

Eficiência de diferentes adesivos para a confecção de painéis de bambu laminado

Efficiency of different adhesive for making laminated bamboo panels

Gregory Adad Kravchenko¹, Evaldo de Melo Ferreira² e Antônio Pasqualetto³

¹Mestre, Engenharia de Produção, Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, GO, Brasil

²Especialista, Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, Goiás, Brasil

Resumo

*O presente trabalho tem como objetivo maior, avaliar a eficiência de diferentes adesivos utilizados para a confecção de painéis de bambu laminado. Nesta investigação técnico-científica foram realizados testes laboratoriais, onde, propriedades de doze vigas de bambu laminado poderão ser comparadas. A planta escolhida foi do tipo *Dendrocalamus giganteus*. Este gênero é um dos melhores para a realização de trabalhos de marcenaria. Para cada tipo de adesivo aplicado nas chapas de bambu laminado, testes de flexão (tamanho reduzido), dureza, massa específica, arrancamento de parafuso, teste de cisalhamento e teste de cisalhamento na linha de cola, constituiram uma ferramenta conclusiva sobre a trabalhabilidade dos diferentes produtos promotores da junção entre as partes que formam o contraplacado. Nas avaliações alguns tipos de aderente não responderam bem aos testes, trazendo o rompimento de certos corpos-de-prova, porém pode-se comprovar a eficiência de colantes utilizados na confecção do bambu laminado. Este trabalho é fruto de um estudo detalhado sobre as placas feitas com o bambu. Em ambientes com níveis consideráveis de umidade e temperaturas que podem reduzir o tempo de uso de móveis, o laminado feito com *Dendrocalamus giganteus* possui uma maior eficiência em relação a outras matérias que se inserem na indústria moveleira.*

Palavras-chave: Engenharia de produção. Indústria moveleira. Materiais ambientalmente sustentáveis.

Abstract

*This work has as main goal to evaluate the efficiency of different adhesives used for making laminated bamboo panels. This technical-scientific research laboratory tests were performed, where properties of twelve laminated bamboo beams can be compared. The plant was chosen type *Dendrocalamus giganteus*. This genus is one of the best to perform carpentry work. For each type of adhesive applied to the plates of laminated bamboo, bending tests (reduced size), hardness, density, screw withdrawal, shear stress and shear stress at the glue line, a tool constituted conclusive on the workability of the different Products promoters junction between the parts that form the plywood. In some types of adherent reviews have not responded well to tests, bringing the disruption of certain body-of-evidence, but one can prove the efficiency of adhesives used in the manufacture of laminated bamboo. This work is the result of a detailed study on the plates made with bamboo. In environments with significant levels of humidity and temperatures can shorten the use of furniture, laminate made with *Dendrocalamus giganteus* has higher efficiency over other matters falling in the furniture industry.*

Keywords: Production engineering. Furniture industry. Environmentally sustainable materials.

I INTRODUÇÃO

O bambu é uma espécie vegetal útil e de aplicação eficiente em diversas atividades. Constitui-se como um material vegetal cujas propriedades mecânicas indicam grande potencial a ser explorado pela engenharia (LIMA JÚNIOR & DIAS, 2001), sendo conhecido pelo homem desde os tempos pré-históricos e utilizado como material de construção, alimento, arma e utensílios domésticos (LOPES et al., 2002).

Pode-se dizer que o bambu surge como uma solução para o presente e o futuro, amigável para o homem e para a natureza, onde há que se preservar recursos naturais que estão em colapso. Desde pontes, casas, monumentos, estruturas efêmeras, mobiliário, papel, biodiesel, fertilizantes, sustentação de barrancos e alimento (CAEIRO, 2010).

A indústria moveleira por estar inserida no setor de base florestal, tem sido foco de fortes apelos ambientais, resultado do desenvolvimento de políticas públicas voltadas à conservação dos recursos naturais (AZEVEDO & NOLASCO, 2009). Na indústria de lâminas de madeira e do compensado também, tem-se como base, toras provenientes de florestas naturais ou de florestas plantadas. Da mesma forma que no caso da madeira serrada, é necessária uma boa qualidade em relação às propriedades físico-mecânicas da madeira e às dimensões das toras (HILLIG et al., 2009). De acordo com Lima Junior & Dias (2001, p. 519):

O bambu é um material vegetal cujas propriedades mecânicas indicam grande potencial a ser explorado pela engenharia. A planta apresenta longos colmos, ocos no interior, os quais são fechados a intervalos mais ou menos regulares, por um diafragma nas regiões dos nós; suas paredes têm excelente resistência à tração e à compressão, comparáveis às mais nobres madeiras ressaltando-se, ainda, seu baixo peso específico, da ordem de 8,5 kN m⁻³.

O uso de polpas celulósicas em construções, por exemplo, tem levantado bastante interesse, pois o processo de polpação confere remoção das impurezas não celulósicas, como a lignina e a hemicelulose, diminuindo o ataque às fibras pelo meio básico gerado em componentes como o cimento (ANJOS et al., 2003). Segundo Sarto (2012, p. 17):

O bambu é um recurso natural que pode ser empregado em diversos usos: compensados de bambu são utilizados em paredes e pisos como revestimentos; sua polpa serve como matéria-prima na produção de papel e celulose; ele ainda é utilizado conjuntamente com o concreto na construção civil, entre outros usos.

Em plantios de bambu, a densidade de plantas é alta, as rotações por corte raso são curtas e realizadas indefinidamente sem replantio, e a nutrição se distingue por ser caracterizada pela existência de um complexo de colmos sucessivamente conectados ao rizoma (MENDES et al., 2010).

Necessário à fabricação de laminados com bambu, é importante ter um bom adesivo que garante a uniformidade das placas. Existindo teorias para o efeito do colante que são enganchamento mecânico e a teoria da adsorção. Na primeira ocorre à penetração do adesivo num substrato poroso que leva à formação de ganchos ou entrelaçamento mecânico do adesivo que se prende nas camadas superficiais da madeira após a cura e endurecimento do adesivo. A adesão é resultante do contato molecular entre dois materiais que desenvolvem forças de atração superficiais (VITAL et al., 2006).

Os adesivos mais utilizados na manufatura de painéis à base de bambu ou madeira são: melamina, uréia – formaldeído, fenol formaldeído, resorcinol formaldeído e epóxi (LOPEZ, 2003). Segundo Nogueira (2008, p. 43): “O painel de bambu laminado colado pode ser considerado um substituto para o aço, o concreto, nos usos como viga mestra e coluna, como porta, corrimão e paredes na construção pré-fabricada”.

O presente trabalho objetivou analisar a eficiência de diferentes adesivos para a confecção de painéis de bambu laminado, sendo isto possível, através de testes e ensaios em laboratório verificando a trabalhabilidade dos diferentes produtos promotores da junção entre as partes que formam o contraplacado.

2 METODOLOGIA

Existem diversos exemplos de aplicação prática para o bambu, servindo de auxiliar em estruturas ou mesmo interiores de construções. O bambu é uma planta cujas propriedades

mecânicas indicam grande potencial a ser explorado pela engenharia (LIMA et al., 2014). Um dos exemplos é a construção de componentes para ambientes internos (Figura 1).



Figura 1 – Ponte autoportante realizada com bambu laminado, Triennale, Milão – Itália. Fonte: Autor (2010)

Na realização desse trabalho, foram feitas análises laboratoriais onde foi verificada a eficiência de diferentes adesivos aplicados em painéis de bambu. As análises foram feitas em Brasília/DF no Laboratório de Produtos Florestais – LPF/SFB. O LPF é um centro de pesquisa do Serviço Florestal Brasileiro, órgão do Ministério do Meio Ambiente. Foi realizada a caracterização parcial das propriedades físicas e mecânicas de vigas de bambu laminado, espécie *Dendrocalamus giganteus*, determinando a massa específica em base seca 12%, teor de umidade, bem como a resistência a flexão, à dureza, ao cisalhamento paralelo às fibras, arrancamento de parafusos e cisalhamento na linha de cola.

Utilizaram-se 12 (doze) vigas de bambu laminado de aproximadamente 5 cm x 7 cm x 70 cm. De cada viga foi retirado um corpo-de-prova para flexão (tamanho reduzido), um para os testes de dureza, massa específica e arrancamento de parafuso, um para teste de cisalhamento e outro utilizado no teste de cisalhamento na linha de cola. A Tabela 1 apresenta a lista das vigas recebidas de acordo com o tipo de adesivo e a Tabela 2 o número de corpos-de-prova por ensaio realizado.

Tabela 1 – Lista das vigas recebidas. Fonte: Autor (2012)

Tipo do Adesivo	Número de utilização nas Viga	Quantidade de Vigas	Quantidade de Corpos de Provas Gerados
ADS 20	1.1 e 1.2	2	48
Cascophen	2.1 e 2.2	2	48
Cascorez	3.1 e 3.2	2	48
Masterquil	4.1 e 4.2	2	48
Polibond	5.1 e 5.2	2	48
Wonderbond	6.1 e 6.2	2	48
Total		12	288

Para cada adesivo retirou-se duas amostras. Cada viga foi cortada em 24 corpos-de-prova, sendo isto feito de acordo com a exigência de cada norma, totalizando 48 corpos de prova por

tipo de adesivo. Os cortes dos corpos-de-prova foram feitos em laboratório. As vigas foram recebidas com um teor de umidade médio de 10%.

Os ensaios realizados em condição seca para as propriedades físicas foram: massa específica aparente e teor de umidade. Para as propriedades mecânicas as análises realizou-se análise de flexão estática, cisalhamento paralelo às fibras, cisalhamento na linha de cola, dureza janka e arrancamento de parafuso. Nos ensaios de massa específica e arrancamento de parafusos foram utilizados os mesmos corpo-de-prova de dureza janka.

Tabela 2 – Número de corpos-de-prova por ensaio realizado. Fonte: Autor (2012)

Tipo de Ensaios	Corpos-de-prova		Total
	Quantidade da Viga 1	Quantidade da Viga 2	
Flexão estática	6	6	12
Cisalhamento paralelo às fibras	6	6	12
Cisalhamento na linha de cola	6	6	12
Dureza Janka	6	6	12
Massa específica			Mesmo de dureza
Arrancamento de parafuso			Mesmo de dureza
Total	24	24	48

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante a realização dos ensaios e preparação dos corpos-de-prova, foi verificado que várias vigas estavam com problemas de colagem na região central da peça, o que ocasionou perda de resistência em alguns casos e em outros não foi possível realizar o teste de forma satisfatória. Isto foi evidenciado no teste de linha de cola onde em apenas três casos houve falha total na madeira, o que seria o ideal.

Para os diferentes adesivos representados pelas vigas indicadas foram determinadas três dimensões tangenciais T1, T2, T3 e três radiais R1, R2, R3 para conhecimento do volume. Os valores resultantes para massa específica aparente apresentada por viga mostraram que houve variações entre os diferentes adesivos. A viga de número 5.2 teve a maior massa específica aparente, no valor de 0,72 g/cm³, diferente do ocorrido com 3.2, 4.1 e 6.2, ambas com MEA igual a 0,63 g/cm³.

Quadro 1 – Massa específica aparente (MEA) a 10%

Viga	T1	T2	T3	R1	R2	R3	Comp	Massa	MEA
	mm	g	g/cm ³						
1.1	50,25	50,19	50,17	50,2	50,22	50,17	149,54	259,79	0,69
1.2	50,01	49,85	49,84	50,21	50,32	50,32	149,46	238,34	0,64
2.1	50,43	50,35	50,37	49,99	50,12	50,04	150,15	269,76	0,71
2.2	50,08	49,92	50,06	50,2	50,23	50,14	149,68	247,37	0,66
3.1	50,44	50,4	50,47	50,45	50,49	50,44	149,85	222,27	0,58
3.2	50,14	50,38	50,44	50,32	50,18	50,12	149,66	238,78	0,63
4.1	50,13	50,24	50,23	50,17	50,27	50,22	150,08	238,46	0,63
4.2	50,29	50,45	50,34	50,09	50,22	50,05	149,66	227,26	0,60
5.1	50,22	50,28	50,34	50,49	50,52	50,48	150,02	272,15	0,71
5.2	50,37	50,43	50,43	50,16	50,1	49,98	149,55	270,81	0,72
6.1	50,38	50,57	50,56	50,25	50,41	50,26	150,11	248,73	0,65
6.2	50,39	50,52	50,54	50,42	50,51	50,44	159,75	257,41	0,63

Fonte: Autor (2012)

A prensagem de cada viga foi realizada de forma manual, para futuras aplicações em escala industrial será necessária à realização de novos testes, resultando em uma tabela com resultados finais mais próximos entre si. A dureza Janka (Quadro 2) pode ser definida como a resistência que a madeira oferece à penetração de outro corpo. Neste teste algumas amostras delaminaram.

Quadro 2 – Dureza Janka feita nos materiais analisados

Viga	Tang	Tang	Rad	Rad	Topo	Topo	Média Lateral	Média Topo
	Kgf	Kgf	Kgf	Kgf	Kgf	Kgf	Kgf	Kgf
1.1	440	410	440	490	590	630	445	610
1.2	715	384	640	485	608	565	556	587
2.1	515	530	rachou	445	620	545	497	583
2.2	674	565	490	435	Delamin.	Delamin.	541	Delamin.
3.1	430	270	415	355	505	545	368	525
3.2	610	485	485	250	685	574	458	630
4.1	410	420	534	570	690	635	484	663
4.2	475	525	380	440	478	555	455	517
5.1	765	530	640	415	738	730	588	734
5.2	590	600	625	460	640	660	569	650
6.1	565	360	620	450	600	520	499	560
6.2	800	515	410	490	555	450	554	503

Fonte: Autor (2012)

Nos testes de flexão estática (Quadro 3) verificou-se que algumas amostras perderam a resistência depois de algum tempo de teste, mas não rompiam, envergavam. Nesses casos, o teste foi interrompido após perda de 20 % da força máxima. Foi comprovada a grande eficiência das fibras longitudinais do bambu e pode representar a vantagem de utilização do laminado para finalidades que necessitem destas condições.

Quadro 3 – Flexão estática

Viga	Larg cm	Altura cm	Comp. cm	Fmax Kgf	MOR Kgf/cm ²	MOE Kgf/cm ²	Obs
1.1	25,39	25,53	360	229	752	108098	Delamin.
1.2	25,49	25,37	360	208	774	114735	
2.1	25,28	25,72	360	190	603	114545	Delamin.
2.2	25,63	25,53	360	324	1038	128268	Delamin.
3.1	26,14	25,79	360	230	715	66619	
3.2	25,79	25,67	360	318	863	83680	
4.1	25,69	25,43	360	174	591	96385	Delamin.
4.2	25,86	25,63	360	176	480	66075	Delamin.
5.1	25,38	25,56	360	221	765	82611	
5.2	25,77	25,54	360	164	497	89390	
6.1	25,93	25,51	360	358	1049	11545	
6.2	25,43	25,51	360	188	663	123176	

Fonte: Autor (2012)

A redução do módulo de elasticidade na flexão pode ser comprometida pela resistência ao cisalhamento na linha de cola, sendo isso uma propriedade crítica de qualquer madeira laminada e pode ser ajustado durante o processo de colagem das lâminas. Neste teste também houve delaminação de cinco corpos-de-prova. No teste de arranchamento do parafuso (Quadro 4) a viga 4.2 apresentou-se de maneira mais satisfatória, com resultados no topo do corpo-de-prova, na ordem de 619 Kgf.

Quadro 4 – Arrancamento de parafuso

Viga	Tang	Tang	Rad	Rad	Topo	Topo	Média Lateral	Média Topo
	Kgf	Kgf	Kgf	Kgf	Kgf	Kgf	Kgf	Kgf
1.1	168	180	143	212	220	163	176	192
1.2	225	185	257		93	224	222	159
2.1	140	195	126	200	180	160	165	170
2.2	240	213	125	118	82	142	174	112
3.1	122	152	132	112	52	84	130	68
3.2	168	232	162	187	142	84	187	113
4.1	145	157	232	238	116	114	193	115
4.2	166	185	151	178	1114	123	170	619
5.1	207	178	125	280	108	120	198	114
5.2	192	195	200	183	110	77	193	94
6.1	163	132	202	218	50	164	179	107
6.2	210	211	192	130	140	156	186	148

Fonte: Autor (2012)

Quanto ao cisalhamento (Quadro 5 e 6) a viga 3.1, similar ao ocorrido no cisalhamento na linha de cola, onde teve 100% de falha na madeira, apresentou resultados menos satisfatórios. Em estudos similares, foi observado comportamento praticamente linear até próximo da carga de ruptura para praticamente todas as vigas ensaiadas, tanto para as vigas de BLC (à base dos adesivos Cascorez e Cascophen) quanto para as vigas de madeiras (*E. grandis* e pinho-do-paraná) (LIMA et al., 2014).

Quadro 5 – Cisalhamento feito nas amostras de bambu

Viga	Lado cm	Lado cm	Esforço Kgf	Tensão Kgf/cm ²
1.1	5,01	4,99	2650	106
1.2	falha	falha	falha	falha
2.1	5,04	4,97	3040	121
2.2	4,99	4,99	2530	102
3.1	5,04	4,94	2130	85
3.2	5,00	4,95	2200	89
4.1	5,00	4,97	2230	90
4.2	5,00	4,99	2500	100
5.1	5,00	4,97	2870	115
5.2	5,01	4,96	2700	109
6.1	5,01	4,98	2390	96
6.2	5,03	4,94	2720	110

Fonte: Autor (2012)

Em madeiras, por exemplo, a adesão de um agente colante é um fator importante para a utilização do recurso e depende de fatores físicos, químicos e estruturais, os quais controlam a habilidade do adesivo de aderir às suas superfícies, sendo essa característica interferida também pelas forças de cisalhamento (NASCIMENTO et al., 2013). No Quadro 6 podem-se observar os resultados para os testes de cisalhamento realizados na linha de cola das placas utilizadas.

Quadro 6 – Teste de cisalhamento feito na linha de cola das lâminas estudadas

Viga	Lado cm	Lado cm	Esforço kgf	Tensão Kgf/cm ²	Falha Na Madeira %
1.1	falha	falha	falha	falha	=
1.2	3,82	5,00	784	41	0
2.1	falha	falha	falha	falha	=
2.2	3,94	5,03	1100	55	50
3.1	3,87	5,02	1370	71	100
3.2	3,91	5,02	1484	76	100
4.1	3,96	5,00	1374	69	50
4.2	3,95	5,03	800	40	0
5.1	3,89	5,02	900	46	40
5.2	3,87	5,02	4130	213	10
6.1	3,89	5,02	4900	251	100
6.2	4,01	5,04	3630	180	50

Fonte: Autor (2012)

Lima Júnior & Dias (2001, p. 521), em um estudo similar dizem que:

Os corpos-de-prova apresentaram dimensões médias do plano de cisalhamento, de 50,5 x 30,7 mm. Em todos eles, a ruptura se deu no plano predeterminado, isto é, distinto do plano de cola. A tensão média de cisalhamento com o respectivo desvio-padrão foi de 7,81 e 1,06 MPa.

4 CONCLUSÕES

Os adesivos analisados se mostraram eficientes na confecção de painéis de bambu laminado, sendo que alguns apresentaram características mais propícias à aplicação desejada. A inexistência de normas específicas para a caracterização física e mecânica do laminado de bambu dificultou uma comparação em relação ao desempenho dos corpos-de-prova.

Este trabalho proporcionou uma análise comparativa entre ensaios físico-mecânicos de seis adesivos encontrados no mercado, tendo por finalidade auxiliar em futuras análises para a escolha do adesivo mais apropriado, de acordo com a aplicação desejada para o bambu laminado. A investigação técnico-científica, teve como fornecedor de materiais como os colantes, alguns fabricantes de adesivos. Os de base PVA foram de menor custo, sendo econômico para a fabricação das placas laminadas.

REFERÊNCIAS

- ANJOS, M.A.S; GHAVAMI, K; BARBOSA, N.P. Compósitos à base de cimento reforçados com polpa celulósica de bambu. Parte I: Determinação do teor de reforço ótimo. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, vol. 7, n. 2, p. 339-345, May/Aug. 2003.
- AZEVEDO, P. S & NOLASCO, A. M. Fatores de incorporação de requisitos ambientais no processo de desenvolvimento de produtos em indústrias de móveis sob encomenda. Revista Ciência Rural, Santa Maria, vol. 39, n. 8, p. 2422-2427, Nov. 2009.
- CAEIRO, J. G. B. M. 2010. Construção em bambu. Dissertação (Mestrado em Arquitetura). Lisboa: Faculdade de Arquitectura, Universidade Técnica de Lisboa. 157p.
- HILLIG, É; SCHENEIDER, V. E; PAVONI, E. T. Geração de resíduos de madeira e derivados da indústria moveleira em função das variáveis de produção. Produção, São Paulo, vol. 19, n. 2, p. 292-303, 2009.

LIMA, D. M; AMORIM, M. M; LIMA JÚNIOR, H. C; BARBOSA, N. P; WILRICH, F. L. Avaliação do comportamento de vigas de bambu laminado colado submetidas à flexão. *Ambiente Construído*, vol. 14, n. 1, p. 15-27, jan./mar. 2014.

LIMA JR, H. C & DIAS, A. A. Vigas mistas de madeira de reflorestamento e bambu laminado colado: análise teórica e experimental. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, vol. 5, n. 3, p. 519-524, Sept./Dec. 2001.

LOPES, W.G.R; FREIRE, W.J; FERREIRA, G. C. S. Ensaio de arrancamento e de empuxamento aplicados a taliscas de bambu encravadas em corpos-de-prova de solo-cimento. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, vol. 6, n. 3, p. 504-510, Sept./Dec. 2002.

LOPEZ, H. O. *Bamboo the gift of the Gods*. Bogotá: o autor, 2003. 553 p.

MENDES, S. C; MOLICA, S. G; FERREIRA, R. L. C; CÉSPEDES, G. H. G. Absorção e distribuição de nutrientes em plantios comerciais de bambu (*Bambusa vulgaris*) no nordeste do Brasil. *Revista Árvore*, Viçosa, vol. 36, n. 4, p. s / n, Nov./Dec. 2010.

NASCIMENTO, A. M; GARCIA, R. A; LUCIA, R. M. D. Qualidade de adesão de juntas coladas de diferentes espécies comerciais de madeira. *Cerne*, Lavras, vol. 19, n. 4, p. 593-601, out./dez. 2013.

NOGUEIRA, C. L. Paineis de bambu laminado colado estrutural. 2008. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Produtos Florestais). São Paulo: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. 92p.

SARTO, C. Avaliação do processo SuperBatch TM para produção de polpa celulósica a partir de *Bambusa vulgaris*. 2012. Dissertação (Mestrado em Ciências, Programa: Recursos Florestais. Opção Tecnologia de Produtos Florestais). São Paulo: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. 68p.

VITAL, B. R; MACIEL, A. S; LUCIA, R. M. D. Qualidade de juntas coladas com lâminas de madeira oriundas de três regiões do tronco de *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus saligna* e *Pinus elliottii*. *Revista Árvore*, Viçosa, vol. 30, n. 4, p. 637-644, July/Aug. 2006.