

VANESSA COELHO ALMEIDA

**EFEITO DA ADIÇÃO DE CARGA E EXTENSOR NAS PROPRIEDADES
DO ADESIVO URÉIA-FORMALDEÍDO E DOS COMPENSADOS
DE PINUS E PARICÁ**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2009

VANESSA COELHO ALMEIDA

**EFEITO DA ADIÇÃO DE CARGA E EXTENSOR NAS PROPRIEDADES
DO ADESIVO URÉIA-FORMALDEÍDO E DOS COMPENSADOS
DE PINUS E PARICÁ**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 27 de fevereiro de 2009.

Prof. Roberto Carlos Costa Lelis
(Co-orientador)

Prof. Benedito Rocha Vital
(Co-orientador)

Prof. José de Castro Silva

Prof^ª. Ana Márcia M. L. Carvalho

Prof^ª. Angélica de Cássia Oliveira Carneiro
(Orientadora)

AGRADECIMENTOS

A DEUS, por todas as oportunidades de trabalho moral e profissional.

À Universidade Federal de Viçosa, pela oportunidade de realização do curso.

À professora Angélica de Cássia Oliveira Carneiro e ao professor Benedito Rocha Vital pela orientação, pela amizade e, ainda, pela importante contribuição referente às análises estatísticas deste trabalho.

Ao professor Roberto Carlos Costa Lelis, agradeço pela orientação e, também, pela paz que sempre me traz, pela amizade e pelo exemplo que me levaram a construir este caminho, desde o início dos meus estudos em engenharia florestal.

Aos professores José de Castro Silva e Ana Márcia M. L. Carvalho, pela grandiosa contribuição durante a defesa deste trabalho de pesquisa.

À CAPES, pela concessão da bolsa.

À empresa Camifra S.A., pela doação das lâminas de *Pinus elliottii* e ao Centro de Pesquisas do Paricá pela doação das lâminas de *Schizolobium amazonicum*.

Aos funcionários do Laboratório de Painéis e Energia da Madeira e Laboratório de Propriedades da Madeira: Aristeu, Maninho, José Maria, Joel, Osvaldo, Fernando e Machado, pelo apoio.

Aos amigos, Graziela, Pedro, Carla, Zaíra, Solange, Flávia, Juliana, Fábio, Diego, Mariana, Márcia, Simone, Bruno, Lorena, Cristiane, Paulo e Túlio, pelo companheirismo, dentro e fora do laboratório.

Aos meus tios-avós, Heloísa e Artur Barthelmess, e aos meus pais Valéria Coelho Almeida e Nelson dos Santos Almeida, pelo imenso apoio, carinho, companheirismo ou, simplesmente, por “tudo”.

A todos os familiares e amigos, e em especial, à Rachel, ao Alex e às grandes amigas Virgínia, Gabriela, Natália e Maximiana pela imensurável dedicação, paciência e por muito mais.

Aos amigos Marco Antônio Monte, Fernanda Colenghi, Kirna Mota e Kívia Mota pelo apoio, trabalho e amizade naqueles momentos tão difíceis.

E a todos, que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho. Muito obrigada.

BIOGRAFIA

VANESSA COELHO ALMEIDA, nascida aos 13 dias de julho do ano de 1982, filha de Nelson dos Santos Almeida e Valéria Coelho Almeida, é natural do Rio de Janeiro, RJ.

Em março de 2000, ingressou no curso de Engenharia Florestal da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

Em março de 2007, iniciou, na Universidade Federal de Viçosa, o curso de Pós-Graduação em Ciência Florestal, em nível de mestrado, defendendo dissertação em fevereiro de 2009.

ÍNDICE

	Página
LISTA DE FIGURAS.....	v
LISTA DE TABELAS.....	vi
RESUMO.....	ix
ABSTRACT.....	x
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVOS.....	3
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
3.1. Painéis compensados.....	4
3.2. Madeira de <i>Schizolobium amazonicum</i> (paricá).....	10
3.3. Madeira de <i>Pinus elliottii</i>	11
3.4. Propriedade dos adesivos.....	12
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	16
4.1. Materiais.....	16
4.2. Determinação das propriedades das lâminas de madeira de <i>Pinus elliottii</i> e <i>Schizolobium amazonicum</i>	17
4.3. Composições dos adesivos.....	19
4.4. Produção dos painéis compensados.....	21
4.5. Análise estatística.....	24
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	25
5.1. Propriedades das lâminas de madeira.....	25
5.2. Propriedades dos adesivos.....	27
5.3. Propriedades físicas dos painéis compensados.....	39
5.4. Propriedades mecânicas dos painéis compensados.....	46
6. CONCLUSÕES.....	53
7. RECOMENDAÇÕES.....	54
8. BIBLIOGRAFIA.....	55
ANEXOS.....	63

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Formação da mono-, di- e trimetiloluréia pela reação de formaldeído com uréia.....	8
Figura 2. Diferentes eventos físico-químicos registrados em uma curva de DSC.....	14
Figura 3. Termograma do adesivo uréia-formaldeído puro.....	33
Figura 4. Variação de entalpia do adesivo, em função da porcentagem de carga, para cada porcentagem de extensor.....	35
Figura 5. Dendrograma construído a partir das distâncias euclidianas padronizadas para o parâmetro cinético variação de entalpia dos adesivos à base de uréia-formaldeído formulados com diferentes proporções de carga e extensor.....	36
Figura 6. Dendrograma construído a partir das distâncias euclidianas padronizadas para o parâmetro cinético temperatura de pico dos adesivos à base de uréia-formaldeído formulados com diferentes proporções de carga e extensor.....	37
Figura 7. Dendrograma construído a partir das distâncias euclidianas padronizadas para o parâmetro cinético energia de ativação dos adesivos à base de uréia-formaldeído formulados com diferentes proporções de carga e extensor.....	39

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1. Delineamento experimental em função do percentual carga (farinha de babaçu) e extensor (farinha de trigo), adicionado ao adesivo uréia-formaldeído (UF).....	19
Tabela 2. Valores médios de massa específica aparente e básica das lâminas de madeira de pinus e paricá, em g/cm ³	25
Tabela 3. Valores médios dos teores de lignina, extrativos solúveis em etanol/tolueno e holocelulose, das lâminas de madeira, em %, em função das espécies.....	26
Tabela 4. Valores médios de pH e capacidade tampão ácida dos extratos das lâminas de <i>Pinus elliottii</i> e <i>Schizolobium amazonicum</i>	26
Tabela 5. Valores médios de teor de sólidos dos adesivos, em função da adição de extensor.....	27
Tabela 6. Valores médios de teor de sólidos dos adesivos, em função da adição de carga.....	28
Tabela 7. Valores médios de viscosidade dos adesivos, em função da adição de carga e de extensor.....	28
Tabela 8. Valores médios de tempo de gelatinização dos adesivos, em segundos, em função da adição de carga e de extensor.....	29
Tabela 9. Valores médios de tempo de trabalho dos adesivos, em minutos, em função da adição de carga e de extensor.....	30
Tabela 10. Valores médios de pH, em função da adição de carga e de extensor.....	31
Tabela 11. Valores médios de massa específica do adesivo, em função da adição de carga e de extensor.....	32
Tabela 12. Parâmetros cinéticos das diferentes formulações em função do percentual de extensor e carga, obtidos através da análise por Calorimetria Diferencial Exploratória, à taxa de 10°C/min.....	34
Tabela 13. Valores de energia de ativação obtidos em função dos teores de carga e extensor.....	38

Tabela 14. Valores médios de massa específica aparente, em g/cm ³ , dos painéis fabricados com as diferentes espécies.....	40
Tabela 15. Valores médios de massa específica aparente, em g/cm ³ , em função dos teores de extensor.....	40
Tabela 16. Valores médios de absorção dos compensados, em porcentagem, em função das espécies.....	41
Tabela 17. Valores médios de absorção de água dos compensados, em porcentagem, em função dos teores de extensor.....	41
Tabela 18. Valores médios de absorção de água dos compensados, em porcentagem, em função dos teores de carga.....	42
Tabela 19. Valores médios da umidade após equilíbrio a 20±1°C e 65±5% de umidade relativa, em porcentagem, dos compensados, em função dos teores de extensor.....	42
Tabela 20. Valores médios da umidade após equilíbrio a 20±1°C e 65±5% de umidade relativa, em porcentagem, dos compensados, em função dos teores de carga.....	43
Tabela 21. Valores médios de umidade após equilíbrio a 20±1°C e 65±5% de umidade relativa, em porcentagem, dos compensados, em função dos teores de carga e extensor.....	43
Tabela 22. Valores médios de inchamento em espessura dos compensados, em porcentagem, em função dos teores de carga e extensor.....	44
Tabela 23. Valores médios de recuperação em espessura dos compensados, em porcentagem, em função das espécies e dos teores de extensor.....	45
Tabela 24. Valores médios de recuperação em espessura dos compensados, em porcentagem, em função dos teores de carga e extensor.....	45
Tabela 25. Valores médios de resistência ao cisalhamento, na condição seca, em kgf/cm ² , em função das espécies.....	47
Tabela 26. Valores médios de resistência ao cisalhamento na condição seca, em kgf/cm ² , em função dos teores de carga e extensor.....	47
Tabela 27. Valores médios de resistência ao cisalhamento na condição úmida, em kgf/cm ² , em função das espécies.....	48
Tabela 28. Valores médios de resistência ao cisalhamento, na condição úmida, em kgf/cm ² , em função dos teores de carga e extensor.....	49
Tabela 29. Valores médios de módulo de elasticidade, em kgf/cm ² , em função das espécies.....	50
Tabela 30. Valores médios de módulo de elasticidade, em kgf/cm ² , em função da	

espécie e dos teores de carga.....	51
Tabela 31. Valores médios de módulo de elasticidade, em kgf/cm ² , em função dos teores de carga e extensor.....	51
Tabela 32. Valores médios de módulo de ruptura, em kgf/cm ² , em função das espécies...	52

RESUMO

ALMEIDA, Vanessa Coelho, M.Sc.; Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2009. **Efeito da adição de carga e extensor nas propriedades do adesivo uréia-formaldeído e dos compensados de pinus e paricá.** Orientadora: Angélica de Cássia Oliveira Carneiro. Co-orientadores: Benedito Rocha Vital e Roberto Carlos Costa Lelis.

O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito da adição do extensor (farinha de trigo) e da carga (farinha de babaçu) nas propriedades do adesivo à base de uréia-formaldeído e na qualidade de painéis compensados produzidos com lâminas de madeira de *Pinus elliottii* e *Schizolobium amazonicum* (paricá). Foram produzidos 96 painéis compensados constituídos de 3 lâminas, sendo 48 produzidos com madeira de *Pinus elliottii* e 48, com madeira de *Schizolobium amazonicum*, com 3 repetições. Para a colagem dos compensados, utilizou-se o adesivo uréia-formaldeído, na gramatura de 250g/m², ao qual foram adicionados extensor e carga nas proporções de 0, 10, 20 e 30% em partes por peso do adesivo. Utilizou-se o sulfato de amônio como catalisador, na proporção de 1,5% sobre a massa seca de sólidos resinosos. Determinaram-se as seguintes propriedades dos adesivos: viscosidade, teor de sólidos, tempo de gelatinização, tempo de trabalho, massa específica e pH; os parâmetros cinéticos foram obtidos através da técnica de calorimetria diferencial exploratória (DSC). As propriedades físicas e mecânicas dos painéis compensados foram determinadas de acordo com as normas ABNT NBR 9486/86 (modificada), NRB 9535/86 (modificada), NBR ISO 12466-1:2006, NBR 9533/86 e ASTM D 1084-97. Os resultados mostraram que os painéis de *S. amazonicum* apresentaram menores valores de inchamento em espessura, e valores médios de resistência ao cisalhamento, nas condições úmida e seca, superiores aos encontrados para os painéis de *P. elliottii*. A presença de aditivos na formulação do adesivo alterou as propriedades físico-químicas das reações de cura do mesmo. A farinha de babaçu considerada, inicialmente, como um material inerte, apresentou propriedades semelhantes às da farinha de trigo. E contribuiu para o aumento do módulo de elasticidade dos painéis de *P. elliottii*. Concluiu-se que é viável, tecnicamente, a produção de painéis compensados de *Pinus elliottii* e *Schizolobium amazonicum* com adição de até 30% de farinha de trigo e/ou de farinha de babaçu ao adesivo de uréia-formaldeído.

ABSTRACT

ALMEIDA, Vanessa Coelho, M.Sc.; Universidade Federal de Viçosa, February, 2009. **Effect of the addition of filler and extender on urea-formaldehyde adhesives and on pinus and paricá plywood properties.** Adviser: Angélica de Cássia Oliveira Carneiro. Co-advisers: Benedito Rocha Vital e Roberto Carlos Costa Lelis.

The objective of this study was to evaluate the effect of the addition of extender (wheat flour) and filler (babaçu flour) on urea-formaldehyde adhesive properties and on quality of plywood manufactured with *Pinus elliottii* e *Schizolobium amazonicum* (paricá) veneers. Ninety six three-layer plywood were produced, being forty eight produced with *Pinus elliottii* wood and 48 with *Schizolobium amazonicum* wood, with 3 replicates. Adhesive amount of 250g/m² were used to glue the plywood veneers. Also, 0, 10, 20 and 30 parts of extender and/or filler per weight of the adhesive were added. Ammonium sulfate was used as catalyst, in the proportion of 1.5% on dry weight of solid content. The following properties of the adhesive were determined: viscosity, solid content, gel time, working life, density, pH and the kinetic parameters obtained by the technique of differential scanning calorimetry (DSC). The plywood physical and mechanical properties were determined in accordance with this Standards: ABNT NBR 9486/86 (modified), NBR 9535/86 (modified), NBR ISO 12466-1:2006, NBR 9533/86 and ASTM D1084-97. The results showed that *S. amazonicum* plywood presented lower values of thickness swelling and average values of shear strength (wet and dry) above those found for the *P. elliottii* panels. The presence of additives in the formulation of the adhesive changes the physicochemical properties of the reactions of curing of the adhesives. The babaçu flour, considered, initially, as an inert material, showed similar properties to wheat flour. It contributed to increase modulus of elasticity of the *P. elliottii* panels. In general, the production of *Schizolobium amazonicum* and *Pinus elliottii* plywood is feasible with the addition of up to 30% of wheat and/or babaçu flour on urea-formaldehyde adhesive.

1. INTRODUÇÃO

Painéis compensados são produzidos com lâminas de madeira, sobrepostas, unidas perpendicularmente, através da utilização de adesivos num processo de prensagem. Os painéis são muito utilizados na indústria naval, moveleira e de construção civil, para diferentes aplicações dependendo, dentre outros fatores, da formulação adesiva utilizada na colagem das lâminas. A formulação adesiva utilizada pela indústria de painéis compensados é determinada de acordo com o uso final do painel e dos recursos disponíveis para a sua produção.

Há muitos anos são utilizados extensores na fabricação de painéis compensados, cujo objetivo principal é a redução dos custos de produção. Além da importância econômica, os extensores proporcionam viscosidades adequadas, tanto para a aplicação dos adesivos, quanto durante a fase inicial de aquecimento do painel na prensa. A farinha de trigo é o extensor mais utilizado pelas indústrias de painéis compensados, entretanto, há grande dependência externa, devido à baixa produção nacional, para atender a demanda das indústrias de painéis compensados e alimentícia, entre outras.

Além dos extensores, utilizam-se os “materiais de enchimento” ou “cargas”, que são considerados materiais inertes, desprovidos da propriedade de adesão e têm a função de preenchimento e redução de custos. Dentre os materiais utilizados como carga, destaca-se a farinha de babaçu, que está sendo introduzida na indústria de painéis como um material alternativo à farinha de trigo.

No Brasil, os painéis compensados são classificados em painéis de pinus e painéis tropicais. Desde 1999, o pinus responde pela maior produção de painéis compensados no Brasil (ABIMCI, 2007a). Além da produção de painéis, também é muito utilizado na produção de madeira serrada, produtos de maior valor agregado e na indústria de papel e celulose, entre outras. Segundo dados da Associação Brasileira da Indústria de Madeira Processada Mecanicamente – ABIMCI (2008), a produção de compensado de pinus, em 2007, foi de 3,2 milhões de metros cúbicos, mais concentrada nos Estados do Sul do Brasil.

No Norte do país, muitas empresas estão investindo na produção de painéis compensados de *Schizolobium amazonicum* (paricá), uma espécie nativa, de fuste reto, rápido

crescimento e desrama natural. Sua madeira é clara, com cerne e alborno pouco distintos, aparentemente, sem nós, de fácil trabalhabilidade e baixa massa específica.

Segundo o Estudo Setorial da ABIMCI (2007a), *Schizolobium amazonicum* e *Pinus elliottii* estão entre as espécies florestais mais promissoras para a fabricação de produtos de madeira sólida. Sabe-se, através de informações obtidas junto ao Centro de Pesquisa do Paricá (CPP, 2009) que, em 2009, estima-se que há mais de 80 mil hectares de plantios de paricá, manejados pela indústria madeireira para fabricação de lâminas e compensados.

O aumento do número de espécies alternativas, como o paricá, resulta na ampliação da oferta de matéria-prima de qualidade para o setor madeireiro. Apesar do crescente aumento das áreas de cultivo de paricá, para produção de compensados, existem poucas informações técnicas a respeito da qualidade de suas lâminas, no quesito colagem. Ressalta-se a necessidade de estudos mais aprofundados, a fim de melhor definir o seu comportamento e obter a otimização do processo de fabricação de painéis compensados de paricá nas indústrias.

Para a fabricação de painéis compensados, é importante considerar as características físico-químicas do adesivo e as características das lâminas de madeira, os procedimentos empregados na colagem e as condições de uso do produto colado.

Para obter melhores formulações adesivas, além do estudo de suas propriedades como viscosidade, teor de sólidos e pH, dentre outras, o uso da técnica termoanalítica Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC) é uma ferramenta muito útil, pois infere sobre o comportamento do adesivo, em função da temperatura de cura, permitindo a escolha de formulações que necessitem de menos energia, para que ocorra a sua polimerização; conseqüentemente, reduz os custos, devido à possível redução do tempo e temperatura de prensagem.

Já foram desenvolvidos alguns estudos envolvendo a adição de cargas e extensores ao adesivo uréia-formaldeído, para colagem de lâminas de madeira; no entanto, para a madeira de paricá, estes estudos se fazem necessários, uma vez que se trata de uma espécie pouco conhecida, principalmente no que diz respeito à qualidade de colagem de suas lâminas.

2. OBJETIVOS

2.1. Geral

Este trabalho teve como objetivo geral, avaliar o efeito da adição da farinha de trigo e da farinha de babaçu, como extensor e carga, respectivamente, nas propriedades do adesivo à base de uréia-formaldeído e na qualidade dos painéis compensados, produzidos com lâminas de madeira de *Pinus elliottii* e *Schizolobium amazonicum*.

2.2. Específicos

- Determinar propriedades físicas e químicas das lâminas de madeira de *Pinus elliottii* e *Schizolobium amazonicum*.

- Determinar as propriedades dos adesivos, formulados com diferentes proporções de carga e de extensor;

- Determinar a energia de ativação das reações de polimerização, variação de entalpia do processo e temperatura ideal de cura do adesivo;

- Determinar as propriedades físicas e mecânicas dos painéis compensados produzidos com lâminas de *Pinus elliottii* e *Schizolobium amazonicum*.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Painéis compensados

O compensado é um painel formado através da colagem de lâminas de madeira, geralmente em número ímpar de camadas sobrepostas, com a direção das fibras das camadas sucessivas formando ângulos retos entre si (KOLLMANN et al., 1975; TSOUMIS, 1991).

As primeiras indústrias de lâminas de madeira surgiram na Alemanha, em meados do século XIX. O rápido desenvolvimento dos tornos laminadores, contribuiu para a evolução da indústria de compensados. Com o advento da Primeira Guerra Mundial, e o surgimento de novos adesivos, houve uma acentuada evolução na produção de lâminas e compensados, devido à utilização destes produtos na área militar. Devido a Segunda Guerra Mundial, houve desenvolvimento e automação dos sistemas de produção contínua, proporcionando uma gama crescente de produtos de qualidade e de menor custo (ALBUQUERQUE, 1999).

O compensado encontra utilizações das mais variadas como: na construção civil, para aplicações estruturais ou para pisos, forros, paredes, esquadrias, portas, telhados, andaimes, formas de concreto, entre outras; pode ser ainda utilizado na construção de barcos e fabricação de móveis (partes estruturais e decorativas), instrumentos musicais, embalagens industriais, caixas e outros (BORTOLETTO JUNIOR & GARCIA, 2004).

O direcionamento ortogonal de uma lâmina em relação à outra adjacente, restringe a movimentação tangencial das camadas e proporciona uniformidade das propriedades mecânicas nas duas direções do plano do painel (BORTOLETTO JUNIOR & GARCIA, 2004). Segundo Tsoumis (1991), essa uniformidade aumenta com o número de camadas do compensado, em razão da melhor distribuição das tensões, que se desenvolvem em face de determinado carregamento.

Segundo ABIMCI (2007b), os valores de módulo de ruptura (MOR) e módulo de elasticidade (MOE), na flexão estática para o compensado, são mais expressivos que os encontrados nos painéis OSB, MDF, chapa de fibra e aglomerado.

3.1.1. Produção de painéis compensados

O processo de produção do compensado se inicia com a classificação das toras no pátio; em seguida, são descascadas e laminadas; as lâminas são submetidas à secagem e posterior colagem. Para as espécies de maior massa específica, após o descascamento, as toras são aquecidas para facilitar a laminação.

Para a formação do compensado, as lâminas são coladas sobrepostas e prensadas a frio para facilitar as operações de carregamento e melhorar a distribuição do adesivo nas lâminas, antes da prensagem a quente. Depois da prensagem a quente, os painéis são acondicionados, esquadrejados e lixados para posterior classificação e armazenamento (ABIMCI, 2007b).

A pressão, tempo e temperatura na prensagem têm como objetivo assegurar o contato superficial adequado entre as lâminas e promover a cura do adesivo, para a formação da linha de cola e a conseqüente transferência de tensões entre as lâminas do painel compensado (BALDWIN, 1981; SELLERS JUNIOR, 1985).

Além dos procedimentos citados, na colagem de lâminas de madeira para produção de compensados, também devem ser consideradas as características inerentes à madeira, como massa específica, umidade, porosidade, pH e presença de extrativos, formulação e propriedades do adesivo (tipo, gramatura, viscosidade, teor de sólidos, tempo de gelatinização, pH, quantidade de extensor, carga e catalisador), dentre outras.

A massa específica e a porosidade da madeira têm influência na formação da linha de cola e na ligação entre as lâminas que constituem o painel. Os aspectos químicos estão relacionados com o baixo valor de pH e alto teor de extrativos presentes na madeira, que podem prejudicar a cura do adesivo.

A formulação do adesivo com diferentes proporções de extensor, carga, água, imunizante e catalisador, deve ser otimizada em função do nível de qualidade exigida para as diversas aplicações (MARRA, 1992). Na manufatura de painéis compensados, dentre outros produtos reconstituídos de madeira, o adesivo é um componente fundamental. Ele é responsável pela ligação entre as superfícies da madeira e pela transferência de tensões geradas na linha de cola, durante a sua utilização, além da participação significativa na composição dos custos de produção.

3.1.1.1. Colagem de painéis compensados

O processo de colagem da madeira ocorre através da adesão, que é um fenômeno físico-químico, que prevê um mecanismo de interação entre superfícies sólidas (aderente) e uma segunda fase, que consiste de uma película contínua, líquida ou sólida (adesivo).

Os mecanismos de adesão podem ser explicados pelas teorias de adesão química, teoria mecânica e de difusão de polímeros. A adesão química ocorre quando há formação de ligações primárias iônicas ou covalentes e/ou forças intermoleculares secundárias. A difusão de polímeros ocorre quando há difusão de segmentos de cadeia de polímeros, em nível molecular; a mecânica ocorre com a formação de “ganchos”, fortemente presos entre os substratos. Isso se dá devido à fluidez do adesivo líquido, que penetra nos poros da madeira e, posteriormente, se solidifica (IWAKIRI, 2005).

Segundo Troughton (1969), citado por Moreira (1985), uma provável ligação covalente entre adesivos, contendo formaldeído e a celulose e lignina, promoveria a adesão da madeira. Tais ligações ocorreriam por pontes de oximetileno, formadas pela condensação do grupo metilol do adesivo com hidroxilas alifáticas da celulose ou lignina. Isso está de acordo com Morais (1992), que afirma que, as hidroxilas têm papel importante no tocante às propriedades da macromolécula de lignina, como solubilidade e propriedades adesivas. Em amido e celulose, a presença de três grupos de hidroxilas livres, em cada molécula de glicose, é responsável pela sua alta polaridade e reatividade.

De acordo com Marra (1992), no processo de formação da ligação entre a madeira e o adesivo, existem cinco ações de movimento do adesivo: fluidez, transferência, penetração, umedecimento e solidificação.

A fluidez é o movimento de espalhamento do adesivo sobre a superfície da madeira; a transferência se refere à passagem do adesivo para a superfície oposta; a penetração corresponde à entrada do adesivo nos poros da madeira; o umedecimento é o movimento do adesivo para recobrir a estrutura submicroscópica da madeira; e a solidificação trata da mudança do estado líquido para o sólido, através de processos químicos (IWAKIRI, 2005).

O adequado movimento do adesivo e, conseqüentemente, a colagem de lâminas de madeira, estão diretamente relacionados às suas características físico-químicas, composição e características da madeira, procedimentos empregados na colagem e condições de uso do produto colado.

Iwakiri (2005) relata que, dentre as propriedades químicas da madeira mais importantes para a colagem, estão os extrativos e pH. O teor de extrativos é importante para a confecção de painéis compensados, principalmente no que se refere à sua migração para a superfície das lâminas. Quando isso ocorre, geralmente durante uma secagem inadequada, dependendo

também da espécie, há uma concentração excessiva de extrativos na superfície, tornando-a inativa ou contaminada, prejudicando o contato do adesivo com a madeira.

O baixo valor de pH dos extrativos presentes na madeira, pode favorecer o pré-endurecimento do adesivo uréia-formaldeído antes da prensagem, impedindo os movimentos de fluidez, umectação e penetração; tal situação ocorre em madeiras extremamente ácidas, aliadas à acidez do catalisador. Segundo Iwakiri (2005), o pré-endurecimento do adesivo prejudica a resistência e a coesão da linha de cola.

Elevada gramatura do adesivo favorecerá a fluidez, transferência, penetração e umedecimento da estrutura submicroscópica da madeira. Após a solidificação, no entanto, pode originar-se uma linha de cola muito espessa e/ou ultrapassagem do excesso de adesivo pelas bordas do painel, durante a prensagem; tal situação dependerá da viscosidade do adesivo, pressão exercida sobre o painel e características anatômicas da madeira.

Em se tratando da qualidade dos painéis compensados, cabe ressaltar que não são desejáveis valores extremos de viscosidade. Quando a viscosidade do adesivo é muito alta, a distribuição sobre as lâminas de modo uniforme é dificultada; ocorre insuficiente penetração do adesivo na estrutura da madeira, prejudicando a interligação entre o adesivo e a superfície, podendo originar uma linha de cola muito espessa. A baixa viscosidade resulta em excessiva absorção do adesivo pela madeira, diminuindo a qualidade de colagem com a formação de linha de cola “faminta” (FRUHWALD, 1977, citado por MOREIRA, 1985).

3.1.1.2. Adesivos sintéticos

Existem dois tipos de adesivos amplamente empregados na indústria madeireira: à base de fenol-formaldeído, para uso externo, sendo normalmente utilizado na construção civil e naval; e à base de uréia-formaldeído, para uso interno, sendo empregado, basicamente, na indústria moveleira (DIAS & LAHR, 2003).

O adesivo uréia-formaldeído apresenta baixo custo, quando comparado à maioria das emulsões e outros adesivos sintéticos. Devido a este motivo, aliado à sua fácil trabalhabilidade e à sua cor clara, é o adesivo mais utilizado na indústria de painéis de madeira.

A uréia-formaldeído é a combinação de dois compostos químicos que resultam em polímeros lineares e ramificados, ligados tridimensionalmente, quando o adesivo se encontra curado. A uréia ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$) possui dois grupos amônia, resultando em quatro hidrogênios reativos que permitem a formação de pontes metilênicas com os hidrogênios reativos do formaldeído [H_2CO] (Figura 1). No primeiro estágio do processo de formação do adesivo, há uma condensação ácida das metilolureias para, primeiramente, solubilizar e, então, polimerizar o adesivo (PIZZI & MITAL, 1994, citado por FERREIRA, 2004).

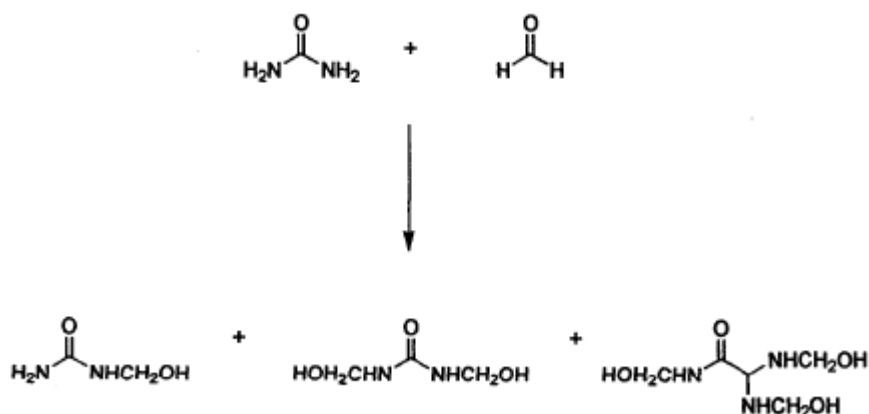


Figura 1. Formação da mono-, di- e trimetiloluréia pela reação de formaldeído com uréia (CONNER, 1996).

Os adesivos à base de uréia-formaldeído perdem sua resistência rapidamente quando expostos à umidade. Dessa forma, ambientes com alto teor de umidade e temperaturas iguais ou superiores a 65° C podem comprometer o desempenho das peças coladas (SAMLAIK, 1983).

3.1.1.3. Extensor

Extensores são substâncias à base de amido e proteína que possuem ação adesiva; quando misturados na composição do adesivo à base de uréia-formaldeído, contribuem para melhorar a viscosidade dos mesmos (MOREIRA, 1985).

No Brasil, as indústrias de compensados utilizam a farinha de trigo como extensor, que é importada da Argentina ou oriunda do sul do Brasil. Nos dois primeiros meses de 2008, o volume importado de farinha de trigo da Argentina foi de 136,9 mil toneladas (MACHADO, 2008).

Tendo em vista o custo da farinha de trigo e o volume significativo de consumo dessa importante matéria-prima na produção de alimentos, vários estudos têm sido desenvolvidos no sentido de buscar materiais alternativos, para a produção de compensados. Materiais como farinhas de centeio, soja, milho, mandioca, sorgo, aveia, cevada, arroz, caroço de algodão, sangue de animais, batatas, entre outros, são mencionados por Moreira (1985), tendo alguns deles grande potencial de utilização.

O extensor tem como função reduzir o custo final do adesivo, auxiliar no controle da viscosidade e nas funções de movimento do adesivo (SELLERS JUNIOR, 1985; MARRA, 1992).

Para um material ser utilizado como extensor, ele deve ser de fácil dispersão em adesivos líquidos, resultando numa mistura uniforme e mantendo sua viscosidade durante a aplicação; deve melhorar a coesividade e a capacidade de ligamento do adesivo e aumentar sua

vida útil, assim como auxiliar no espalhamento, evitando a passagem do adesivo pela superfície da lâmina externa e o derramamento excessivo pelas bordas (BALDWIN, 1981; MARRA, 1992).

Segundo Selbo (1975), o uso do extensor deve restringir-se a casos onde o painel não precise ser muito resistente à umidade, pois sua principal desvantagem é diminuir a resistência da linha de cola em condições úmidas.

Nock & Richter (1978), citado por Moreira (1985), afirmam que a adição de extensores ao adesivo, principalmente aqueles à base de amido, aumenta a capacidade de absorção de água pela linha de cola e, por consequência, diminui sua resistência à umidade; ao mesmo tempo, aumenta a sensibilidade ao ataque de fungos.

Iwakiri et al. (1999) concluíram que o maior grau de extensão contribui para diminuir os valores médios de módulo de ruptura (MOR) e resistência da linha de cola (RLC) e não influenciou nos valores médios de módulo de elasticidade dos painéis (MOE).

3.1.1.4. Carga

Cargas, também denominadas materiais de enchimento, são substâncias inertes, sem poder de adesão, que podem ser adicionadas ao adesivo, com a finalidade única de aumentar o volume do adesivo e reduzir o custo. Segundo Iwakiri (2005), ao contrário dos extensores, os materiais utilizados para o enchimento não exercem influências sobre a viscosidade do adesivo, na fase inicial do aquecimento, e são considerados materiais inertes, desprovidos da propriedade de adesão. Dentre os principais materiais utilizados como carga destacam-se: as cascas de essências florestais e cargas minerais, como o caulim.

A farinha de babaçu está sendo introduzida no mercado nacional como carga para utilização na indústria de painéis de madeira compensada. Há muitas empresas, principalmente nos Estados do Pará e Maranhão, utilizando este material junto à farinha de trigo, com o objetivo de reduzir os custos de produção. O preço da farinha de babaçu, em 2008, era equivalente a 1/3 do preço da farinha de trigo (TOBASA, 2009).

O babaçu é o fruto de uma palmeira nativa da região norte do Brasil, e é classificado cientificamente como *Orbignya speciosa* (Mart.). É encontrado em toda área da Floresta Semidecídua Equatorial, mas só forma agrupamentos densos, homogêneos, sob condições especiais de solo ou com a retirada da mata primária. Tem sido empregado de diversas formas, dentre as quais destaca-se, a utilização do óleo de coco extraído da amêndoa, para indústria cosmética, alimentícia, sabão de coco, detergentes e lubrificantes (CAMPESTRE, 2008).

3.2. Madeira de *Schizolobium amazonicum* (paricá)

O paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke) é uma leguminosa da família Caesalpinaceae que ocorre naturalmente na Amazônia brasileira, peruana, venezuelana e colombiana, em mata primária, mata secundária de terra firme e várzea alta (SOUSA et al., 2005; VIDAURRE et al., 2006). Sua madeira apresenta elevada cotação no mercado interno e externo, sendo por isso, bastante cultivada pelas empresas madeireiras da região norte e nordeste do Brasil, principalmente nos Estados do Pará e Maranhão (VIDAURRE et al., 2006).

É uma árvore de grande porte, podendo atingir de 20 a 30 metros de altura. Assemelha-se bastante ao *Schizolobium parahyba* (Vell.) Blake (guapuruvu), sobretudo no que se refere ao seu rápido crescimento e ao emprego de sua madeira (COSTA et al., 1998).

A madeira de paricá é de baixa massa específica e dureza, possui cerne creme-avermelhado e alburno creme-claro (PARICÁ, 2007). Tem textura média (diâmetro dos poros de 110 a 100 μm) e grã irregular (MELO et al., 1989). Apresenta grande potencial para o seu processamento, uma vez que possui facilidades quanto à retirada da casca, laminação, secagem, prensagem e excelente acabamento (SIVIERO, 2006).

Brandão & Reis (2007), ao estudarem a variabilidade da anatomia da madeira de paricá, encontraram resultados preliminares com uma tendência de aumento do diâmetro tangencial dos vasos (87 a 172 μm), no sentido medula-casca, e diminuição da frequência de vasos por mm^2 (3 a 5, próximos à medula e de 0 a 3, próximos à casca). Observou-se, também, uma variabilidade nos tipos de parênquima axial, passando de vasicêntrico escasso, próximo à medula, a aliforme de extensão losangular e em finas linhas, próximo à casca.

Quanto às propriedades mecânicas da madeira do paricá, Melo et al. (1989) encontraram resistência de 562 e 82.000 kgf/cm^2 para MOR e MOE, respectivamente; a resistência ao cisalhamento encontrada foi de 111 kgf/cm^2 .

A madeira de paricá tem sido recomendada para a construção de forros, fabricação de palitos e canoas (LE COINTE, 1947). Além disso, fornece celulose de qualidade, pois o fácil branqueamento permite a fabricação de papel branqueado com excelente resistência (PEREIRA et al., 1982). Exibe arquitetura e floração vistosas, podendo ser empregada, também, em arborização de praças e jardins amplos (PARICÁ, 2007). A madeira está sendo utilizada, principalmente, na produção de lâminas para compensados, em razão de suas características e propriedades adequadas para essa finalidade.

Em relação às plantações de paricá, muito embora a realidade esteja aquém das necessidades atuais, para atender à demanda por lâminas e compensados, observa-se uma crescente evolução do setor. Em 2008, o Grupo Concrem, que detém o maior plantio de paricá do mundo, possuía 26 mil hectares de florestas plantadas da espécie. Da produção total de compensados, exporta-se, em média, mais de 60% (REFERÊNCIA, 2008).

Dentre as principais características que culminaram para a boa aceitação da madeira no mercado, está a baixa massa específica e a aparência. É uma madeira clara, homogênea e, aparentemente, sem nós. Outro fator relevante, é representado pelo seu ciclo de corte para produção de lâminas para compensado, que está entre seis e oito anos (REFERÊNCIA, 2008).

Segundo o Centro de Pesquisa do Paricá (CPP), no Estado do Pará, a madeira de paricá tem favorecido a redução dos custos de industrialização da madeira e produção do compensado, pois as despesas de colheita e transporte são menores, pela homogeneidade e boa localização dos plantios, comparados às florestas manejadas. Assim, as empresas que produzem compensado de paricá, conseguem lançar seu produto no mercado externo e interno a custo reduzido, se comparadas a outras que usam essências nativas, forçando todo o setor a procurar alternativas para a redução dos custos de produção (VIDAURRE et al., 2006).

3.3. Madeira de *Pinus elliottii*

O *Pinus elliottii* é uma conífera originária do sudoeste da Flórida, EUA. Pode atingir até 30 m de altura, possui traqueídeos longos, madeira dura e apresenta massa específica de 0,50 a 0,56 g/cm³ (SCHUMACHER et al., 2005). Apresenta rápido crescimento e vantagens em termos de incremento volumétrico da madeira.

Na região Sul, a madeira de pinus, em especial, sustenta as indústrias de madeiras serradas e beneficiadas, de laminados e compensados, de painéis reconstituídos de madeira (fibras e particulados), além do grande volume demandado pelas indústrias de polpa e papel (IWAKIRI & SALDANHA, 2002).

Em 2007, no sul do Brasil, a produtividade do pinus atingiu 38,3 m³/ha/ano e a produção de painéis compensados de coníferas atingiu 3,1 milhões de m³. No que se refere às exportações brasileiras de compensado de pinus, houve queda no volume, passando de 1.738 mil m³, em 2006, para 1.544 mil m³, em 2007, variação equivalente a -11,2%. Em valor, essa variação foi positiva de 8,7%, visto que o valor comercializado passou de US\$ 438 milhões, em 2006, para US\$ 476 milhões, no ano subsequente (ABIMCI, 2008).

3.4. Propriedades dos adesivos

A determinação das propriedades físicas e químicas dos adesivos é de extrema importância para o entendimento do seu comportamento frente à colagem. Além dos fatores relacionados ao substrato (madeira) e aos procedimentos de fabricação dos painéis, o teor de sólidos, viscosidade, pH, entre outras propriedades do adesivo, estão diretamente relacionados à qualidade dos compensados produzidos.

O teor de substâncias sólidas é a quantidade de sólidos contidos no adesivo. O adesivo é composto de componentes sólidos e líquidos voláteis constituídos de solventes orgânicos. Com a prensagem a quente, ocorre a evaporação dos componentes líquidos, “cura” e solidificação do adesivo, formando a linha de cola que é responsável pela ligação entre os substratos e transferência de tensões geradas no sistema madeira – linha de cola.

Viscosidade é um termo que descreve as propriedades de escoamento de um fluido, ou seja, a resistência ao fluxo livre entre camadas de uma matéria, ou ainda, a grandeza que caracteriza a existência de um atrito entre as moléculas de um fluido e que se manifesta através do escoamento. A fluidez de um líquido está relacionada com a viscosidade. No caso do adesivo, ela também pode ser utilizada como critério de “validade” (período de tempo em que o adesivo está armazenado), devido ao aumento na sua viscosidade até o ponto máximo adequado para a sua utilização.

Na formulação de adesivos para a colagem de madeira e derivados, a viscosidade desempenha papel de grande importância. Pizzi & Mittal (1994), no entanto, afirmaram que a viscosidade do adesivo em compensados, não é um fator crítico e pode ser manipulada pela simples diluição da solução. A diluição do adesivo pela adição de água, no entanto, deve ser feita com muita cautela, para que não haja estouro das lâminas durante a prensagem, o que traz risco à saúde dos operadores, assim como prejuízos, devido à perda das lâminas e do adesivo utilizado. Esta diluição pode, ainda, comprometer a qualidade da colagem, devido à redução do teor de sólidos resinosos.

O teor de sólidos é uma propriedade de grande importância e pode ser entendido como a parte do adesivo que forma a linha de cola propriamente dita, visto que, durante a prensagem dos painéis, a água e os outros materiais voláteis evaporam. O baixo teor de sólidos pode prejudicar a colagem das lâminas, não só pela escassez do material sólido na linha de cola, mas, também, pelo excesso de voláteis que ele liberará durante a prensagem, podendo provocar delaminações do painel.

O tempo de gelatinização corresponde ao período transcorrido desde a preparação do adesivo para aplicação, que inclui as adições de catalisador, água, extensor e carga, até a fase de gel, quando atinge a máxima elasticidade, em temperatura pré-estabelecida (IWAKIRI, 2005). O tempo de gelatinização indica a reatividade do adesivo: quanto mais reativo, mais rápido

chegará à fase de gel e menor poderá ser o tempo de prensagem. A reatividade e, conseqüentemente, o tempo de gelatinização, também, dependem da temperatura e do grau de extensão do adesivo.

O tempo de trabalho se refere ao tempo de vida útil do adesivo, após sua preparação, até a fase de gel, quando atinge a máxima elasticidade, assim como o tempo de gelatinização. Neste caso, no entanto, o adesivo é mantido à temperatura ambiente (25°C).

Quando o adesivo é aplicado sobre as lâminas, seu tempo de vida útil é reduzido, uma vez que as lâminas, com baixo teor de umidade, iniciam sua umectação, através da adsorção da água do adesivo.

De modo geral, o tempo de trabalho dos adesivos não deve ser longo, pois, necessitaria de um maior tempo de prensagem. Em contrapartida, o tempo de trabalho curto acarreta problema de aplicação e de polimerização rápida do adesivo, provocando queda na resistência da linha de cola (CARNEIRO, 2006).

Em se tratando de colagem de madeiras, é importante considerar a influência do pH da madeira e do adesivo. Para não resultar em degradação da madeira, o pH do adesivo não deve ultrapassar a faixa de 2,5 a 11 (IWAKIRI, 2005).

Segundo Fruhwald (1977), citado por Moreira (1985), a cura da maioria dos adesivos para madeira se dá através de uma reação físico-química, muitas vezes influenciada pelo pH. Os adesivos mais utilizados, comercialmente, são a uréia-formaldeído e o fenol-formaldeído, que curam em meio ácido e alcalino, respectivamente; portanto, uma madeira com alta acidez se torna mais difícil à colagem com adesivo fenol-formaldeído. Por outro lado, a alta acidez da madeira pode provocar uma pré-cura dos adesivos à base de uréia-formaldeído, durante a prensagem dos painéis (IWAKIRI, 2005).

A calorimetria exploratória diferencial (DSC, do inglês *Differential Scanning Calorimetry*) é uma técnica de análise térmica; na qual as diferenças no fluxo de calor entre a cápsula com substância e a de referência são medidas como uma função da temperatura da amostra, enquanto as duas estão submetidas a um programa de temperatura controlada.

O DSC tem sido extensivamente utilizado na determinação de parâmetros cinéticos de reações de diversos tipos, inclusive para análise de processos de cura de polímeros termofixos em experimentos isotérmicos ou dinâmicos (CARNEIRO, 2006).

É uma ferramenta importante, pois isola o procedimento dependente da temperatura, para um determinado processo químico, e permite uma medida quantitativa do calor associado com o processo (GARRO-GALVEZ et al., 1996). A calorimetria exploratória diferencial, também, está sendo usada para monitorar o processo de cura de adesivos, sob diferentes temperaturas e umidades (PARK et al., 1999).

O estudo da cinética de reações, através de DSC, baseia-se na medida da taxa em que o calor é gerado numa reação química exotérmica. O calor gerado por uma reação química é

proporcional à extensão da cura, permitindo determinar os parâmetros cinéticos de formulações adesivas, a partir da análise das curvas de DSC.

Os estudos da cinética de polimerização dos adesivos têm como objetivo inferir sobre as formulações, que apresentam as melhores características para o processo industrial de produção dos painéis, levando-se em conta, a energia necessária para a realização das reações de cura, tempo e temperatura de prensagem. Carneiro (2006) determinou parâmetros cinéticos de uma amostra comercial de adesivo à base de uréia-formaldeído por DSC, encontrando temperatura de pico de 109°C e energia de ativação de 12,29 kcal/mol.

Lisperguer & Droguett (2002) analisaram, através do DSC adesivos à base de uréia e formaldeído, em diferentes relações molares. Comparando termogramas obtidos com ou sem adição de catalisadores, concluíram que o início da banda de polimerização do termograma para um adesivo sem catalisador, que se inicia em 120 °C, pode ser reduzido para 100 °C, caso o cloreto de amônio seja utilizado como catalisador.

Uma curva de DSC esquemática típica de diferentes eventos físico-químicos é apresentada na Figura 2.

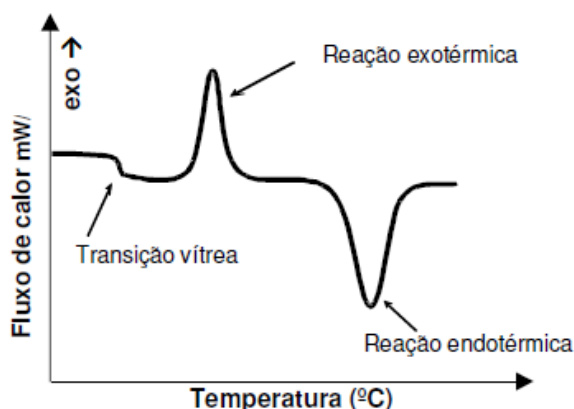


Figura 2. Diferentes eventos físico-químicos registrados em uma curva de DSC.

Segundo Castellan (1986), a entalpia é uma função de estado extensiva, definida como a soma da energia interna com o produto da pressão e volume de um dado sistema termodinâmico.

Como as reações de cura dos adesivos à base de uréia-formaldeído são exotérmicas, pode-se dizer que, comparando dois adesivos semelhantes, aquele que apresentar maiores valores de variação de entalpia (em módulo), provavelmente, se encontrará em um nível energético mais alto; consumindo maior tempo de reação para atingir níveis energéticos mais baixos, característicos da fase polimerizada. Como consequência, exige-se maior tempo de prensagem, o que não é desejável, em escala industrial.

Com relação ao aspecto quantitativo, segundo Bernal et al. (2002), a temperatura de pico representa o ponto no qual a entrada de calor é igual à razão de absorção de calor.

Tomando como referência a área de adesivos, uma menor temperatura de pico (T_p) implica em menor tempo de prensagem e, conseqüentemente, menor gasto de energia.

Quanto à abordagem matemática, a energia de ativação de uma reação química pode ser entendida como um parâmetro empírico, que descreve a variação da função constante de velocidade de uma reação com a temperatura (PILLING & SEAKINS, 1996). Levine (1995), no entanto, aborda o parâmetro por uma visão termodinâmica, descrevendo-a como sendo a energia cinética mínima, que os reagentes devem ter para que se formem os produtos, ou seja, uma barreira energética mínima necessária para a ocorrência da reação química.

Para o estudo de adesivos, considera-se energia de ativação a quantidade de energia necessária para que as reações químicas do adesivo comecem a ocorrer. Uma menor energia de ativação, pode indicar que o adesivo apresenta-se em bom estágio de síntese, bem como a ocorrência de uma proporção adequada de catalisador (BACELAR, 2001).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Materiais

Na fabricação dos compensados, utilizaram-se lâminas da madeira de paricá (*Schizolobium amazonicum*), em idade sete anos, oriundas de plantios comerciais de empresas associadas ao Centro de Pesquisa do Paricá (CPP), localizado em Dom Eliseu – PA, e lâminas de *Pinus elliottii*, em idade de quarenta anos, oriundas de plantios da empresa Camifra S.A., localizada em Clevelândia – PR.

As lâminas foram selecionadas, secas a 9% de umidade, e acondicionadas até a produção dos painéis compensados.

Utilizou-se o adesivo à base de uréia-formaldeído (Casamite 5-H), produzido pela Borden Chemical, na gramatura de 250g/m². Como catalisador, empregou-se o sulfato de amônio (NH₄)₂SO₄, em solução a 20%, na proporção de 1,5% sobre o teor de sólidos do adesivo.

Como extensor, utilizou-se a farinha de trigo, de granulometria 98,7%, passante em peneira de 250 mesh, produzida pela empresa Moinhos Vera Cruz, e, como carga, a farinha de babaçu, fornecida pela empresa TOBASA Bioindustrial de Babaçu S.A., da cidade de Tocantinópolis – TO, apresentando granulometria 96,4%, passante em peneira de 250 mesh. As farinhas de trigo e de babaçu foram empregadas na formulação de diferentes misturas com o adesivo uréia-formaldeído.

4.2. Determinação das propriedades das lâminas de madeira de *Pinus elliottii* e *Schizolobium amazonicum*

4.2.1. Massa específica aparente

A massa específica aparente foi determinada de acordo com o método descrito por Vital (1984). As lâminas de pinus e de paricá foram acondicionadas em câmara de climatização, à temperatura de $20\pm 1^\circ\text{C}$ e umidade relativa de $65\pm 5\%$, para posterior determinação de sua massa. O volume aparente foi obtido através da imersão das lâminas em mercúrio. Para cada espécie foram feitas quatro repetições.

Para cada espécie, também foi determinado o teor de umidade dos corpos-de-prova, que corresponde à umidade de equilíbrio das lâminas à temperatura de $20\pm 1^\circ\text{C}$ e umidade relativa de $65\pm 5\%$.

4.2.2. Massa específica básica

A massa específica básica é a razão da massa completamente seca, dividida pelo volume de uma amostra em estado saturado. Neste trabalho, a massa específica básica foi determinada de acordo com o método descrito por Vital (1984), modificado pela utilização do mercúrio em substituição à água.

As lâminas de pinus e paricá foram imersas em água destilada a $20\pm 2^\circ\text{C}$ por 24 horas e, posteriormente, o volume verde foi obtido através da imersão das lâminas em mercúrio. O volume, em centímetros cúbicos (cm^3), deslocado pela imersão das lâminas no mercúrio, é igual ao seu peso em gramas (g), lido diretamente em uma balança, dividido pela massa específica do mercúrio.

Para a obtenção do peso seco, as lâminas foram levadas à estufa a $103\pm 2^\circ\text{C}$ por 24 horas. Para cada espécie foram feitas quatro repetições.

4.2.3. Propriedades químicas

4.2.3.1. Teor de lignina, extrativos e holocelulose

Para a análise química da madeira, as lâminas foram transformadas em partículas, em moinho de martelo e, posteriormente, transformadas em serragem, em moinho tipo Willey, conforme a norma TAPPI T 257- om92 (1992). As análises foram efetuadas com a fração de serragem, que passou pela peneira de 40 mesh e ficou retida na de 60 mesh, acondicionada a umidade relativa de $50 \pm 2\%$ e temperatura de 23 ± 1 °C.

O teor de lignina foi determinado pelo método Klason, modificado, de acordo com o procedimento proposto por Gomide & Demuner (1986). A lignina solúvel em ácido sulfúrico foi determinada a partir do filtrado resultante da análise da lignina Klason, através da leitura em espectrofotômetro UV, de acordo com Goldschimid (1971). O teor de lignina total foi obtido pela soma lignina residual mais a lignina solúvel em ácido.

A determinação do teor de extrativos foi determinada em duplicata, através da solubilidade em etanol/tolueno, de acordo com a norma TAPPI 264-om88 (1992), com a seguinte alteração: a extração com etanol-benzeno foi substituída por etanol-tolueno, uma vez que o benzeno é nocivo à saúde humana.

O percentual de holocelulose foi obtido somando-se os percentuais de lignina e extrativos e subtraindo-se este valor de 100%.

4.2.3.2. Capacidade tampão e pH

O pH e a capacidade tampão foram determinados após a solubilização de 5 g de partículas (base seca) de paricá e de pinus em 150 ml de água destilada, sob refluxo, por 20 minutos e por 2 horas, e à temperatura ambiente (20°C), por 24 horas.

O pH-metro foi calibrado para 4 e 7 utilizando-se soluções tampão padronizadas. Após a calibração, 50 ml de extratos aquosos foram pipetados em um becker de 100 ml, mantido sob agitação. O pH inicial foi determinado e, posteriormente, os extratos foram titulados com solução de NaOH 0,001N até pH 7 para a determinação da capacidade tampão ácida em mmol/L. Foram realizadas quatro repetições para as determinações do pH e da capacidade tampão ácida; após a solubilização das partículas de madeira em água quente (SAQ) por 20 minutos e 2 horas, e três repetições para as determinações à temperatura ambiente (solubilização das partículas de madeira em água fria - SAF).

4.3. Composições dos adesivos

Neste trabalho foram avaliados 16 tratamentos (formulações de adesivos), envolvendo diferentes percentuais de extensor e carga, apresentados na Tabela 1. Para cada tratamento foram feitas 3 repetições, totalizando 96 painéis, sendo 48 de cada espécie.

Tabela 1. Delineamento experimental em função do percentual de carga (farinha de babaçu) e extensor (farinha de trigo), adicionado ao adesivo uréia-formaldeído (UF)

Tratamento	Carga (%)	Extensor (%)	Água (%)
1	0	0	0
2	0	10	5
3	0	20	10
4	0	30	15
5	10	0	5
6	10	10	10
7	10	20	15
8	10	30	20
9	20	0	10
10	20	10	15
11	20	20	20
12	20	30	25
13	30	0	15
14	30	10	20
15	30	20	25
16	30	30	30

A quantidade de água adicionada para compor cada um dos 16 tratamentos correspondeu a 50% da quantidade de carga e/ou extensor, adicionados ao adesivo uréia-formaldeído. Este procedimento fez-se necessário para tornar viável a utilização dos extensores, sem comprometer a produção dos painéis. Este percentual de água foi adotado após testes preliminares, onde o excesso de água provocou delaminações nos painéis, em sua maioria.

Na preparação de cada adesivo, utilizaram-se o seguinte procedimento: as farinhas de trigo e/ou de babaçu, nas proporções de 0, 10, 20 e 30%, foram adicionadas à uréia-formaldeído, previamente, à adição de água, visando melhor homogeneização, evitando a formação de grânulos. A cada adição de farinha, água e catalisador ao adesivo de uréia-formaldeído, a mistura foi homogeneizada, por 90 segundos, com um bastão de vidro.

4.3.1 Determinação das propriedades dos adesivos

Determinaram-se as seguintes propriedades do adesivo uréia-formaldeído puro e suas diferentes composições: teor de sólidos, viscosidade, tempo de gelatinização, tempo de trabalho, pH e massa específica. Para cada propriedade foram feitas quatro repetições.

Para a obtenção do teor de sólidos, amostras de aproximadamente 2g de adesivo foram levadas à estufa a $103 \pm 2^\circ\text{C}$ até atingir peso constante.

A determinação da viscosidade dos adesivos, baseada na norma americana ASTM D 1084-97 (método B), foi feita num viscosímetro Brookfield-LV, que consiste em um agitador rotativo, que mede a viscosidade do fluido com base na resistência à agitação. O “spindle” (agitador) empregado para a determinação da viscosidade dos adesivos dos tratamentos T1 a T15, foi de número 3, com velocidade de rotação de 12 rpm. O mesmo não pode ser aplicado ao tratamento 16, que necessitou de um spindle de maior diâmetro, de número 4 e de velocidade de 3 rpm para a obtenção da viscosidade. Para todos os tratamentos, a viscosidade foi determinada após 90 segundos do início da rotação “do spindle”.

O tempo de gelatinização foi obtido a partir de amostras de, aproximadamente, 1g de adesivo, depositadas em tubos de ensaio, em cujo interior foi mergulhado um bastão de vidro. O conjunto tubo-bastão foi aquecido a 150°C , cronometrando-se o tempo gasto para a gelatinização do adesivo.

O tempo de trabalho do adesivo foi determinado com o auxílio de um cronômetro, acionado após a adição do catalisador em cada amostra de 15 ml.

O valor de pH dos adesivos foi medido a 25°C em pH-metro, calibrado a pH 4 e 7, utilizando-se soluções tampão padronizadas. Esta temperatura foi mantida para a determinação de todas as propriedades dos adesivos.

A massa específica do adesivo foi determinada pela razão entre a sua massa e o volume ocupado por essa massa ($\rho = m / V$) em g/cm^3 .

4.3.2 Análise por calorimetria diferencial exploratória (DSC)

Para análise dos adesivos por calorimetria diferencial exploratória, utilizou-se o equipamento Shimadzu DSC-50, acoplado a um analisador térmico Shimadzu TA-50.

De cada tratamento retiraram-se alíquotas de aproximadamente 10,0 mg, as quais foram depositadas em cápsulas de aço inoxidável e lacradas em uma prensa hidráulica, através do emprego de uma força de seis toneladas, por um minuto. Utilizou-se fluxo de nitrogênio de 20 mL/min na atmosfera do forno.

As cápsulas foram aquecidas a partir da temperatura ambiente até 250°C. Utilizando-se, inicialmente, uma taxa de aquecimento de 10°C/min para todas as amostras de adesivo. Após a determinação da viscosidade, as amostras de adesivos dos tratamentos 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 10 e 13, que apresentaram viscosidade abaixo de 9100 centipoise (cP), condição satisfatória à aplicação do adesivo, foram submetidas a novas análises calorimétricas, com taxa de aquecimento de 5 °C/min e 15 °C/min, como condição mínima para o modelo cinético obter a energia de ativação do processo. Para todas as amostras avaliaram-se as variações de entalpia e as temperaturas de pico, por meio da manipulação dos dados obtidos pelo aparelho de DSC, em um software do analisador térmico, contendo o método descrito na norma ASTM E-698 (2005).

4.4 Produção dos painéis compensados

Para a produção dos compensados utilizaram-se lâminas de *Pinus elliottii* e *Schizolobium amazonicum*, com teor de umidade médio de 9% e espessura média de 1,5 e 1,7 mm, respectivamente. Os painéis compostos por três lâminas com dimensões de 400 x 400 mm foram colados à gramatura de 250 g/m² (superfície dupla). O adesivo utilizado para a colagem foi uréia-formaldeído, catalisado com sulfato de amônio, tendo, a farinha de trigo, como extensor, e a farinha de babaçu, como carga, nas proporções de 0, 10, 20 e 30%. A aplicação foi feita com espátula, de modo uniforme sobre as lâminas.

As variáveis do ciclo de prensagem foram as seguintes: temperatura (150°C), pressão específica (12 kg/cm²), tempo de montagem (15 minutos), tempo de prensagem (7 minutos) e tempo de abertura da prensa (1 minuto).

Após a prensagem, os painéis foram aclimatados, esquadrejados e, foram retirados corpos-de-prova para a determinação de suas propriedades físicas e mecânicas. Os corpos-de-prova tiveram suas bordas lixadas, a fim de remover possíveis defeitos de corte; sendo, então, acondicionados em câmara de climatização à temperatura de 20±1°C e umidade relativa de 65±5%.

4.4.1 Ensaios físicos

4.4.1.1 Massa específica aparente dos painéis

A massa específica aparente foi determinada de acordo com o método descrito por Vital (1984), modificado pela utilização do mercúrio em substituição à água. De cada painel foram retirados seis corpos-de-prova, com as dimensões de 50 x 50 mm. Após a determinação de sua massa, o volume aparente foi obtido através da imersão do corpo-de-prova num becker contendo mercúrio.

Para cada tratamento, determinou-se o teor de umidade dos corpos-de-prova, que corresponde ao teor de umidade de equilíbrio dos painéis acondicionados na câmara de climatização, à temperatura de $20\pm 1^{\circ}\text{C}$ e umidade relativa de $65\pm 5\%$.

4.4.1.2 Absorção de água

Para a determinação da absorção de água dos painéis, utilizou-se a norma ABNT NBR 9486/86 (modificada). De cada painel, retiraram-se seis corpos-de-prova com dimensões de 75 x 25 mm. Os corpos-de-prova foram submetidos à temperatura de $50\pm 2^{\circ}\text{C}$, por 24 horas, para secagem; posteriormente foram resfriados em dessecador, pesados e imersos em água destilada a $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ por 24 horas e, em seguida, pesados novamente.

4.4.1.3 Inchamento e Recuperação em espessura

Para a determinação do inchamento e recuperação em espessura, após a absorção de água pelo compensado, utilizou-se a norma ABNT NRB 9535/86 (modificada).

De cada painel foram retirados seis corpos-de-prova, com dimensões de 60 x 10 mm, acondicionados em câmara climática a $20\pm 1^{\circ}\text{C}$ e $65\pm 5\%$ de umidade relativa. Estes corpos-de-prova foram separados em duas séries de três, sendo uma série, a de controle.

Após a primeira medição de espessura, no centro de cada corpo-de-prova, os utilizados como controle foram secos em estufa a $103\pm 2^{\circ}\text{C}$ por 24h, levados ao dessecador e medidos novamente.

A outra série de corpos-de-prova foi imersa em água destilada a $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ por 24h. Após este período, os corpos-de-prova foram medidos, secos em estufa a $103\pm 2^{\circ}\text{C}$ por 24h, levados ao dessecador e medidos novamente.

4.4.2 Ensaios mecânicos

4.4.2.1 Resistência da linha de cola ao esforço de cisalhamento

A determinação da qualidade de colagem dos painéis, através do ensaio de cisalhamento, em condições seca e úmida, foi feita de acordo com a norma ABNT NBR ISO 12466-1:2006.

Foram ensaiados vinte corpos-de-prova, sendo quinze na condição seca, e cinco na condição úmida. Cada corpo-de-prova teve sua área de cisalhamento medida, com o auxílio de um paquímetro. E, para o ensaio úmido, esta medição ocorreu antes da imersão dos corpos-de-prova em água a $20\pm 3^{\circ}\text{C}$ por 24h.

O percentual de ruptura coesiva da madeira (falha na madeira), foi determinado de acordo com a norma ABNT NBR ISO 12466-1:2006, e seu resultado se encontra no Anexo C.

4.4.2.2 Resistência à flexão estática

A determinação do módulo de elasticidade e da resistência máxima à flexão estática dos painéis compensados, baseou-se na norma ABNT NBR 9533/86. Utilizaram-se seis corpos-de-prova por painel, com comprimento na direção paralela à grã das lâminas externas. Os corpos-de-prova foram retirados dos painéis com largura de 75 mm e comprimento igual a 25 vezes o valor da espessura, acrescentado de 50 mm, sendo 155 mm para pinus e 165 mm para paricá.

Os resultados do módulo de elasticidade (MOE) e módulo de ruptura (MOR) foram obtidos automaticamente através do software PaviTest-Madeira 2.77-0, instalado em um computador, conectado à máquina de ensaio mecânico universal.

4.5 Análise estatística

4.5.1. Análise estatística das propriedades dos adesivos

Para a análise das propriedades dos adesivos, o experimento foi instalado segundo um delineamento inteiramente casualizado (DIC) com quatro repetições. Os tratamentos foram arrançados em um esquema fatorial 4x4, constituído de diferentes proporções de extensor (0, 10, 20 e 30% de farinha de trigo) e carga (0, 10, 20 e 30% de farinha de babaçu). Os resultados foram submetidos à análise de variância (ANOVA). Quando estabelecidas diferenças significativas, os tratamentos foram comparados entre si por meio do teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

4.4.2. Análise estatística dos parâmetros cinéticos dos adesivos

Para a análise estatística dos parâmetros cinéticos, os adesivos foram agrupados e avaliados através de análises multivariadas, empregando-se o método de agrupamento aglomerativo hierárquico simples, com base na distância euclidiana padronizada.

Esta técnica consiste em interligar os tratamentos por suas associações, produzindo um dendrograma onde os adesivos semelhantes foram agrupados entre si, segundo a variável escolhida.

Considera-se que quanto menor a distância entre os pontos, maior a semelhança entre os adesivos. Para a energia de ativação, consideraram-se apenas os adesivos que apresentaram viscosidade menor que 9100 cP.

4.5.3. Análise estatística das propriedades físicas e mecânicas dos painéis

O experimento foi instalado segundo um delineamento inteiramente casualizado (DIC) com três repetições. Os tratamentos foram arrançados em um esquema fatorial 2x4x4, constituído de duas espécies (paricá e pinus) e diferentes proporções de extensor (0, 10, 20 e 30% de farinha de trigo) e carga (0, 10, 20 e 30% de farinha de babaçu). Os resultados foram submetidos à análise de variância (ANOVA). Quando estabelecidas diferenças significativas, os tratamentos foram comparados entre si por meio do teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As análises de variância para as diferentes variáveis estudadas estão apresentados no Anexo A.

5.1. Propriedades das lâminas de madeira

5.1.1 Massa específica aparente e básica da madeira

Na Tabela 2 são apresentados os valores médios de massa específica aparente e básica das lâminas de madeira de *Pinus elliottii* (pinus) e *Schizolobium amazonicum* (paricá).

Tabela 2. Valores médios de massa específica aparente e básica das lâminas de madeira de pinus e de paricá, em g/cm³

Espécie	Massa específica aparente (g/cm ³)	Massa específica básica (g/cm ³)
Pinus	0,65 a	0,54 a
Paricá	0,33 b	0,28 b

Médias seguidas de mesma letra minúscula ao longo da mesma coluna não diferem entre si pelo teste F com um nível nominal de significância de 5%.

Nota-se que as lâminas de pinus apresentaram maior massa específica que as de paricá. Provavelmente, apresentam menor porosidade e, conseqüentemente, menor permeabilidade, e menor penetrabilidade do adesivo nas lâminas de madeira.

5.1.2. Teor de lignina, extrativos e holocelulose

Os componentes químicos da madeira exercem grande influência sobre a qualidade dos produtos de madeira, podendo ser considerados fatores limitantes para determinados usos.

Na Tabela 3, são apresentados os valores médios dos teores de lignina, extrativos em etanol/tolueno e holocelulose, das lâminas de madeira de *Pinus elliottii* (pinus) e de *Schizolobium amazonicum* (paricá).

Tabela 3. Valores médios dos teores de lignina, extrativos solúveis em etanol/tolueno e holocelulose, das lâminas de madeira, em %, em função das espécies

Espécie	Lignina Klason (%)			Extrativos (%)	Holocelulose (%)
	Insolúvel	Solúvel	Total		
Pinus	27,8 a	0,3	28,1 b	1,5 b	70,4 a
Paricá	27,5 a	1,3	28,8 a	3,0 a	68,2 b

Médias seguidas de mesma letra minúscula ao longo da mesma coluna não diferem entre si pelo teste F com um nível nominal de significância de 5%.

O teor de lignina total diferiu em apenas 0,7% entre as espécies analisadas, no entanto, a diferença foi significativa, ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F. As lâminas de madeira de pinus, de maior massa específica, apresentaram menores teores de lignina total e de extrativos solúveis em etanol/tolueno.

Em relação ao teor de extrativos, de modo geral, não se observou nenhum indício de que as lâminas utilizadas na produção dos painéis, encontravam-se com as superfícies contaminadas, ocasião em que há migração dos extrativos da madeira para a sua superfície, impermeabilizando-a, prejudicando a penetração do adesivo. Ressalta-se que os adesivos à base de uréia-formaldeído são menos tolerantes às superfícies contaminadas, do que os adesivos alcalinos.

5.1.3. Capacidade tampão e pH

A Tabela 4 apresenta os valores médios de pH e de capacidade tampão ácida para as lâminas de madeira trabalhadas.

Tabela 4. Valores médios de pH e capacidade tampão ácida dos extratos das lâminas de *Pinus elliottii* e *Schizolobium amazonicum*

Espécie	Modo e tempo de extração	pH	Capacidade tampão ácida (mmol/L)
<i>P. elliottii</i>	Água quente – 20 min	3,51	0,547
	Água quente – 2 h	3,34	0,667
	Água fria – 24h	3,85	0,354
<i>S. amazonicum</i>	Água quente – 20min	3,82	0,556
	Água quente – 2h	3,68	0,643
	Água fria – 24h	4,42	0,321

Pela Tabela 4, verifica-se que o pH das lâminas de madeira de *Pinus elliottii* é ligeiramente menor que o das lâminas de *Schizolobium amazonicum*, para os três tempos de extração. Colli (2007) encontrou valor médio de pH igual a 4,88 para a madeira de *Schizolobium amazonicum*, após extrair 15 g de partículas secas, a 0% de umidade, em 150 mL de água destilada, por 30 minutos a 22°C.

A solubilização da madeira em água quente por 20 minutos é, provavelmente, a que melhor reflete o que ocorre durante a produção dos painéis compensados; quando num curto intervalo de tempo, a madeira é umectada pelo adesivo e aquecida. Durante a extração realizada a quente, por 2 horas, há maior solubilização dos extrativos, mostrando um caráter ainda mais ácido das lâminas de madeira. A solubilidade a frio mostra que poucos extrativos se solubilizam, à temperatura ambiente.

A capacidade tampão da madeira mostra a capacidade que a mesma apresenta para resistir à variação de pH do meio. A capacidade tampão ácida, assim como o valor pH, variou em função da espécie, do tempo e da temperatura de solubilização das partículas em água. A madeira de pinus apresentou maior capacidade tampão ácida, quando solubilizada por 2 horas em água quente, sob refluxo, mostrando maior aptidão para manter o pH constante quando da variação de pH do meio. Quando a solubilização das partículas em água quente foi realizada por 20 minutos, os valores de capacidade tampão ácida não variaram muito entre as espécies, sendo 0,547 mmol/L, para pinus, e 0,556 mmol/L, para paricá. Sob semelhantes condições, Xing et al. (2006) encontraram valores de capacidade tampão ácida de 0,408 mmol/L, para *Pinus resinosa*, e de 0,538 mmol/L, para *Pinus banksiana*.

5.2. Propriedades dos adesivos

5.2.1. Teor de sólidos

A análise de variância indicou que as adições do extensor e da carga tiveram efeitos significativos no teor de sólidos dos adesivos. Entretanto, não houve interação significativa entre os dois aditivos pelo teste F a 5% de probabilidade.

As variações do teor de sólidos, em função das porcentagens de extensor e de carga, são apresentadas nas Tabelas 5 e 6, respectivamente.

Tabela 5. Valores médios de teor de sólidos dos adesivos, em função da adição de extensor

Extensor (%)	TS (%)
10	58,01 a
0	57,92 ab
20	57,79 bc
30	57,66 c

Médias seguidas de mesma letra minúscula ao longo da coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

Tabela 6. Valores médios de teor de sólidos dos adesivos, em função da adição de carga

Carga (%)	TS (%)
0	58,37 a
10	58,32 a
20	57,68 b
30	57,01 c

Médias seguidas de mesma letra minúscula ao longo da coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

O teor de sólidos, que corresponde à porcentagem, em massa, do material não-volátil contido no adesivo, decresceu com a adição de extensor e de carga.

Esta redução do teor de sólidos se deve, provavelmente, à quantidade de água adicionada à uréia-formaldeído, na razão de 50% da quantidade de aditivo, e ao teor de umidade da carga e do extensor.

Embora haja diferença significativa entre os valores médios encontrados para o teor de sólidos dos adesivos, a variação foi apenas de 58,01 a 57,66%, quando se aumentou o teor de extensor, e de 58,37 a 57,01%, quando se aumentou o teor de carga; o que, em termos práticos, não tem influência expressiva na qualidade da linha de cola.

5.2.2. Viscosidade

A análise de variância indicou que as adições de extensor e de carga tiveram efeito na viscosidade dos adesivos. Houve interação significativa entre os dois aditivos pelo teste F a 5% de probabilidade. A variação da viscosidade, em função da porcentagem de carga e de extensor adicionada ao adesivo, é apresentada na Tabela 7.

Tabela 7. Valores médios de viscosidade dos adesivos, em função da adição de carga e de extensor

Carga (%)	Extensor (%)			
	0	10	20	30
0	947,5 Db	1.722,5 Cc	4.165,0 Bd	9.100,0 Ad
10	1.700,0 Db	3.800,0 Cbc	8.175,0 Bc	14.500,0 Ac
20	2.737,5 Db	5.990,0 Cb	15.412,5 Bb	28.875,0 Ab
30	5.350,0 Da	14.850,0 Ca	30.062,5 Ba	92.750,0 Aa

Médias ao longo das linhas seguidas de mesmas letras maiúsculas e ao longo das colunas seguidas de mesmas letras minúsculas não diferem significativamente entre si pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

Observa-se na Tabela 7 que a adição de extensor e de carga ao adesivo a base de uréia-formaldeído provocou aumento significativo da viscosidade. Os adesivos formulados sem extensor e com 0, 10 e 20% de carga não diferiram entre si, estatisticamente, pelo teste Tukey, ao nível de 5% de probabilidade. Entretanto, para os adesivos formulados com 20 e 30% de extensor, observa-se que o aumento do teor de carga resultou no aumento significativo da viscosidade.

Segundo Iwakiri (2005), os extensores devem manter a viscosidade do adesivo entre 4000 e 6500 cP, para que ele seja utilizado na produção de painéis compensados. Considerando este parâmetro, apenas as formulações contendo 20% de extensor; 20% de carga e 10% de extensor; e 30% de carga, seriam aplicáveis na indústria de painéis compensados.

Durante o desenvolvimento deste trabalho, observou-se que houve dificuldades para aplicação dos adesivos, com espátula, sobre as lâminas, para os tratamentos 8, 11, 12, 14, 15 e 16, compostos por mais de 30% de extensor e/ou carga. A viabilidade de utilização dos adesivos dependerá do modo de aplicação. A maioria das empresas que produz compensados utiliza o aplicador de rolos para a transferência do adesivo para a lâmina. Este equipamento possibilita a aplicação de adesivos com viscosidades variadas, sendo a gramatura controlada pela distância entre os rolos e a lâmina.

O aumento da viscosidade dos adesivos pode ter sido causado pelo aumento do tamanho de suas cadeias poliméricas, devido à ocorrência de algum tipo de ligação ou interação entre as moléculas de amido do extensor e da carga e as moléculas do adesivo uréia-formaldeído. O aumento do teor de amido na formulação do adesivo, também, pode, isoladamente, contribuir para o aumento da viscosidade, uma vez que o mesmo apresenta elevado peso molecular.

O acréscimo de farinha de trigo resultou em maior viscosidade relativa quando comparada com a farinha de babaçu. Provavelmente porque a farinha de trigo possui maior teor de amido (65 a 70%), quando comparado com a farinha de babaçu (55 a 62%).

5.2.3. Tempo de gelatinização

A análise de variância indicou que a adição do extensor e da carga teve efeito no tempo de gelatinização dos adesivos. Houve interação significativa entre os dois aditivos pelo teste F a 5% de probabilidade. Os valores médios de tempo de gelatinização, em função da porcentagem de carga e de extensor adicionados ao adesivo, são apresentados na Tabela 8.

Tabela 8. Valores médios de tempo de gelatinização dos adesivos, em segundos, em função da adição de carga e de extensor

Carga (%)	Extensor (%)			
	0	10	20	30
0	28 Cd	29 Cd	31 Bc	33 Ac
10	30 Cc	32 Bc	35 Ab	36 Ab
20	34 Cb	35 Cb	37 Ba	42 Aa
30	39 Aa	37 Ba	35 Cb	34 Cc

Médias ao longo das linhas seguidas de mesmas letras maiúsculas e ao longo das colunas seguidas de mesmas letras minúsculas não diferem significativamente entre si pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

Observa-se na Tabela 8 que, de modo geral, quanto maior a quantidade de extensor e de carga adicionada ao adesivo de uréia-formaldeído, maior o tempo de gelatinização, com exceção dos adesivos formulados com 30% de carga. Para estes, o tempo médio de gelatinização reduziu de 39 para 34 segundos, com o acréscimo do extensor; evidenciando que a adição de extensor aumenta a reatividade destes adesivos.

Tempo de gelatinização reduzido, associado à alta viscosidade dos adesivos não é uma condição muito adequada para a indústria de compensados, visto que pode ocorrer a pré-cura do adesivo antes que aconteçam as funções de movimento e mobilidade dos mesmos, acarretando a formação da linha de cola espessa.

Para os adesivos de baixa viscosidade, o movimento de penetração na estrutura porosa da madeira é mais rápido. Neste caso, a rápida gelatinização pode ser favorável para evitar a excessiva penetração do adesivo na madeira, além de reduzir o tempo de prensagem, sem danos à qualidade de colagem dos painéis compensados.

5.2.4. Tempo de trabalho

A análise de variância indicou que a adição de extensor e carga teve efeito no tempo de trabalho dos adesivos. Houve interação significativa entre o extensor e a carga pelo teste F a 5% de probabilidade.

A variação do tempo de trabalho, em função da porcentagem de carga e de extensor adicionados ao adesivo, é apresentada na Tabela 9.

Tabela 9. Valores médios de tempo de trabalho dos adesivos, em minutos, em função da adição de carga e de extensor

Carga (%)	Extensor (%)			
	0	10	20	30
0	31,13 Dd	48,75 Cd	70,29 Bd	94,76 Ad
10	63,91 Dc	84,82 Cc	111,76 Bc	125,03 Ac
20	73,18 Db	114,88 Ca	142,11 Ba	152,36 Aa
30	95,01 Da	108,34 Cb	128,53 Bb	147,75 Ab

Médias ao longo das linhas seguidas de mesmas letras maiúsculas e ao longo das colunas seguidas de mesmas letras minúsculas não diferem significativamente entre si pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

Nock & Richter (1978), citado por Moreira (1985), salientam que a vida útil ou tempo de utilização do adesivo, quase sempre, aumenta com a proporção de extensor. Esse comportamento foi observado, de modo significativo, neste experimento, tanto com o acréscimo de extensor, quanto com o acréscimo de carga; com exceção dos adesivos formulados com 30% de carga e 10, 20 ou 30% de extensor, que apresentaram menor tempo de trabalho, em relação aos adesivos produzidos com 20% de carga e 10, 20 ou 30% de extensor (Tabela 9).

Tempo de trabalho reduzido não é desejável ao processo de fabricação de painéis compensados, pois a rápida polimerização do adesivo à temperatura ambiente, pode ocasionar perda do painel antes deste ser levado à prensa. A adição de extensor e de carga, conforme observado, pode ser favorável para aumentar o tempo de trabalho, quando este for desejável. Neste experimento, o adesivo formulado apenas com a uréia-formaldeído apresentou um tempo de trabalho de 31,13 minutos; esse tempo chegou a 152,36 minutos para o adesivo formulado com 20% de carga e 30% de extensor.

5.2.5. pH

A análise de variância indicou que a adição do extensor e da carga teve efeito no pH dos adesivos. Houve interação significativa entre os dois aditivos pelo teste F a 5% de probabilidade.

A variação do pH, em função da porcentagem de carga e de extensor, adicionados ao adesivo, é apresentada na Tabela 10.

Tabela 10. Valores médios de pH, em função da adição de carga e de extensor

Carga (%)	Extensor (%)			
	0	10	20	30
0	4,63 Dc	4,82 Cb	4,99 Bb	5,11 Aa
10	4,78 Cb	4,86 Bb	4,99 Ab	5,01 Ab
20	4,86 Da	4,95 Ca	5,05 Ba	5,12 Aa
30	4,88 Da	4,96 Ca	5,05 Ba	5,10 Aa

Médias ao longo das linhas seguidas de mesmas letras maiúsculas e ao longo das colunas seguidas de mesmas letras minúsculas não diferem significativamente entre si pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

A adição do sulfato de amônia (catalisador) reduziu o pH do adesivo de uréia-formaldeído puro de 6,85 para 4,64. Através da Tabela 10, no entanto, pode-se observar que, aumentando a quantidade de carga e de extensor na formulação do adesivo, ocorre aumento do pH, exceto para as formulações com 30% de extensor. Observa-se, também, que as formulações contendo 20 e 30% de carga não diferiram entre si, sendo estas diferentes das demais, com exceção do adesivo com 30% de extensor.

O aumento no pH dos adesivos foi maior quando se adicionou o extensor evidenciando o caráter mais básico da farinha de trigo, tendo os produzidos com 30% de extensor maior pH.

Segundo Moreira (1985), para os adesivos à base de uréia-formaldeído, quanto mais ácida a solução do adesivo, mais rápida será a cura. Isso é evidenciado neste trabalho quando se comparou a variação do tempo de gelatinização e do tempo de trabalho e a variação do pH. De modo geral, quanto menor a quantidade de extensor e de carga adicionada, menor foi o pH, o tempo de trabalho e o tempo de gelatinização, ou seja, maior a reatividade do adesivo, tanto a 150°C quanto à temperatura ambiente.

5.2.6. Massa específica

A análise de variância indicou que a adição do extensor e da carga teve efeito na massa específica dos adesivos. Houve interação significativa entre os dois aditivos pelo teste F a 5% de probabilidade.

A variação da massa específica, em função da porcentagem de carga e de extensor, adicionados ao adesivo, é apresentada na Tabela 11.

Tabela 11. Valores médios de massa específica do adesivo, em função da adição de carga e de extensor

Carga (%)	Extensor (%)			
	0	10	20	30
0	1,25 Aa	1,23 Ba	1,23 Ba	1,23 Ba
10	1,19 Bb	1,23 Aa	1,22 Aab	1,22 Aab
20	1,18 Cb	1,23 Aa	1,22 ABab	1,21 Bb
30	1,19 Bb	1,22 Aa	1,21 Ab	1,21Ab

Médias ao longo das linhas seguidas de mesmas letras maiúsculas e ao longo das colunas seguidas de mesmas letras minúsculas não diferem significativamente entre si pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

De acordo com a Tabela 11, observa-se que o valor de massa específica encontrado para o adesivo uréia-formaldeído puro (Tratamento 1) foi de 1,25g/cm³, valor aproximado do fornecido pelo Boletim Técnico da Borden Química (2007), que indica uma possível variação de massa específica entre 1,28 e 1,30g/cm³.

Os valores mais baixos de massa específica foram obtidos para os adesivos formulados sem extensor, com exceção do adesivo de uréia-formaldeído puro. Os demais adesivos apresentaram valores de massa específica muito semelhantes; embora o teste Tukey, a 5% de probabilidade, tenha indicado, para alguns adesivos, diferenças significativas.

De modo geral, a variação de massa específica, devido à adição de carga, também foi pequena, chegando a ser não significativa para os adesivos produzidos com 10% de extensor. Para os produzidos com 20 e 30% de extensor, ocorreu um decréscimo da massa específica do adesivo, promovido pela adição de carga.

5.2.7. Análise por Calorimetria Diferencial Exploratória (DSC)

5.2.7.1. Análise das curvas

Para interpretação dos dados obtidos por DSC, separou-se o termograma em três regiões distintas, conforme pode ser observado na Figura 3.

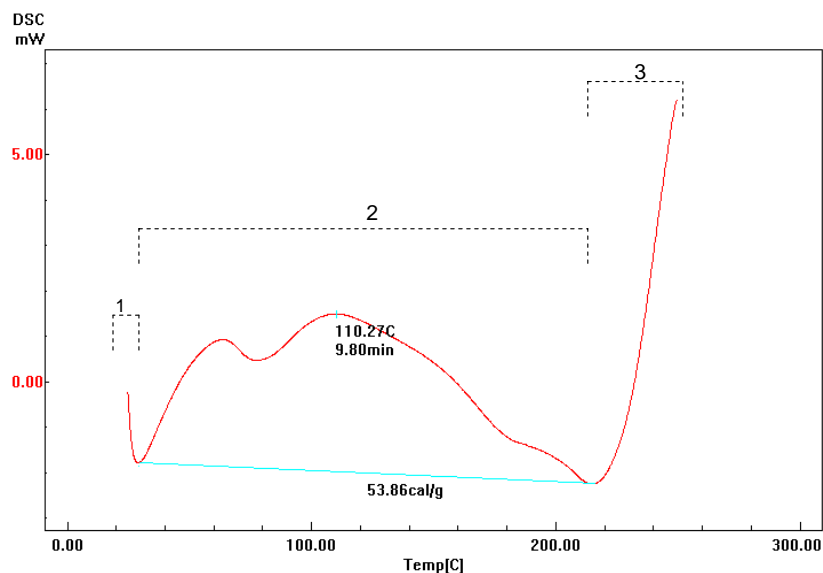


Figura 3. Termograma do adesivo uréia-formaldeído puro.

Na região 1, observa-se um acentuado desvio endotérmico da linha de base, associado por Mothé & Azevedo (2002), à diferença na capacidade calorífica entre a cápsula que contém a amostra e a cápsula referência, uma vez que tal propriedade é diretamente proporcional à massa. Além disso, a esta região podem estar associados os ganhos energéticos necessários à formação dos intermediários instáveis da reação (energia de ativação).

Na região 2, observa-se uma banda larga de caráter exotérmico, região característica de cura de adesivo termofixo, e também a existência de dois picos, possivelmente, devido a dois diferentes estágios de polimerização do adesivo à base de uréia e formaldeído. Minopoulou et al. (2003) usaram técnicas espectroscópicas de infravermelho próximo (NIR) e espectroscopia Raman para estudar a estrutura dos adesivos uréia-formaldeído e concluíram que os adesivos preparados em pH 6,5-7,5 consistem basicamente de “*monometilolureia*” e “*dimetilolureia*”. Desse modo, provavelmente, esta é a composição do adesivo utilizado nesta pesquisa, uma vez que o pH inicial da uréia-formaldeído era de 6,85, antes da adição de catalisador.

A região 3 evidencia o fim do processo de cura e início da degradação do adesivo.

Conforme Atkins & De Paula (2008), a área do pico associado a região 2, apresentada no termograma da Figura 3, corresponde à variação de entalpia do processo exotérmico. A temperatura de pico corresponde ao ponto mais alto desta curva no termograma. Os

termogramas obtidos para os demais tratamentos encontram-se no Anexo B. Os parâmetros cinéticos, obtidos para as diferentes formulações, estão apresentados na Tabela 12.

Tabela 12. Parâmetros cinéticos das diferentes formulações em função do percentual de extensor e carga, obtidos através da análise por Calorimetria Diferencial Exploratória, à taxa de 10°C/min

Tratamentos	Carga (%)	Extensor (%)	Varição de Entalpia (cal/g)	Temperatura de pico (°C)
1	0	0	53,86	110,27
2	0	10	62,85	114,12
3	0	20	70,68	114,66
4	0	30	77,47	117,64
5	10	0	66,75	112,92
6	10	10	71,12	115,81
7	10	20	72,31	119,47
8	10	30	80,12	120,20
9	20	0	73,31	116,67
10	20	10	76,78	118,94
11	20	20	78,41	121,63
12	20	30	85,33	122,42
13	30	0	68,61	118,60
14	30	10	68,36	119,33
15	30	20	83,34	121,69
16	30	30	81,26	137,89

5.2.7.2. Variação de entalpia

A variação de entalpia foi obtida através do cálculo da área do pico associado. O software não distingue se o ganho energético se deu na amostra ou na cápsula de referência; por essa razão, os valores apresentados na Figura 4 estão em valores absolutos, embora a variação de entalpia de um evento exotérmico seja negativa.

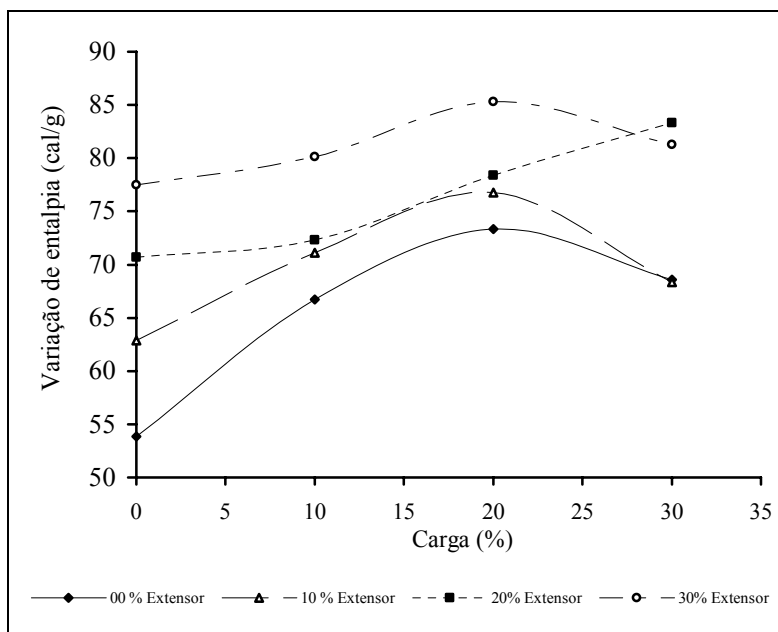


Figura 4. Variação de entalpia do adesivo em função da porcentagem carga, para cada porcentagem de extensor.

Analisando-se o comportamento dos diferentes adesivos, observa-se que, exceto para as formulações contendo 30% de carga e 0, 10 ou 30% de extensor, houve um aumento da variação de entalpia com a adição de carga para diferentes porcentagens de adição de extensor.

De acordo com as Figuras do Anexo B (1B a 16B), nota-se que o aumento da variação de entalpia está relacionado com um aumento na largura do pico de polimerização, evidenciando maior tempo de prensagem e energia gasta para fabricação do compensado. Garro-Galvez et al. (1996), no entanto, ao encontrar valores de 1,92cal/g para um adesivo modificado à base de fenol-formaldeído, atribuíram a esse pequeno valor uma evidência de que a reação de polimerização não acontecia eficientemente sob aquelas condições. Bacelar (2001) relacionou os altos valores de variação de entalpia com uma maior eficiência nas policondensações características da cura.

Para obter informações conclusivas acerca dos melhores valores de variação de entalpia, faz-se necessária uma melhor compreensão dos mecanismos envolvidos nas reações de cura de adesivos uréia-formaldeído com extensores e/ou carga. A comparação das reações que possivelmente envolvem mecanismos distintos por variação energética (visto que foram utilizadas diferentes composições), não pode ser indicativa quanto ao grau de extensão da

reação, pois os reagentes e produtos formados podem se encontrar em diferentes níveis energéticos em cada composição; as reações podem diferir quanto aos tipos de ligações rompidas e formadas, liberando mais ou menos energia em tempos distintos, mesmo que a reação esteja completa (CASTRO, 2008).

Pelo dendrograma da Figura 5 constata-se que existe dissimilaridade entre os adesivos, confirmando o efeito dos tratamentos sobre eles. O adesivo uréia-formaldeído puro (Tratamento 1) foi o que apresentou maior dissimilaridade, indicando o efeito dos aditivos.

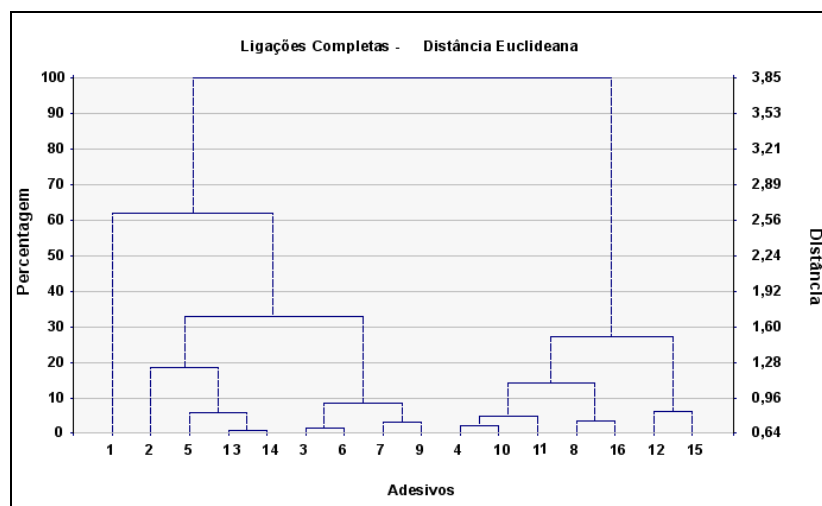


Figura 5. Dendrograma construído a partir das distâncias euclidianas padronizadas para a variação de entalpia dos adesivos à base de uréia-formaldeído, formulados com diferentes proporções de carga e extensor.

Através do dendrograma acima, observa-se que houve formação de dois grandes grupos: um formado, na sua maioria, pelos adesivos compostos por até 20% de aditivo, e o outro, formado por aqueles que contêm mais de 30% de aditivos na formulação (carga e extensor).

Ressalta-se que, com exceção do adesivo referente ao tratamento 14, os adesivos do primeiro grupo, que apresentaram menor variação de entalpia, correspondem aos adesivos com viscosidade abaixo de 9100 cP.

5.2.7.3. Temperatura de pico

A temperatura de pico dos adesivos variou de forma diretamente proporcional à quantidade de aditivos presentes na mistura adesiva, independente da adição de carga e de extensor.

Os resultados obtidos para a temperatura de pico evidenciam que, quanto menor a quantidade de aditivos, menor será o gasto de energia no processo de prensagem, pois a temperatura ideal de trabalho da prensa será menor. Esse comportamento da temperatura pode evidenciar, que a farinha de babaçu apresenta características semelhantes à farinha de trigo, do ponto de vista termodinâmico nas reações de cura envolvidas.

Pelo dendrograma da Figura 6 constata-se baixa dissimilaridade entre os adesivos, contendo o mesmo percentual de aditivo na sua formulação, mostrando efeito do aumento da adição de carga e/ou extensor na formulação.

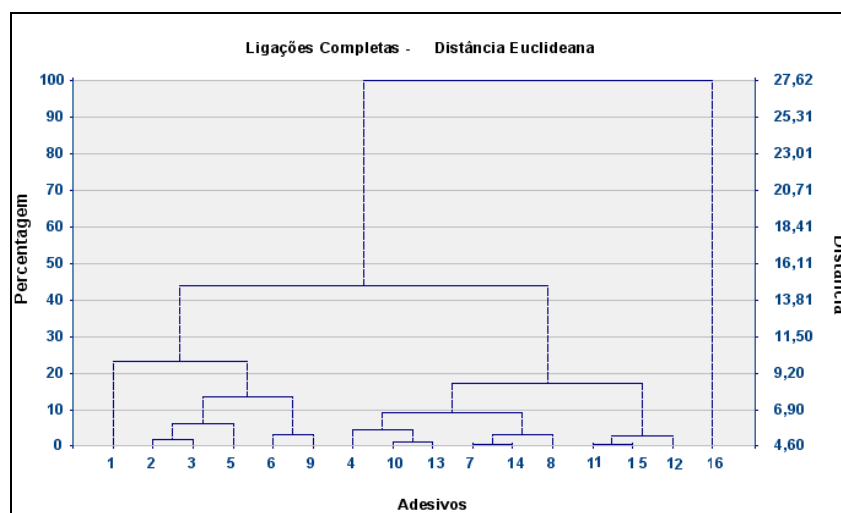


Figura 6. Dendrograma construído a partir das distâncias euclidianas padronizadas para o parâmetro cinético temperatura de pico dos adesivos à base de uréia-formaldeído formulados com diferentes proporções de carga e extensor.

Observa-se, também, que houve a formação de um grande grupo, onde apenas o adesivo referente ao tratamento 16, composto por 60% de aditivo, apresentou maior dissimilaridade dentre os demais. A alta temperatura de pico apresentada por este adesivo se deve, provavelmente, à grande quantidade de amido, de alto peso molecular, presente nos aditivos, que pode estar retardando a cura trazendo, como consequência, o aumento na temperatura de pico.

5.2.7.4. Energia de ativação

Os valores de energia de ativação para os adesivos que apresentaram viscosidade abaixo de 9100cP, submetidos às análises calorimétricas nas taxas de 5, 10 e 15°C/min, encontram-se na Tabela 13.

Tabela 13. Valores de energia de ativação, obtidos em função dos teores de carga e extensor

Tratamentos	Carga (%)	Extensor (%)	Energia de ativação (Kcal/mol)
3	0	20	10,21
4	0	30	11,11
7	10	20	11,35
1	0	0	11,40
10	20	10	11,80
9	20	0	13,05
5	10	0	13,37
2	0	10	13,70
6	10	10	14,46
13	30	0	15,44

Ao contrário do observado com a temperatura de pico, não houve relação direta entre a variação da energia de ativação e a quantidade de extensor ou carga, adicionada ao adesivo à base de uréia-formaldeído. Verifica-se, na Tabela 13, que o acréscimo de extensor promoveu uma redução da energia de ativação, indicando menor gasto de energia para o início das reações de polimerização.

Possivelmente, a adição de extensor levou o pH do adesivo a um valor mais adequado para ocorrência das reações de condensação, características da cura do adesivo uréia-formaldeído; como consequência, observou-se a redução da energia necessária para iniciar as reações.

Na Tabela 10, que apresenta os valores médios de pH, em função das porcentagens de adição de carga e de extensor, nota-se que os adesivos, referentes aos tratamentos 3 (20% de extensor), 4 (30% de extensor) e 7 (10% de carga e 20% de extensor), apresentam os maiores valores de pH, considerando apenas os adesivos de viscosidade menor que 9100 cP; Estes três adesivos não diferiram, estatisticamente, dos tratamentos 8, 12 e 16. Entretanto, estes últimos não foram submetidos às análises calorimétricas nas taxas de 5, 10 e 15°C/min, devido à elevada viscosidade.

Com exceção do adesivo referente ao tratamento 10, a análise multivariada (Figura 7) dividiu os adesivos em dois grupos para a energia de ativação. No primeiro grupo, os adesivos apresentam energia de ativação menor ou igual ao adesivo referente ao tratamento 1 e, no segundo grupo, estão os adesivos de maior energia de ativação.

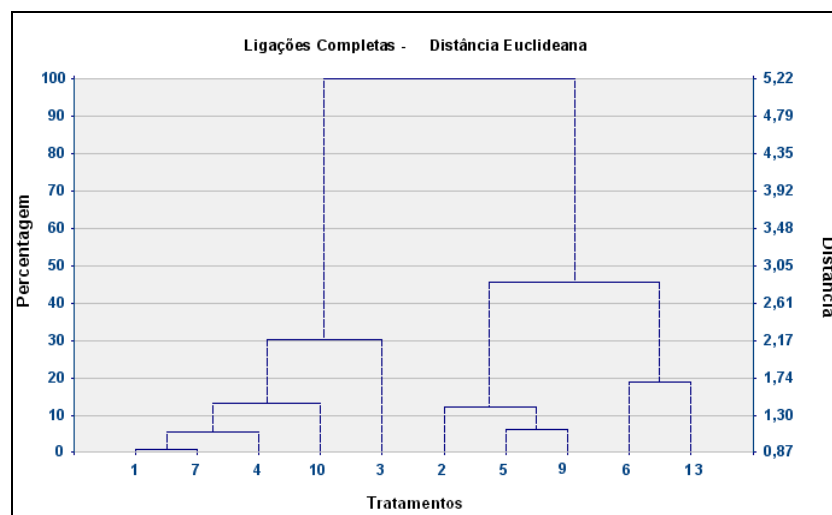


Figura 7. Dendrograma construído a partir das distâncias euclidianas padronizadas para o parâmetro cinético energia de ativação dos adesivos à base de uréia-formaldeído, formulados com diferentes proporções de carga e extensor.

O adesivo 1 (uréia-formaldeído puro) apresentou maior similaridade com o adesivo 7 (contendo 10% de carga e 20% de extensor). Consta-se, também, que os tratamentos 3, 4 e 7 apresentaram menores valores de energia de ativação, quando comparados ao adesivo sem aditivos, referente ao tratamento 1 (Tabela 6). Estes tratamentos apresentam, inclusive, valores menores que o valor de 12,29 kcal/mol, obtido por Carneiro (2006), para amostras comerciais do adesivo uréia-formaldeído. Este comportamento evidencia que tais tratamentos reduzem a barreira energética para início das reações de cura agindo, desta forma, semelhantemente a um catalisador.

5.3. Propriedades físicas dos painéis compensados

5.3.1. Massa específica aparente

Segundo Kollmann et al. (1975), a massa específica do compensado depende da espécie de madeira, umidade das lâminas, temperatura e pressão de prensagem, utilizadas na manufatura; é cerca de 5% maior do que a da madeira original, quando não são aplicadas pressões elevadas.

De acordo com Guimarães Júnior (2008), o uso de temperatura na prensagem provoca o amolecimento da lignina, resultando em redução da resistência à compressão perpendicular às fibras; a pressão de prensagem ocasiona uma compactação devido à redução dos espaços vazios das células, que compõem a madeira. Como resultado prático, há redução da espessura das lâminas individuais e do compensado em relação à madeira que o originou, além de conferir

tensões internas que ficam retidas no painel, após a prensagem. O painel gerado apresenta, portanto, maior massa específica que aquela apresentada pela madeira que o originou.

As massas específicas aparentes dos painéis fabricados com as duas espécies estudadas diferem entre si estatisticamente pelo teste F, como evidencia a Tabela 14. Os painéis de pinus apresentaram maior massa específica aparente quando comparados aos painéis de paricá.

Tabela 14. Valores médios de massa específica aparente, em g/cm³, dos painéis fabricados com as diferentes espécies

Espécie	Média
Pinus	0,75 a
Paricá	0,51 b

Médias seguidas de mesma letra minúscula ao longo da coluna, não diferem entre si pelo teste F com um nível nominal de significância de 5%.

Comparando os valores de massa específica dos painéis com a massa específica das lâminas, observa-se um aumento considerável desta propriedade, devido, provavelmente, à elevada temperatura e pressão utilizadas no processo de fabricação do compensado, bem como a massa de adesivo na linha de cola.

A massa específica aparente dos painéis de pinus foi 15% maior que a das lâminas de madeira que o originou, para os painéis de paricá, a massa específica aparente aumentou 55%, uma vez que a massa específica da madeira de paricá foi de 0,33g/cm³.

As massas específicas aparentes dos painéis produzidos, com diferentes proporções de extensor, diferem entre si estatisticamente pelo teste F, como evidencia a Tabela 15. As adições de carga, ao contrário, não apresentaram efeito significativo para esta propriedade.

Tabela 15. Valores médios de massa específica aparente, em g/cm³, em função dos teores de extensor

Extensor (%)	Massa específica aparente (g/cm ³)
0	0,65 a
10	0,63 ab
20	0,62 b
30	0,62 b

Médias seguidas de mesma letra minúscula ao longo da coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

O acréscimo de extensor, provavelmente, causou um aumento da espessura da linha de cola, e conseqüentemente, um aumento do volume total do painel, o que resultou na redução da massa específica aparente dos painéis compensados, independentemente da espécie e da quantidade de carga adicionada à formulação do adesivo.

Não houve diferenças significativas entre as massas específicas dos painéis produzidos com adesivos formulados com 10, 20 e 30% de extensor.

5.3.2. Absorção de água

A absorção de água é influenciada, dentre outros fatores, pela massa específica e, consequentemente, pela porosidade da madeira. Tsoumis (1991) afirmou que quanto maior a massa específica, menor é o teor de umidade de saturação. Isso se confirma com os resultados obtidos neste estudo para as duas espécies (Tabela 16), em que o compensado de paricá, espécie de menor massa específica, apresentou maior absorção de água. Este fato pode ser explicado pelo maior volume de espaços vazios na estrutura da madeira, possibilitando a entrada de água livre.

Tabela 16. Valores médios de absorção de água dos compensados, em porcentagem, em função das espécies

Espécie	Média
Paricá	63,46 a
Pinus	43,11 b

Médias seguidas de mesma letra minúscula ao longo da coluna, não diferem entre si pelo teste F com um nível nominal de significância de 5%.

A absorção de água também está relacionada à liberação das tensões provocadas pelo processo de fabricação dos compensados, quando elevadas temperatura e pressão lhe são aplicadas. Quando o compensado absorve água, ocorre um inchamento em espessura devido à água de impregnação, que é adsorvida na parede celular, e à liberação destas tensões.

Segundo Kollmann & Schneider (1963), a utilização de altas temperaturas na secagem das lâminas reduz a capacidade de sorção dos painéis. No entanto, ressalta-se que o uso de altas temperaturas de secagem de lâminas não é viável, pois causa empenamentos e fissuras nas superfícies das lâminas.

Além da massa específica da madeira e das tensões liberadas durante a umectação dos painéis, o tipo de adesivo, e a adição de extensores e cargas influenciam a absorção de água pelos painéis de madeira compensada. Os valores médios de absorção de água dos compensados, em porcentagem, em função dos teores de farinha de trigo (extensor) e dos teores de farinha de babaçu (carga) são apresentados nas Tabelas 17 e 18, respectivamente.

Tabela 17. Valores médios de absorção de água dos compensados, em porcentagem, em função dos teores de extensor

Extensor (%)	Absorção (%)
30	55,83 a
20	53,65 a
10	53,61 a
0	50,04 b

Médias seguidas de mesma letra minúscula ao longo da coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

Tabela 18. Valores médios de absorção de água dos compensados, em porcentagem, em função dos teores de carga

Carga (%)	Absorção (%)
30	54,43 a
10	54,06 a
20	53,79 ab
0	50,86 b

Médias seguidas de mesma letra minúscula ao longo da coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

Como se pode observar nas Tabelas 17 e 18, a adição de carga e de extensor, ao adesivo uréia-formaldeído puro, resultou no aumento da absorção de água pelos painéis compensados. No entanto, não houve diferença significativa, para absorção de água, entre os painéis com 10, 20 e 30% de aditivo (carga ou extensor).

Nock & Richter (1978), citado por Moreira (1985), mencionam que a adição de extensores, principalmente à base de amido, aumenta a capacidade da linha de cola em absorver água; conseqüentemente há uma diminuição da resistência da linha de cola à umidade e um aumento, simultâneo, da suscetibilidade ao ataque de fungos.

Conforme mencionado acima, o aumento da absorção de água dos painéis produzidos foi promovido, provavelmente, pelo alto teor de amido. A farinha de trigo e a farinha de babaçu apresentam, em média, de 65 a 70% e de 55 a 62% de amido, respectivamente.

5.3.3. Umidade de equilíbrio

A umidade de equilíbrio higroscópico da madeira e derivados de madeira varia de acordo com a temperatura e a umidade relativa do ar. As altas temperaturas empregadas durante a secagem das lâminas e a prensagem a quente dos painéis, podem reduzir sua capacidade de sorção e, conseqüentemente, a umidade de equilíbrio dos painéis.

Os valores médios de umidade de equilíbrio dos painéis de pinus (10,13%) e de paricá (10,21%) não diferiram entre si pelo teste F, ao nível de 5% de probabilidade (Anexo A). Entretanto, houve interação significativa entre as espécies e os teores de carga e de extensor (Tabelas 19 e 20), pelo teste Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 19. Valores médios de umidade após equilíbrio a 20±1°C e 65±5% de umidade relativa, em porcentagem, dos compensados, em função da espécie e dos teores de extensor

Espécie	Extensor (%)			
	0	10	20	30
Paricá	10,09 Aba	9,99 Ba	10,23 ABa	10,54 Aa
Pinus	10,29 Aa	10,25 Aa	9,92 Aa	10,04 Ab

Médias ao longo das linhas seguidas de mesmas letras maiúsculas e ao longo das colunas seguidas de mesmas letras minúsculas não diferem significativamente entre si pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

Através da Tabela 19, observa-se que, para os diferentes níveis de extensor, houve diferença estatística apenas entre o painel de pinus produzido com o adesivo formulado com 30% de extensor e o painel de paricá produzido com a mesma formulação.

Para os painéis de paricá, a adição de 30% de extensor provocou o aumento da umidade de equilíbrio. Entretanto, o valor médio obtido com esta formulação adesiva somente diferiu, estatisticamente, do adesivo com 10% de extensor. Para os painéis produzidos com lâminas de pinus, não houve efeito significativo do extensor na umidade de equilíbrio.

Na Tabela 20, são apresentados os valores médios de umidade de equilíbrio dos painéis de pinus e de paricá, em função dos teores de carga. Observa-se que houve diferença significativa apenas entre o painel de pinus produzido com o adesivo formulado com 30% de carga e os demais painéis. Tendo, o mesmo, apresentado o menor valor médio de umidade de equilíbrio dos painéis (9,51%).

Tabela 20. Valores médios de umidade após equilíbrio a $20\pm 1^\circ\text{C}$ e $65\pm 5\%$ de umidade relativa, em porcentagem, dos compensados, em função da espécie e dos teores de carga

Espécie	Carga (%)			
	0	10	20	30
Paricá	10,16 Aa	10,27 Aa	10,19 Aa	10,23 Aa
Pinus	10,34 Aa	10,39 Aa	10,26 Aa	9,51 Bb

Médias ao longo das linhas seguidas de mesmas letras maiúsculas e ao longo das colunas seguidas de mesmas letras minúsculas não diferem significativamente entre si pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

Os valores médios de umidade de equilíbrio dos compensados, em porcentagem, em função dos teores de farinha de babaçu (carga) e farinha de trigo (extensor) são apresentados na Tabela 21.

Tabela 21. Valores médios de umidade após equilíbrio a $20\pm 1^\circ\text{C}$ e $65\pm 5\%$ de umidade relativa, em porcentagem, dos compensados, em função dos teores de carga e extensor

Carga (%)	Extensor (%)			
	0	10	20	30
0	10,10 Aa	10,24 Aab	9,99 Aa	10,67 Aa
10	10,60 Aa	10,04 Aab	10,28 Aa	10,41 Aab
20	10,22 Aa	10,59 Aa	10,01 Aa	10,08 Aab
30	9,83 Ab	9,61 Ab	10,03 Aa	10,00 Ab

Médias ao longo das linhas seguidas de mesmas letras maiúsculas e ao longo das colunas seguidas de mesmas letras minúsculas não diferem significativamente entre si pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

Nota-se, na Tabela 21, que não houve diferença significativa entre os quatro níveis de extensor, para a umidade de equilíbrio higroscópico dos painéis, independente do percentual de carga adicionada. Entretanto, observa-se que a adição de 30% de carga resultou nos menores valores médios de umidade de equilíbrio dos painéis; com exceção dos adesivos formulados

com 20% de extensor. Para estes, não houve diferença significativa entre os valores médios de umidade de equilíbrio dos painéis.

O teste Tukey, ao nível de 5% de probabilidade, indicou diferenças significativas, como se observa nas Tabelas 19, 20 e 21, entretanto, estas diferenças não são relevantes quando se trata da utilização destes painéis nas indústrias ou, até mesmo, a nível de laboratório.

Os valores médios da umidade de equilíbrio dos compensados são semelhantes aos encontrados na literatura. Kollmann et al. (1975), com base em ensaios com compensados produzidos por diferentes fabricantes, mencionaram que o teor de umidade desses painéis, variou de 7,3 a 12,7%, após serem armazenados à umidade de 65% e temperatura de 20°C.

5.3.4. Inchamento em espessura

Os painéis produzidos com lâminas de pinus obtiveram inchamento em espessura, significativamente maior, com média de 10,67%, em relação aos produzidos com lâminas de paricá, que, em média, apresentaram inchamento em espessura de 4,10%.

Iwakiri et al. (2001) encontraram, para painéis produzidos com uréia-formaldeído, valores médios de inchamento em espessura de 7,09% para a espécie *Pinus oocarpa* e de 5,06%, para *Pinus caribaea*. Estes valores foram considerados satisfatórios quando comparados ao inchamento do *Pinus taeda*, utilizado comercialmente.

Os resultados de inchamento em espessura dos painéis compensados, de acordo com o acréscimo de carga ou de extensor ao adesivo a base de uréia-formaldeído, são apresentados na Tabela 22.

Tabela 22. Valores médios de inchamento em espessura dos compensados, em porcentagem, em função dos teores de carga e extensor

Carga (%)	Extensor (%)			
	0	10	20	30
0	7,47 Aa	6,92 Aab	7,51 Aa	8,16 Aa
10	7,76 Aa	6,48 ABb	7,13 ABa	6,03 Bb
20	6,72 Ba	7,11 Aab	7,76 ABa	8,17 Aa
30	8,05 Aa	7,87 Aa	7,36 Aa	7,66 Aa

Médias ao longo das linhas seguidas de mesmas letras maiúsculas e ao longo das colunas seguidas de mesmas letras minúsculas não diferem significativamente entre si pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

De modo geral, o inchamento em espessura dos painéis não foi afetado pela adição de extensor ou de carga à formulação adesiva. Os painéis formulados com 0% e 20% de extensor e diferentes teores de carga não diferiram entre si. Já para os painéis formulados com 10% e 30% de extensor, a adição de 10% de carga resultou em menores valores médios de inchamento em espessura dos painéis.

A baixa variação dimensional dos painéis lhes confere maior qualidade e, conseqüentemente, valor agregado, pois possibilita seu uso em ambientes expostos a constante variação de temperatura e umidade.

5.3.5. Recuperação em espessura

Para a propriedade recuperação em espessura dos painéis, houve interação significativa, pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade, entre os teores de extensor e as espécies de paricá e de pinus e, ainda, entre os teores de carga e os de extensor.

Na Tabela 23, são apresentados os valores médios de recuperação em espessura dos painéis de pinus e de paricá, em função dos teores de extensor.

Tabela 23. Valores médios de recuperação em espessura dos compensados, em porcentagem, em função das espécies e dos teores de extensor

Espécie	Extensor (%)			
	0	10	20	30
Paricá	3,15 Aa	3,37 Aa	2,59 Aa	2,93 Aa
Pinus	2,73 Aa	2,43 Ab	3,09 Aa	2,89 Aa

Médias ao longo das linhas seguidas de mesmas letras maiúsculas e ao longo das colunas seguidas de mesmas letras minúsculas não diferem significativamente entre si pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

Observa-se que houve diferença estatística apenas entre os painéis de pinus e de paricá, produzidos com o adesivo formulado com 10% de extensor.

Na Tabela 24 apresentam-se os resultados de recuperação em espessura de acordo com o acréscimo de carga ou de extensor ao adesivo a base de uréia-formaldeído.

Tabela 24. Valores médios de recuperação em espessura dos compensados, em porcentagem, em função dos teores de carga e extensor

Carga (%)	Extensor (%)			
	0	10	20	30
0	2,95 Aab	2,20 Ab	2,72 Aa	3,09 Aa
10	2,08 Bb	3,65 Aa	2,92 ABa	3,01 ABa
20	3,24 Aab	3,26 Aab	2,61 Aa	2,72 Aa
30	3,48 Aa	2,56 Aab	3,11 Aa	2,81 Aa

Médias ao longo das linhas seguidas de mesmas letras maiúsculas e ao longo das colunas seguidas de mesmas letras minúsculas não diferem significativamente entre si pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

A adição de diferentes porcentagens de carga não teve efeito significativo para a recuperação em espessura dos painéis compensados, produzidos com adesivos de 20 e 30% de extensor. A adição de diferentes porcentagens de extensor a formulação adesiva não ocasionou

efeito significativo na recuperação em espessura dos painéis compensados, exceto para aqueles produzidos apenas com 10% de carga.

Apesar de estatisticamente significativas, as diferenças encontradas entre os valores médios de recuperação em espessura dos painéis não apresentam relevância em termos práticos; inclusive para os adesivos formulados com 10% de carga e diferentes porcentagens de extensor e para os formulados com 0 e 10% de extensor e diferentes porcentagens de carga.

Os painéis fabricados com adesivos resistentes à umidade, como fenol-formaldeído e melamina-formaldeído, apresentam, normalmente, menores valores de recuperação em espessura.

Iwakiri et al. (2001), utilizando fenol-formaldeído para colagem de cinco lâminas de painéis compensados, encontraram valores médios de recuperação em espessura de 1,58% (*Pinus oocarpa*) e de 0,79% (*Pinus caribaea*). Quando utilizaram uréia-formaldeído, que possui hidrogênio livre, capaz de se ligar às moléculas de água, no entanto, encontraram valores médios de recuperação em espessura de 2,60% e de 2,86%, respectivamente. Estes valores são próximos aos encontrados neste estudo para os painéis de três lâminas de *Schizolobium amazonicum* (3,01%) e de *Pinus elliottii* (2,78%).

Para os painéis de pinus, o menor valor de recuperação em espessura (1,65%) foi obtido para aqueles produzidos com adesivos contendo 10% de carga, e o maior (3,96%), referente aos adesivos produzidos com 20% de carga.

Nos painéis de paricá, a menor recuperação em espessura foi de 1,88%, referente ao adesivo com 20% de extensor, e o maior (4,47%), obtido em painéis produzidos com adesivo contendo 20% de carga e 10% de extensor.

5.4. Propriedades mecânicas dos painéis compensados

5.4.1. Resistência da linha de cola ao cisalhamento – condição seca

Segundo Iwakiri (2005), o desempenho da linha de cola é uma consequência da composição do adesivo, mediado pela madeira em ambas as faces da linha de cola. Quanto menor a massa específica da lâmina de madeira, menos tensões serão exigidas da linha de cola. Isto explica, em parte, a menor resistência da linha de cola ao esforço do cisalhamento apresentada pelos painéis de *Pinus elliottii* (Tabela 25).

Tabela 25. Valores médios de resistência ao cisalhamento na condição seca, em kgf/cm², em função das espécies

Espécie	Média
Paricá	17,54 a
Pinus	16,92 b

Médias seguidas de mesma letra minúscula ao longo da coluna, não diferem entre si pelo teste F com um nível nominal de significância de 5%.

Outra explicação seria dada pela teoria mecânica de adesão. A madeira de pinus, comparada à de paricá, apresentou maior massa específica e, provavelmente, menor porosidade, prejudicando as ações de mobilidade do adesivo e o processo de ancoragem da linha de cola nas lâminas adjacentes. Em contrapartida, a maior resistência obtida nos painéis produzidos com paricá pode ter sido ocasionada pela sua menor massa específica, que facilitou o umedecimento da estrutura submicroscópica da madeira pelo adesivo.

É importante ressaltar que, durante o ensaio de cisalhamento, observou-se elevada porcentagem de falha da madeira na região do lenho inicial nos corpos-de-prova de pinus, o que exemplifica a maior fragilidade das células nesta região dos anéis de crescimento.

Na Tabela 26 são apresentados os valores médios de resistência ao cisalhamento na condição seca, para diferentes porcentagens de carga e de extensor.

Tabela 26. Valores médios de resistência ao cisalhamento na condição seca, em kgf/cm², em função dos teores de carga e extensor

Carga (%)	Extensor (%)			
	0	10	20	30
0	18,26 Aa	15,59 Ba	18,11 Aa	18,16 Aa
10	17,78 Aa	16,78 Aa	18,19 Aa	16,43 Aa
20	17,69 Aa	16,99 ABa	15,34 Bb	17,06 ABa
30	17,49 Aa	17,42 Aa	17,89 Aa	16,52 Aa

Médias ao longo das linhas seguidas de mesmas letras maiúsculas e ao longo das colunas seguidas de mesmas letras minúsculas não diferem significativamente entre si pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

De modo geral, a adição de carga ao adesivo de uréia-formaldeído, para diferentes quantidades de extensor, não teve efeito significativo na resistência ao cisalhamento na condição seca. Observou-se, entretanto, uma exceção para painéis produzidos com o adesivo formulado com 20% de carga e 20% de extensor; provavelmente, pela heterogeneidade das lâminas, uma vez que as principais propriedades desta formulação adesiva estão em conformidade com as demais.

A adição de extensor não afetou, de forma significativa, a resistência ao cisalhamento da linha de cola, para os adesivos formulados com 10 e 30% de carga. Para os painéis produzidos com adesivos formulados sem carga, a adição de 10% de extensor provocou uma queda na resistência ao cisalhamento. Essa redução, provavelmente, se deve, também, a heterogeneidade das lâminas.

Moreira (1985), estudando extensores alternativos que, misturados à uréia-formaldeído, fornecessem propriedades e eficiência fornecida pelo trigo, verificou que, de modo geral, o acréscimo de extensor não provocou acentuadas diferenças nos resultados de resistência ao cisalhamento na condição seca. Em contrapartida, com relação ao ensaio úmido ocorreu uma pequena diferença entre as misturas estudadas, tanto para a resistência ao cisalhamento como para a falha da madeira.

Steller (1970), citado por Moreira (1985), estudou o efeito da adição de farinha de trigo na composição de adesivos à base de uréia-formaldeído, e concluiu que adições de 0 a 20% de extensor não tiveram efeito significativo na resistência à tração da linha de cola de compensados produzidos com três lâminas de abeto (*Picea sp*) e faia (*Fagus sp*).

Iwakiri et al. (2002) encontraram valores médios de resistência da linha de cola na condição seca variando de 18,8 a 28,1 kgf/cm², para painéis de *Pinus taeda*, e de 19,2 a 26,1 kgf/cm² para painéis de *Pinus oocarpa*.

A resistência ao cisalhamento, na condição seca, variou de 15,47 a 18,60 kgf/cm², para os painéis produzidos com lâminas de pinus, e de 15,22 a 18,51 kgf/cm², para os produzidos com lâminas de paricá. Ressalta-se, que esses valores estão de acordo com os valores observados na literatura e também, acima dos valores mínimos exigidos pela norma EN 314 – 2 (1993).

Dentre os adesivos que resultaram em maior resistência estão os dos tratamentos 1, 3, 4, 5, 7 e 9. Estes adesivos estão incluídos entre os que apresentaram viscosidade menor que 9100 cP. Isto evidencia a importância da viscosidade nas funções de movimento do adesivo e, conseqüentemente, na qualidade da junta colada.

5.4.2. Resistência da linha de cola ao cisalhamento – condição úmida

A análise de variância indicou diferença significativa entre as espécies. Os painéis produzidos com lâminas de pinus apresentaram valor médio de resistência ao cisalhamento, em condição úmida, menor, comparado ao valor médio encontrado para os painéis de paricá (Tabela 27).

Tabela 27. Valores médios de resistência ao cisalhamento na condição úmida, em kgf/cm², em função das espécies

Espécie	Média
Paricá	15,69 a
Pinus	14,80 b

Médias seguidas de mesma letra minúscula ao longo da coluna, não diferem entre si pelo teste F com um nível nominal de significância de 5%.

A menor resistência ao cisalhamento, na condição úmida, observada para os painéis de pinus, pode ser explicada, em parte, pelo mesmo motivo que pode ter ocasionado menor resistência ao cisalhamento na condição seca. Devido à maior massa específica, os painéis de pinus apresentam maiores valores de inchamento em espessura e, conseqüentemente, maior é a tensão na linha de cola.

Com a submersão dos corpos-de-prova, em água, por 24 horas, ocorre liberação desta tensão e os painéis incham, enfraquecendo a linha de cola devido à variação dimensional. Segundo Iwakiri (2005), o desempenho da ligação adesiva é influenciado por alterações dimensionais da madeira, decorrentes da mudança na umidade relativa do ambiente de uso e da geração de tensões na linha de cola.

Na Tabela 28 são apresentados os valores médios de resistência ao cisalhamento na condição úmida, para diferentes porcentagens de carga e de extensor.

Tabela 28. Valores médios de resistência ao cisalhamento na condição úmida, em kgf/cm², em função dos teores de carga e extensor

Carga (%)	Extensor (%)			
	0	10	20	30
0	18,43 Aa	14,15 Ba	17,03 ABa	15,97 ABa
10	17,38 Aab	14,73 ABa	15,61 ABa	12,54 Bb
20	16,43 Aab	13,82 Aa	13,86 Aa	15,04 Aab
30	14,95 Ab	16,26 Aa	14,16 Aa	13,83 Aab

Médias ao longo das linhas seguidas de mesmas letras maiúsculas e ao longo das colunas seguidas de mesmas letras minúsculas não diferem significativamente entre si pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

Observa-se que a adição de carga não afetou, de forma significativa, a resistência da linha de cola dos painéis produzidos com adesivo contendo 10% e 20% de extensor. A adição de extensor, também, não afetou a resistência ao cisalhamento, na condição úmida, dos painéis produzidos com 20 e 30% de extensor.

A uréia-formaldeído apresenta elevada susceptibilidade à degradação hidrolítica na presença de umidade. Observa-se na Tabela 28, entretanto, que o maior valor médio de resistência ao cisalhamento na condição úmida foi referente ao adesivo uréia-formaldeído puro (sem adições de carga ou extensor). A adição de carga e extensor (ambos com alto teor de amido) ao adesivo de uréia-formaldeído, na composição dos demais tratamentos, provavelmente contribuiu para a degradação hidrolítica dos mesmos.

De acordo com Bruyne & Houwink (1957), citado por Moreira (1985), quando se utiliza uréia-formaldeído para a fabricação de compensados, é comum diminuir o custo do adesivo, misturando-a com extensores, como farinha de centeio. Os mesmos autores constataram que a adição de extensores ao adesivo uréia-formaldeído acarreta pequena perda de resistência a seco,

mas a sua resistência, na condição úmida, diminui rapidamente ao aumentar a quantidade de farinha.

Todos os valores médios da resistência da linha de cola às tensões de cisalhamento nas condições úmida e seca, obtidos para as duas espécies e para as dezesseis formulações de adesivos, atendem aos requisitos mínimos de 10,197 kgf/cm², exigidos pela norma EN 314 – 2 (1993).

Bortoletto Júnior & Belini (2002), estudando a produção de compensados de cinco lâminas de guapuruvu (*Schizolobium parayba* Blake.), coladas com uréia-formaldeído, 35% de farinha de trigo e 35% de água, obtiveram valores de resistência ao cisalhamento úmido de 13,8 kgf/cm² e de 18,2 kgf/cm² para a condição seca.

Para o painel de *Schizolobium amazonicum*, formado por três lâminas, o valor médio encontrado nesta pesquisa foi de 15,69 kgf/cm² e 17,54 kgf/cm² de resistência ao cisalhamento nas condições úmida e seca, respectivamente, conforme as Tabelas 25 e 27 supracitadas.

5.4.3. Resistência à flexão estática

5.4.3.1. Módulo de elasticidade (MOE)

Os painéis produzidos com lâminas de pinus apresentaram módulo de elasticidade estatisticamente superior aos painéis de paricá, pelo teste F, ao nível de 5% de probabilidade (Tabela 29);

Tabela 29. Valores médios de módulo de elasticidade, em kgf/cm², em função das espécies

Espécie	Média
Pinus	91.353 a
Paricá	56.730 b

Médias seguidas de mesma letra minúscula ao longo da coluna, não diferem entre si pelo teste F com um nível nominal de significância de 5%.

É provável que a maior massa específica aparente dos painéis de pinus (0,75g/cm³), comparando-os aos de paricá (0,51g/cm³), tenha contribuído para maiores valores de módulo de elasticidade dos painéis.

Na Tabela 30, são apresentados os valores médios de módulo de elasticidade, em função da espécie e dos teores de carga. Nesta tabela, a diferença estatística entre as espécies também pode ser verificada, entretanto, observa-se uma exceção para os painéis produzidos com adesivos formulados sem a adição de carga.

Tabela 30. Valores médios de módulo de elasticidade, em kgf/cm², em função da espécie e dos teores de carga

Espécie	Carga (%)			
	0	10	20	30
Paricá	66.470 Aa	55.790 ABb	46.470 Bb	58.190 ABb
Pinus	69.135 Ba	76.810 Ba	108.710 Aa	110.751 Aa

Médias ao longo das linhas seguidas de mesmas letras maiúsculas e ao longo das colunas seguidas de mesmas letras minúsculas não diferem significativamente entre si pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

Considerando a média de todas as variações de extensor, o acréscimo de carga promoveu o aumento do módulo de elasticidade dos painéis de *Pinus elliottii*, que variou de 69.135,28 kgf/cm², para 0% de carga, a 110.751,50 kgf/cm², para 30% de carga. Para o *Schizolobium amazonicum*, o comportamento foi um pouco diferente, esta espécie apresentou o maior valor médio de módulo de elasticidade, quando foi utilizada a formulação sem adição de carga, entretanto este valor não diferiu estatisticamente dos valores encontrados para as formulações com 10 e 30% de carga. Para o *Pinus elliottii*, os maiores valores foram obtidos em painéis fabricados com adesivos contendo 20 e 30% de carga, os quais diferiram dos demais.

Na Tabela 31 são apresentados os valores médios de módulo de elasticidade dos painéis compensados produzidos com as dezesseis formulações adesivas estudadas. A interação carga versus extensor foi significativa pelo teste F, ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 31. Valores médios de módulo de elasticidade, em kgf/cm², em função dos teores de carga e extensor

Carga (%)	Extensor (%)			
	0	10	20	30
0	90.970 Aa	51.168 Bb	62.690 Bb	66.370 Bb
10	49.840 Cb	58.650 BCb	75.870 ABab	80.840 Aab
20	80.950 Aa	80.190 Aa	83.150 Aa	66.080 Ab
30	85.450 Aa	89.460 Aa	73.130 Aab	89.830 Aa

Médias ao longo das linhas seguidas de mesmas letras maiúsculas e ao longo das colunas seguidas de mesmas letras minúsculas não diferem significativamente entre si pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

Observa-se que a adição de extensor não foi significativa para o módulo de elasticidade dos painéis produzidos com adesivos contendo 20 e 30% de carga.

Os painéis produzidos com adesivo puro (sem acréscimo de carga ou extensor) foram os que resultaram em maior valor médio de módulo de elasticidade (90.970kgf/cm²). Entretanto, este valor médio não diferiu estatisticamente dos obtidos para os painéis produzidos com adesivos formulados sem extensor e com acréscimo de 20 e 30% de carga.

5.4.3.2. Módulo de ruptura (MOR)

A análise de variância indicou que, para esta propriedade, somente houve diferença significativa entre as espécies pinus e paricá.

Tabela 32. Valores médios de módulo de ruptura, em kgf/cm², em função das espécies

Espécie	Média
Pinus	1.155,43 a
Paricá	851,10 b

Médias seguidas de mesma letra minúscula ao longo da coluna, não diferem entre si pelo teste F com um nível nominal de significância de 5%.

Os valores médios do módulo de ruptura dos painéis de pinus, assim como os do módulo de elasticidade, foram estatisticamente superiores aos do paricá. Esse fato está correlacionado à maior massa específica aparente dos painéis de pinus (0,75g/cm³) comparado aos de paricá (0,51g/cm³).

Os valores médios de módulo de ruptura, dos dezesseis tratamentos pesquisados, foram superiores ao valor médio de 653,06 kgf/cm² encontrado por Iwakiri et al. (2002) para painéis compensados de *Pinus taeda*, colados com adesivo uréia-formaldeído, formulado com 20% de farinha de trigo.

As adições de carga e de extensor ao adesivo a base de uréia-formaldeído não tiveram efeito no módulo de ruptura dos painéis compensados. Para esta propriedade, portanto, unindo resistência e economia, o adesivo mais indicado seria o formulado com 30% de carga mais 30% de extensor, ou seja, o adesivo com a maior proporção de aditivos (tratamento 16). A tomada de decisão, no entanto, não deve considerar, apenas o módulo de ruptura. As outras propriedades do painel e do adesivo são igualmente importantes, e a qualidade do painel compensado, também, dependerá do seu uso final.

6. CONCLUSÕES

Com base nos resultados deste trabalho, são apresentadas as seguintes conclusões:

- A farinha de babaçu, considerada um material inerte, apresentou propriedades semelhantes às da farinha de trigo, extensivamente conhecida como extensor. Ambos, de modo geral, elevaram o valor pH, a viscosidade, o tempo de gelatinização e o tempo de trabalho dos adesivos.
- As adições de carga e de extensor ao adesivo de uréia-formaldeído não tiveram efeito na umidade de equilíbrio, recuperação e inchamento em espessura, resistência ao cisalhamento na condição seca e no módulo de ruptura dos painéis produzidos. Entretanto, o acréscimo carga contribuiu para o aumento do módulo de elasticidade dos painéis de *Pinus elliottii*.
- A presença de aditivos na formulação do adesivo altera as propriedades físico-químicas das reações de cura do mesmo. A temperatura de pico e a variação de entalpia do processo, aumentaram com o percentual relativo de aditivos. E a energia de ativação tendeu à redução com o aumento do pH e do teor de extensor.
- Os painéis de *Schizolobium amazonicum* apresentaram menores valores de inchamento em espessura, embora tenham absorvido mais água, comparados aos painéis de *Pinus elliottii*. Esta espécie também se mostrou promissora, no que diz respeito à resistência ao cisalhamento, nas condições úmida e seca, apresentando valores médios superiores aos encontrados para os painéis de *Pinus elliottii*.
- O resultado dos ensaios físicos e mecânicos desta pesquisa mostraram que a farinha de babaçu pode ser utilizada como extensor alternativo à farinha de trigo na produção de painéis compensados de *Pinus elliottii* e *Schizolobium amazonicum*.

7. RECOMENDAÇÕES

Recomenda-se a pesquisa de outras variáveis do processo de produção de painéis compensados de *Schizolobium amazonicum*, como temperatura, tempo de prensagem e diferentes gramaturas.

Também é sugerido um estudo mais aprofundado das reações, que ocorrem durante a polimerização das diferentes formulações de adesivos. Técnicas espectroscópicas, para melhor elucidação dos mecanismos envolvidos nas reações entre o adesivo uréia-formaldeído e os extensores, talvez possam ser empregadas.

Recomenda-se, igualmente, a análise econômica do uso da farinha de babaçu, comparada à farinha de trigo, como ferramenta para fortalecer sua utilização, como extensor, nas indústrias de painéis compensados.

8. BIBLIOGRAFIA

ALBUQUERQUE, C. E. C. Da madeira dos sarcófagos à moderna indústria. **Revista da Madeira**, Curitiba-PR, v. 45, p. 26 - 28, 01 nov. 1999.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE – ABIMCI. Estudo Setorial da ABIMCI – 2007. Disponível em: <<http://www.abimci.com.br>> Acesso em: 16 dez. 2007a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE – ABIMCI. Artigo técnico nº 1. **Painéis de madeira fabricados no Brasil e suas particularidades.** Disponível em: <<http://www.abimci.com.br/sistadm/arquivos/21/Pain%C3%A9is%20de%20madeira%20fabricados%20no%20brasil.pdf>>. Acesso em: 16 dez. 2007b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE – ABIMCI. **Produção, Comércio e Consumo de todo tipo de Madeira dos membros Produtores da ITTO.** Disponível em: <http://www.abimci.com.br/documentos/doc_2008.html> Visitado em: 16 nov, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR-9489 **Painéis de madeira compensada: determinação do condicionamento de corpos-de-prova para ensaios.** Rio de Janeiro, 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR-9533. **Chapas de madeira compensada – Método de ensaio: determinação da resistência à flexão estática.** Rio de Janeiro, 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR-9534. **Chapas de madeira compensada: determinação da resistência da colagem ao esforço de cisalhamento.** Rio de Janeiro, 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR-9535 **Painéis de madeira compensada: determinação da recuperação em espessura e inchamento mais recuperação em espessura**. Rio de Janeiro, 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR- ISO 12466-1: 2006. Madeira Compensada – **Qualidade de colagem**. PARTE 1: Métodos de ensaio.

ASTM E-698 - **Standard Test Method for Arrhenius Kinetic Constants for Thermally Unstable Materials Using Differential Scanning Calorimetry and the Flynn/Wall/Ozawa Method**. E-698, West Conshohocken, PA, 2005.

ATKINS, P.W.; DE PAULA, J. **Físico-Química**. v. 2, 8 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008. 427p.

BALDWIN, R. F. **Plywood Manufacturing Practices**. San Francisco: Miller Freeman, 1981, 326p.

BACELAR, C. S. **Efeito da variação do pH e da temperatura de síntese no desempenho de adesivo à base de creosoto vegetal desmetilado - formaldeído**. 2000. 43 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2001

BERNAL. C.; COUTO, A.B.; BREVIGLIERI, S.T.; CAVALHEIRO, G.E.T. Influência de alguns parâmetros experimentais nos resultados de análises calorimétricas diferenciais – DSC. **Química Nova**, v. 25, n.5, p. 849-855, 2002

BOLETIM TÉCNICO BORDEN QUÍMICA. Cascamite 5-H. Prensa quente. 5p. 2007

BORTOLETTO JÚNIOR, G.; BELINI, U. L. Produção de Lâminas e Manufatura de Compensados a Partir da Madeira de Guapuruvu (*Schizolobium parayba* Blake) Proveniente de um Plantio Misto de Espécies Nativas. **Revista Cerne**. V.8, n.2, p.16 - 28, 2002.

BORTOLETTO JUNIOR, G.; GARCIA, J. N. Bending strength and stiffness properties of OSB and plywood panels. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 28, n. 4, p. 563-570, 2004.

BRANDÃO, A.T.O., REIS, P. Caracterização anatômica dos anéis de crescimento em árvores de *Schizolobium parayba* var. *amazonicum* Huber ex Ducke (Paricá) em reflorestamento, em

Dom Eliseu, Estado do Pará. In: VII CONGRESSO INTERNACIONAL DE COMPENSADO E MADEIRA TROPICAL. Belém, PA, 2007. **Anais ...**Belém, 2007.

CAMPESTRE INDÚSTRIA DE ÓLEOS VEGETAIS LTDA. **Babaçu**. Disponível em: <<http://www.campestre.com.br/oleo-de-coco-babacu.shtml>>. Acesso em: 15 set. 2008.

CARNEIRO, A. C. O. **Efeito da hidrólise ácida e sulfitação se taninos de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden e *Anadenanthera peregrina* Speg., nas propriedades dos adesivos**. 2006. 182f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2006

CASTELLAN, G. **Fundamentos de físico-química**. 1 ed. Rio de Janeiro: LTC, 1986. 529 p.

CASTRO, A. R. de. **Análise cinética da cura de diferentes formulações adesivas à base de uréia-formaldeído por calorimetria exploratória diferencial (DSC)**. 2008. 49p. Monografia (Bacharel em Química) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2008.

COLLI, A. **Caracterização da madeira de paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex. Ducke) e propriedades de chapas de partículas aglomeradas com diferentes proporções de fibras de coco (*Cocos nucifera* L.)** 2007. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2007.

CONNER, A. H. Urea-Formaldehyde adhesive Resins. In: **Polymeric Materials Encyclopedia**. v.2 Boca Raton: CRC Press, 1996

COSTA, D. H. M.; REBELLO. F. K.; D'ÁVILA, J. L.; SANTOS, M. A. S.; LOPES, M. L. B. **Alguns aspectos silviculturais sobre o paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber)**. Série Rural 2 – Banco da Amazônia. Belém, 1998. Disponível em: <<http://www.bancoamazonia.com.br> > Acesso em: 16 dez. 2007.

CPP – Centro de Pesquisas do Paricá. Comunicação verbal. Fev, 2009.

DIAS, F. M.; LAHR, F. A. R. Adesivo à base de mamona para compensado. **Revista da Madeira**. Ano 13 – Número 72. Maio de 2003.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **Plywood - Bonding Quality: part 2 - requirements**. EN 314 – 2: 1993.

FERREIRA, E. **Utilização dos Polifenóis da Casca de Pinus para Produção de Adesivos para Compensados**. 2004. 101p. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ. 2004.

GARRO-GALVEZ, J. M.; RIEDL, B.; FECTHAL, M. Gallic acid as a model of tannins in condensation with formaldehyde. **Thermochimica Acta**, v. 274, p. 149-163, 1996.

GOLDSCHIMID, O. Ultraviolet spectra. In: SARKANEN, K. V.; LUDWING, C. H. (Eds) **Lignins**. New York: Wiley Interscience, 1971. p. 241-266.

GOMIDE, J. L.; DEMUNER, B.J. Determinação do teor de lignina em material lenhoso: método Klason modificado. **O PAPEL**, v. 47, n.8, p.36-38, 1986.

GUIMARÃES JUNIOR, J. B.; **Painéis de madeira de eucalipto: estudo de caso de espécie e procedências**. 2008. 95p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG. 2008.

IWAKIRI, S.; PEREIRA, S.J.; NISGOSKI, S.; Avaliação da qualidade de colagem em compensados de *Eucalyptus cloeziana* e *Eucalyptus robusta*. **Revista Floresta e Ambiente**. v. 6, n. 1, p. 45 - 50, 1999.

IWAKIRI, S.; OLANDOSKI, D. P.; LEONHARDT, G.; BRAND, M. A. Produção de Chapas de Madeira Compensada de Cinco Espécies de Pinus Tropicais. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 11, n. 2, p. 71-77, dez. 2001.

IWAKIRI, S.; MENEZI, C.S.D.; LAROCA, C.; VENSON, I.; MATOSKI, S.C. Produção de compensados de *Pinus Taeda* e *Pinus oocarpa* com resina fenol-formaldeído. **CERNE**, V. 8, N.2, p.092-097, 2002

IWAKIRI, S.; MONTEFUSCO, A. R. G.; ZABLONSKY, K. M.; SIQUEIRA, K. P.; SALDANHA, L. K.; SOUZA, M. A. M. Produção de chapas de partículas “strand” com inclusão laminar – “com-ply”. **Revista Floresta e Ambiente**, V. 10, n.2, p.30 - 35, ago./dez. 2003.

IWAKIRI, S., SALDANHA, L. K. **Painéis** nº68 – ano 12 – Dez. 2002. Disponível em: <http://www.remade.com.br>> Acessado em dez. 2005.

IWAKIRI, S. **Painéis de Madeira reconstituída**. Curitiba: FUPEF, 2005. 247p.

IWAKIRI S., KEINERT JR. S., PRATA, J.G., ROSSO, S. Produção de painel compensado estrutural de *Eucalyptus grandis* E *Eucalyptus dunnii*. **Revista Floresta**, Curitiba, PR, v. 37, n. 3, set./dez. 2007.

KOLLMANN F, SCHNEIDER A.; Über das Sorptionsverhalten wärmebehandelter Hölzer. **Holz Roh- Werkstoff** 21: 77-85. 1963.

KOLLMANN, F.F.P.; KUENZI, E.W.; STAMM, A.J. **Principles of wood science and technology**. Berlin: Springer-Verlag. v.2, 1975. 703p

LISPERGUER, J.; BROGUETT, C. Caracterización del curado de resinas Urea Formaldehído por Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC). **Boletín de la Sociedad Chilena de Química**, v. 47, n.1, 2002

LE COINTE, P. **Árvores e plantas úteis (indígenas e aclimadas)**. 2.ed.. São Paulo, Ed., Nacional, 1947. 496 p.

LEVINE, I. N. **Physical Chemistry**. New York: McGraw-Hill, 1995. 901p.

MACHADO , P. Notícias. SP: farinha de trigo da Argentina invade o Brasil. **Página rural**. Abril, 2008. Disponível em: <http://www.paginarural.com.br/noticias_detalhes.php?id=86578>. Acesso em: 07 jan. 2009.

MALONEY, T. M. **Modern Particleboard & Dry-process Fiberboard Manufacturing**. San Francisco: Miller Freeman, 1993. 681p.

MARQUES, L. C. T.; YARED, J.A.G.; SIVIERO, M.A.; **A evolução do conhecimento sobre o paricá para reflorestamento do estado do Pará**. Comunicado Técnico 158. EMBRAPA. Belém. Dez, 2005. 5p.

MARRA, A. A. **Technology of Wood Bonding - Principles in practice**. New York: Van Nostrand Reinhold. 1992, 453p.

MELO, J. E.; CARVALHO, G. M.; MARTINS, V. A. **Espécies madeireiras substitutas do mogno (*Swietenia macrophylla* King)**. Série Técnica, 6. Brasília: IBAMA, 1989. 16 p.

MINOPOULOU, E.; DESSIPRI, E.; CHRYSSEIKOS, G.D.; GIONIS, V; PAIPETIS, A.; PANAYIOTOU C. Use of NIR for structural characterization of urea–formaldehyde resins. **International Journal of Adhesion & Adhesives**. v.23, p. 473-484, 2003.

MORAIS, S. A. L. **Contribuição ao estudo químico e espectroscópico da lignina de madeira moída do *Eucalyptus grandis*: isolamento, quantificação e análise estrutural**.1992. 175 f. Doutorado (Doutor em Ciências – Química Orgânica). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 1992.

MOREIRA, W.S. **Extensores Alternativos para Produção de Compensados com Resina Uréia-Formaldeído**. Curitiba: UFPR, 1985. 81p. (Dissertação Mestrado) – Universidade Federal do Paraná, 1985.

MOTHÉ,C.G.; AZEVEDO, A.D, **Análise Térmica de Materiais**, 2002 I Editora/ SP, 300 p.

OZAWA, T., Kinetic Analysis of derivative curves in thermal analysis. **Journal Of Thermal Analysis and Calorimetry**, v. 2, p. 301-324, 1970.

PARICÁ. **Tropical Flora** Disponível em: <<http://www.tropicalflora.com.br/>> Acesso em: 15 dez.2007.

PARK, A. Byung-Dae; RIEDL, B.; HSU, E. W.; SHIELDS, J. Differential scanning calorimetry of phenol.formaldehyde resins cure–accelerated by carbonates. **Polymer**, v. 40, 1689–1699, 1999.

PEREIRA, A.P.; MELO, C.F.M. de; ALVES, S.M. O paricá (*Schizolobium amazonicum*), Características Gerais da Espécie e suas Possibilidades de Aproveitamento na Indústria de Celulose e Papel. Edição especial contendo os Anais do Congresso Nacional sobre Essências Nativas. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v.16, n. 2, p.1340-1344, 1982.

PILLING, M.J.; SEAKINS, P. W. **Reaction Kinetics**. New York: Oxford University Press, 1996. 305 p.

PIO, N. S. **Avaliação da madeira de *Eucalyptus scabra* (Dum-cours) e *Eucalyptus robusta* (Smith) na produção de painéis compensados**. 1996. 101 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR.

PIZZI, A.; MITTAL, K. L. **Handbook of adhesive technology**. New York: Marcell Dekker, 1994. 680 p.

REFERÊNCIA; No Norte Compensado Compensa - **Revista Referência**, maio de 2007. P. 28-46. Disponível em: <<http://www.revistareferencia.com.br/>>. Acesso em: 10 dez. 2008.

SAMISTRARO, G. **Propriedades químicas e físicas da polpa e papel Kraft por espectroscopia no infravermelho próximo (NIR)**. (Dissertação de mestrado) Universidade Federal do Paraná, 2008.

SAMLAIC, J. Os Atuais Problemas e as Possibilidades dos Adesivos para Madeira. **Revista da Madeira**. 374:7-10. 1983.

SAS Institute. **SAS Procedures guide for computers**. 6 ed. Cary, NC, v.3, 373p. 1999.

SCHUMACHER, M. V.; CALIL, F. N.; VOGEL, H. L. M. **Silvicultura Aplicada**. Santa Maria: UFSM, 2005. 120p.

SELBO, M.L. – **Adhesive bonding of wood**. Washington, USDA, 1975. 122p.

SELLERS JUNIOR, T. **Plywood and adhesive technology**. New York: Marcel Dekker, Inc. 1985, 661p.

SIVIERO, M.A. Paricá: A Vedete do Reflorestamento. Regional, **Diário do Pará**, Regional, p. A-8. Entrevista. Belém, PA, 27 jan. 2006.

SOUSA, D.B.; CARVALHO, G.S.; RAMOS, E.J.A. **Informativo Técnico Rede de Sementes da Amazônia**. Nº13, 2005. Disponível em: <http://www.rsa.ufam.edu.br:8080/sementes/especies/pdf/doc13.pdf>. Acesso em: 16 dez. 2007.

TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY - TAPPI. **Tappi test methods**: 1992-1993. Atlanta: 1992.

TOBASA - Tobasa Bioindustrial de babaçu S.A. Comunicação verbal. Jan, 2009.

TSOUMIS, G. **Science and technology of wood: structure, properties, utilization**. New York: Chapman & Hall, 1991. p. 309-339.

VIDAURRE, G.; VITAL, B.R.; ZANETI, L.; COLLI, A.; NAUMANN, R. Paricá uma espécie promissora. **Revista da Madeira**. nº 97 - ano 16 - junho de 2006 » Disponível em: <http://www.remade.com.br/pt/revista_materia.php?edicao=97&id=924> Acesso em: 16 dez. 2007

VITAL, B.R. Métodos de determinação da densidade da madeira. Viçosa: SIF. **Boletim Técnico SIF** nº 1. 1984. 21 p.

XING, C.; ZHANG, S.Y., RIELD, J.D.B., CLOUTIER, A.. Medium-density fiberboard performance as affected by wood fiber acidity, bulk density, and size distribution. **Wood Science and Technology**. New York. n. 40, p. 637–646, 2006.

YARED, J. A. G. **Uso comercial de espécies nativas: a experiência com o paricá** - Portal Madeira Total. Junho, 2007. Disponível em: <<http://www.madeiratotal.com.br/ntc.asp?Cod=2615>> Acesso em: 17 dez. 2007.

ANEXO A

Resumo das análises de variância das propriedades dos adesivos:

Tabela 1A. Resumo da análise de variância para teor de sólido, em porcentagem

Fontes de Variação	GL	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Sig.
Total	63	23,77619			
Total de Redução	15	21,38521	1,425681	28,62	0,0000
EXT	3	1,104705	0,3682349	7,39	0,0004
CAR	3	19,58934	6,5297810	131,09	0,0000
EXT*CAR	9	0,691164	0,0767960	1,54	0,1607
Resíduo	48	2,390975	0,0498119		

Tabela 2A. Resumo da análise de variância para viscosidade, em cP

Fontes de Variação	GL	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Sig.
Total	63	0,3073803E+11			
Total de Redução	15	0,3065781E+11	0,2043854E+10	1223,03	0,0000
EXT	3	0,1082659E+11	0,3608864E+10	2159,52	0,0000
CAR	3	0,9894416E+10	0,3298139E+10	1973,59	0,0000
EXT*CAR	9	0,9936803E+10	0,1104089E+10	660,68	0,0000
Resíduo	48	0,8021468E+08	1671139,		

Tabela 3A. Resumo da análise de variância para pH

Fontes de Variação	GL	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Sig.
Total	63	1,1101110			
Total de Redução	15	1,0816360	0,0721091	121,55	0,0000
EXT	3	0,8439047	0,2813016	474,19	0,0000
CAR	3	0,1439797	0,0479932	80,90	0,0000
EXT*CAR	9	0,0937516	0,0104168	17,56	0,0000
Resíduo	48	0,0284750	0,0005932		

Tabela 4A. Resumo da análise de variância para tempo de trabalho, em minutos

Fontes de Variação	GL	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Sig.
Total	63	77,11101			
Total de Redução	15	76,86698	5,124465	1007,97	0,0000
EXT	3	37,70958	12,56986	2472,45	0,0000
CAR	3	37,39212	12,46404	2451,64	0,0000
EXT*CAR	9	1,765281	0,196142	38,58	0,0000
Resíduo	48	0,2440302	0,005084		

Tabela 5A. Resumo da análise de variância para tempo de gelatinização, em segundos

Fontes de Variação	GL	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Sig.
Total	63	850,8126			
Total de Redução	15	814,0100	54,26733	70,78	0,0000
EXT	3	127,3968	42,46559	55,39	0,0000
CAR	3	471,5339	157,1780	205,00	0,0000
EXT*CAR	9	215,0793	23,89770	31,17	0,0000
Resíduo	48	36,80262	0,766721		

Tabela 6A. Resumo da análise de variância para massa específica do adesivo, em g/cm³

Fontes de Variação	GL	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Sig.
Total	63	17,66261			
Total de Redução	15	16,76936	1,117957	60,07	0,0000
EXT	3	3,936172	1,312057	70,51	0,0000
CAR	3	7,217422	2,405807	129,28	0,0000
EXT*CAR	9	5,615766	0,623974	33,53	0,0000
Resíduo	48	0,893250	0,018609		

Resumo das análises de variância das propriedades dos painéis:

Tabela 7A. Resumo da análise de variância para massa específica aparente, em g/cm³

Fontes de Variação	GL	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Sig.
Total	95	1,52928300			
Total de Redução	22	1,44974800	0,06589764	60,48	0,0000
EXT	3	0,01388696	0,004628987	4,25	0,0080
CAR	3	0,00753854	0,002512847	2,31	0,0837
ESP	1	1,40448900	1,404489000	1289,09	0,0000
EXT*CAR	9	0,01460469	0,001622743	1,49	0,1680
EXT*ESP	3	0,07741252	0,002580417	2,37	0,0776
CAR*ESP	3	0,00148789	0,000495963	0,46	*****
Resíduo	73	0,07953516	0,001089523		

Tabela 8A. Resumo da análise de variância para umidade de equilíbrio (UR 65%, T 20°C), em porcentagem

Fontes de Variação	GL	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Sig.
Total	95	26,34211			
Total de Redução	22	13,50273	0,6137604	3,49	0,0000
EXT	3	0,598981	0,1996603	1,14	0,3406
CAR	3	3,045867	1,0152890	5,77	0,0013
ESP	1	0,184526	0,1845260	1,05	0,3091
EXT*CAR	9	3,873950	0,4304389	2,45	0,0171
EXT*ESP	3	2,555406	0,8518021	4,84	0,0040
CAR*ESP	3	3,243999	1,0813330	6,15	0,0009
Resíduo	73	12,83938	0,1758819		

Tabela 9A. Resumo da análise de variância para absorção de água, em porcentagem

Fontes de Variação	GL	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Sig.
Total	95	12034,32			
Total de Redução	22	10866,00	493,9090	30,86	0,0000
EXT	3	414,2622	138,0874	8,63	0,0001
CAR	3	193,7164	64,57213	4,03	0,0103
ESP	1	9943,829	9943,829	621,32	0,0000
EXT*CAR	9	187,7725	20,86361	1,30	0,2500
EXT*ESP	3	94,22860	31,40953	1,96	0,1271
CAR*ESP	3	32,19026	10,73009	0,67	*****
Resíduo	73	1168,323	16,00442		

Tabela 10A. Resumo da análise de variância para inchamento, em porcentagem

Fontes de Variação	GL	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Sig.
Total	95	1150,287			
Total de Redução	22	1090,412	49,56416	60,43	0,0000
EXT	3	2,769375	0,923125	1,13	0,3444
CAR	3	10,22174	3,407247	4,15	0,0090
ESP	1	1033,624	1033,624	1260,19	0,0000
EXT*CAR	9	21,33610	2,370678	2,89	0,0056
EXT*ESP	3	7,665548	2,555183	3,12	0,0313
CAR*ESP	3	14,79484	4,931613	6,01	0,0010
Resíduo	73	59,87566	0,820214		

Tabela 11A. Resumo da análise de variância para recuperação em espessura, em porcentagem

Fontes de Variação	GL	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Sig.
Total	95	70,16147			
Total de Redução	22	24,40221	1,109192	1,77	0,0367
EXT	3	0,124223	0,041408	0,07	*****
CAR	3	0,911384	0,303795	0,48	*****
ESP	1	1,241370	1,241370	1,98	0,1636
EXT*CAR	9	14,27434	1,586037	2,53	0,0139
EXT*ESP	3	6,595500	2,198500	3,51	0,0195
CAR*ESP	3	1,255401	0,418467	0,67	*****
Resíduo	73	45,75926	0,626839		

Tabela 12A. Resumo da análise de variância para ressitência ao cisalhamento seco, em kgf/cm²

Fontes de Variação	GL	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Sig.
Total	95	216,0907			
Total de Redução	22	89,15641	4,052564	2,33	0,0038
EXT	3	16,24771	5,415904	3,11	0,0313
CAR	3	7,658589	2,552863	1,47	0,2303
ESP	1	9,120887	9,120887	5,25	0,0249
EXT*CAR	9	50,47272	5,608080	3,23	0,0024
EXT*ESP	3	0,887743	0,295914	0,17	*****
CAR*ESP	3	4,768755	1,589585	0,91	*****
Resíduo	73	126,9343	1,738826		

Tabela 13A. Resumo da análise de variância para resistência ao cisalhamento úmido, em kgf/cm²

Fontes de Variação	GL	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Sig.
Total	95	599,1237			
Total de Redução	22	255,7140	11,62337	2,47	0,0021
EXT	3	78,53058	26,17686	5,56	0,0017
CAR	3	38,33266	12,77755	2,72	0,0508
ESP	1	19,24476	19,24476	4,09	0,0468
EXT*CAR	9	94,71131	10,52348	2,24	0,0288
EXT*ESP	3	22,66575	7,555251	1,61	0,1953
CAR*ESP	3	2,228988	0,742995	0,16	*****
Resíduo	73	343,4096	4,704242		

Tabela 14A. Resumo da análise de variância para módulo de elasticidade em flexão, em kgf/cm²

Fontes de Variação	GL	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Sig.
Total	95	71567,69			
Total de Redução	22	59207,60	2691,255	15,89	0,0000
EXT	3	677,3449	225,7816	1,33	0,2701
CAR	3	5283,933	1761,311	10,40	0,0000
ESP	1	28770,74	28770,74	169,92	0,0000
EXT*CAR	9	10354,91	1150,545	6,80	0,0000
EXT*ESP	3	376,3589	125,4530	0,74	*****
CAR*ESP	3	13744,32	4581,441	27,06	0,0000
Resíduo	73	12360,09	169,3163		

Tabela 15A. Resumo da análise de variância para módulo de ruptura em flexão, em kgf/cm²

Fontes de Variação	GL	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Sig.
Total	95	3773517,0			
Total de Redução	22	2659969,0	120907,70	7,93	0,0000
EXT	3	81526,630	27175,540	1,78	0,1582
CAR	3	98493,810	32831,270	2,15	0,1010
ESP	1	2222779,0	2222779,0	145,72	0,0000
EXT*CAR	9	120599,50	13399,950	0,88	*****
EXT*ESP	3	124373,60	41457,880	2,72	0,0507
CAR*ESP	3	12196,570	4065,5220	0,27	*****
Resíduo	73	1113549,0	15254,090		

ANEXO B

Termogramas obtidos através da análise de DSC para as 16 formulações de adesivos:

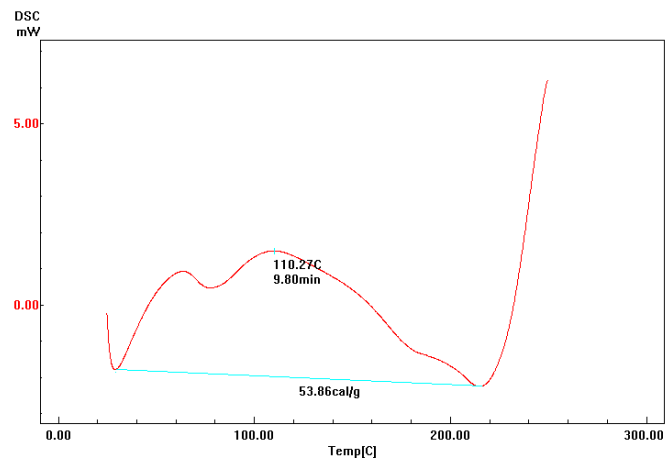


Figura 1B. Termograma do adesivo uréia-formaldeído puro.

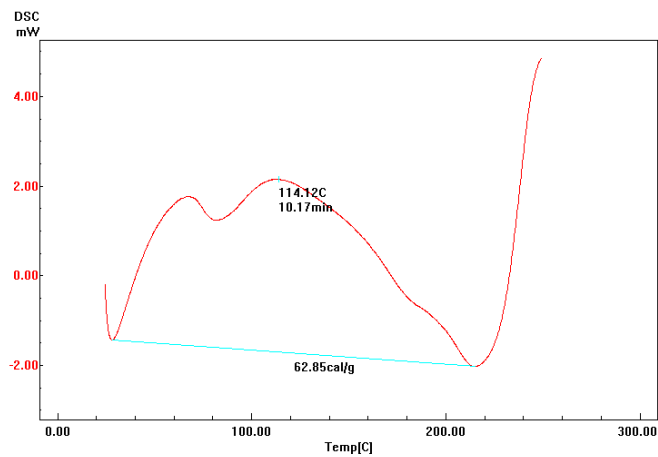


Figura 2B. Termograma do adesivo formulado com uréia-formaldeído e 10% de extensor

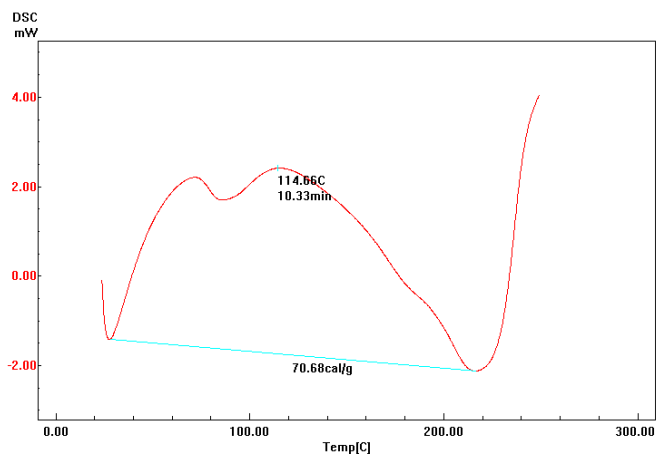


Figura 3B. Termograma do adesivo formulado com uréia-formaldeído e 20% de extensor

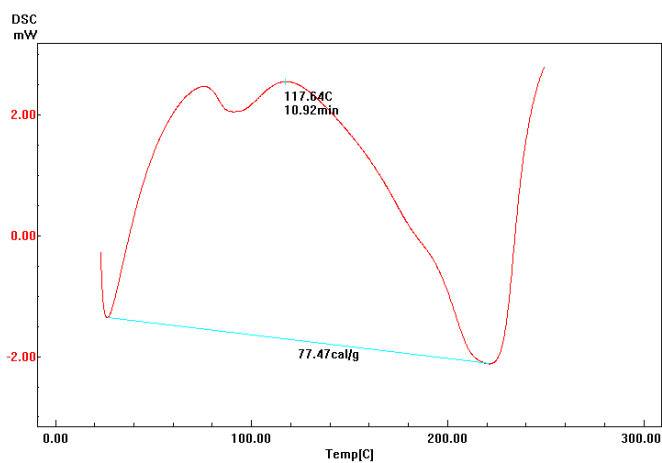


Figura 4B. Termograma do adesivo formulado com uréia-formaldeído e 30% de extensor.

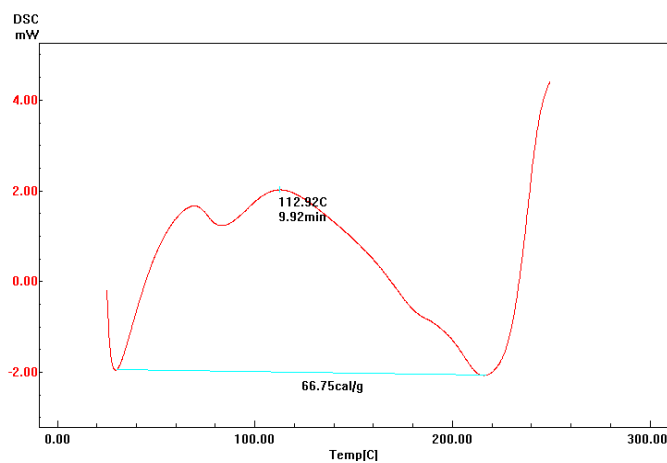


Figura 5B. Termograma do adesivo formulado com uréia-formaldeído e 10% de carga.

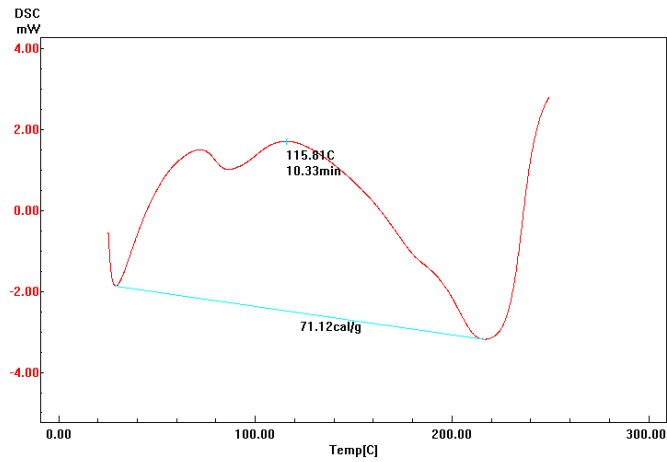


Figura 6B. Termograma do adesivo formulado com uréia-formaldeído, 10% de carga e 10% de extensor.

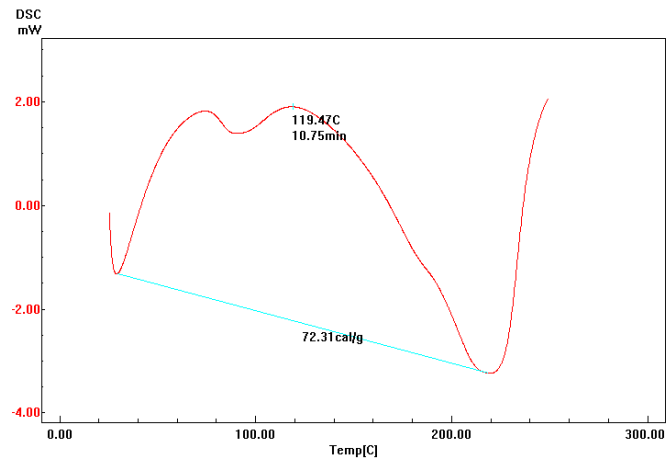


Figura 7B. Termograma do adesivo formulado com uréia-formaldeído, 10% de carga e 20% de extensor.

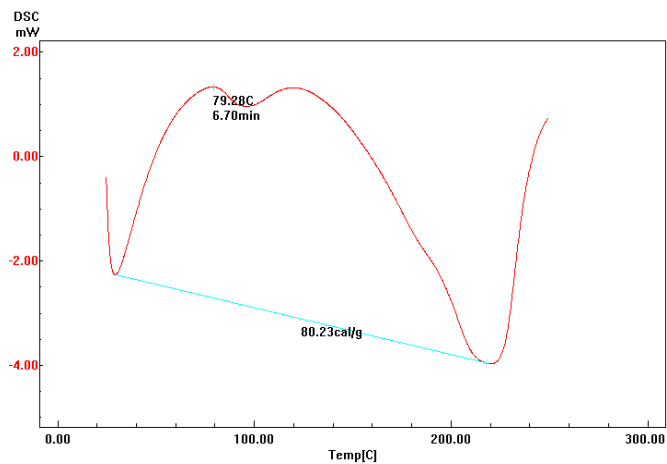


Figura 8B. Termograma do adesivo formulado com uréia-formaldeído, 10% de carga e 30% de extensor.

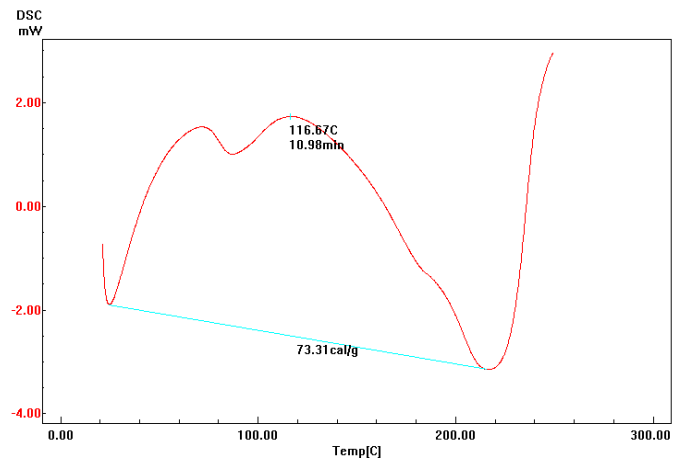


Figura 9B. Termograma do adesivo formulado com uréia-formaldeído e 20% de carga.

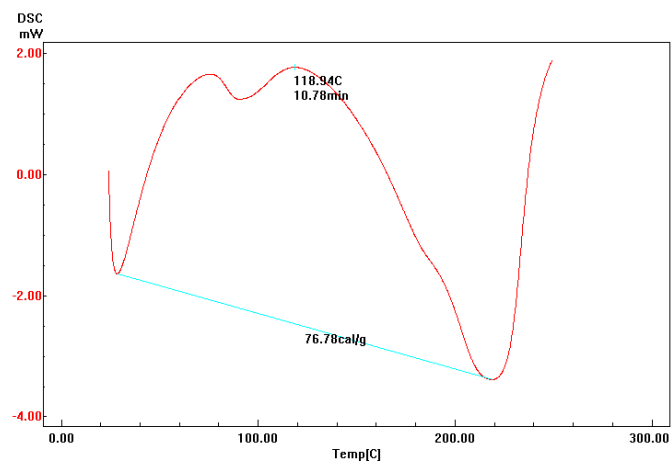


Figura 10B. Termograma do adesivo formulado com uréia-formaldeído, 20% de carga e 10% de extensor.

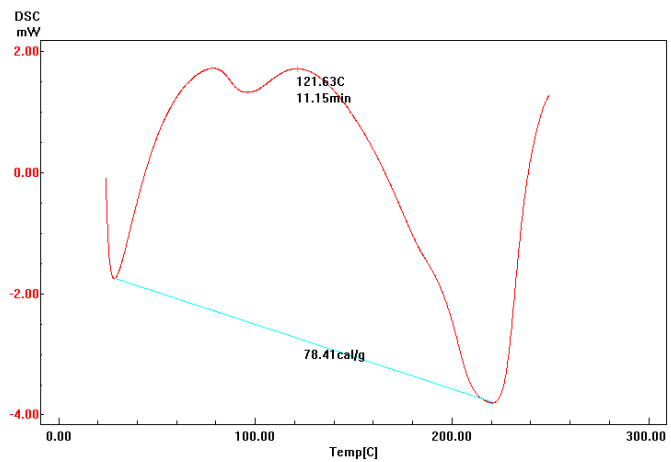


Figura 11B. Termograma do adesivo formulado com uréia-formaldeído, 20% de carga e 20% de extensor.

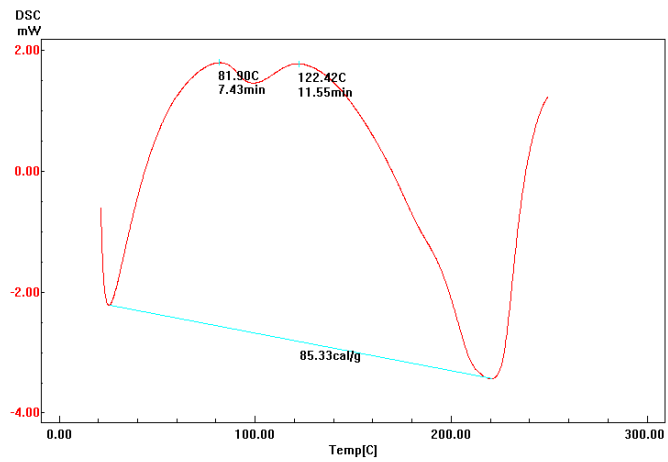


Figura 12B. Termograma do adesivo formulado com uréia-formaldeído, 20% de carga e 30% de extensor.

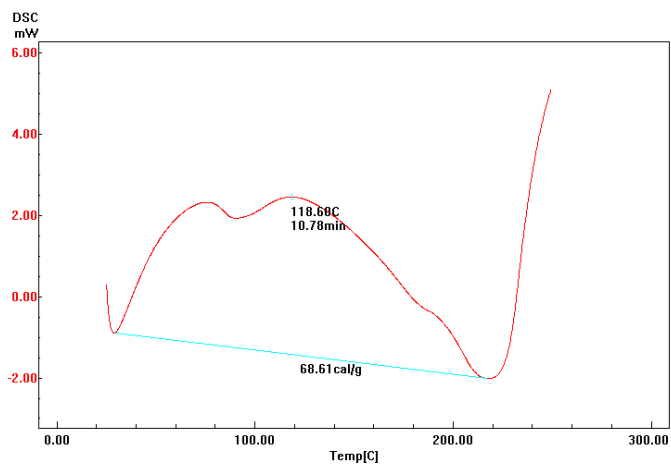


Figura 13B. Termograma do adesivo formulado com uréia-formaldeído e 30% de carga.

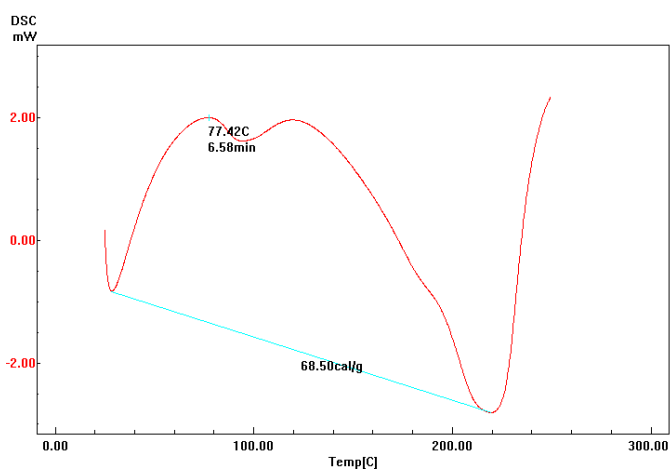


Figura 14B. Termograma do adesivo formulado com uréia-formaldeído, 30% de carga e 10% de extensor.

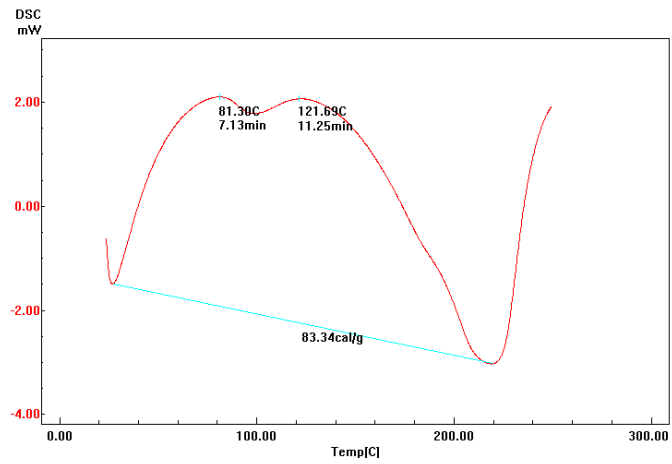


Figura 15B. Termograma do adesivo formulado com uréia-formaldeído, 30% de carga e 20% de extensor.

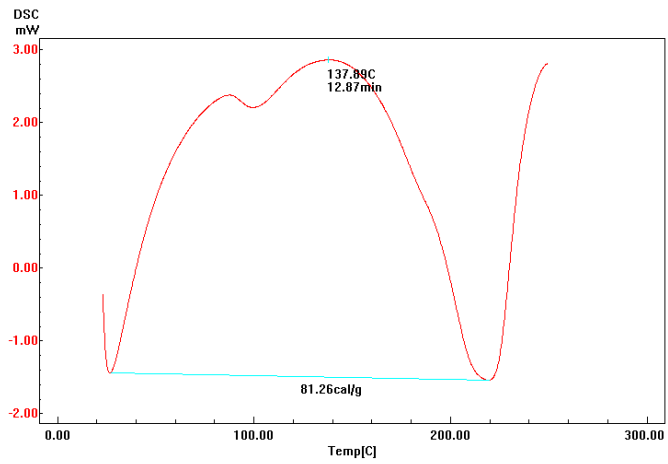


Figura 16B. Termograma do adesivo formulado com uréia-formaldeído, 30% de carga e 30% de extensor.

ANEXO C

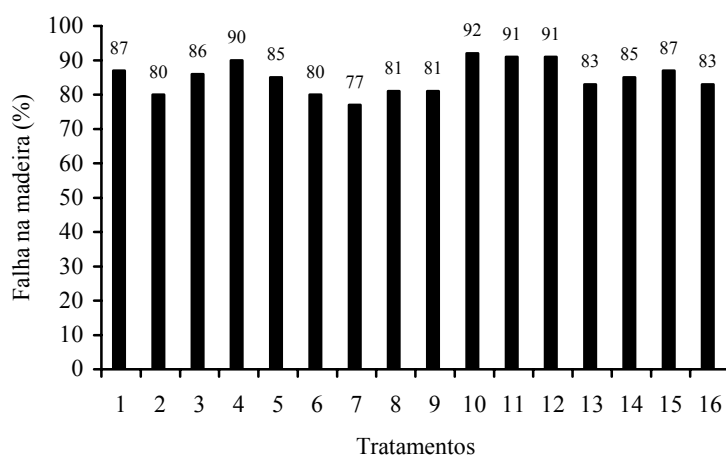


Figura 1C. Valores médios da porcentagem de falha na madeira de *Schizolobium amazonicum* obtidos pelo ensaio de cisalhamento na condição seca.

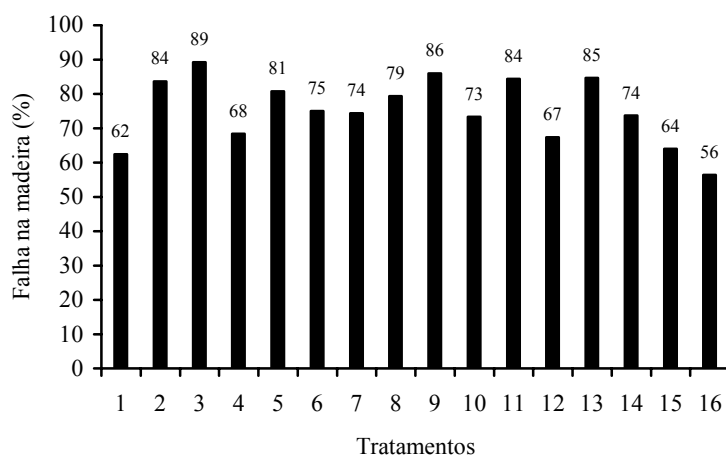


Figura 2C. Valores médios da porcentagem de falha na madeira de *Schizolobium amazonicum* obtidos pelo ensaio de cisalhamento na condição úmida.

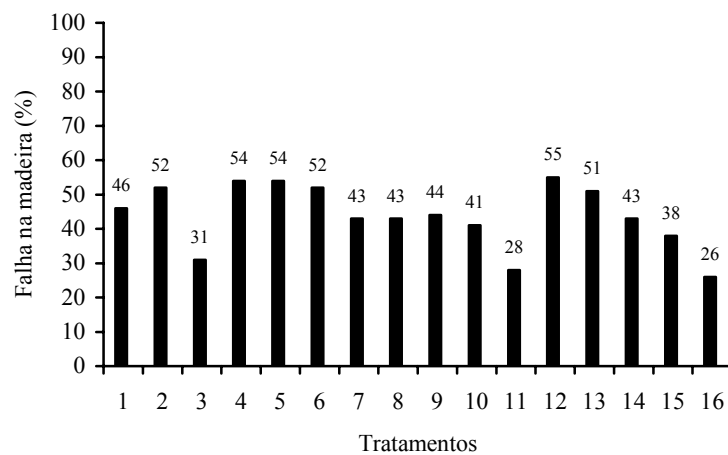


Figura 3C. Valores médios da porcentagem de falha na madeira de *Pinus elliottii* obtidos pelo ensaio de cisalhamento na condição seca.

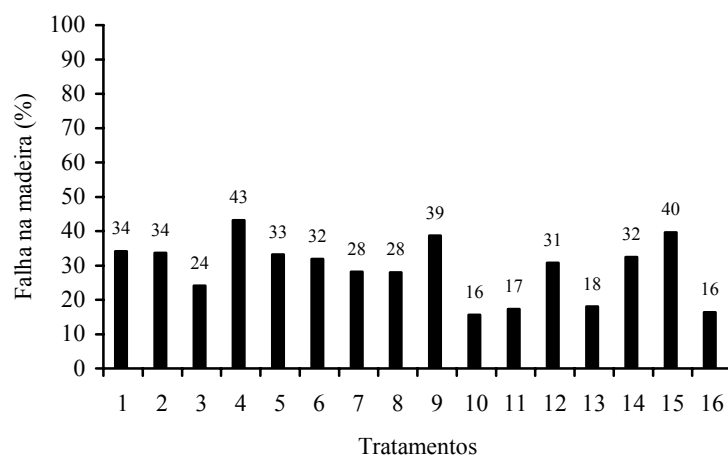


Figura 4C. Valores médios da porcentagem de falha na madeira de *Pinus elliottii* obtidos pelo ensaio de cisalhamento na condição úmida.