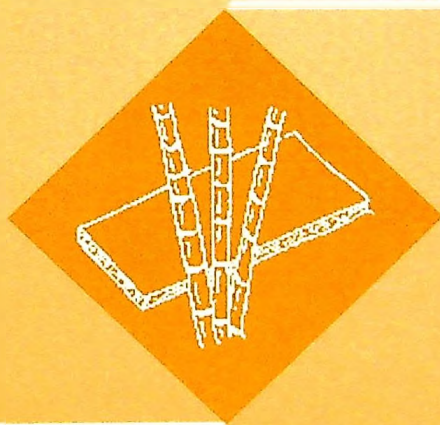


Uso de
**BAGAÇO DE
CANA-DE-AÇÚCAR**
na Confeção de Chapas Aglomeradas



1

Série Estudos
Novas Tecnologias

Brasília, 1996

**Uso de Bagaço de Cana-de-Açúcar
na Confeção de Chapas Aglomeradas**

Ministro do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal
Gustavo Krause Gonçalves Sobrinho

Presidente do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
Eduardo Martins

Diretor de Incentivo à Pesquisa e Divulgação
José Dias Neto

Chefe de Departamento de Divulgação Técnico-Científica e Educação Ambiental
José Silva Quintas

Coordenadora de Divisão de Divulgação Técnico-Científica
Norma Guimarães Azeredo

Chefe do Laboratório de Produtos Florestais
Waldir Quirino

Edição:

IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis

Diretoria de Incentivo à Pesquisa e Divulgação

Departamento de Divulgação Técnico-Científica e Educação Ambiental

Divisão de Divulgação Técnico-Científica

SAIN, Av. L4 Norte Edifício Sede. Cep:70.818-900

Brasília, Distrito Federal

Tel.: (061) 225-9484 e (061) 316-1191

Fax.: (061) 226-5588

Laboratório de Produtos Florestais - LPF

SAIN Av. L4 Lote 4 - Caixa Postal 04424

CEP 70719-970 - Brasília - DF

Telefone / Fax.: (061) 225-1182 e Tel.: (061) 316-1526

Brasília,
1996

Printed in Brasil
Impresso no Brasil

Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal
Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
Laboratório de Produtos Florestais

Uso de Bagaço de Cana-de-Açúcar na Confecção de Chapas Aglomeradas

Marcos Antonio E. Santana
e Dívina Etério Teixeira



Coleção Meio Ambiente
Série Estudos: Novas Tecnologias nº 1
ISSN 1413 - 5701

Revisão
Norma Guimarães Azeredo

Capa e Diagramação
Denys Márcio de Sousa

S232u Santana, Marcos Antonio E.

Uso de bagaço de cana-de-açúcar na confecção de chapas aglomeradas / Marcos Antonio E. Santana e Divino Eterno Teixeira.
— Brasília : Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, 1996.

42p. (Coleção meio ambiente, Série Estudos novas tecnologias, 1)

ISSN 1413 - 5701

1. Cana-de-açúcar. 2. Bagaço. 3. Aglomerado. I. Teixeira, Divino Eterno. II. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. III. Série. IV. Título.

CDU 676.034.2-415

AGRADECIMENTOS

Os autores desejam expressar sinceros agradecimentos ao técnico do Setor de Química do LPF, Bernardo Seibert; à pesquisadora Esmeralda Yoshico Arakaki Okino; ao estagiário Eduardo Ribeiro Felizola, pela valiosa colaboração e esforço na execução deste projeto, e ao estatístico Júlio Cesar Mendes pelas sugestões e execução da análise estatística dos dados.

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO	9
RESUMO/ABSTRACT	11/13
1. INTRODUÇÃO	15
2. MATERIAIS E MÉTODOS	19
2.1 Preparação do Bagaço	19
2.2 Preparação dos Adesivos	20
2.3 Fabricação das Chapas Aglomeradas	22
2.4 Avaliação da Qualidade das Chapas Aglomeradas ..	24
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
4. CONCLUSÃO	35
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	37

APRESENTAÇÃO

Dando continuidade à Coleção Meio Ambiente, o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) está lançando a série "Novas Tecnologias" que objetiva divulgar novas tecnologias já existentes e pesquisas sobre produtos, processos e materiais alternativos que contribuam para o aperfeiçoamento dos processos de trabalho, aumento da produtividade e, ao mesmo, como condição fundamental para o uso sustentado dos recursos ambientais.

O trabalho "Uso do bagaço de cana-de-açúcar na confecção de chapas aglomeradas", primeiro a ser publicado nesta série, trata do aproveitamento de partículas desmeduladas de bagaço de cana-de-açúcar para a produção de chamadas aglomeradas. Dentre as resinas utilizadas na fabricação destas chapas, destaca-se aquela à base de tanino, desenvolvida pelo Laboratório de Produtos Florestais (LFP/IBAMA) e que apresentou resultados superiores aos das resinas comerciais testadas.

Como principal vantagem da produção deste tipo de chapas, podemos ressaltar um emprego mais nobre do resíduo, hoje destinado principalmente para a queima. Desta forma estará colaborando para resguardar as espécies florestais, sobretudo as nativas.

José Dias Neto
Diretor de Incentivo à Pesquisa e Divulgação

RESUMO

O bagaço desmedulado de cana-de-açúcar, subproduto da indústria sucro-alcooleira, foi classificado e utilizado para se determinar a viabilidade técnica do seu uso com adesivos sintéticos e de origem vegetal na confecção de chapas de aglomerado.

As chapas, com densidade de $0,75 \text{ g / cm}^3$, foram confeccionadas combinando três formulações de cola (tanino-LPF, phenotan AG e uréia-formol), duas porcentagens de sólidos de resina (10 e 12%) e três granulometrias de partículas (fina, grossa e três camadas), num total de 18 tratamentos. Confeccionaram-se 54 chapas, sendo três repetições para cada um dos tratamentos.

De um modo geral, constatou-se na avaliação da qualidade das chapas que os resultados foram satisfatórios e, na maioria dos casos, bem superiores aos exigidos pela norma DIN. O maior problema encontrado resultou da propriedade de inchamento após imersão em água. A melhor combinação entre as testadas, que apresentou todos os resultados aceitos pela norma, foi cola de tanino-LPF, partícula de granulometria fina e porcentagem de cola de 12% de sólidos resinosos.

PALAVRAS-CHAVES: bagaço de cana-de-açúcar, tanino, uréia-formol, aglomerado, adesivos.

ABSTRACT

The technical feasibility of producing particleboard with depithed sugar cane bagasse having synthetic and natural origin adhesives as bonding agents was studied.

Boards with density of about $0,75\text{g/cm}^3$, were made following an experimental design involving three kinds of adhesives (tannin-LPF, phenotan AG, and urea-formaldehyde), two resin levels (10 and 12% of resin solids on the oven-dry basis of bagasse fiber), and three different particle sizes (fine, coarse, and a combination of both), totaling 18 treatments. For each treatment three replications were performed.

The boards were evaluated according to DIN standards. The results of the mechanical properties are satisfactory, with most of them well above the minimum required. The thickness swelling after 2 or 24 hours of water immersion showed very few results below the maximum allowed by the DIN standards.

From the 18 treatments, the best combination of variables tested (for which all the results passed DIN standards) was tannin-LPF adhesive, single-layer boards of fine particles, and 12% of resin solids.

KEY WORDS: sugar cane bagasse, particleboard, tannin, urea-formol, adhesives.

1. INTRODUÇÃO

O bagaço de cana-de-açúcar é um subproduto fibroso resultante da atividade sucro-alcooleira, utilizado tanto para fins energéticos como não-energéticos. Pode ser usado diretamente *in natura*, peletizado ou briquetado como substituto do óleo combustível ou da energia elétrica nas usinas, destilarias e outras indústrias. Como uso não-energético, o bagaço pode ser beneficiado para produção de celulose e papel, ração animal, aglomerados e chapas de fibras. É também fonte de matéria-prima para a indústria química, podendo produzir xilose, xilitol, furfural e derivados.

A produção total de bagaço no Brasil, estimada a partir dos dados da produção de cana-de-açúcar, 222×10^6 toneladas na safra 1990/91, e do teor de fibras, foi de 62×10^6 toneladas *in natura*, isto é, com 50% de umidade. Considerando a matéria seca temos uma produção de 31×10^6 toneladas de bagaço (7).

Atualmente as tecnologias de produção e combustão empregadas permitem um excedente de bagaço de 5 a 15% nas usinas com destilaria anexa e de 10 a 25% nas destilarias autônomas (7). Mesmo considerando que parte desse excedente é utilizado como combustível para outros segmentos industriais e para fins não-energéticos, ainda assim existe uma imensa quantidade de bagaço não utilizada, que

provavelmente será queimada ao ar livre ou relegada ao apodrecimento. Desde que se tenha uma aplicação mais rentável, a geração de excedentes poderá crescer. Isso será obtido, de acordo com Ribeiro (11), pela adoção de medidas que visem o aumento da eficiência no setor de geração de vapor das usinas.

O bagaço apresenta uma estrutura ligno-celulósica semelhante à da madeira. Entretanto, quando se pensa em substituir a madeira por bagaço no beneficiamento industrial de fibras, deve ser levado em consideração que o bagaço é formado por aproximadamente 30% de material não-fibroso constituído de células de parênquima, que formam a medula ou o miolo da cana-de-açúcar (10). Por ser uma fração não-fibrosa, apenas pequena porção é permitida na produção de papel, chapas de fibras e aglomerados (1). Portanto, alterações na fase inicial da industrialização do bagaço devem ser promovidas com o objetivo de separar a medula da fração fibrosa.

O desmedulamento do bagaço pode ser obtido por três diferentes métodos. No primeiro, denominado processo seco, o bagaço com umidade na faixa de 20 a 40% é beneficiado com a utilização de moinho de martelo e peneiras. No segundo, chamado processo úmido, o bagaço é beneficiado com umidade de 48 a 50%. No terceiro, denominado processo molhado ou em suspensão, o bagaço é beneficiado a uma concentração de 2 a 3% de agentes químicos usados na polpação em meio aquoso (5).

O bagaço tem aproximadamente 60% de fibras, 30% de medula e 10% de finos e materiais solúveis. Quimicamente, o bagaço *in natura* é composto por 44,5% de fibras ligno-celulósicas, 50,0% de umidade, 2,5% de sólidos solúveis em água (brix) e 3,0% de cinzas (11).

A produção de chapas com partículas de bagaço começou em 1957, em Cuba. Atualmente existem 27 plantas em funcionamento em nove países, com capacidade de produção de 480.000 m³ de chapas por ano, sendo Cuba o maior produtor com 180.000 m³/ano (5).

O crescimento e o desenvolvimento da indústria de aglomerados de bagaço são descritos na literatura por vários autores (2, 4, 13, 17). Apesar da larga produção, um fator limitante da utilização destas chapas, em muitas aplicações, é a alta tendência à absorção de água e, conseqüentemente, a baixa estabilidade dimensional. Em geral, chapas produzidas com bagaço e outros resíduos agrícolas não são completamente satisfatórias, necessitando de mais pesquisas para se obter um produto de qualidade e baixo custo.

No Brasil, a pesquisa sobre utilização de bagaço de cana-de-açúcar tem se limitado à transformação dos seus constituintes químicos, principalmente a celulose em etanol (15) e a xilose em furfural. Para este último já existe uma planta em funcionamento no país (16). A produção de papel a partir de bagaço também recebeu atenção nas décadas de 40 a 60 (9). Hoje, esta indústria encontra-se claramente em fase recessiva. Nos últimos anos, algumas unidades paralisaram suas atividades (11). Na área de chapas aglomeradas, a partir de bagaço, nada tem sido feito.

O objetivo desta pesquisa foi demonstrar a viabilidade técnica da fabricação de chapas aglomeradas de bagaço com adesivos sintético (uréia-formol) e de origem vegetal (tanino), oferecendo assim, aos empresários do setor sucro-alcooleiro novas opções na utilização deste riquíssimo subproduto.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Este estudo foi desenvolvido no Laboratório de Produtos Florestais-LPF da Diretoria de Incentivo a Pesquisa e Divulgação-DIRPED, do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis-IBAMA.

2.1 - Preparação do Bagaço

O bagaço de cana-de-açúcar utilizado foi cedido pela Cooperativa de Produtores de Cana, Açúcar e Alcool do Estado de São Paulo Ltda.- COPERSUCAR, localizada em Piracicaba, SP. O bagaço foi desmedulado e enviado ao LPF pela Açucareira Quatá S/A.

No LPF este bagaço foi selecionado em um classificador mecânico equipado com um conjunto de quatro peneiras com malhas de 2, 3, 6 e 8 mm. Descartaram-se o bagaço retido na peneira de 8 mm e o que passou pela de 2 mm. As partículas selecionadas para a fabricação das chapas aglomeradas foram aquelas retidas na peneira de 6 mm, classificadas como material grosso. As partículas retidas nas peneiras de 2 e 3 mm, combinadas por apresentarem tamanho e geometria muito aproximados, foram classificadas como material fino.

As partículas selecionadas apresentavam umidade na faixa de 10 a 12% e foram secas em estufa a 103°C por três horas para atingirem um teor de umidade de 2 a 4% antes da confecção das chapas.

2.2- Preparação dos Adesivos

Selecionaram-se três tipos de resinas para serem utilizadas como adesivos na fabricação das chapas aglomeradas com partículas de bagaço de cana-de-açúcar: duas resinas comerciais, sendo uma sintética (uréia-formol) e outra de origem vegetal (tanino). A terceira resina, também à base de tanino, foi desenvolvida no LPF.

• Resina Uréia-Formol (UF)

Cascamite PB 444, nome comercial da resina UF utilizada, foi cedida pela Alba Química Indústria e Comércio Ltda.

Para preparar o adesivo colocou-se inicialmente a resina no misturador e, sob agitação, adicionaram-se 5% de Cloreto de Amônio (NH_4Cl) como catalisador. Após a completa mistura o adesivo estava pronto para ser usado.

• Resina Comercial Tanino-Formol

Phenotan AG, nome comercial da resina de origem vegetal à base de tanino, foi cedida pela Tanac S/A.

A resina phenotan AG, recebida na forma de um pó marrom, foi hidratada segundo instruções do fabricante, adicionando-se 108 partes de água para 100 partes de pó a 6% de umidade. Em seguida, para 100 partes de phenotan AG em solução a 45% adicionaram-se 10 partes de etanol e 10 partes de formalina (37%).

Como o adesivo apresentou baixa concentração de sólidos e baixa viscosidade inicial, a formulação sugerida pelo fabricante foi alterada. Preparou-se phenotan AG a uma concentração de 55% de sólidos. Para 100 partes desta solução testaram-se 6,1 e 12,2 partes de etanol e 12,2 partes de formalina (37%). As três formulações testadas estão descritas na Tabela 1.

Tabela 1 - Formulações dos adesivos Phenotan AG.

Formulações	Componentes (partes por peso)			
	Phenotan AG	Água	Etanol	Formalina (37%)
Phenotan original	45	55	10,0	10,0
Phenotan alterado-1	55	45	12,2	12,2
Phenotan alterado-2	55	45	6,1	12,2

• **Resina de Tanino Produzida no LPF (Tanino-LPF)**

Para a fabricação do adesivo utilizou-se tanino em pó extraído da casca de acácia-negra (*Acacia decurrens*, Willd. var. *molissima* ; sin.: *Acacia mearnsi* De Wild.), produzido pela S.A. Extrativa de Tanino (SETA).

O adesivo foi preparado conforme descrito em trabalho anterior (14), introduzindo-se algumas modificações. Preparou-se uma solução aquosa de tanino a 50%, que permaneceu em repouso por 12 a 14 horas para completa hidratação do tanino. Em seguida elevou-se o pH para 9,1 com adição de Hidróxido de Sódio (NaOH) a 25%. Acrescentou-se uma pequena quantidade de antiespumante, submetendo-se a solução a um refluxo por 1 hora a 98°C. Após o resfriamento, abaixou-se o pH para 7,0 por meio da adição de ácido acético glacial. Finalmente, adicionou-se

paraformaldeído como endurecedor e a mesma quantidade de água para obter-se a viscosidade inicial desejada. A formulação básica da resina está demonstrada na Tabela 2.

Tabela 2 - Formulação da resina à base de tanino produzida no LPF.

Componentes	Partes por peso
Tanino (pó seco)	100,0
Água	116,0
NaOH (25%)	25,0
Ácido Acético Glacial	5,8
Paraformaldeído	16,0

As determinações de viscosidade inicial e vida útil foram efetuadas em um viscosímetro Brookfield modelo RVF 100.

O teor de sólidos totais foi determinado gravimetricamente em estufa com ventilação forçada a 105°C.

2.3- Fabricação das Chapas Aglomeradas

Foram confeccionadas 54 chapas de 50x55x1,5 cm para 18 tratamentos com três repetições. Os tratamentos utilizados foram obtidos através de um delineamento estatístico que combinou os seguintes parâmetros:

- Três tipos de resinas
 - Tanino (produzida no LPF) (F1)
 - Phenotan AG (F2)
- Três composições de granulometria do bagaço
 - Camada única - granulometria fina (G1)
 - Camada única - granulometria grossa (G2)

- Três camadas - granulometria fina(capa)
e grossa(miolo) (G3)
- Duas porcentagens de adesivos (sobre o peso seco de partículas)
 - 10% sólidos resinosos (P1)
 - 12% sólidos resinosos (P2)

A Tabela 3 mostra as combinações dos parâmetros que resultaram nos 18 tratamentos testados.

Tabela 3 - Tratamentos testados.

Tratamentos	VARIÁVEIS		
	Formulação	Granulometria	% de Cola
T-01	F1	G1	P1
T-02	F1	G2	P1
T-03	F1	G1	P2
T-04	F1	G2	P2
T-05	F1	G3	P1
T-06	F1	G3	P2
T-07	F2	G1	P1
T-08	F2	G2	P1
T-09	F2	G1	P2
T-10	F2	G2	P2
T-11	F2	G3	P1
T-12	F2	G3	P2
T-13	F3	G1	P1
T-14	F3	G2	P1
T-15	F3	G1	P2
T-16	F3	G2	P2
T-17	F3	G3	P1
T-18	F3	G3	P2

No processo de manufatura das chapas foram mantidas constantes as seguintes condições:

- Densidade: 0,75 g/cm³
- Tempo de prensagem: 8 min.
- Temperatura de prensagem: 155°C

Os adesivos foram aplicados em forma de *spray*, usando-se um misturador mecânico tipo DRAIS FSP 80, por um tempo médio de 2 minutos. Em seguida, formaram-se os colchões manualmente, deixando-se que as partículas caíssem em queda livre sobre uma placa de alumínio. A altura média dos colchões foi de 16,5 cm. Os colchões foram submetidos a uma pressão média de 60 kg/cm², para que atingissem a espessura final de 1,5 cm controlada por duas barras de ferro. A alta pressão aplicada é explicada pela ausência da pré-prensagem. O tempo médio para o fechamento da prensa foi de 1,5 minuto.

2.4- Avaliação da Qualidade das Chapas Aglomeradas

Após prensagem, resfriamento e repouso por 48 horas, as chapas tiveram suas bordas cortadas, ficando com 48 x 53 cm de dimensões. Em seguida, foram acondicionadas em sala climatizada a 18°C e 65% de umidade relativa. Após uma semana, as chapas foram cortadas em corpos-de-prova e retornaram à sala de climatização para que alcançassem a umidade de teste requerida de $9 \pm 3\%$ (3).

De cada chapa foram retirados seis corpos-de-prova para cada um dos seguintes testes e determinações:

- Teor de umidade;
- Massa específica (densidade);

- Inchamento em espessura após 2 e 24 horas de imersão em água;
- Resistência à tração perpendicular ao plano da chapa (*internal bond*)
- Resistência à flexão estática (módulo de ruptura).

Os corpos-de-prova foram ensaiados seguindo as especificações da norma DIN 68761 (3). Realizaram-se os ensaios mecânicos em uma máquina universal de testes INSTRON modelo 1115.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O rendimento do bagaço classificado como descrito no item *Preparação do Bagaço* foi de 32,5% para o material retido na malha de 8 mm; 39,5% para o retido na malha de 6 mm; 24,0% para o retido na malha de 2 e 3 mm; e 4,0% de finos. Portanto, do total de bagaço classificado, 63,5% foram aproveitados. A fração superior a 8 mm não foi perdida, uma vez que pode ser reprocessada, adquirindo dimensões aceitáveis para a fabricação de aglomerados.

A Tabela 4 mostra os valores encontrados para a viscosidade inicial e teor de sólidos totais dos adesivos testados.

Tabela 4 - Viscosidade inicial e teor de sólidos dos adesivos testados.

Adesivos	Viscosidade inicial (cP)	Teor de sólidos (%)
Phenotan original	50	38,3
Phenotan alterado-1	150	46,0
Phenotan alterado-2	230	48,8
Uréia-formol	300	60,0
Tanino-LPF	300	43,0

Entre as resinas phenotan AG descartou-se a formulação original em função do baixo teor de sólidos totais (38,3%). Escolheu-se a formulação alterada-2 por apresentar o mais alto teor de sólidos totais, ter menor teor de etanol e apresentar viscosidade inicial dentro da faixa ideal, que segundo Maloney (8) deve estar entre 100 e 500 centipoise (cP).

As resinas de uréia-formol e de tanino, esta última produzida no LPF, apresentaram viscosidades iniciais dentro da faixa exigida, sendo que a primeira apresentou a maior porcentagem de sólidos totais dentre as resinas testadas.

A porcentagem de sólidos das resinas é importante para se evitar a formação de um colchão com excesso de umidade, o que provavelmente levaria a um *blow up* durante a prensagem. Por *blow up* entende-se a formação de uma bolha de vapor no interior da chapa durante o processo de prensagem, o qual é liberado quando se retira a pressão, provocando a delaminação na chapa.

A Figura 1 mostra a evolução da viscosidade em função do tempo (vida útil) para as resinas testadas. Considerando que a faixa ideal de viscosidade está entre 100 e 500 cP (8), é importante determinar quantas horas de trabalho são permitidas, após a resina estar completamente pronta, antes que ela atinja 500 cP. Os adesivos phenotan alterado-1 e 2 levaram cerca de 6 e 2 horas, respectivamente, para atingirem 500 cP. Para os adesivos tanino LPF e uréia-formol este tempo ficou em torno 3 e 5 horas, respectivamente.

O valor de 500 cP não é limitante para a utilização do adesivo. Existem vários equipamentos que podem aplicar, eficientemente, resinas com viscosidades superiores a este valor.

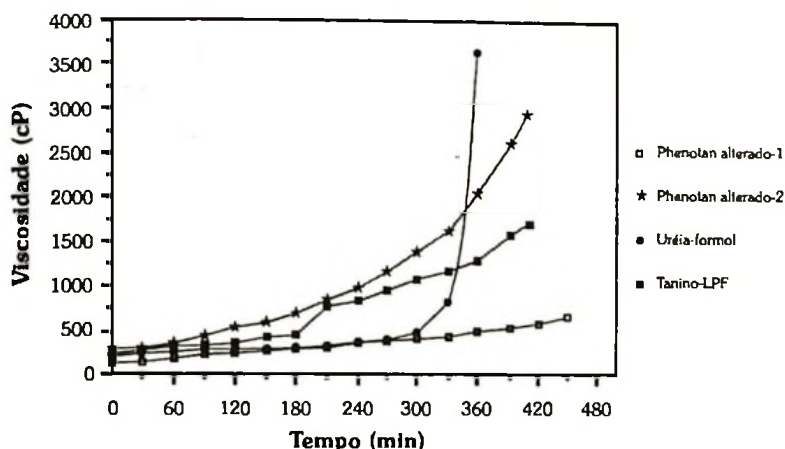


Figura 1 - Vida útil dos adesivos testados.

Os resultados dos testes de inchamento após imersão em água a 20°C por 2 e 24 horas, flexão estática (módulo de ruptura-MOR) e tração perpendicular ao plano da chapa (*internal bond-IB*) estão apresentados na Tabela 5. Cada resultado representa a média dos testes de 18 amostras, ou seja, seis amostras de cada uma das três repetições. Estão também incluídas nesta tabela, para comparação, as porcentagens máximas permitidas pelas normas DIN (3) para inchamento após 2 e 24 horas de imersão em água, sendo que para este último existem valores para resinas uréia-formol (UF), para uso interior, e fenol-formol (PF), para uso exterior. Também são apresentados na Tabela 5 os valores mínimos exigidos, pelas mesmas normas, para flexão estática e tração perpendicular.

Tabela 5 - Propriedades físico-mecânicas das chapas aglomeradas.

Tratamentos	Inchamento(%)		Flexão Estática (MOR)	Tração Perpendicular (IB)
	2 horas	24 horas	kg/cm ²	kg/cm ²
T-01	19,5	30,5	244	3,6
T-02	21,0	29,0	203	3,6
T-03	6,0	12,5	269	6,0
T-04	8,5	14,5	244	4,5
T-05	19,0	27,5	246	3,6
T-06	14,5	23,5	261	4,2
T-07	28,0	37,02	267	4,1
T-08	28,5	38,0	231	3,4
T-09	20,5	27,0	301	5,1
T-10	23,5	29,5	256	4,8
T-11	31,5	39,0	227	3,4
T-12	20,0	30,0	239	4,1
T-13	22,5	36,0	177	4,2
T-14	22,5	35,0	157	3,7
T-15	12,0	28,5	264	5,5
T-16	17,5	31,0	204	4,4
T-17	24,0	38,5	200	3,8
T-18	17,0	32,0	248	4,6
Normas	12 (PF)			
DIN	6,0	15 (UF)	180	3,5
	máximo	máximo	mínimo	mínimo

A análise de variância, considerando-se 5% de probabilidade de erro, para os valores de inchamento em água por 2 e 24 horas, para as porcentagens individuais de cada amostra, indicou haver diferença significativa entre os tratamentos testados. Aplicou-se, então, o teste de comparação de médias utilizando o método LSD (Least Significant Differences), no mesmo nível de significância, para averiguar em quais destes tratamentos se encontravam tais diferenças.

Os dados da Tabela 5 mostram que apenas o tratamento T-03 apresentou resultados aceitos para inchamento

após 2 e 24 horas de imersão em água, 6,0 e 12,5%, respectivamente. Neste último período o resultado satisfaz as exigências da norma somente para uso interior, apesar de estar bastante próximo do valor máximo permitido para uso exterior. O tratamento T-04 também apresentou resultados aceitos pela norma, uso interior, para inchamento após 24 horas de imersão.

Os resultados da análise múltipla com o teste LSD mostram que, para o ensaio de inchamento em espessura, o tratamento T-03 difere significativamente dos demais, tanto para 2 como para 24 horas de imersão em água. Este tratamento combina o adesivo de tanino-LPF com chapas de camada única (granulometria fina) e 12% de sólidos de resina.

A análise de variância, a 5% de significância, mostrou que os parâmetros tipo de adesivo, granulometria das partículas e porcentagem de adesivo apresentam fonte de variação. A mesma análise, quando avaliou as interações adesivo/granulometria, adesivo/porcentagem e granulometria/porcentagem, para inchamento após 2 e 24 horas, indicou só não haver fonte de variação entre a interação adesivo/granulometria. Mas as outras duas interações envolvendo porcentagem de adesivo apresentaram fonte de variação. Isto significa dizer que a porcentagem de cola foi o fator determinante nos melhores resultados obtidos para a propriedade de inchamento em espessura.

Quando se avalia apenas o adesivo à base de tanino produzido no LPF (F1), que forneceu os melhores resultados para o teste em discussão, observa-se que, o que diferencia os tratamentos T-03, T-04 e T-06, todos com 12% de sólidos de resina aplicados, é a granulometria das partículas de bagaço utilizadas. Para o tratamento T-03, único com resultados aceitos pela norma, as chapas foram confeccionadas em camada única com partículas finas. O segundo melhor resultado foi obtido também com camada única mas com partícula grossa (T-04),

seguido do tratamento que utilizou partículas grossas e finas na confecção de chapas de três camadas (T-06).

O alto inchamento dos tratamentos testados, exceto T-03, é bastante preocupante mas não inviabiliza o processo, uma vez que várias alternativas podem melhorar os resultados obtidos. Uma das possíveis soluções é a aplicação de emulsão de parafina durante o processo de preparação das chapas, prática comum na indústria de aglomerados de partículas de madeira. Uma outra opção é a modificação química do bagaço, como por exemplo através do processo de acetilação, que fornece um material com menos tendência à absorção de água. Rowell e Keany (12) acetilaram bagaço de cana-de-açúcar para a produção de chapas de fibras com densidade de $0,64 \text{ g/cm}^3$ coladas com adesivo fenol-formaldeído. Chapas não-acetiladas apresentaram inchamento de 19% em apenas 15 minutos, enquanto as acetiladas incharam apenas 3% no mesmo período. Após 5 dias apresentaram 26% e menos de 5%, respectivamente, para não-acetiladas e acetiladas.

Para o ensaio de flexão estática (módulo de ruptura-MOR), os únicos resultados que não atingiram valores aceitáveis pela norma foram os tratamentos T-13 e T-14. Os demais estão acima do mínimo exigido.

Para os testes de flexão estática e tração perpendicular, a análise de variância a 5% de significância, para os valores individuais de cada amostra, indicou haver diferença significativa entre os tratamentos. Aplicou-se, então, o teste de comparação de médias (LSD), ao mesmo nível de significância, para averiguar em quais destes tratamentos se encontravam tais diferenças.

O tratamento T-09 (adesivo phenotan AG, granulometria fina e 12% de sólidos de resina) apresentou o resultado mais alto para flexão estática, sendo

significativamente diferente dos demais. O segundo grupo, cujos resultados não diferem de modo especial, é formado pelos tratamentos T-03, T-07, T-15, T-06 e T-10. Os três tipos de adesivos e granulometrias utilizadas e as duas porcentagens de adesivo estão representadas neste grupo. As interações adesivo/granulometria, adesivo/porcentagem e granulometria/porcentagem apresentaram fonte de variação de 5% de significância. Isto é, estas interações influenciaram a propriedade testada.

Apesar da flexão estática ser uma propriedade mais influenciada por parâmetros como densidade da chapa, configuração e orientação das partículas (6) do que propriamente pela qualidade do adesivo aplicado, este experimento mostrou que a porcentagem de cola aplicada também influenciou os resultados desta propriedade. Os tratamentos T-13 e T-14, que usaram 10% de sólidos de resina uréia-formol, produziram resultados de flexão estática não-aceitáveis pela norma, enquanto o T-15, que difere do T-13 apenas pela porcentagem de sólidos (12%), apresentou resultados bastante satisfatórios.

A tração perpendicular ao plano da chapa é a propriedade que melhor explica a qualidade de colagem de uma chapa aglomerada. Os resultados da Tabela 5 mostram que apenas os tratamentos T-08 e T-11 não apresentaram resultados iguais ou superiores aos exigidos pela norma, apesar de estarem bem próximos do mínimo requerido.

A Tabela 5 mostra que o mais alto valor para a tração perpendicular foi obtido pelo tratamento T-03, que difere significativamente dos demais pelo teste LSD. Destacam-se de igual modo os tratamentos T-15 e T-09 com valores bastante acima da média.

A análise estatística também mostrou que os parâmetros tipo de adesivo, granulometria e porcentagem de sólidos de resina, quando avaliados isoladamente, apresentam fonte de variação, exceto o primeiro (tipo de adesivo), que não influenciou os resultados obtidos. Isto quer dizer que para a propriedade de tração perpendicular os três adesivos testados apresentam resultados satisfatórios. Mas quando as interações dos parâmetros adesivo/granulometria, adesivo/porcentagem e granulometria/porcentagem foram avaliadas, a única interação que apresentou fonte de variação foi a terceira (granulometria/porcentagem). Mais uma vez, a porcentagem de sólidos parece ter sido determinante, só que neste caso a granulometria também deve ser considerada. Os dois tratamentos (T-08 e T-11) que não apresentaram resultados aceitos pela norma DIN para esta propriedade foram confeccionados, respectivamente, com partícula grossa (camada única) e combinação de partícula grossa e fina (três camadas) e 10% de sólidos resinosos. Por outro lado, o melhor resultado (T-03) utilizou adesivo tanino-LPF, partículas de granulometria fina e 12% de sólidos de resina.

4. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos neste trabalho comprovam a viabilidade técnica do uso do bagaço de cana-de-açúcar como matéria-prima para a produção de chapas aglomeradas.

De um modo geral, os valores encontrados para as propriedades mecânicas, flexão estática e tração perpendicular estão bem acima do mínimo exigido pela norma DIN. Para os 18 tratamentos testados, apenas quatro foram rejeitados pela norma, sendo dois para tração perpendicular (T-08 e T-11) e dois para flexão estática (T-13 e T-14), o que demonstra a eficiência do processo, da matéria-prima e dos adesivos utilizados.

Quanto à propriedade de inchamento em espessura após imersão em água por 2 e 24 horas, apenas o tratamento T-03 apresentou resultados aceitos pela norma DIN. Este tratamento combinou adesivo de tanino produzido no LPF (Tanino-LPF), chapas de uma única camada com partículas de granulometria fina e 12% de sólidos de resina. Os altos valores encontrados para esta propriedade, quando as chapas foram coladas com phenotan AG e uréia-formol, não inviabilizam o uso destes adesivos, desde que introduzidas

algumas modificações no processo testado. Uma das alterações propostas seria a adição de parafina quando da aplicação do adesivo, prática comum na indústria de aglomerados. Uma segunda alternativa seria o tratamento químico do bagaço, como por exemplo, através do processo de acetilação que resulta em fibras de menor higroscopicidade.

Embora, de um modo geral, os resultados obtidos para as propriedades mecânicas sejam satisfatórios e o problema de inchamento possa ser solucionado, o que realmente se conclui deste trabalho é que chapas aglomeradas de bagaço de cana-de-açúcar, com propriedades físicas e mecânicas aceitas por normas internacionais, podem ser produzidas com adesivos de tanino-LPF, 12% de sólidos de resina e partículas de granulometria fina.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ATCHISON, J.E. Modern methods of bagasse depithing. *Nonwood Fiber Pulping. Tappi CA Report*. n. 34, p. 21-90. 1970.
2. FRERS, H. Particlastablas de bagazo. *Sugar y azucar*, v.69, n.5, p.65-68. May. 1974.
3. GERMAN STANDARDS COMMITTEE (Deutschen Normanausschuss). Taschenbuch 31, Holz. 1971. Specifications for particleboard. *DIN* 68761 (1) - 1961, (3) - 1967.
4. HESCH, R. Início da indústria integralizada de placas aglomeradas de bagaço, no Paquistão. *Brasil Açucareiro*, v.75, n.2, p. 3-50. Fev. 1970.
5. ICIDCA-GEPLACEA-PNUD. *Manual de los derivados de la caña de azucar*. 2a. ed. Mexico, p. 47-58. 1990.
6. KELLY, M.W. Critical literature review of relationships between processing parameters and physical properties of particleboard. *General Technical Report*. FPL-10. USDA Forest Service - Forest Products Laboratory, Madison - USA. 69p. 1977.
7. MACEDO, I. de C. Agroindústria da cana-de-açúcar: participação na redução da taxa de carbono atmosférico no Brasil. *Informativo do Centro de Tecnologia COPERSUCAR*. Piracicaba: Copersucar, n. 67, 4 p. Nov. 1991.
8. MALONEY, T.M. *Modern particleboard and dry-process fiberboard manufacturing*. Miller Freeman Publ. San Francisco. 384 p. 1977.

9. MINISTÉRIO DA INDÚSTRIA E COMÉRCIO-SECRETARIA DE TECNOLOGIA INDUSTRIAL. *Bagaço*: Guia de informação e bibliografia básica. Brasília: STI/CIT. 1985.
10. MOBARAK, F.; FAHMY, Y.; AUGUSTIN, H. Binderless Lignocellulose Composite from Bagasse and Mechanism of Self-Bonding. *Holzforschung* v. 36, p. 131-135. 1982.
11. RIBEIRO, C.C. Problemas e oportunidades no aproveitamento econômico do bagaço de cana-de-açúcar no Brasil. In: I ENCONTRO SOBRE RESÍDUOS SÓLIDOS INDUSTRIAIS. Porto Alegre. *Anais...* p.111-124. Set. 1985.
12. ROWELL, R.M.; KEANEY, F.M. Fiberboards made from acetylated bagasse fiber. *Wood and Fiber Science*, v. 23, n. 1, p. 15-22. 1991.
13. RUCKSTUHL, K. Los problemas y realizaciones de la planta de tablas de bagazo mas grande del mundo. *Sugar y azucar*, v. 67, n. 1, p. 37-39. Ene. 1972.
14. SANTANA, M.A.E.; PASTORE Jr., F. Adesivos de tanino-formaldeído para aglomerados. Brasília: IBDF. 12 p. 1981. (*DE-Série Técnica*, 12)
15. SCHUCHARDT, U; JOEKES, I. Sacarificação de bagaço de cana: inovações no processo Bergius. In: IV CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA, 08, 1987. Rio de Janeiro. *Anais...* v. 1, p. 307-316. 1987.
16. SOUSA, M. de F.B.; SCHUCHARDT, U.; RODRIGUES, J.A.R. Separação e identificação de bagaço de cana-de-açúcar pelo processo "ORGANOSOLV". *Ciência e Cultura*, v. 38, n.1, p. 181-188. Jan. 1986.
17. YOUNG, M.A. Madeira artificial feita com bagaço. *Brasil Açucareiro*, v.70, n. 3, p. 23-24. Set. 1967.

Coleção Meio Ambiente
Série Estudos - Novas Tecnologias

- 1. Uso de Bagaço de Cana-de-Açúcar na Confecção de Chapas Aglomeradas**

ESTA OBRA FOI IMPRESSA
PELA IMPRENSA
NACIONAL,
SIG, QUADRA 6, LOTE 800,
70604-900, BRASÍLIA, DF,
EM 1996, COM UMA
TIRAGEM DE 1.000
EXEMPLARES



