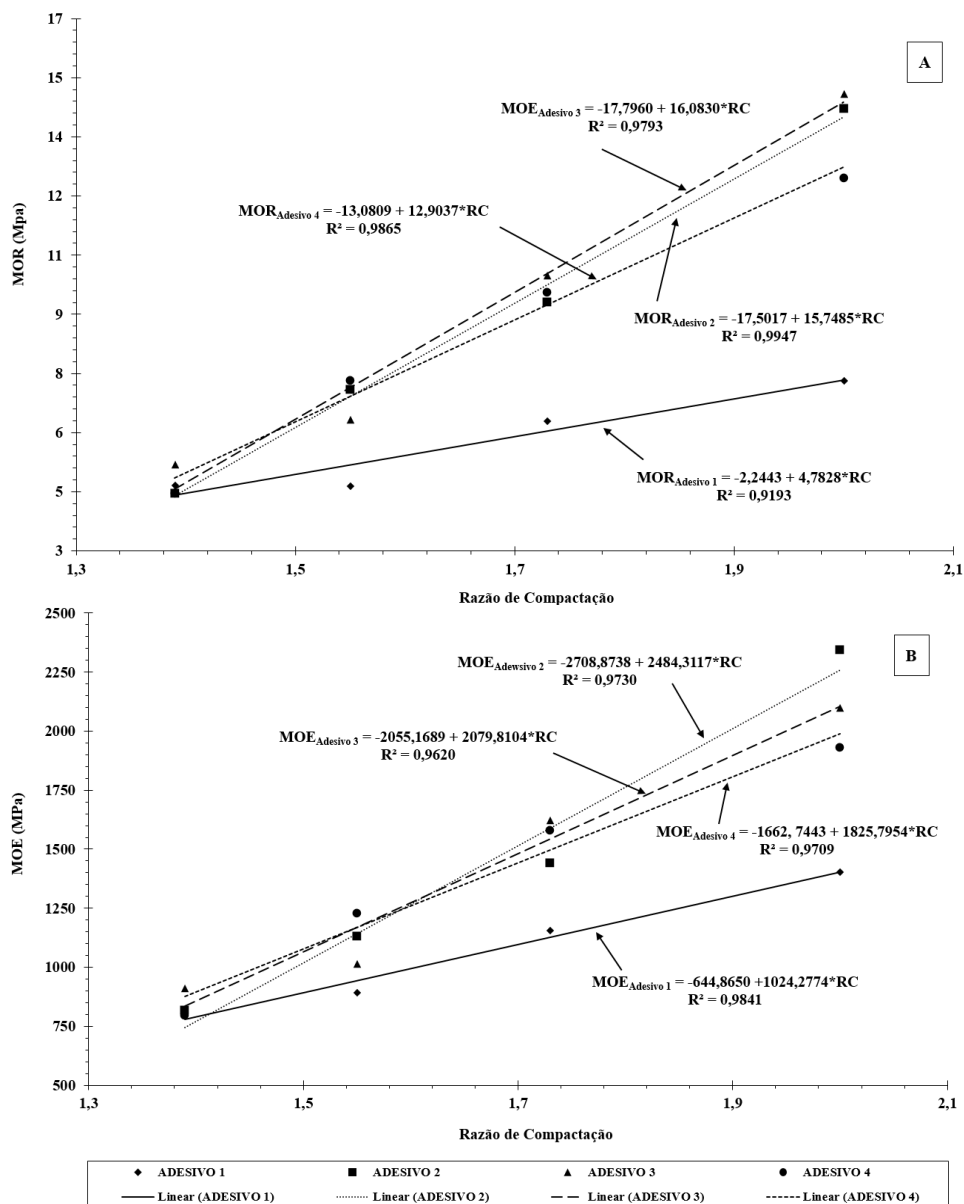


FIGURA 3: Efeito do módulo de ruptura (A) e de elasticidade (B) na razão de compactação.
 FIGURE 3: Effect of rupture (A) and elasticity (B) modulus in the compaction ratio.

Conforme observado na Figura 4, o aumento da razão de compactação provocou um maior volume de partículas na composição do painel, o que aliado à adição de tanino em pó às partículas encoladas com ureia, propiciou uma melhora na propriedade de ligação interna. Destacam-se os adesivos com 10% e 20% de tanino. Apesar da adição de 30% de tanino apresentar uma melhor associação entre as variáveis (>R²), o incremento na ligação interna é menor.

A utilização do adesivo somente à base de ureia-formaldeído (Adesivo 1 - Figura 4) apresentou coeficiente angular não significativo (p>0,05), portanto, qualquer que seja o valor da razão de compactação utilizada, o valor da propriedade não se alteraria, sendo igual à média geral para a mesma (0,32MPa).

A Figura 5 ilustra a relação da resistência ao arrancamento de parafuso na face em função da razão de compactação, para as diferentes relações ureia-formaldeído:tanino em pó estudadas.

As equações lineares ajustadas para o arrancamento de parafuso (Figura 5) em função das razões de compactação sobre o efeito dos adesivos apresentaram comportamento similar entre si. A adição de 10% de tanino apresentou maior resistência ao arrancamento de parafuso; o adesivo com 20% de tanino apresentou

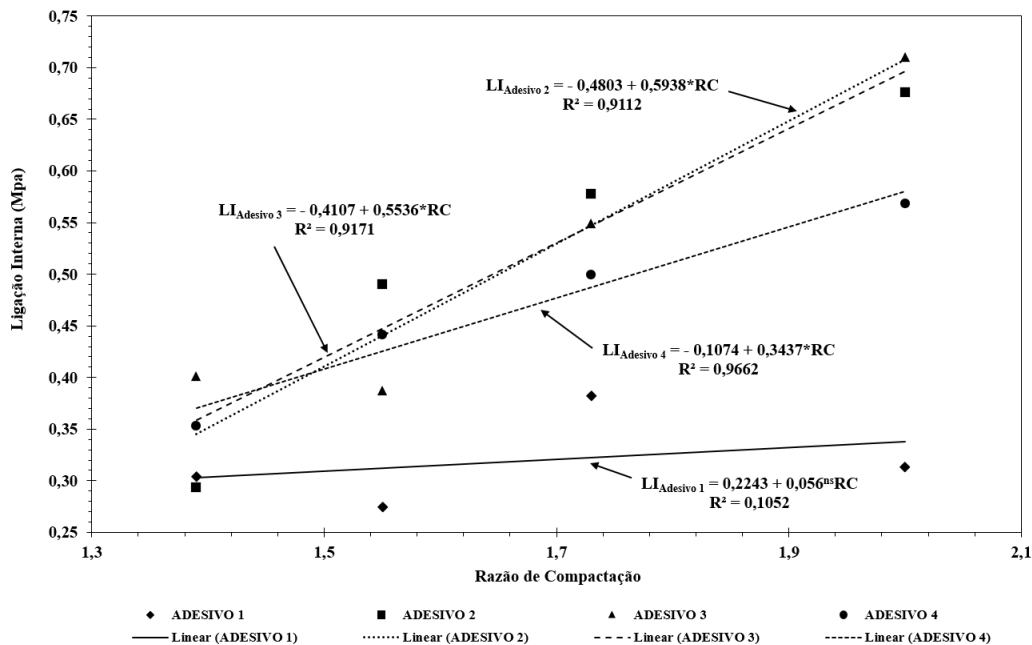


FIGURA 4: Efeito da ligação interna na razão de compactação.
 FIGURE 4: Effect of internal bond in the compaction ratio.

maior coeficiente de determinação e um incremento maior na resistência para intervalos menores na razão de compactação. De forma geral, o aumento da razão de compactação associado à adição de tanino em pó às partículas encoladas com ureia-formaldeído, proporcionou uma boa correlação com os valores de arrancamento de parafuso.

O arrancamento de parafuso em todas as situações de adesivos e as razões de compactação não atingiram o mínimo estipulado pela ABNT NBR 14810-3 (2006) e ANSI A208.1 (1999), que é de 700 N e 1100 N, respectivamente. No entanto, os baixos valores não impedem o uso das chapas em situações em que esta propriedade é pouco utilizada. Alguns autores encontraram valores superiores para esta propriedade em relação ao presente estudo, como Melo et al. (2010) – valores médios entre 721,97 a 945,11N, Melo e Del

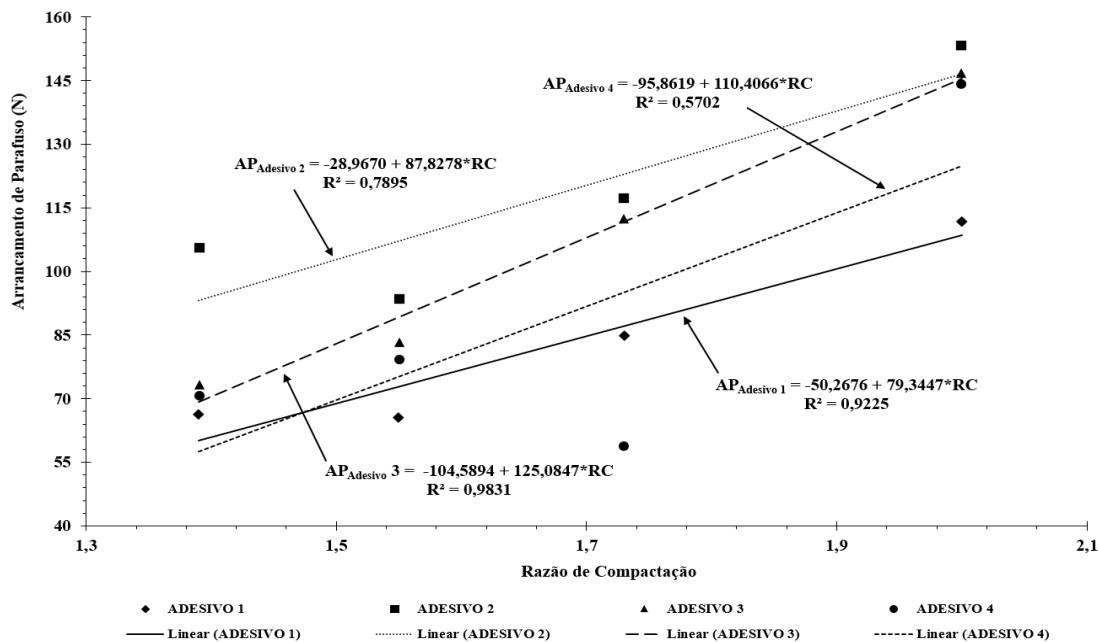


FIGURA 5: Efeito da razão de compactação para a resistência ao arrancamento de parafuso.
 FIGURE 5: Effect of resistance screw withdraw in the compaction ratio.

Menezzi (2010) – valores médios entre 710 a 966N, principalmente para as menores razões de compactação e apenas em partículas encoladas com ureia-formaldeído.

Os modelos de regressão lineares ajustados para os módulos de ruptura e elasticidade, ligação interna e arrancamento de parafuso em função da razão de compactação foram significativos a 5% pelo teste F, com β_0 significativo pelo teste t ($p < 0,05$). Exceto para a ligação interna, o qual β_0 foi significativo pelo teste t com probabilidade superior a 15%.

Potencial de hidrogênio (pH)

A Figura 6 ilustra a relação do comportamento do pH obtido a partir das partículas após o encolamento, em função da razão de compactação, para as diferentes relações ureia-formaldeído:tanino em pó estudadas.

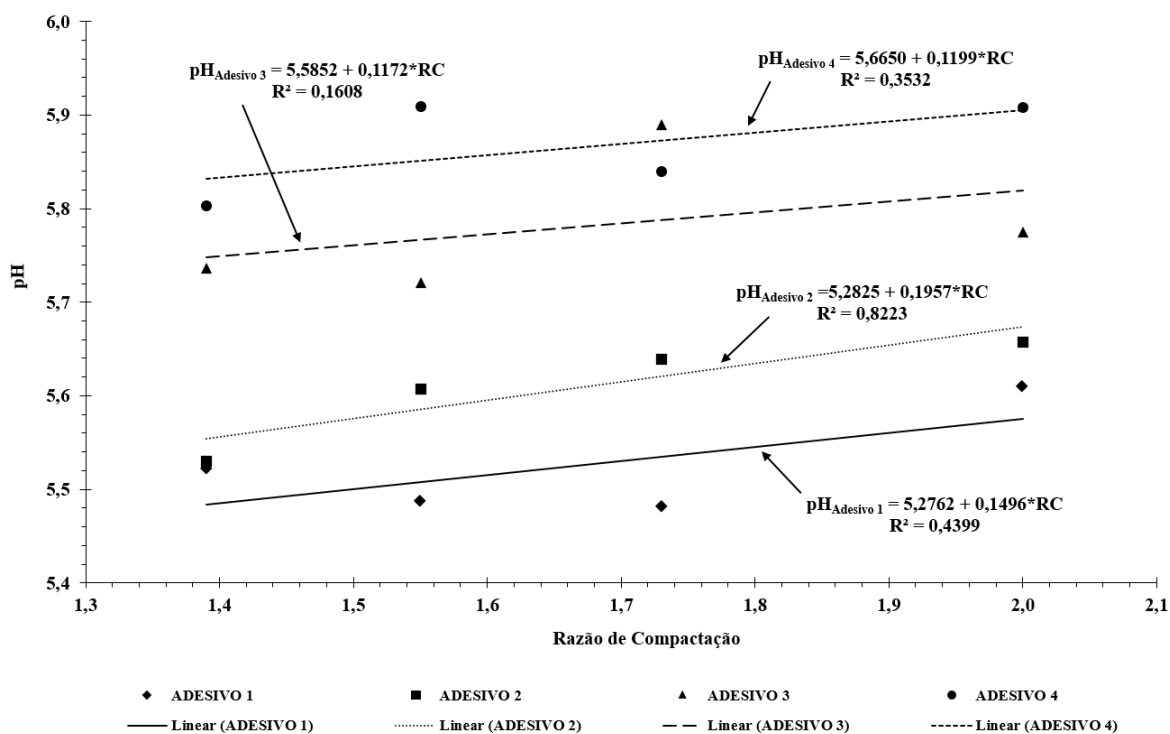


FIGURA 6: Efeito do potencial de hidrogênio (pH) presente nas partículas após o encolamento na razão de compactação.

FIGURE 6: Effect of potential of hydrogen (pH) present in the particles after bonding in the compression ratio

Observa-se que os aumentos de pH foram mais expressivos e com menores desvios mediante a utilização do adesivo com apenas 10% de tanino ($> R^2$). A interação entre adesivo e razão de compactação foi significativa pela análise de variância, porém, pouco expressiva. No entanto, observa-se um aumento crescente do pH em função da razão de compactação, justificado pelo aumento de partículas e da quantidade de tanino a elas adicionados, uma vez que o tanino é proporcional à massa seca de sólidos ao adesivo ureia-formaldeído. Tostes et al. (2004), por outro lado, afirmam que a adição de extrato de tanino à ureia-formaldeído reduziu o pH do adesivo. Isto também pode contribuir para uma redução do pH na chapa, melhorando suas propriedades tecnológicas.

O potencial de hidrogênio do tanino utilizado estava na média de 6,64, o que contribuiu para sua redução nas chapas após a adição da resina ureia-formaldeído, esta com caráter mais alcalino (8,5) assim como o pH da madeira, que estava entre 5,5 e 5,9 (GONÇALVES; LELIS, 2012). Albuquerque et al. (2005) mencionam que o processo de cura da ureia-formaldeído ocorre em meio ácido e que pode prejudicar a colagem quando se utilizam madeiras de pH ácido. Fato positivo, uma vez que o pH do adesivo utilizado

estava abaixo de 11, indicado pelos mesmos autores, o que contribuiu para a não degradação das fibras da madeira.

O pH em chapas à base de tanino e sua influência em algumas propriedades tecnológicas ainda são pouco estudados, bem como o próprio estudo do pH em madeira, apesar de ser esta variável extremamente importante. A modificação das características dos taninos quando formado por meio de solução com água é bastante utilizada nas pesquisas, principalmente como forma de reduzir sua viscosidade, como observado por Gonçalves et al. (2008) e Carneiro et al. (2009). A aplicação do tanino na forma de solução permite uma alteração na reatividade do mesmo junto a resinas químicas, conforme afirma Tostes (2003).

CONCLUSÕES

A adição de tanino em pó às partículas proporcionou melhorias nas propriedades de inchamento em espessura e absorção de água, à medida que se densificou o painel.

As propriedades mecânicas apresentaram melhores resultados com o incremento de tanino em pó às partículas encoladas com ureia-formaldeído, sobretudo nas maiores razões de compactação.

REFERÊNCIAS

- ABDUL KHALI, H. P. S. et al. Polypropylene (PP) - *Acacia mangium* composites: the effect of acetylation on mechanical and water absorption properties. **Polymer-Plastics Technology and Engineering**, Philadelphia, v. 41, n. 3, p. 453-468, feb. 2002.
- ALMEIDA, V. C. **Efeito da adição de carga e extensor nas propriedades do adesivo uréia-formaldeído e dos compensados de *Pinus elliottii* e *Schizolobium amazonicum***. 2009. 88f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2009.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14810-3**: chapas de madeira aglomerada: métodos de ensaios. Rio de Janeiro, 2006.
- ALBUQUERQUE, C. E. C. et al. Adesão e adesivos. In: IWAKIRI, S. (Ed.). **Painéis de madeira reconstituída**. Curitiba: FUPEF, 2005. p. 01-30.
- AMERICAN NATIONAL STANDART INSTITUTE. **A208.1**: Particleboard. Gaithersburg, 1999.
- BARRY, K. M. et al. Polyphenols in *Acacia mangium* and *Acacia auriculiformis* heartwood with reference to heart rot susceptibility. **Journal of Wood Science**, Heidelberg, v. 51, n. 6, p. 615-621, dec. 2005.
- CARNEIRO, A. C. O. et al. Propriedades de chapas de aglomerado fabricadas com adesivo tânico de angico-vermelho (*Anadenanthera peregrina*) e ureia-formaldeído. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 33, n. 3, p. 521-531, maio 2009.
- COMMERCIAL STANDARD. **CS 236-66**: mat formed wood particleboard. [s. l.], 1968.
- DA COSTA, L. P. E. et al. Propriedades físicas de chapas de partículas aglomeradas fabricadas com resíduos do processamento mecânico da madeira de *Pinus elliottii* Engelm. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 15, n. 4, p. 421-429, 2005.
- GONÇALVES, C. A. et al. Produção de chapas de madeira aglomerada com adesivo ureia-formaldeído modificado com tanino de *Mimosa caesalpiniaefolia* Bentham (sabiá). **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 10, n. 1, p. 18-26, jan. 2003.
- GONÇALVES, F. G.; LELIS, R. C. C. Caracterização tecnológica da madeira de *Acacia mangium* Willd em plantio consorciado com eucalipto. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 19, n. 3, p. 286-295, jul. 2012.
- GONÇALVES, F. G.; LELIS, R. C. C. Propriedades de duas resinas sintéticas após adição de tanino modificado. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 16, n. 2, p. 1-7, 2009.
- GONÇALVES, F. G. et al. Influência da composição da resina tanino-ureia-formaldeído nas propriedades físicas e mecânicas de chapas aglomeradas. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 32, n. 4, p. 715-722, ago. 2008.
- HALFELD-VIEIRA, B. A. et al. Podridão-do-lenho em plantios homogêneos de *Acacia mangium*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 4, p. 709-711, abr. 2006.
- IWAKIRI, S. et al. Produção de chapas de partículas de madeira aglomerada de *Pinus elliottii* (Engelm) e *Eucalyptus dunni* (Maid). **Revista do Setor de Ciências Agrárias**, Curitiba, v. 15, n. 1, p. 33-41, 1996.
- IZRAN, K. et al. Physical and mechanical assessments of fire retardant-treated *Shorea macrophylla* and

- Acacia mangium* particleboards. **Modern Applied Science**, Toronto, v. 4, n. 7, p. 3-8, jul. 2010.
- JOKER, D. *Acacia mangium* Willd. Humlebaek: Danida Forest Seed Centre, 2000. 2 p. (Seed leaflet, 3).
- KARLINASARI, L. et al. Development of particleboard from tropical fast-growing species for acoustic panel. **Journal of Tropical Forest Science**, Kuala Lumpur, v. 24, n. 1, p. 64-69, dec. 2012.
- KOLLMANN, F. F. P. et al. **Principles of wood science and technology: wood based materials**. Berlin: Springer-Verlog, 1975. v. 2.
- LEE, S. S. et al. Discoloration and heart rot of *Acacia mangium* Willd.: some preliminary results. **Journal of Tropical Forest Science**, Kuala Lumpur, v. 1, p. 170-177, 1988.
- MALONEY, T. M. **Modern particleboard and dry-process fiberboard manufacturing**. San Francisco: M. Freeman, 1977. 689 p.
- MELO, R. R.; DEL MENEZZI, C. H. S. Influência da massa específica nas propriedades físico-mecânicas de Painéis aglomerados. **Silva Lusitana**, Lisboa, v. 18, n. 1, p. 59-73, jun. 2010.
- MELO, R. R. et al. Avaliação das propriedades físico-mecânicas de painéis aglomerados de *Eucalyptus grandis* colados com ureia-formaldeído e tanino-formaldeído. **Floresta**, Curitiba, v. 40, n. 3, p. 497-506, jul. 2010.
- MOUBARIK, A. et al. Cornstarch-mimosa tannin-urea formaldehyde resins as adhesives in the particleboard production. **Starch/Stärke**, Weinheim, n. 62, p. 131-138, apr. 2010.
- PIZZI, A. **Advanced wood adhesives technology**. New York: Marcel Dekker, 1994. 297 p.
- PIZZI, A. et al. Adhesives and techniques open new possibilities for the wood processing industry. 1. Experience with tannin based adhesives. **Holz als Roh-Werkstoff**, Berlin, v. 39, n. 6, p. 85-89, mar. 1981.
- SELBO, M. L. **Adhesive bonding of wood**. Washington: Department of Agriculture, 1975. 124 p. (Technical Bulletin, n. 1.512).
- SINA, E. **Adhesives technology handbook**. 2. ed. New York: William Andrew, 2008. 365 p.
- STARR, F. et al. *Acacia mangium*. Maui: United States Geological Survey, Biological Resources Division Haleakala Field Station, 2003.
- SUDIN, R.; IBRAHIM, W. A. Cement bonded particleboard from *Acacia mangium* - a preliminary study. **Journal of Tropical Forest Science**, Kuala Lumpur, v. 2, n. 4, p. 267-273, jun. 1990.
- TOSTES, A. S. **Tanino da casca de *Eucalyptus pellita* (Muel) como fonte de adesivos para produção de chapas de madeira aglomerada**. 2003. 85 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2003.
- TOSTES, A. S. et al. O. Colagem de chapas de madeira aglomerada com adesivo ureia-formaldeído (UF) modificado com tanino da casca de *Eucalyptus pellita* F. Muell. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 11, n. 2, p. 14-19, ago. 2004.
- VALE, A. T. et al. Variação axial da densidade básica da madeira de *Acacia mangium* Willd aos sete anos de idade. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 9, n. 2, p. 85-92, 1999.
- WATAI, L. T. **Painéis derivados de madeira**. São Paulo: ABPM, 1987. 16 p. (Boletim, 52).
- WIDYORINI, R. et al. Chemical changes in steam-pressed kenaf core binderless particleboard. **Journal of Wood Science**, Heidelberg, v. 51, n. 1, p. 26-32, feb. 2005.
- WONG, W. C. et al. *Acacia mangium* from Sabah for plywood and decorative panel manufacture: initial trials. **Journal of Tropical Forest Science**, Kuala Lumpur, v. 1, n. 1, p. 42-50, sep. 1988.