

**MONITORAMENTO DO TEMPO DE Prensagem E DO COMPORTAMENTO DA TEMPERATURA ATRAVÉS DA ESPESSURA DE PAINÉIS LVL (LAMINATED VENEER LUMBER)¹
MARIA SÍLVIA CHIARADIA GABRIEL²; ADRIANO WAGNER BALLARIN³ & HERNANDO ALFONSO LARA PALMA⁴**

RESUMO: O objetivo deste trabalho foi analisar o comportamento do fluxo de calor (temperatura) através da espessura de painéis LVL (Laminated Veneer Lumber) colados com adesivo fenol-formaldeído, em escalas laboratoriais e industriais. O programa experimental foi realizado com cinco painéis LVL (três produzidos em escala laboratorial e dois em escala industrial) com diferentes arranjos de lâminas, a partir de uma mistura (mix) de lâminas comerciais de pinus tropicais, provenientes da região sul do Estado de São Paulo e coladas com adesivo à base de fenol-formaldeído. A temperatura no interior dos painéis durante a prensagem foi avaliada com uso de fios para termopares tipo T (cobre-constantan), instalados no centro das linhas de cola e ligados a um sistema de aquisição de dados para registro do tempo e temperatura. Os gráficos da temperatura em função do tempo de prensagem mostraram uma elevação gradual da temperatura até valores pré-estabelecidos, mantendo-se constante a partir deles. A temperatura alcançada no centro dos painéis foi adequada para a cura do adesivo utilizado. Estes valores pré-estabelecidos foram semelhantes aos valores mínimos apresentados por outros autores e fabricantes destes adesivos, segundo os quais temperaturas acima de 100°C no centro dos painéis laminados e colados com adesivos fenólicos, são suficientes para garantir uma cura adequada da resina. Os tempos necessários para a cura dos adesivos confirmaram a validade das expressões estimativas fornecidas pelos fabricantes.

Palavras-chave: Tempo de prensagem, painéis LVL, adesivo fenol-formaldeído.

¹ Trabalho extraído da tese “Desempenho físico-mecânico de painéis LVL de Pinus tropicais da região de São Paulo” do Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Energia na Agricultura.

² Aluna do Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração Energia na Agricultura - Universidade Estadual Paulista – UNESP - Fazenda Experimental Lageado s/n, Caixa Postal 237 / 18603-970 – Botucatu, SP e-mail: silviagabriel_8@hotmail.br – Botucatu, SP/BRASIL

³ Professor Adjunto - Universidade Estadual Paulista – UNESP - Dep. Engenharia Rural / Fazenda Lageado, C.P. 237 / 18603-970 – Botucatu, SP / BRASIL - e-mail: awballarin@fca.unesp.br

⁴ Professor Assistente Dr. - Universidade Estadual Paulista – UNESP - Dep. Recursos Naturais / Fazenda Lageado, C.P. 237 / 18603-970 – Botucatu, SP / BRASIL - e-mail: larapalma@fca.unesp.br

MONITORING OF PRESSING TIME AND TEMPERATURE BEHAVIOR THROUGH THE THICKNESS OF LVL (LAMINATED VENEER LUMBER) PANELS

SUMMARY: *The aim of this study was to analyze the behavior of the flow of heat (temperature) through the thickness of panels LVL (Laminated veneer lumber) produced with phenol formaldehyde adhesive, in laboratorial and industrial scales. Experimental program was conducted with five LVL panels (three produced in laboratorial scale and two in industrial scale) with different arrangements of a mix of commercial veneers from tropical pinus from the south region of Sao Paulo State, Brazil, bonded using phenol formaldehyde adhesive. The temperature inside the panels during the pressing process was evaluated using thermocouples type T (cooper-constantan), installed mostly in the center of the glue lines and connected to a data acquisition system. The graphics of temperature as a function of the time showed a gradual increase of temperature up to pre-set values, remaining constant from them. The temperature reached at the center of the panels was adequate to promote the curing of the adhesive. These pre-set values were similar to the minimum values presented by other authors and manufacturers of these adhesives that affirm that temperatures above 100°C at the center of laminated panels bonded with phenolic adhesives are sufficient to ensure proper cure of the resin. The time necessary for curing of the adhesives confirmed the validity of practical expressions provided by adhesive manufacturers.*

Keywords: *Pressing time, panels LVL, adhesive phenol-formaldehyde.*

1 INTRODUÇÃO

O LVL é um produto de madeira em forma de painel, composto de lâminas de madeira coladas todas na mesma direção. No Brasil, eventualmente, recebe a denominação PLP (Painel de lâminas paralelas). Este composto pode ser fabricado com as mesmas dimensões e formatos dos painéis compensados convencionais (1200 mm de largura e 2400 mm de comprimento) ou em pranchas ou placas contínuas de até 25 m de comprimento, a partir das quais se obtém elementos estruturais de acordo com as dimensões requeridas pelo cliente (AITIM,1999; APA EWS, 2000). Segundo Raute Engineered Wood (1980) e Tammela (1998), o LVL é um produto estrutural de alta qualidade, com propriedades físicas e mecânicas uniformes e com grande flexibilidade dimensional, características que o fazem ser um material com propriedades superiores ao compensado, à madeira serrada em geral, às vigas laminadas (*glulam*), principalmente quando utilizado em estruturas com grandes vãos.

O LVL foi desenvolvido originalmente como opção à madeira serrada, particularmente nas aplicações estruturais com grandes vãos. O uso corrente do LVL tem sido em aplicações residenciais e comerciais, tais como: vigas, batentes de portas e janelas, vigas de pisos, estruturas de telhados, confecção de paredes estruturais e não-estruturais, escadas, partes de móveis e flanges de vigas tipo I (RAUTE ENGINEERED WOOD, 1980; McKEEVER, 1997). O Brasil não produz LVL em escala industrial, sendo ele somente tema de pesquisas de alguns centros de investigações. Embora não hajam estudos mais aprofundados, acredita-se que o desconhecimento da forma de produção e do potencial de uso do LVL são determinantes na justificativa desse fato.

Nos processos de produção convencional de LVL que utilizam procedimentos semelhantes àqueles utilizados na manufatura de compensado, as lâminas são obtidas em torno desenrolador (2,0 a 3,2 mm de espessura), são secas (teor de umidade final de 4% a 6%), recebem a aplicação de adesivo, montadas na espessura desejada, pré-prensadas a frio e, finalmente, consolidadas em prensa quente. O processo de produção convencional possui a vantagem de poder facilmente ser implantado nas fábricas de compensados normais já instaladas, necessitando-se, para isso, de pequenas alterações em sua estrutura original (LAUFENBERG, 1983; TAMMELA, 1998).

A produção de painéis de madeira envolve parâmetros de processamento que interferem nas propriedades e na umidade de equilíbrio dos painéis. Dentre os parâmetros do processamento, pode-se citar a massa específica da madeira, tipo e conteúdo do adesivo utilizado, umidade das lâminas, tempo de fechamento da prensa, temperatura e tempo de prensagem, e pressão específica. Todos esses parâmetros podem ser controlados, visando melhorar a qualidade do painel e minimizar os custos de produção (SILVA et al., 2006). A pressão, tempo e temperatura de prensagem variam de acordo com a espessura do painel, espécie de madeira, umidade das lâminas e a quantidade de cola aplicada.

A tecnologia básica utilizada na colagem de compensados pode ser utilizada na produção de LVL. Na produção podem-se usar vários tipos de resina, sendo as mais comuns a resina uréia-formaldeído, melamina-formaldeído e fenol-formaldeído. Segundo Raute Engineered Wood (1980), a quantidade de cola necessária é função da espécie de madeira e da qualidade da superfície da lâmina. Segundo essa mesma fonte, gramaturas normais utilizadas na fabricação de LVL são de 140 g/m² a 230 g/m², aplicadas em linha simples de colagem.

O ciclo da prensa (tempo de prensagem, temperatura e pressão aplicada) é um fator de fundamental importância na produção dos painéis de madeira, pois o tempo de prensagem e a temperatura utilizada são variáveis limitantes do ponto de vista da qualidade do painel e da economia no processo produtivo. A temperatura e um tempo adequados podem representar uma linha de colagem bem curada, e, por conseguinte, uma alta porcentagem de falha na madeira (evitando-se a falha na linha de colagem, que seria mais

crítica), e além do mais, podem representar um volume diário maior de painéis produzidos com baixo consumo de energia (KEINERT JR, 1982).

De acordo com KOLLMAN et al., (1975), temperaturas de prensagem muito altas reduzem a qualidade dos painéis, uma vez que a plasticidade da madeira aumenta rapidamente a partir de 100°C, resultando em uma compressão indesejada da madeira. Segundo Tammela (1998) e Engineering Wood Products (EWP, 2007), a temperatura mínima de prensagem recomendada para a produção de LVL colados com resinas fenólicas é de 135°C. Já para Klemarewski (2007) as temperaturas normais de prensagem utilizadas na manufatura de LVL comerciais variam de 145°C a 160°C para resinas fenólicas e a temperatura alvo para a cura da resina é de, no mínimo, de 100°C.

Segundo Daí e Wang (2004), painéis grossos prensados a quente acumulam uma maior quantidade de calor de reserva em seu interior, que se conserva após a prensagem, situação esta que permite o uso de menores temperaturas de cura. Assim, estes autores sugerem temperaturas mínimas entre 100 a 105°C no centro de painéis LVL com espessuras de 38 mm, colados com adesivos fenólicos, como suficientes para atingir uma cura adequada da resina.

O tempo de prensagem deverá ser suficiente para que o centro do painel atinja a temperatura ideal para a cura da resina e também suficiente para a migração da umidade pelas bordas do painel. O tempo de prensagem depende da espessura do painel, espécie de madeira e tipo de cola.

A magnitude da pressão de prensagem utilizada na fabricação de LVL depende principalmente da espécie de madeira. Assim, para madeira leve (densidade aparente menor que 0,50 g/cm³) colada com resina uréica, a pressão recomendada é de 12 kgf/cm² a 16 kgf/cm² e com resina fenólica de 14 kgf/cm². A pressão recomendada para LVL produzido com lâminas de madeiras duras é maior em 2 kgf/cm² com relação à resina anterior (RAUTE ENGINEERED WOOD, 1980).

Considerando-se a possibilidade de produção industrial de LVL no Brasil, com uso de prensas convencionais - utilizadas na manufatura de compensados - este trabalho teve como objetivo analisar o tempo de prensagem e o comportamento do fluxo de calor (temperatura) através da espessura do painel para estimar o tempo de cura ou endurecimento real do adesivo.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Espécies estudadas

Foram estudados painéis LVL produzidos a partir de uma mistura (mix) de lâminas de madeira, provenientes de plantios de pinus tropicais (*P. caribaea* var. *caribaea*, *P. caribaea* var. *bahamensis*, *P. caribaea* var. *hondurensis* e *P. oocarpa*), da região sul do Estado São Paulo.

As lâminas foram fornecidas pela Indústria de Compensados Caribea S.A., São Manuel, SP, já classificadas visualmente nas qualidades A, B e C, conforme o Programa Nacional de Qualidade da Madeira – Compensados de Pinus (ABIMCI, 2002). Estas lâminas eram de boa qualidade, utilizadas preferencialmente para a face e contra-face em compensados de pinus, devido a incidência exclusiva de nós muito pequenos.

2.2 Ensaios em escala laboratorial

Os ensaios em escala laboratorial foram realizados no Laboratório de Resíduos Sólidos e Compósitos da FCA - Faculdade de Ciências Agronômicas - UNESP.

Foram confeccionados três painéis LVL, a partir de lâminas com 3 mm de espessura nominal, umidade de 6% a 9%, montados aleatoriamente: um painel com 9 lâminas, com dimensões nominais de 27 mm x 600 mm x 600 mm e dois painéis com 17 lâminas, com dimensões nominais de 51 mm x 600 mm x 600 mm.

O adesivo utilizado foi à base de fenol-formaldeído sob o nome comercial de Cascophen HL-2080, da BORDEN S.A. (viscosidade de 40 segundos), aplicado na razão de 360 gramas por metro quadrado de linha dupla de colagem.

Para a medição das temperaturas através da espessura do painel, antes da prensagem foram instalados termopares do tipo T – cobre-constantan - em diferentes linhas de cola, nos três painéis produzidos, como mostrado na Tabela 1 e na Figura 1. Todos os termopares foram localizados no ponto central das lâminas e foram ligados a um sistema de aquisição de dados Micrologger, da Campbell Scientific Inc., para registro do tempo e da temperatura.

Tabela 1 – Distribuição dos termopares nos painéis LVL.

Painéis LVL – escala laboratorial (600 mm x 600 mm)			
Tratamentos	Espessura nominal (mm)	Número de lâmi- nas	Arranjo
LVL-9	27	9	●
LVL-17A	51	17	●● (*)
LVL-17B	51	17	● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ●
Painéis LVL - escala industrial			
Tratamentos	Espessura nominal (mm)	Número de lâmi- nas	Arranjo
LVL-15	33	15	● ● ●
LVL-25A	55	25	● ●

Observações:

| - lâminas na direção longitudinal

● - termopar

(*) - dois termopares localizados na linha de cola mais profunda – um no centro geométrico do painel e outro localizado no mesmo plano a 150 mm desse centro.



Figura 1 - Instalação dos termopares no painel. a) e b) instalação no interior das lâminas antes da entrada à prensa; c) prensagem do painel e d) vista geral do Micrologger.

Os painéis foram consolidados em uma prensa hidráulica de laboratório de marca OMECO, com um pistão, abertura simples, aquecimento elétrico dos pratos, dotada de controle de temperatura e pressão. Na prensagem à quente foi utilizada uma pressão específica de 10 kgf/cm² e uma temperatura de prensagem de 135°C.

Para cada uma das situações estudadas foi avaliado o tempo necessário para que a temperatura na linha de colagem mais interna do painel atingisse 130°C, segundo recomendações do fabricante do adesivo.

Assim, para estimar o tempo de prensagem para a obtenção da resistência máxima da colagem efetuada com a resina fenólica Cascophen HL-2080 da BORDEN S.A., para uma temperatura da prensa de 130°C, foi utilizada a seguinte relação recomendada pelo fabricante:

$$T = T_b + T_{mm} \quad (1)$$

T - tempo total de prensagem (min);

T_b - tempo base = 2,00 min;

T_{mm} - tempo a mais para cada milímetro até a linha mais profunda de colagem, min

Assim,

$$T_{mm} = 2.e.n \quad (2)$$

onde:

e - espessura da lâmina (mm);

n - número de lâminas de uma face até a linha mais profunda de colagem do painel.

Considerando-se os valores particulares dos tratamentos aqui adotados (espessura nominal das lâminas de 3mm e n= 5 ou 9, dependendo do painel), o tempo total de prensagem teórico dos painéis foi de 32 minutos para o painel LVL-9 e 56 minutos para os painéis LVL-17A e LVL-17B.

2.3 Ensaio em escala industrial

Os ensaios em escala industrial foram realizados na Indústria de Compensados Caribea S.A., em São Manuel, SP.

Foram confeccionados dois painéis LVL, montados aleatoriamente a partir de lâminas de pinus tropicais de 2,2 mm de espessura nominal, escolhidas aleatoriamente da produção da própria indústria. Foi fabricado um painel com 15 lâminas, com dimensões nominais de 33 mm x 1220 mm x 2440 mm e um painel com 25 lâminas, com dimensões nominais de 55 mm x 1220 mm x 2440 mm.

As variáveis do processo de fabricação dos painéis comerciais (umidade das lâminas, tipo e aplicação de cola, pré-prensagem à frio, pressão e temperatura de prensagem) foram escolhidas levando-se em consideração a experiência operacional da indústria. Assim, a umidade média das lâminas foi de 5%, o adesivo utilizado foi à base de fenol-formaldeído sob o nome comercial de CR-7010, da SCHENEC-TADY CRIOS S.A., aplicado na razão de 380 gramas por metro quadrado de linha dupla de colagem. O tempo de pré-prensagem foi de 30 minutos e a pressão específica e a temperatura de prensagem foram de 10 kgf/cm² e 135°C, respectivamente. O tempo de prensagem foi monitorado seguindo-se a experiência da indústria e os resultados dos ensaios laboratoriais.

Para estimar o tempo de prensagem dos painéis LVL fabricados com dimensões comerciais e colados com resina à base de fenol-formaldeído foi utilizada a seguinte relação recomendada pelo fabricante:

$$T = T_b + T_{ap} \quad (3)$$

onde:

T - tempo total de prensagem (min);

T_b - tempo base = 2,5 a 1,50 min (para temperatura nos pratos de 125°C a 140°C);

T_{ep} - tempo a mais de 1 minuto para cada milímetro de espessura do painel.

Considerando-se os valores particulares dos tratamentos (espessura nominal das lâminas de 2,2 mm, um tempo base de 1,5 minutos e uma temperatura de prensagem de 135°C, o tempo de prensagem teórico dos painéis foi de 34,5 minutos para o painel LVL-15 e 56,5 minutos para o painel LVL-25.

Para a medição da temperatura ao longo do tempo através da espessura dos painéis foram também instalados termopares do tipo T – cobre-constantan em diferentes linhas de colas, localizados no ponto central das lâminas, como mostrado na Tabela 1 e na Figura 2.



Figura 2 - Instalação dos termopares no painel industrial. a) e b) instalação no interior das lâminas antes da entrada na prensa; c) prensagem do painel e d) vista geral do Micrologger.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Tempo e temperatura de prensagem dos painéis LVL produzidos em escala laboratorial

Pelas relações empíricas já apresentadas, os tempos de prensagem dos painéis de 9 e 17 lâminas foram estimados em 32 min e 56 min – conforme já comentado - considerando-se que foram confeccionados com lâminas com espessura nominal de 3,0 mm.

Os painéis foram, intencionalmente, prensados durante tempos superiores aos avaliados pelas orientações do fabricante, objetivando uma análise mais completa da variação da temperatura em relação ao tempo de prensagem e de sua estabilização. Nas Figuras 3 e 4 ilustra-se a elevação da temperatura até a linha de colagem mais profunda em função do tempo de prensagem nos painéis LVL-9 e LVL-17-A.

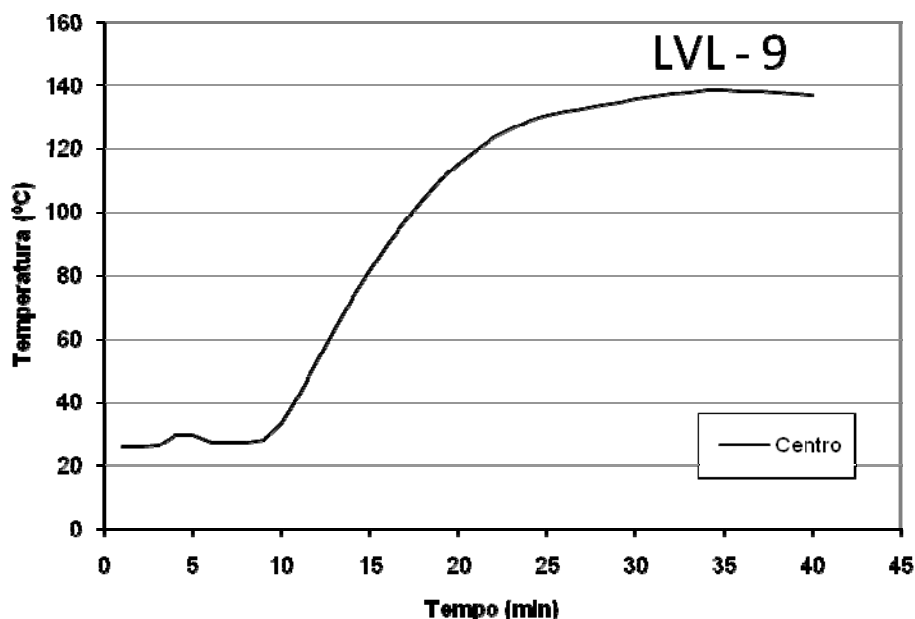


Figura 3 – Painel LVL- 9 - Variação da temperatura em relação ao tempo de prensagem.

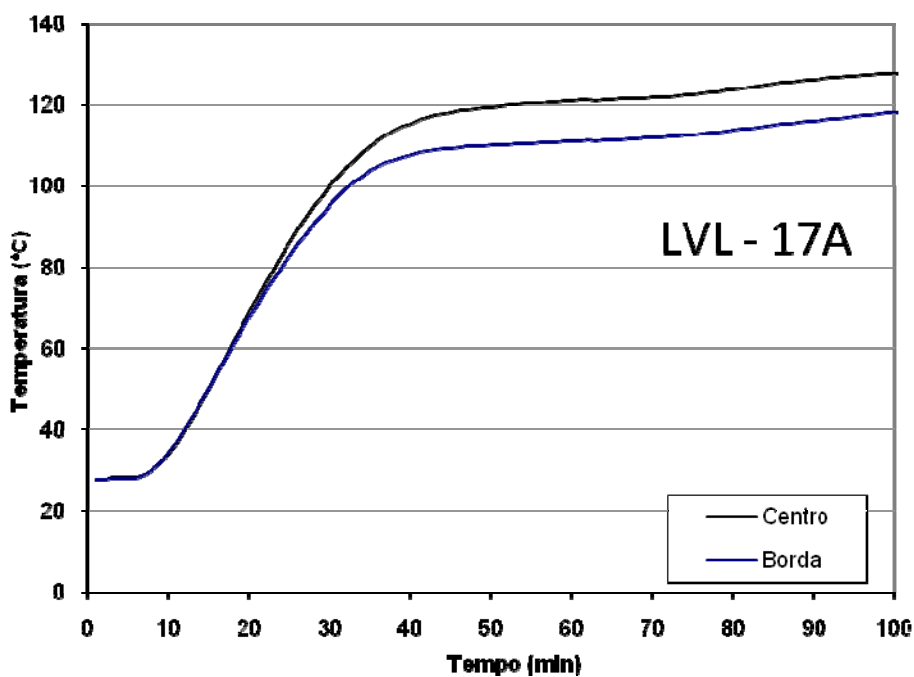


Figura 4 – Painel LVL 17 A - Variação da temperatura em relação ao tempo de prensagem

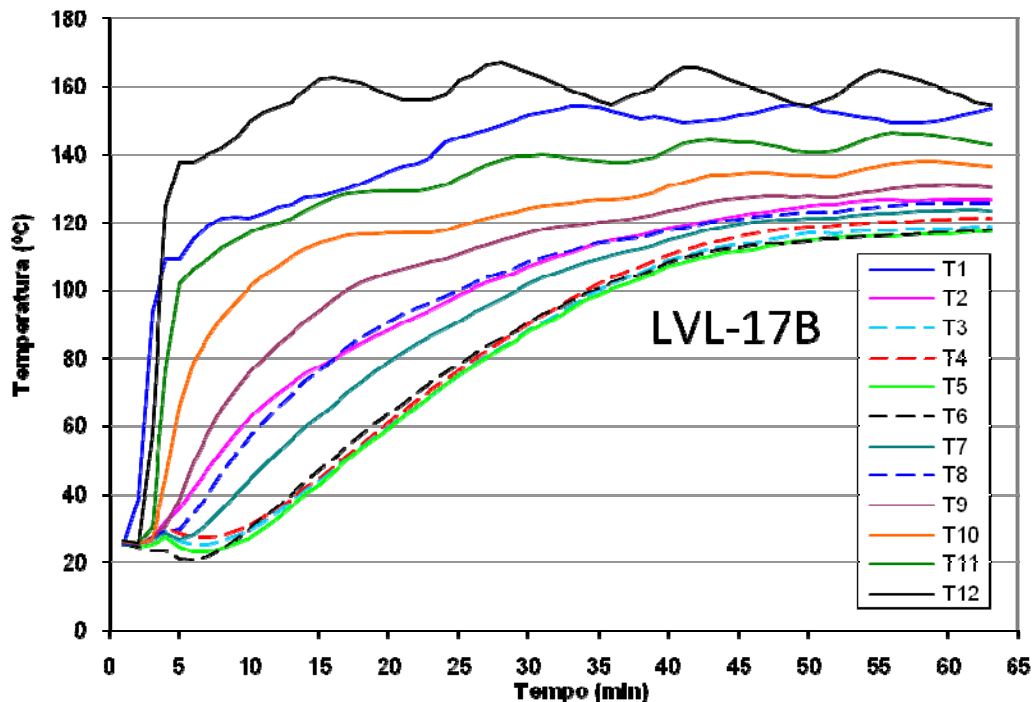
O perfil da elevação da temperatura observado na linha mais profunda de colagem no painel LVL-9 (Figura 3) mostra um aumento gradual da temperatura a partir do início do processo de prensagem, durante cerca de 33 minutos, até atingir-se uma temperatura próxima de 140°C, mantendo-se praticamente

constante a partir desse ponto. No painel LVL-17A o tempo de prensagem necessário para se atingir uma temperatura aproximadamente constante de 120°C no centro geométrico do painel foi 56 minutos. Nesse mesmo tempo, a temperatura atingida no ponto localizado perto da borda do painel foi de 115°C.

Estes resultados, sumarizados na Tabela 2, mostram que os tempos calculados pela relação empírica recomendada pelo fabricante são semelhantes aos encontrados nas Figuras 3 e 4.

A temperatura alcançada no centro dos painéis foi adequada para a cura do adesivo utilizado. Estes valores são semelhantes aos valores mínimos apresentados por outros autores e fabricantes destes adesivos, segundo os quais temperaturas mínimas acima de 100°C no centro dos painéis colados com adesivos fenólicos, são suficientes para atingir uma cura adequada da resina.

Procurando analisar mais detalhadamente o fenômeno, a Figura 5 ilustra a elevação da temperatura em relação ao tempo de prensagem em quase todas as linhas de cola do painel LVL-17B, onde T4 corresponde ao termopar localizado na linha de colagem mais profunda.



Localização dos termopares a partir da face dos painéis

T1 – 1ª linha de colagem	T2 – 3ª linha de colagem
T3 – 7ª linha de colagem	T4 – 8ª linha de colagem
T5 – 9ª linha de colagem	T6 – 10ª linha de colagem
T7 – 11ª linha de colagem	T8 – 12ª linha de colagem
T9 – 13ª linha de colagem	T10 – 14ª linha de colagem
T11 – 15ª linha de colagem	T12 – 16ª linha de colagem

Figura 5 – Painel LVL 17B - Variação da temperatura nas diferentes linhas de cola em relação ao tempo de prensagem.

Para a definição do tempo mínimo de prensagem do painel, deu-se prioridade à análise do tempo e temperatura no centro da espessura do painel (T4 e T5), uma vez que a cura completa do adesivo ocorre após certo período em que a temperatura neste local atinge a temperatura de cura da cola requerida, que neste caso era de 120 a 125°C, segundo as recomendações do fabricante.

A instrumentação adotada no painel LVL-17B permitiu uma avaliação mais detalhada do fluxo de temperatura através da espessura. Conforme se esperava, as temperaturas nas linhas de cola mais externas (T1 e T12) elevaram-se mais rapidamente do que as linhas mais internas. Notou-se também que a temperatura na face inferior (16ª linha de colagem - T12) elevou-se mais rapidamente que na face superior (1ª linha de colagem - T1): a face superior somente entrou em contato com o prato aquecido após seu fechamento, enquanto que a face inferior entrou em contato com o prato assim que o painel foi posicionado para a prensagem. No centro do painel (9ª e 8ª linhas de cola – T4 e T5, respectivamente) a temperatura elevou-se mais lentamente que nas faces, permanecendo aproximadamente constante a partir de 53 minutos, quando a temperatura atingiu 120°C.

Tabela 2 - Tempos de prensagem dos painéis LVL laboratoriais.

Painéis LVL – escala laboratorial (600 mm x 600 mm)			
Tratamentos	Espessura nominal		Obtido pelo gráfico (min)
	lâminas (mm)	Tempo recomendado ⁽¹⁾ (min)	
LVL-9	3,0	32,0	33,0
LVL-17A	3,0	56,0	53,0
LVL-17B	3,0	56,0	53,0

Notas:

1 - a partir de relações empíricas sugeridas pelo fabricante da resina.

De uma forma geral o perfil da elevação da temperatura observado no centro dos painéis e nas faces foi semelhante aos observados em outros compósitos de madeira, conforme descrito por Bolton et al. (1989), Zombori (2001) e Calegari et al. (2000).

Os valores da temperatura de cura do adesivo fenol-formaldeído aqui utilizados (120-125°C) são também semelhantes aos valores mínimos apresentados por outros autores e fabricantes destes adesivos.

3.2 Tempo e temperatura de prensagem dos painéis LVL produzidos em escala industrial

As Figuras 6 e 7 ilustram a elevação da temperatura em função do tempo de prensagem nos painéis, quando monitoradas as temperaturas nas linhas de cola mais externa (face e contra-face) e mais pro-

funda (centro). Deu-se preferência para a avaliação do tempo e temperatura no centro do painel (linha de colagem mais profunda) pelas mesmas razões já apresentadas no item anterior.

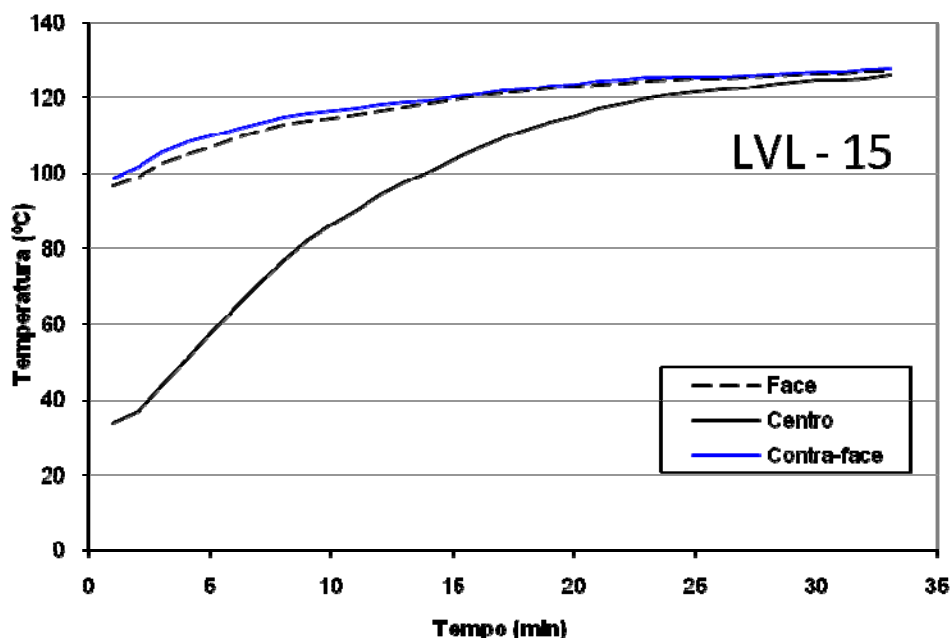


Figura 6 – Painel LVL-15 - Variação da temperatura em relação ao tempo de prensagem.

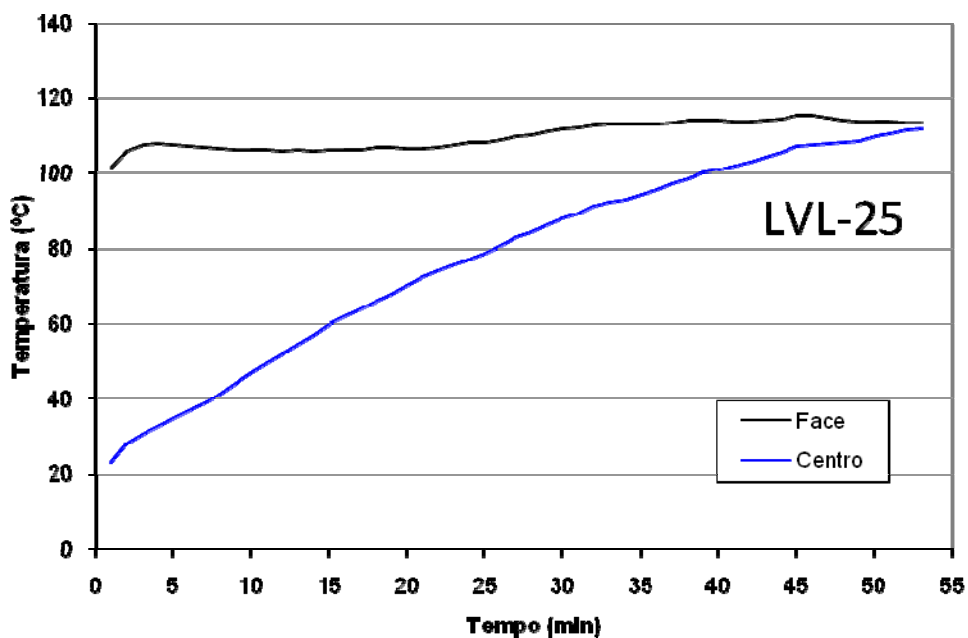


Figura 7 – Painel LVL-25 - Variação da temperatura em relação ao tempo de prensagem.

O perfil da elevação da temperatura observado na linha de colagem mais profunda no painel LVL-15 mostra um aumento gradual da temperatura a partir do início do processo de prensagem por um período de 32 minutos, até atingir uma temperatura de 130°C, que se mantém constante a partir desse tempo. No painel LVL-25 o tempo de prensagem foi de 55 minutos, até ser atingida uma temperatura de, aproximadamente, 115°C no centro do painel.

Tabela 3 - Tempos de prensagem dos painéis LVL comerciais.

Painéis LVL – escala industrial (1100 mm x 2200mm)			
Tratamentos	Espessura nominal das lâminas (mm)	Tempo recomendado ⁽¹⁾ (min)	Tempo do gráfico de temperatura (min)
LVL-15	2,2	34,5	32,0
LVL-25	2,2	56,5	55,0

Notas:

1 - a partir de relações empíricas sugeridas pelo fabricante da resina.

Estes resultados mostram, mais uma vez, que os tempos calculados pela relação recomendada pelo fabricante para a temperatura nos pratos da prensa são semelhantes aos encontrados nos gráficos de temperatura. A temperatura alcançada no centro dos painéis foi adequada para a cura do adesivo utilizado, de acordo com o fabricante da resina utilizada e aos valores publicados por alguns pesquisadores, como já indicado no item anterior.

4 CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos no programa experimental e atendendo aos objetivos deste trabalho, podem-se extrair as seguintes conclusões:

- As formulações empíricas sugeridas pelos fabricantes de adesivos para a produção de compensados estimam, com boa precisão, os tempos de prensagem necessários para fabricação de painéis LVL, mesmo nos casos de painéis LVL com espessuras maiores do que as usualmente empregadas nos painéis compensados;
- Os painéis LVL puderam ser produzidos industrialmente, utilizando-se os mesmos equipamentos e variáveis gerais do processo de fabricação de painéis compensados.

• O monitoramento do gradiente de temperatura durante a prensagem dos painéis LVL, em escalas laboratorial e industrial, foi efetivo para indicar o tempo correto de prensagem em função da temperatura obtida no centro dos painéis.

5 REFERÊNCIAS

AITIM. LVL: producto estructural basado em chapas de madera. *Boletín de Información Técnica (AITIM)*, Madrid, n. 198, p. 15-18, mar. / abr. 1999.

APA EWS STANDARD. *PRL: 501: performance standard for APA EWS laminated veneer lumber*. Tacoma, 2000. 6 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE. *Compensado de Pinus*. Curitiba, 2002. 19p. Catálogo técnico nº1.

BOLTON, A. J.; HUMPHREY, P. E.; KAVVOURAS, P. K. The hot pressing of dry-formed wood-based composites. Part III. Predicted vapour pressure and temperature variation with times, compared with experimental data for laboratory boards. *Holzforschung*, Berlin, v. 43, n. 4, p. 265-274, 1989.

CALEGARI, L. et al. Elevação da temperatura durante a prensagem de painéis aglomerados colados com tanino-fenol-formaldeído. In: CONGRESSO FLORESTAL ESTADUAL DO RIO GRANDE DO SUL, 8., 2000, Nova Prata-RS. *Anais...* Santa Maria: UFSM, 2000. p. 646-650.

DAÍ, C. H.; WANG, S. Press control for optimized wood composite processing and properties. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 2004. 118p. (FPL-GTR-149).

ENGINEERED WOOD PRODUCTS. LVL: laminated veneer lumber. Canadian Wood Council. Disponível em: <<http://www.cwc.ca/NR/rdonlyres/35C376ED-F20A-43EB-8405-D70C452CAB68/0/EngineeredWoodProducts.pdf>>. Acesso em: 18 jun. 2007.

KEINERT, J. S. Influência de diversos tempos de prensagem na resistência da linha de cola em compensados de açoita-cavalo. *Revista SCA*, Curitiba, v.4, p. 11-16, 1982.

KLEMAREWSKI, A. LVL from machine graded eucalyptus nitens and radiata pine venner. In: LVL Vigas de chapas laminadas confeccionadas com *Pinus radiata* y *Eucalyptus nitens*. Concepción: INFOR, 2007. cap. 3, p.33-52. (Informe técnico, 172).

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

LAUNFENBERG, T. Parallel-laminated veneer: processing and performance research review. *Forest Products Journal*, Madison, v. 33, n. 9, p. 21-28, 1983.

McKEEVER, D. B. Engineered wood products: a response to the changing timber resource. *Pacific Rim Wood Market Report*, Gig Harbor, n. 123, p. 5-15, 1997.

RAUTE ENGINEERED WOOD. *Tecnología de LVL: vigas de chapas laminadas*. Santiago, 1980. Não paginado.

SILVA, G. A. et al. Efeito de algumas variáveis de processamento nas propriedades físicas de painéis de madeira de partículas alongadas. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 16, n. 1, p. 51-60, 2006.

TAMMELA, I. Laminated veneer lumber (LVL) manufacturing. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE PRODUTOS SÓLIDOS DE MADEIRA DE ALTA TECNOLOGIA, 1., 1998, Belo Horizonte. *Anais...* Viçosa: SIF/UFV/DEF, 1998. p. 162-168.

ZOMBORI, B. G. *Modeling the transient effects during the hot-pressing of wood-based composites*. 2001. 205 f. Tese (Ph.D.)-Faculty of the Virginia, Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, Virginia, 2001.