

IPEF - ESALQ  
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

SCIENTIA  
FORESTALIS

ISSN 1413-9324  
Nº 53, Junho, 1998

Resistência ao ataque de fungos  
de chapas aglomeradas de bagaço de cana-de-açúcar  
modificado quimicamente

*Natural decay resistance of chemically modified sugar cane  
bagasse particleboards*

Esmeralda Y. A. Okino; Mário R. de Souza;  
Marcos A. E. Santana; José Paulo V. Andahur

---

RESUMO: Chapas aglomeradas feitas com partículas desmeduladas de bagaço de cana-de-açúcar, acetiladas e não acetiladas, foram testadas quanto à degradação de dois tipos de fungos, *Gloeophyllum trabeum* (Pers. ex Fr.) Murr. e *Pycnoporus sanguineus* (Pers. ex Fr.) Murr. As chapas foram confeccionadas com resinas de uréia-formaldeído (UF) e tanino-paraformaldeído (TP), a 8 e 12% de sólidos resinosos, baseados no peso seco das partículas. As chapas aglomeradas, medindo 25x28cm, com peso específico médio de 0,71 e espessura média de 1,45cm, foram testadas segundo a norma ASTM D 2017-71. Testaram-se 3 parâmetros com 4 repetições (2 tipos de resina, 2 níveis de resina e 2 tipos de partícula). Vinte amostras para cada combinação foram expostas aos fungos por 12 semanas, obtendo-se desse modo, a perda de peso médio. A reação de acetilação mostrou-se bastante eficiente contra a degradação para ambos os fungos, independentemente do tipo e do nível de resina aplicados.

PALAVRAS-CHAVE: Biodegradação, Fungos xilófagos, Cana-de-açúcar, Chapas aglomeradas, Acetilação, Tanino, Uréia-formaldeído, Bagaço desmedulado.

ABSTRACT: Sugar cane bagasse particleboards were fabricated with acetylated and non-acetylated depithed particles and tested against degradation of two wood fungi. Urea-formaldehyde (UF) and tannin-paraformaldehyde (TP) adhesives at 8 and 12% resin content (based on the oven-dry weight of particles) were used to make boards. Decay tests were conducted according to ASTM D 2017-71. Two fungi were chosen, one brown-rot fungus, *Gloeophyllum trabeum* (Pers. ex Fr.) Murr. and other white-rot fungus, *Pycnoporus sanguineus* (Pers. ex Fr.)Murr. Twenty samples were tested in each kind of boards and after 12 weeks of exposure the average weight loss was determined. The acetylation showed to be highly powerful against both fungi, irrespectively of type of adhesive and applied resin level.

KEYWORDS: Biodegradation, Fungi, Sugar cane bagasse, Particleboard, Acetylation, Tannin, Urea-formaldehyde.

---

## INTRODUÇÃO

O Programa Nacional do Álcool (PRO-ÁLCOOL) é o maior programa, em termos mundiais, no campo de fontes alternativas de energia. Apesar de fortalecido em 1975, a modernização do parque sucro-alcooleiro iniciou-se somente em 1980, resultante da necessidade de racionalizar a produção agro-industrial para atendimento das metas do programa, e das medidas voltadas para a substituição e conservação de energia.

Para uma avaliação da magnitude do álcool na economia do País, temos os resultados obtidos na safra 1990/91, onde a produção de cana foi de  $222 \times 10^6$  toneladas(t). A produção de álcool foi de  $11,84 \times 10^6$ t e a de açúcar foi de  $7,48 \times 10^6$ t. O uso da cana para açúcar foi de 27,6% do total, sendo 72,4% para álcool. Nesse mesmo período, a produção total de bagaço, estimada a partir da produção de cana e teor de fibra, foi de  $62 \times 10^6$ t/ano com 50% de umidade. Há uma estimativa de excedente médio de 8%; destes, cerca de  $1,5 \times 10^6$  t são usados por outros setores industriais: química, papel e celulose, alimentos (Macedo, 1991). Embora existam muitas oportunidades do ponto de vista técnico para o bagaço de cana, poucas são economicamente viáveis.

O bagaço possui características físicas e químicas bem definidas. Comparado às coníferas, contém menos lignina, mais pentosanas e o seu conteúdo de alfa-celulose é menor. As fibras do bagaço, com relação às suas dimensões, são parecidas com as das madeiras de folhosas; porém, mais curtas do que as das madeiras de coníferas. Embora quimicamente similares na composição, a fibra e a medula são morfológicamente distintas. A primeira constitui-se em material celulósico com uma alta relação comprimento/diâmetro de 85:1, enquanto que para a medula, está em torno de 6:1 (Ribeiro, 1985).

Comparativamente à madeira, o bagaço é uma matéria-prima relativamente homogênea, considerando-se a cor, o conteúdo de umidade e a densidade.

O uso do bagaço de cana no País tem sido pequeno devido aos aspectos mercadológicos e econômicos, como a falta de especificação técnica; a necessidade de desenvolvimento e/ou adaptação de tecnologia de beneficiamento; o alto custo de transporte e armazenagem (sazonalidade e perecibilidade); e a não-competitividade em relação aos energéticos alternativos (lenha e óleo combustível). Para que o bagaço se torne um produto efetivo, deve-se identificar o seu mercado potencial e estabelecer uma política de desenvolvimento tecnológico (Russo, 1975).

Atualmente, a indústria sucro-alcooleira recebe atenção especial dos órgãos de controle ambiental, entidades ambientalistas e autoridades. As alterações no meio ambiente podem ser facilmente verificadas, através do acréscimo e da velocidade de expansão da monocultura canavieira, da aplicação maciça de agrotóxicos, do desmatamento de áreas de vegetação natural e da geração de enormes volumes de resíduos pelas grandes usinas.

Diante da perspectiva de expansão da produção de álcool, surge a necessidade da pesquisa científica, no sentido de disciplinar, planejar e solucionar os problemas decorrentes da industrialização da agricultura, através da proliferação de usinas e destilarias de açúcar e álcool.

Ao contrário do que ocorreu com o mercado açucareiro e alcooleiro, o de chapas de bagaço não teve uma orientação mundial. A demanda por chapas está aumentando a ritmos elevados em quase todos os países.

Trabalhos anteriores sobre chapas de alta densidade a partir de resíduos agrícolas, incluindo o bagaço, mostraram problemas como a alta absorção de água e, conseqüentemente, a má estabilidade dimensional dos

produtos. No geral, chapas feitas de bagaço e outros resíduos tropicais ainda não estão satisfatórias e necessitam de mais pesquisas.

O objetivo deste trabalho foi estudar o grau de degradação das chapas aglomeradas de bagaço de cana-de-açúcar expostas ao ataque de dois fungos: um de podridão branca e outro de podridão parda, mais frequentes em zonas tropicais.

## MATERIAL E MÉTODOS

Partículas desmeduladas de bagaço de cana-de-açúcar (teor de medula de 40%) e com comprimento abaixo de 0,3 cm foram submetidas à reação de acetilação com anidrido acético, isento de co-solventes ou catalisadores (Tillman et al., 1987), por 4h sob refluxo. O excesso de reagente foi extraído com acetona sob refluxo por mais 2h. Após a acetilação, as partículas foram secas em estufa, a 105° C, até peso constante.

Chapas aglomeradas, medindo 25x28cm, foram confeccionadas com: partículas acetiladas e não acetiladas (controles), e resinas sintéticas de uréia-formaldeído (UF) e resina vegetal de tanino-paraformaldeído (TP), a 8 e 12% de sólidos resinosos, baseados no peso seco das partículas. A pressão de compactação foi de 60kg/cm<sup>2</sup>, a 160° C, por 8 min. As chapas foram prensadas até a espessura de 1,45cm. O peso específico calculado foi de 0,7.

Para a avaliação das chapas utilizaram-se dois tipos diferentes de fungos: *Gloeophyllum trabeum* (Pers. ex Fr.) Murr., podridão parda, e *Pycnoporus sanguineus* (Pers. ex Fr.) Murr., podridão branca. Os testes foram realizados de acordo com a norma norte-americana (ASTM, 1981), a qual estabelece que as amostras devem ser expostas ao ataque de fungos por 12 semanas, em ambientes controlados.

O delineamento experimental foi um fatorial completo com 2<sup>3</sup> combinações e 4 re-

petições. Os três parâmetros testados foram: 2 tipos de resina, 2 níveis de resina e 2 tipos de partícula.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados foram classificados segundo a norma ASTM D 2017-71, conforme a Tabela 1.

Tabela 1

Classificação da resistência natural de madeiras, segundo a norma ASTM D 2017-71.

*Decay resistance expressed as weight loss according to ASTM D 2017-71*

Média de Perda de Peso (%)	Classificação
0-10	Altamente resistente
11-24	Resistente
25-44	Moderadamente resistente
>45	Pouco ou não resistente

As médias de perda de peso no teste de solo após 12 semanas, em chapas controles e acetiladas de bagaço de cana, bem como a comparação estatística entre as médias, usando o teste de Tukey, encontram-se na Tabela 2. As propriedades físicas e mecânicas dessas chapas foram também estudadas e publicadas separadamente (Okino et.al., 1997).

De acordo com a norma norte-americana ASTM D 2017-81, as chapas controles usando UF e TP, a 8 e 12% de sólidos resinosos, foram classificadas como “moderadamente resistentes”, independentemente do fungo testado. Todas as chapas acetiladas foram classificadas como “altamente resistentes”.

Tabela 2

Valores médios de perda de peso, no teste acelerado de laboratório, após 12 semanas, em chapas de bagaço de cana expostas aos fungos *G. trabeum* (Pers. ex Fr.)Murr. e *P. sanguineus* (Pers. ex Fr.)Murr.

*Weight loss in a 12-week accelerated decay test of sugar cane bagasse particleboard, exposed to G. trabeum (Pers. ex Fr.) Murr. e P. sanguineus (Pers. ex Fr.) Murr.*

Combinação	PERDA MÉDIA DE PESO (%) <sup>a</sup>				
	<i>G. trabeum</i>	Agrupamento <sup>b</sup>	Combinação	<i>P. sanguineus</i>	Agrupamento
TP-8 A	1,9 (0,2) <sup>c</sup>	A	TP-8 A	2,0 (0,3)	A
UF-8 A	2,1 (0,7)	A	UF-8 A	2,1 (0,3)	A
UF-12 A	2,5 (0,2)	A	UF-12 A	2,4 (0,3)	A
TP-12 A	2,7 (0,2)	A	TP-12 A	2,9 (0,2)	A
TP-12 C	29,8 (7,5)	B	TP-8 C	27,4 (4,7)	B
UF-12 C	39,8 (12,8)	C	TP-12 C	30,4 (6,8)	B
TP-8 C	41,3 (4,7)	C	UF-12 C	35,1 (4,3)	C
UF-8 C	43,5 (11,4)	D	UF-8 C	36,3 (2,7)	C

<sup>a</sup>Média de 20 amostras, 5 para cada uma das 4 repetições.

<sup>b</sup>Agrupamento feito pelo teste de Tukey.

<sup>c</sup>Desvio padrão em %.

As chapas acetiladas apresentaram uma perda de peso percentual média de aproximadamente 2%, bastante inferior às chapas controles, que apresentaram valores da ordem de 35%. Estatisticamente, não houve diferença significativa entre as médias das chapas acetiladas para os dois fungos, independentemente do tipo e do nível de resina. Isso se deve, provavelmente, ao fato de que a acetilação promoveu uma redução muito acentuada nas médias de perda de peso, aproximando-as de zero. Para as chapas não acetiladas (controles), não foi detectada qualquer tendência em relação ao tipo e ao nível de resina. As médias foram elevadas e a comparação entre elas não permitiu tirar qualquer conclusão. Isso pode ser confirmado pelas interações presentes no teste estatístico, ou seja, todas as interações foram significativas.

Foi verificado, estatisticamente, que *G. trabeum* promoveu maior degradação que *P. sanguineus*, nas chapas de bagaço não acetiladas, confirmando sua preferência por madeira mole.

## CONCLUSÃO

Chapas de bagaço de cana ficam altamente resistentes ao ataque dos fungos *G. trabeum* e *P. sanguineus* quando as partículas são previamente acetiladas. Isso ocorre independentemente do nível e do tipo de resina usados.

Existe uma significativa interação entre o nível de resina, o tipo de resina e o tipo de partícula, o que não permitiu tirar conclusões sobre o efeito individual de cada tratamento. Os efeitos dos tipos e dos níveis das resinas não são independentes, interagindo entre si.

O processo de acetilação promove um aumento elevado na resistência à degradação das chapas, não permitindo detectar-se diferenças entre os tratamentos. Os valores de perda de peso tendem a zero.

Conclui-se que o processo de acetilação é muito eficiente na preservação de chapas con-

tra os dois tipos de fungos testados. Isso torna o bagaço de cana, após acetilação, uma excelente matéria-prima para confecção de chapas aglomeradas, conferindo-lhes alta resistência, quando expostas em ambientes propícios ao crescimento de fungos destruidores da madeira.

#### AUTORES/AUTHORS

ESMERALDA YOSHICO ARAKAKI OKINO é Engenheiro químico, M.SC Laboratório de Produtos Florestais do IBAMA - Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. SAIN Av. L-4 - Lote 04 - Brasília, DF - 70818-900 - Brasil. E-mail: okino@csr.lpf.ibama.gov.br.

MÁRIO RABELO DE SOUZA é PhD em Física. Laboratório de Produtos Florestais do IBAMA - Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. SAIN Av. L-4 - Lote 04 - Brasília, DF - 70818-900 - Brasil. E-mail: msouza@csr.lpf.ibama.gov.br.

MARCOS ANTONIO EDUARDO SANTANA é Químico, PhD. Laboratório de Produtos Florestais do IBAMA - Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. SAIN Av. L-4 - Lote 04 - Brasília, DF - CEP 70818-900 - Brasil. E-mail: marcos@csr.lpf.ibama.gov.br.

JOSÉ PAULO VENEGAS ANDAHUR é Engenheiro Florestal. Departamento de Engenharia Florestal da Fundação Universidade de Brasília. Caixa Postal 04357 - Brasília, DF - CEP 70919-970 - Brasil.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASTM – American Society for Testing and Materials. *Standard method of accelerated laboratory test of natural decay resistance of woods: D 2017-71*. ASTM: Philadelphia, 1981.
- MACEDO, I.C. “Agroindústria da cana-de-açúcar: participação na redução da taxa de carbono atmosférico no Brasil”. *Informativo do centro de tecnologia copersucar*, n. 67, p. 1-4, 1991.
- OKINO, E. Y. A. et al. “Resistência físico-mecânica de chapas aglomeradas de bagaço de cana-de-açúcar modificado quimicamente”. *Scientia forestalis*, n. 52, p. 35-42, 1997.
- RIBEIRO, C.C. Problemas e oportunidades no aproveitamento econômico do bagaço de cana-de-açúcar no Brasil. In: ENCONTRO SOBRE RESÍDUOS SÓLIDOS INDUSTRIAIS, 1, Porto Alegre, 1985. *Anais*. p. 111-124.
- RUSSO, J.Z. “O bagaço de cana e sua crescente utilização na produção de celulose e papel”. *O papel*, v. 36, n. 3, p. 49-55, 1975.
- TILLMAN, A.M. et al. Dimensional stability and resistance to biological degradation of wood products by a simplified acetylation procedure. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM OF WOOD AND PULPING CHEMISTRY, 4, Paris, 1987. *Proceedings*. p.125-129.

*Scientia Forestalis* (ISSN 1413-9324) é publicada semestralmente pelo Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais (IPEF) em convênio com o Departamento de Ciências Florestais da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” da Universidade de São Paulo. *Scientia Forestalis* publica trabalhos científicos inéditos relacionados com as diversas áreas das Ciências Florestais. Pesquisadores atuando em silvicultura, manejo florestal, conservação da natureza, impactos ambientais em florestas, tecnologia de madeiras, produtos florestais e áreas correlatas, são encorajados a submeterem seus trabalhos à Comissão Editorial.

Os assuntos tratados devem ser diretamente ligados às Ciências Florestais ou devem possuir clara implicação sobre o desenvolvimento científico e tecnológico no contexto florestal. Diversos tipos de trabalhos científicos são publicados. Trabalhos de pesquisa: comunicação de pesquisa original. Trabalho de revisão: revisão “estado-da-arte” numa área científica particular. Comunicações: comunicações breves a respeito de metodologias ou resultados preliminares. Carta ao editor: comentários sobre trabalhos já publicados na *Scientia Forestalis*. Resenha de livro: análise de livro publicado recentemente.

Os manuscritos devem ser submetidos à Comissão Editorial em três cópias. Inicialmente, somente manuscritos impressos são necessários. Após a aceitação do trabalho, será solicitado o manuscrito em formato digital. Para maiores informações contate:

*Scientia Forestalis*  
IPEF - ESALQ/USP  
Av. Pádua Dias, 11 - Caixa Postal 530  
13400-970, Piracicaba, SP - BRASIL  
fone: 55-019-430-8618; 430-8641  
fax: 55-019-430-8666  
E-mail: mmpoggia@carpa.ciagri.usp.br

O conteúdo e as opiniões apresentadas nos trabalhos publicados não são de responsabilidade de *Scientia Forestalis* e não representam necessariamente as opiniões do IPEF ou do Departamento de Ciências Florestais, ESALQ, USP.

*Scientia forestalis* (ISSN 1413-9324; primeiro número 50) dá continuidade à revista “IPEF” (ISSN 0100-4557; último número 48/49).

Revista indexada pela CAB INTERNATIONAL

#### Comissão Editorial/*Editorial Board*

João Luiz Ferreira Batista  
Editor Chefe/*Editor-in-Chief*  
Marialice Metzker Poggiani  
Editor Assistente/*Assistant Editor*  
Antonio Natal Gonçalves  
Editor de Biotecnologia e Melhoramento / *Biotechnology and Tree Improvement*  
Fábio Poggiani  
Editor de Ecologia e Gerenciamento Ambiental / *Ecology and Environment Management*  
Fernando Seixas  
Editor de Silvicultura e Manejo Florestal / *Silviculture and Forest Management*  
Ivaldo Pontes Jankowsky  
Editor de Tecnologia de Produtos Florestais / *Forest Products Technology*

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO (USP)  
*UNIVERSITY OF SÃO PAULO*

Jacques Marcovitch  
Reitor/*President*

Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ)  
“*Luiz de Queiroz*” *College of Agriculture*

Júlio Marcos Filho  
Diretor/*Dean*

Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais (IPEF)  
*Institute for Forest Research and Studies*

Manoel de Freitas (Champion Papel e Celulose Ltda.)  
Presidente/*President*

José Otávio Brito(ESALQ-USP)  
Diretor Científico/*Scientific Director*

*Scientia Forestalis* (ISSN 1413-9324) publishes original scientific papers related to the several fields of Forest Sciences. It is published biannually by the Institute for Forest Research and Studies (IPEF) and the Department of Forest Sciences, “Luiz de Queiroz” College of Agriculture (ESALQ), University of São Paulo (USP). Researchers from national or international institutions, working on forestry, forest conservation, impacts on forest environment, wood technology, forest products and related areas, are welcome to submit their papers to the Editorial Board.

Paper subject should be directly related to Forest Sciences or should have a clear implication on scientific and technological development of forest or forestry activities. Several paper formats are accepted. Research paper: original research communication. Review paper: review of the “state-of-the-art” in a particular scientific area. Technical note: short communications on methodology or preliminary results.

Letter to the editor: comments on papers published in *Scientia Forestalis*. Book review: comments on a recently published book.

Manuscripts should be submitted in three copies to the Editorial Board. For initial submission, only printed manuscripts are necessary. After paper acceptance, digital format manuscripts will be requested. For detailed information on manuscript format contact:

*Scientia Forestalis*  
IPEF - ESALQ/USP  
Av. Pádua Dias, 11 - Caixa Postal 530  
13400-970, Piracicaba, SP - BRAZIL  
phone: 55-019-430-8618; 430-8641  
fax: 55-019-430-8666  
E-mail: mmpoggia@carpa.ciagri.usp.br

Contents and opinions presented on published papers are not responsibility of *Scientia Forestalis* and do not necessarily represent the opinion of IPEF nor of Department of Forest Sciences, ESALQ, University of São Paulo.

*Scientia forestalis* (ISSN 1413-9324; first number 50) continues “IPEF” journal (ISSN 0100-4557; last number 48/49).

#### Empresas Associadas ao IPEF/Members of IPEF

ARACRUZ CELULOSE S/A - Espírito Santo  
BAHIA SUL CELULOSE S/A - Bahia  
CAF SANTA BÁRBARA LTDA. - Minas Gerais  
CENIBRA FLORESTAL S/A - Minas Gerais  
CHAMPION PAPEL E CELULOSE LTDA. - São Paulo  
CIA. SUZANO DE PAPEL E CELULOSE S/A - São Paulo  
DURAFLORA S/A - São Paulo  
EUCATEX FLORESTAL LTDA. - São Paulo  
INPACEL - INDÚSTRIAS DE PAPEL ARAPOTI S/A - Paraná  
KLABIN - FABRICADORA DE PAPEL E CELULOSE S/A - Paraná  
LWARCEL CELULOSE E PAPEL LTDA.- São Paulo  
PISA FLORESTAL S/A - Paraná  
RIPASA S/A CELULOSE E PAPEL - São Paulo  
RIOCELL S/A - Rio Grande do Sul  
VOTORANTIM CELULOSE E PAPEL S/A - São Paulo

Projeto Gráfico: Adriana Garcia e Maria Cristina Bugan  
Editoração: Studium Generale