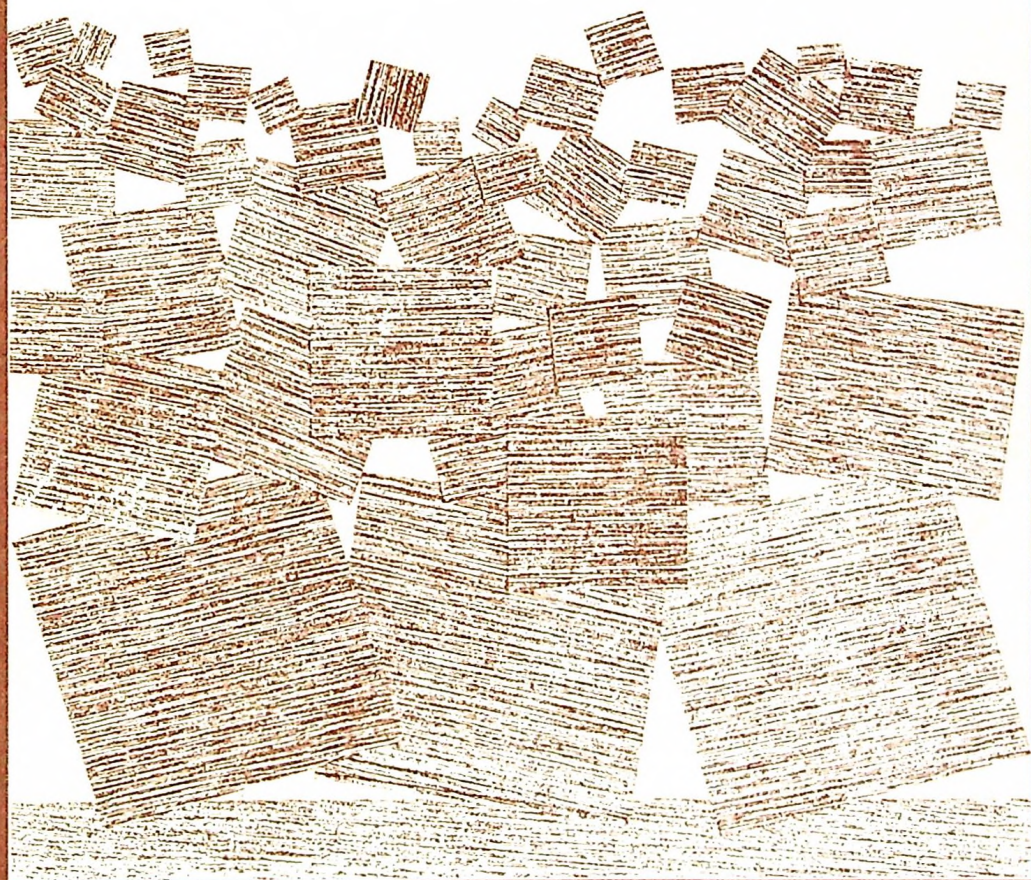


MINISTÉRIO DO INTERIOR
INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS
DIRETORIA DE INCENTIVO À PESQUISA E DIVULGAÇÃO
LABORATÓRIO DE PRODUTOS FLORESTAIS

CIRCULAR TÉCNICA DO LPF

Volume 1 - Número 1 - janeiro/junho 1991.



SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE

José Antonio Lutzenberger

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE

E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS

Eduardo de Souza Martins

DIRETORIA DE INCENTIVO À PESQUISA E DIVULGAÇÃO

Bráulio Ferreira de Souza Dias

LABORATÓRIO DE PRODUTOS FLORESTAIS

Marcus Vinicius da Silva Alves

Comitê Editorial

Cleuber José Delano Lisboa, M.Sc.

Marcos Antonio Eduardo Santana, Ph.D.

Sebastião Kengen, Ph.D.

Tereza Cristina Monteiro Pastore , M.Sc.

Vera Terezinha Rauber Coradin, M.Sc.

Publicação

Ernesto Paz Guimarães - revisor

Tereza Cristina Monteiro Pastore - edição

Capa

George Leal Schafflor Mello

CIRCULAR TÉCNICA DO LPF

Volume 1 - Número 1 - janeiro/junho 1991.

A **Circular Técnica do LPF** publica trabalhos resultantes de pesquisas na área de produtos florestais.

Serão aceitos artigos originais realizados no LPF ou com a participação direta de seu corpo técnico.

A reprodução de qualquer matéria é permitida, desde que sejam citados fonte, título, autor, data e página.

Todos os conceitos emitidos nos artigos desta revista são de inteira responsabilidade dos autores.

LABORATÓRIO DE PRODUTOS FLORESTAIS

SAIN - Av. L4 Norte - Lote 04 - CEP 70770

Caixa Postal 04424 - CEP 70919

Fones: (061) 224-4789 / 224-5337 / 223-5664

Telex: (061) 2527 - Fax: 225-1182

BRASÍLIA - DF

CIRCULAR TÉCNICA do LPF - v. I, nº 1. 1991, Brasília, IBAMA/DIRPED -
Laboratório de Produtos Florestais.

Semestral

SUMÁRIO - SUMMARY

Avaliação da durabilidade natural e de madeira preservada após cinco anos de implantação em campos de apodrecimento de diferentes regiões.

Evaluation of the durability of treated and untreated (natural) wood after five years of the implantation in different regions decay fields.

ALVES, M.V. da S.5

Madeiras que substituem o pinho-do-paraná em formas para concreto.

Woods that substitute Paraná-pine for concret forms.

MELO, J.E.de15

Uso do óleo térmico na secagem de madeira.

Use of termic oil in wood drying.

SOUZA, M.R. de & MARTINS, V.A. 25

Líquido da casca de castanha de caju: revisão das características e usos.

Cashew nut shell liquid: a review of characterization, present and potential utilization.

SANTANA, M.A.E. & PASTORE, T.C.M. 29

Aglomerado de mistura de espécies tropicais da Amazônia.

Flakeboard of a mixture of Amazonian tropical wood species.

NAKAMURA, R.M. & SOBRAL, M.F.46

Gaseificação de madeira e de resíduos ligno-celulósicos para substituição de óleo combustível.

Wood and ligno-cellulosic residues gasification for fuel oil substitution.

QUIRINO, W.F. & FONTES, P.J.P. de 53

AValiação DA DURABILIDADE NATURAL E DE MADEIRA PRESERVADA APÓS CINCO ANOS DE IMPLANTAÇÃO EM CAMPOS DE APODRECIMENTO DE DIFERENTES REGIÕES

*Marcus Vinicius da Silva Alves**

*Engº Florestal – Laboratório de Produtos Florestais

RESUMO

Este trabalho apresenta os resultados das inspeções realizadas cinco anos após a implantação de moirões de *Eucalyptus citriodora* e *Eucalyptus paniculata*, em dois campos de apodrecimento situados em Brasília-DF e em Ipatinga-MG, respectivamente. Os moirões foram impregnados, sob pressão, com três tipos de preservativos de madeira: creosoto, creosoto a 1% de pentaclorofenol e CCA.

Os resultados indicam que as amostras não tratadas (testemunhas) sofreram intenso ataque de fungos e insetos, apresentando uma vida média inferior a cinco anos. Por outro lado, as amostras tratadas não apresentaram quaisquer indícios de ataque.

Por este ensaio ficou caracterizado que existe uma nítida variação no comportamento da madeira, quando colocada sob condições distintas de clima e solo.

PALAVRAS-CHAVE: Eucalipto, durabilidade natural, moirões.

ABSTRACT

Creosote, creosote/1% pentachlorophenol mixture and CCA-A treated fence posts of *Eucalyptus citriodora* and *E. paniculata*, showed good performance after five years in ground contact, in two different decay field, situated in Brasília-DF and Ipatinga-MG.

The untreated fence posts showed intensive infestation caused by fungi and insects, in both species of wood, giving an average service life of less than five years. On the other hand, the treated fence posts did not give evidences of infestation.

The analysis of the results shows the difference between the fence posts installed in distincts conditions of weather and soil.

KEY WORDS: natural durability, fence posts.

1. INTRODUÇÃO

Ao longo dos tempos a madeira tem sido utilizada em todo o mundo para a construção civil, móveis, dormentes, postes e uma série de outras finalidades não menos importantes, devido à sua grande versatilidade, facilidade de manuseio e abundância, além de tratar-se de um material renovável.

Em virtude de sua composição e estrutura, a madeira é passível de deterioração por agentes mecânicos, físicos, químicos e biológicos, sendo os últimos de maior importância. Estes agentes podem atuar em conjunto na madeira, acelerando seu processo de deterioração.

A escassez de espécies nativas de boa resistência natural, somada à crescente necessidade de expansão de redes telefônicas, elétricas e de estradas de ferro, resultou num aumento da demanda de postes e dormentes. Por outro lado, a oferta crescente de eucalipto, oriunda dos reflorestamentos, fez com que esta espécie fosse surgindo como alternativa para o uso, em substituição às espécies tradicionais.

A partir daí, pesquisas objetivando verificar a resistência natural de várias espécies de madeira, ou o desempenho de preservativos e métodos de tratamento, sofreram um grande impulso. Os ensaios de laboratório vêm ocupando posição de destaque nessas pesquisas, fornecendo resultados fundamentais para avaliação dos parâmetros acima mencionados. Contudo, são os ensaios de campo que fornecem as informações definitivas acerca do material em estudo, um vez que reproduzem situações reais de serviço, estando este sujeito às diversas condições bióticas e abióticas apresentadas pelo meio.

Este estudo objetiva determinar a eficiência de preservativos em ensaios de campo localizados em Brasília-DF e em Ipatinga-MG, decorridos cinco anos após a implantação.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Amostras (moirões)

As madeiras utilizadas nos ensaios – *Eucalyptus citriodora* e *Eucalyptus paniculata* – foram coletadas aleatoriamente, com idades de 6, 10 e 13 anos, em povoamentos da Acesita Energética S/A, no município de Mesquita (MG). Os moirões apresentavam forma roliça, com 0,60m de comprimento e diâmetro variando de 0,12 a 0,20m.

2.2 Preservativos e método de tratamento

Os moirões usados nestes ensaios de campo foram submetidos à impregnação sob pressão, utilizando três tipos diferentes de preservativos: creosoto, creosoto a 1% de pentaclorofenol e CCA-A.

As retenções do creosoto e de creosoto a 1% de pentaclorofenol apresentaram-se acima do valor mínimo estipulado pela norma NBR-8456 da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT – Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial – INMETRO, ou seja, 130 quilogramas de preservativo por metro cúbico de madeira tratável. As re-

tenções do CCA mostraram valores médios inferiores ao mínimo estipulado pela norma citada, ou seja, 9,6 quilogramas de ingredientes ativos por metro cúbico de madeira.

2.3 Instalação

Os campos de apodrecimento foram instalados nas seguintes localidades:

- Fazenda Água Limpa, Brasília-DF.
- Horto Florestal Mato Grosso, Ipatinga-MG.

Em cada campo de apodrecimento instalaram-se, ao acaso, 40 moirões de cada espécie, totalizando 80 moirões devidamente enterrados a uma profundidade de 0,3m, cada um contendo uma placa de identificação, dos quais 20 eram testemunhas (não tratadas). A distância entre fileiras e entre cada moirão dentro de uma fileira foi de 1,0m.

2.4 Inspeções

As inspeções foram feitas anualmente, ocasião em que o inspetor forçava o topo de cada moirão, com maior ênfase nas testemunhas. Quando não ocorria quebra, o moirão era removido do solo e examinado visualmente quanto ao grau de sanidade. Após essas operações, o moirão era recolocado no mesmo lugar, sendo a terra comprimida em sua volta.

2.5 Critério adotado para avaliação do comportamento dos moirões em estudo

Mediante uma análise visual, o grau de ataque, tanto de fungos como de insetos, foi estudado de acordo com o critério estabelecido pela International Union of Forestry Research Organizations – IUFRO.

Quadro 1 – Avaliação de amostras preservadas.

Estado de Sanidade	Nota	Índice de Comportamento
Sadio – Ausência de ataque	0	100
Ataque leve ou superficial de fungos ou térmitas	1	90
Ataque evidente, mas moderado de fungos ou térmitas	2	70
Apodrecimento intenso ou ataque interno de térmitas	3	40
Quebra-perda quase total de resistência da peça	4	0

2.6 Informações subsidiárias

A duração média de cada tratamento será atingida quando todas as amostras alcançarem a nota 4 ou o índice de comportamento equivalente.

Nos anexos estão a localização e as características de clima e solo das duas regiões onde se encontram os campos de apodrecimento.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da quinta inspeção realizada em 1985, em ambos os campos de apodrecimento, encontram-se nos quadros 2 e 3.

Pelo sistema de avaliação utilizado, verificou-se que as amostras não tratadas (testemunhas) apresentaram-se intensamente atacadas por organismos xilófagos.

No campo de apodrecimento de Brasília-DF havia fungos de podridão da ordem Polyporales, atacando as madeiras não tratadas. Nas amostras testemunhas, instaladas no campo de Ipatinga-MG, verificou-se a presença de fungos das ordens Polyporales e Tremellales, pertencentes à classe dos Basidiomicetos.

Nas duas regiões, os cupins ocorreram com maior frequência. No campo de Brasília-DF foram encontradas três espécies de cupins atacando as amostras não tratadas: *Heterotermes tenuis*, *Neocapritermes araguaia* e *Armitermes festivelus*. No campo de apodrecimento de Ipatinga-MG, apenas o gênero *Nasutitermes* s.p. foi encontrado atacando as testemunhas.

Quadro 2 – Quinta inspeção realizada em março de 1985. Campo de Apodrecimento de Brasília-DF.

			T-2 F-4 		CP-2 -0-		CCA-1 -0-	T-1 F-4 	
		CCA-2 -0-		T-2 F-4 			T-1 F-4 	C-1 -0-	
	C-2 -0-		T-1 F-4 	CP-1 -0-		T-2 F-4 			
	T-2 F-4					CCA-A -0-			T-1 F-4
				C-2 -0-	T-2 F-4		T-1 F-4 		CCA-2 -0-
T-2 F-4 				C-1 -0-	T-1 F-4 		CP-1 -0-		
CP-1 -0-			CCA-2 -0-	T-1 F-4 				CP-2 -0-	T-2 F-4
		T-1 F-4 					T-2 F-4 		
	T-1 F-4 	T-2 F-4 		CP-2 -0-					C-1 -0-
T-1 F-4 		C-2 -0-		CCA-1 -0-				T-2 F-4 	

T – Testemunha. C – Creosoto. CP – Creosoto/Pentaclorofenol. CCA – CCA-A.

1 – *Eucalyptus paniculata*. 2 – *Eucalyptus citriodora*.

F – Caracteriza o ataque de fungos e a nota correspondente.

I – Caracteriza o ataque de insetos e a nota correspondente.

Quadro 3 – Quinta inspeção realizada em março de 1985. Campo de Apodrecimento de Ipatin-ga-MG.

C-1 -0- 			T-2 F-4 	CCA-2 -0- 				T-1 F-4 	C-2 -0-
CCA-1 -0- 				T-2 F-4 			T-1 F-4 		
CP-2 -0- 			T-1 F-4 	CP-1 -0- 		T-2 F-4 	CCA-2 -0- 		
	T-2 F-4 							C-2 -0- 	T-1 F-4
			CP-1 -0- 		T-2 F-4 		T-1 F-4 		
T-2 F-4 				C-1 -0- 	T-1 F-4 		CP-1 -0- 		
		CCA-1 -0- 		T-1 F-4 					T-2 F-4
		T-1 F-4 			C-2 -0- 	C-1 -0- 	T-2 F-4 		CP-2 -0-
	T-1 F-4 	T-2 F-4 						CCA-2 -0- 	
T-1 F-4 	CP-2 -0- 			CCA-1 -0- 				T-2 F-4 	

T – Testemunha.

C – Creosoto.

CP – Creosoto/Pentaclorofenol.

CCA – CCA-A.

1 – *Eucalyptus paniculata*.

2 – *Eucalyptus citriodora*.

F – Caracteriza o ataque de fungos e a nota correspondente.

I – Caracteriza o ataque de insetos e a nota correspondente.

A ação de outros organismos deterioradores não pode ser desprezada, apesar de não ter sido utilizada qualquer metodologia para qualificá-la. É o caso da presença de formigas carpinteiras e alguns coleópteros em amostras de madeira não tratada.

De uma maneira geral, os fungos foram os principais responsáveis pela deterioração dos moirões não tratados, nos dois campos de apodrecimento, ainda que a ocorrência tenha sido maior em Ipatinga, devido às condições mais favoráveis ao desenvolvimento. Os cupins também provocaram grandes estragos nas testemunhas, atacando-as na sua totalidade.

As amostras testemunhas instaladas nos dois campos alcançaram nota 4 e índice de comportamento zero até o quinto ano, isto é, tiveram a totalidade de suas amostras destruídas ou seriamente comprometidas com relação às suas propriedades físico-mecânicas.

As amostras de madeira tratadas com creosoto, creosoto a 1% de pentaclorofenol e CCA-A não apresentaram quaisquer indícios de ataque que comprometessem o tratamento preservativo aplicado. Os mínimos desgastes apresentados por estas amostras foram devidos à ação do intemperismo ao qual ficam permanentemente sujeitas.

4. CONCLUSÕES

As amostras testemunhas de *Eucalyptus citriodora* e *E. paniculata* apresentaram uma vida média inferior a cinco anos.

Não ocorreram diferenças significativas entre o comportamento das amostras não tratadas de *E. citriodora* e *E. paniculata*.

Todos os moirões tratados com preservativos oleosos, oleossolúveis ou hidrossolúveis, apresentaram-se em perfeito estado, revelando a eficácia desses preservativos no aumento da resistência da madeira à deterioração.

Não houve ainda diferença significativa de comportamento entre os moirões tratados com creosoto, creosoto a 1% de pentaclorofenol e CCA-A.

A quantidade de tipos de cupim variou de local para local. O maior número de gêneros desse inseto foi encontrado no campo de Brasília-DF.

No campo de apodrecimento de Ipatinga-MG as amostras testemunhas apresentaram maior quantidade de corpos de frutificação de fungos.

5. ANEXOS

LOCALIZAÇÃO E CARACTERÍSTICAS DE CLIMA E SOLO DAS DUAS REGIÕES ONDE SE ENCONTRAM INSTALADOS OS CAMPOS DE APODRECIMENTO.

CAMPO DE APODRECIMENTO: Brasília-DF

- Local: Fazenda Água Limpa – Universidade de Brasília
- Latitude: 15° 56' 14" Sul
- Longitude: 47° 56' 08" Oeste
- Altitude: 1030 metros

- Data de Instalação: Março de 1980
- Participação: Média anual (1984/85): 1455,5mm
- Tipo climático: O campo está instalado numa região Aw, segundo o método de Köppen.
 - A – Clima quente e úmido
 - w – Chuvas de verão
- Análise do solo

PH	Al meq/100cc	CaMg meq/100cc	P ppm	K ppm	%MO
4.7	0.72	0.2	1	20	5,2

meq = equivalente miligrama.

ppm = parte por milhão.

CAMPO DE APODRECIMENTO: Ipatinga-MG

- Local: Horto Florestal Mato Grosso – Acesita Energética S/A
- Latitude: 19° 13' Sul
- Longitude: 42° 36' Oeste
- Altitude: 239 metros
- Data de instalação: Março de 1980
- Precipitação: Média anual (1984/85): 1522,5mm
- Tipo climático: O campo está instalado numa região Cwb, segundo o método de Köppen.
 - C – Clima subtropical ou temperado
 - w – Chuvas de verão
 - b – Verão brando
- Análise de Solo

PH	Al meq/100cc	CaMg meq/100cc	P ppm	K ppm	%MO
5.1	0,45	0.3	1	10	1.8

meq = equivalente miligrama.

ppm = parte por milhão.

CAMPO DE APODRECIMENTO DE BRASÍLIA-DF. DADOS METEOROLÓGICOS DE 1984 E 1985.

1984	Temperatura			Umidade Relativa
Mês	Máxima	Mínima	Média	%
Jan.	28,9	14,7	21,8	53,3
Fev.	29,8	15,4	22,6	48,0
Mar.	29,0	16,6	22,8	66,2
Abr.	28,0	15,5	21,5	56,6
Mai.	29,3	11,8	20,5	42,1
Jun.	28,0	8,8	18,4	36,4
Jul.	27,3	9,1	18,5	35,6
Ago.	28,5	11,6	20,0	39,7
Set.	28,3	13,3	20,8	44,2
Out.	29,4	15,3	22,3	52,7
Nov.	29,6	15,6	22,6	54,2
Dez.	29,6	15,6	22,0	65,3

1985	Temperatura			Umidade Relativa
Mês	Máxima	Mínima	Média	%
Jan.	25,9	17,6	21,7	75,3
Fev.	29,7	15,0	22,4	49,8
Mar.	28,5	15,7	22,1	61,8
Abr.	28,4	13,9	21,1	56,5
Mai.	28,5	12,6	20,5	44,7
Jun.	27,2	5,4	16,2	30,2
Jul.	27,1	7,7	17,4	31,7
Ago.	29,9	10,6	20,2	29,7
Set.	30,5	11,9	21,2	36,4
Out.	28,4	15,3	21,8	58,3
Nov.	28,5	15,0	24,6	55,4
Dez.	27,4	15,9	21,7	57,3

CAMPO DE APODRECIMENTO DE IPATINGA-MG. DADOS METEOROLÓGICOS DE 1984 E 1985.

1984	Temperatura			Umidade Relativa
Mês	Máxima	Mínima	Média	%
Jan.	32,3	31,1	31,7	70,0
Fev.	32,9	30,2	31,5	77,1
Mar.	30,5	23,8	27,2	78,7
Abr.	28,7	19,2	23,9	75,5
Mai.	29,3	17,4	24,3	71,2
Jun.	28,4	13,3	20,8	75,2
Jul.	27,5	13,2	20,3	75,0
Ago.	27,2	14,7	20,9	75,3
Set.	27,4	15,8	25,6	76,8
Out.	29,2	17,7	23,4	80,4
Nov.	29,4	19,3	24,3	76,0
Dez.	27,5	21,3	24,3	80,9

1985	Temperatura			Umidade Relativa
Mês	Máxima	Mínima	Média	%
Jan.	28,7	21,3	25,5	86,3
Fev.	31,6	20,7	26,1	76,7
Mar.	30,6	21,1	25,9	80,8
Abr.	29,7	19,8	24,8	72,2
Mai.	27,5	17,6	22,6	78,7
Jun.	25,2	10,7	18,0	76,9
Jul.	25,9	11,3	18,6	74,7
Ago.	26,9	13,6	20,2	76,1
Set.	28,6	17,1	22,8	82,8
Out.	29,9	19,0	24,48	77,2
Nov.	29,1	20,4	24,8	79,9
Dez.	29,4	21,2	25,3	77,9

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, M.V.S., et alii (1985). **Avaliação da eficiência de preservativos em madeira após dois anos de implantação em campos de apodrecimento de diferentes regiões.** São Paulo, Boletim ABPM nº 27 16p.
- GOMES, J.I. & BANDEIRA, A.G. (1984). **Durabilidade natural de madeiras amazônicas em contato com o solo.** São Paulo, Boletim ABPM nº 15, 16p.
- KOLLMANN, F.F.P. & COTÉ Jr., W.A. (1968). **Principles of wood Science and Technology.** Berlim, Springer – Verlag, V. 1, 592p.
- SERPA, F.G. (1984). **Durabilidade natural de madeiras do nordeste em campo de apodrecimento.** São Paulo, Boletim ABPM nº 13, 8 p.
- WATANABE, L.Y. et alii (1973). Inspeção aos campos de apodrecimento existentes em diversas regiões do estado de São Paulo, para estudo comparativo de preservativos de madeira e processos de tratamento. **Preservação de Madeiras.** São Paulo, 3-4 (1): 7-39.

MADEIRAS QUE SUBSTITUEM O PINHO-DO-PARANÁ EM FORMAS PARA CONCRETO

Júlio Eustáquio de Melo

Engenheiro Civil, M.Sc.
Laboratório de Produtos Florestais.

RESUMO

A extensa aplicação do pinho-do-paraná (*Araucária angustifolia*) na construção civil, em especial na fabricação de formas para concreto, levou o autor a selecionar, dentre as várias espécies na Amazônia caracterizadas pelo Laboratório de Produtos Florestais – LPF e de comercialização ainda indefinida, aquelas que se comportam de maneira semelhante nesta utilização. Foram analisadas as propriedades físicas e mecânicas relacionadas com os tipos comuns de solicitações nas formas para concreto, resultando na seleção de 16 espécies, dando margem a escolha em função de disponibilidade e outros aspectos econômicos. As espécies foram tabeladas junto às suas propriedades físicas e mecânicas na ordem decrescente de prioridade na substituição do pinho-do-paraná, sendo esta sequência obtida por comparação entre as propriedades de cada espécie.

PALAVRAS-CHAVE: Formas para concreto, espécies substitutas, estruturas de madeira, propriedades físicas e mecânicas.

ABSTRACT

The large application of Parana-pine in the civil construction, mainly like concrete forms, carried out the author to select among several amazon species, which are being studied by the Forest Products Laboratory – LPF and with undefined commercialization, some species which have similar behaviour for this type of utilization. Fisical and mechanical properties of woods were evaluate for this type of application. The analysis of the results shower sixteen (16) species selected. This species were listed by means of its fisical and mechanical properties in a decreasing arrangement of priority in the parana-pine substitution. This sequence was abained by comparison between the properties of each species.

KEY WORDS: Concret Forms, Substitution Species, Wood Structure, Fisical and Mechanical Properties.

1. INTRODUÇÃO

A infinidade de aplicações do pinho-do-paraná (*Araucaria angustifolia*) resulta de suas propriedades mecânicas relativamente altas, comparadas com sua densidade, fácil trabalhabilidade, textura uniforme, homogeneidade, etc. Também a ocorrência de árvores de grande porte permite uma exploração bem diversificada desta conífera nativa, de grande interesse comercial no Brasil, possuindo, inclusive, norma de classificação de madeira serrada, permitindo uma aplicação racional em função do uso. Esta utilização intensa levou suas reservas naturais a um rápido desaparecimento, justificando a necessidade de se empenhar na busca de soluções que contornem os problemas relacionados com a regeneração tanto artificial quanto natural. Isto pode ser feito, mas a longo prazo, revisando as leis florestais brasileiras, tornando-a mais rígidas e funcionais em relação ao reflorestamento, possibilitando a suplantação do abate por um reflorestamento obrigatório das espécies em extinção. A curto prazo, provavelmente a solução mais viável seria encontrar dentre as várias espécies de madeiras da Amazônia aquelas cujas propriedades mais se assemelhem às do pinho-do-paraná, substituindo-o em suas várias aplicações, viabilizando, assim, as necessidades do mercado madeireiro para determinados usos, a custos inferiores.

Sendo um material anisotrópico e heterogêneo, é de se esperar, em geral, que uma determinada espécie apresente propriedades semelhantes a uma outra para um só uso específico. Portanto, é importante que a análise das propriedades da madeira seja feita, relacionando-as aos vários fatores de exposição e solicitação, objetivando atender a um determinado fim proposto.

É comum a aplicação do pinho-do-paraná na execução de formas para concreto armado, que exige espécies de alto módulo de elasticidade, resistência mecânica média, não ser excessivamente dura, trabalhabilidade fácil, não fendilhar e aceitar bem o prego, baixa densidade, mínimos defeitos de secagem (empenamentos, rachaduras, etc.) e também a possibilidade de as peças serem utilizadas duas, três ou mais vezes.

A falta de conhecimento das possibilidades de uso e a divulgação inadequada das propriedades das madeiras da Amazônia deixam muito a desejar, em se tratando de contribuição para sua comercialização. É necessário que se façam estudos para usos específicos com as espécies desconhecidas, comparando-as com aquelas já tradicionais no mercado. Assim, aos poucos, será possível diminuir a resistência natural do mercado em relação às espécies pouco conhecidas.

Com base em dados publicados recentemente pelo Laboratório de Produtos Florestais – LPF/DIRPED/IBAMA – Brasília sobre espécies pouco conhecidas da Amazônia, foi possível selecionar algumas que apresentam propriedades próximas às daquelas do pinho-do-paraná, para utilização em formas para concreto.

A seleção das espécies de madeiras substitutas foi feita comparando-se as propriedades quantitativas e qualitativas mais solicitadas nas formas de concreto.

2. PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS

O projeto de cálculo de formas é necessário quando se executam peças de grandes vãos e alturas. Em estruturas de edifícios comuns, as formas são executadas com base na

prática do dia-a-dia e no bom senso dos mestres e engenheiros de obras. A inconveniência do método prático está no uso excessivo de materiais ou no prejuízo da estrutura, em consequência de deformações exageradas das formas por deficiência de materiais.

As tabelas 1 e 2, anexas, fornecem os valores médios das propriedades físicas e mecânicas (6 a 10 árvores por espécie) e 16 espécies da Amazônia. Algumas das propriedades apresentadas não são de muita importância para o caso em estudo, mas foram incluídas por serem propriedades de resistência fundamentais, permitindo uma utilização alternativa, conforme as necessidades que possam surgir.

As propriedades físicas e mecânicas do pinho-do-paraná foram retiradas do Wood Handbook, USDA Agr. Handb. 72, edição de 1974, cujos ensaios obedeceram às normas americanas – ASTM, utilizando 26 pranchas de pinho sul-americano. Isto se deve à semelhança na metodologia de ensaios com as normas COPANT-72, nas quais se fundamentaram a execução dos ensaios para todas as espécies indicadas como substitutas do pinho-do-paraná.

O módulo de elasticidade é uma das características mais importantes, porque define o maior ou o menor espaçamento da estrutura de suporte. Foram incluídas algumas espécies que apresentaram módulo de elasticidade um pouco inferior ao do pinho-do-paraná, considerando-se outras características favoráveis e também a possibilidade de um custo menor em face de ocorrência, facilidade de obtenção, etc.

O arrancamento de prego, também uma propriedade de grande importância, está relacionado com a capacidade da madeira em segurar o prego e com o reaproveitamento tanto do prego quanto da tábuca.

O ensaio de dureza janka explica, em parte, a trabalhabilidade da madeira, justificando a rejeição dos carpinteiros em trabalhar com madeira dura (dificuldade em serrar).

Dentre as propriedades físicas utilizadas, está a densidade básica (peso seco/volume verde), por ser esta uma das propriedades que mais se relaciona com as outras. A densidade aparente (peso a 15% de umidade/volume a 15% de umidade), comumente utilizada na prática, foi obtida por um processo indireto, através da fórmula:

$$(D_{ap})_u = \left(\frac{1 + u/100}{1 - CV_u/100} \right) D_b$$

onde

$(D_{ap})_u$ = Densidade aparente, a um teor de umidade $u \leq 30\%$.

u = Teor de umidade em percentagem.

CV_u = Contração volumétrica até o teor de umidade u em percentagem.

D_b = Densidade básica (peso seco em estufa/volume verde) em g/cm^3

As contrações tangenciais, radiais e volumétricas (de saturada a 0% de teor de umidade) estão relacionadas com os defeitos da secagem. Normalmente, espécies com valores altos de contrações indicam o surgimento de possíveis defeitos (empenos, rachaduras, etc.) durante a

secagem. Outro fator também de importância na previsão do comportamento da madeira na secagem é a razão de contração (contração tangencial/contração radial), cujo valor, quando se encontra até próximo de 2, indica uma secagem geralmente sem grandes defeitos.

3. FENDILHAMENTO COM PREGO E SERRAGEM

O fendilhamento com prego dificulta a fixação das formas e sua posterior reutilização. A falta de amostras impossibilitou a verificação do fendilhamento ou rachadura em todas as espécies. Algumas espécies foram testadas com pregos de 18 x 27 em peças de 2,5 cm de espessura, próximo às suas bordas, e com teor de umidade ambiente, não havendo fendilhamento. Observações feitas durante a confecção dos corpos-de-prova para os diferentes tipos de ensaios de resistência, em máquinas comerciais de carpintaria, mostraram que todas as espécies indicadas são fáceis de serrar.

4. REAPROVEITAMENTO

O reaproveitamento está relacionado com os fendilhamentos ou rachaduras, e o comportamento das tábuas na secagem. Também a maneira de projetar e executar as formas, permitindo a retirada de seus diversos elementos com certa facilidade, contribui para um maior reaproveitamento das peças. Como as formas devem ser molhadas até a saturação antes do lançamento do concreto, para que não absorva a água necessária à cura do cimento, sua secagem após a desforma deve ser feita com empilhamento adequado, permitindo assim uma secagem natural favorável, diminuindo possíveis empenamentos com a perda de umidade.

5. SECAGEM

A falta de dados sobre a secagem natural das espécies em estudo nos leva a tirar conclusões a partir da razão de contração e de seu comportamento na secagem artificial (ver Apêndice). No entanto, é de se esperar que os defeitos provenientes da secagem natural sejam menores devido ao rearranjo bem mais lento da estrutura interna da madeira com a perda de umidade. Os resultados obtidos estão na Tabela 3.

6. CONCLUSÕES

As espécies em estudo satisfizeram, em grande parte, às qualidades essenciais para a utilização em formas para concreto. O fato de as espécies possuírem praticamente as mesmas propriedades de resistência do pinho-do-Paraná contribuem sobremaneira para sua utilização em estruturas de edifícios comuns, porque podem ser utilizados sem alterar os processos práticos convencionais de execução de formas para concreto. A tentativa de se introduzir várias espécies ao mesmo tempo justifica-se pelo aspecto heterogêneo da floresta amazônica, possibilitando uma exploração diversificada, em função da ocorrência e, conseqüentemente, de aspectos econômicos. É importante salientar que a madeira, possuindo características resistentes a meio agressivo como formas para concreto, viabiliza sua aplicação na construção civil em geral.

A seguir apresentamos as 16 espécies, em ordem decrescente de prioridade, para substituição do pinho:

1. *Anacardium spruceanum* Benth. ex Engl.
Caju-açu;
2. *Brosimum acutifolium* Huber
subsp. *interjectum* C.C. Berg.
Mururé
3. *Cordia bicolor* D. C.
Freijó
4. *Cordia goeldiana* Huber
Freijó
5. *Couratari guianensis* Aubl.
(Sin.: *Couratari pulchra* Sandw.)
Tauari
6. *Couratari oblongifolia* Ducke et Knuth
Tauari
7. *Diclinanona calycina* (Diels) R. E. Fries
Envira preta
8. *Eriotheca longipedicellata* (Ducke) A. Robyns
(Sin.: *Bombax longipedicellatum* Ducke)
Munguba grande da terra firme
9. *Erisma uncinatum* Warm.
Quarubarana
10. *Nectandra rubra* (Mez) C. K. Allen
(Sin.: *Ocotea rubra* Mez)
Louro-vermelho
11. *Parkia pendula* Benth. ex Walp.
Fava Bolota
12. *Protium heptaphyllum* (Aubl.) March
Breu
13. *Sterculia pilosa* Ducke
Tacacazeiro
14. *Sterculia speciosa* K. Sch.
Tacacazeiro
15. *Tratinickia burserifolia* (Mart.) Wild
Breu sucuruba
16. *Vochysia maxima* Ducke
Quaruba verdadeira

7. APÊNDICE

O programa de secagem dotado pelo Laboratório de Produtos Florestais foi feito utilizando-se tábuas de 25mm de espessura e potencial de secagem igual a 2.2, sendo classificadas as espécies de acordo com a velocidade da secagem.

T.U. (%)	T (°C)	T.U.E. (%)
Saturada	60	16,0
30	60	12,8
24	70	11,0
10	70	4,8

T.U. (%) – Teor de umidade da tábua mais úmida da pilha

T. (°C) – Temperatura do bulbo seco

T.U.E. (%) – Teor de umidade de equilíbrio

Classificação

- menos de 4 dias – muito rápida
- de 8 a 12 dias – moderadamente rápida
- de 12 a 16 dias – moderadamente lenta
- de 16 a 20 dias – lenta
- mais de 20 dias – muito lenta

Tabela 1 – Propriedades mecânicas

Espécie	condição	Flexão Estática		Compressão		Dureza Janka		Cisalhamen- to
		Tensão de Ruptura (kg/cm ²)	Módulo de Elasticidade x 10 ³ kg/cm ²	Paralela (kg/cm ²)	Perpendicu- lar (kg/cm ²)	Paralela (kg)	Perpendicu- lar (kg)	
<i>Araucaria angustifolia</i>	Verde	502	95	281	—	—	255	68
Pinho-do-paraná	12%	950	114	537	—	—	357	121
<i>Erlisma uncinatum</i>	Verde	590	87	300	33	384	324	61
Quarubarana	12%	878	106	525	61	573	399	89
<i>Vochysia maxima</i>	Verde	520	80	268	53	375	338	56
Quaruba verdadeira	12%	833	96	456	54	549	404	80
<i>Trattinnickia burserifolia</i>	Verde	507	78	253	36	357	257	67
Breu sucubura	12%	778	98	450	55	470	316	84
<i>Diclinanona calycina</i>	Verde	649	90	275	—	327	325	61
Envira preta	12%	954	113	498	—	516	403	78
<i>Protium heptaphyllum</i>	Verde	656	96	302	41	399	364	81
Breu	12%	868	100	490	69	454	398	100
<i>Nectandra rubra</i>	Verde	620	89	309	47	311	326	69
Louro-vermelho	12%	794	109	509	49	342	343	75
<i>Eriotheca longipodiceolata</i>	Verde	488	80	228	34	295	272	53
Munguba grande da terra Ilmo	12%	985	106	486	60	630	469	83
<i>Cordia goeldiana</i>	Verde	650	85	328	34	418	360	68
Freljó	12%	932	104	517	62	608	452	85
<i>Brosimum acutifolium</i>	Verde	672	100	311	45	446	415	72
Mururé	12%	1020	119	557	79	694	508	99
<i>Cordia bicolor</i>	Verde	651	96	277	30	369	343	28
Freljó	12%	829	121	509	38	573	437	34
<i>Couratari oblongifolia</i>	Verde	589	95	277	46	380	356	69
Tauari	12%	905	108	477	62	542	380	87
<i>Anacardium spruceanum</i>	Verde	446	84	211	30	277	224	62
Caju-aju	12%	654	100	372	45	390	254	69
<i>Parkia pendula</i>	Verde	660	96	323	49	468	425	83
Fava bolota	12%	939	110	489	78	534	435	99
<i>Couratari gulanesis</i>	Verde	685	94	324	58	481	429	83
Tauari	12%	1061	117	550	79	665	516	104
<i>Sterculia pilosa</i>	Verde	619	100	283	36	386	395	63
<i>Sterculia speciosa</i>	12%	990	120	518	51	633	517	94
Tacacazeiro								

Obs.: Testes realizados conforme as normas COPANT.

Tabela 2 – Propriedades físicas^(a)

Espécie	Densidade ^(b)		Contração ^(c)			Razão de Contração (CT/CR)
	Básica (g/cm ³)	Aparente (15%) (g/cm ³)	Radial (% CR)	Tangencial (% CT)	Volumétrica (% CV)	
<i>Araucaria angustifolia</i>	0,46	0,57	4,0	7,9	13,2	2,0
Pinho-do-paraná						
<i>Erismia uncinatum</i>	0,48	0,59	3,6	8,7	12,9	2,4
Quarubarana						
<i>Vochysia maxima</i>	0,46	0,56	3,3	9,1	13,0	2,8
Quaruba verdadeira						
<i>Trattinickia burserifolia</i>	0,44	0,54	5,1	7,2	11,8	1,4
Breu sucuruba						
<i>Diclinanona calycina</i>	0,47	0,58	3,2	10,1	13,6	3,2
Envira preta						
<i>Protium heptaphyllum</i>	0,55	0,67	4,1	8,4	12,6	2,0
Breu						
<i>Nectandra rubra</i>	0,55	0,67	3,2	7,9	11,2	2,5
Ouro-vermelho						
<i>Eriotheca longipedicellata</i>	0,45	0,56	4,5	9,8	14,9	2,2
Munguba grande da terra firme						
<i>Cordia goeldiana</i>	0,48	0,58	4,1	6,6	10,6	1,6
Freijó						
<i>Brosimum acutifolium</i>	0,55	0,67	4,8	7,8	12,6	1,6
Mururé						
<i>Cordia bicolor</i>	0,49	0,62	6,3	11,7	18,0	1,9
Freijó						
<i>Couratari oblongifolia</i>	0,49	0,59	3,6	6,1	10,4	1,7
Tauari						
<i>Anacardium apruceanum</i>	0,42	0,51	2,9	6,0	9,4	2,1
Caju-açu						
<i>Parkia pendula</i>	0,51	0,62	2,5	7,2	10,0	2,9
Fava bolota						
<i>Couratari guianensis</i>	0,52	0,63	3,6	6,1	10,4	1,7
Tauari						
<i>Sterculia pilosa/S. speciosa</i>	0,53	0,66	4,8	11,0	15,9	2,3
Tacacazeiro						

^(a) Ensaios realizados conforme as normas COPANT.

^(b) Básica: peso seco em estufa/volume saturado; aparente: peso 15% teor de umidade/volume 15% teor de umidade.

^(c) Calculada com a amostra do estado saturado a seco em estufa.

Tabela 3 – Comportamento na secagem artificial, utilizando o programa descrito no Apêndice.

Espécie	Defeito	Velocidade
<i>Erisma uncinatum</i> Quarubarana	Acanoamento moderado e endurecimento de moderado a forte	Rápida (5,5 dias)
<i>Vochysia maxima</i> Quaruba verdadeira	Resistência moderada ao acanoamento, torcedura e endurecimento	Rápida (5,0 dias)
<i>Trattinnickia burserifolia</i> Breu sucubura	Rachaduras de moderada a forte; acanoamento, torcedura e endurecimento moderados	Rápida (7,0 dias)
<i>Diclinanona calycina</i> Envira preta	Tendência para torceduras e rachaduras	Moderadamente rápida (8,5 dias)
<i>Protium heptaphyllum</i> Breu	Tendência para torcedura e acanoamento; endurecimento de moderado a forte	Rápida (5,0 dias)
<i>Nectandra rubra</i> Louro-vermelho	Tendência para acanoamento, torcedura e endurecimento	Muito lenta (10,5 dias)
<i>Eriotheca longipedicellata</i> Munguba da terra firme	Tendência para rachaduras e acanoamentos e forte endurecimento	Rápida (5,5 dias)
<i>Cordia goeldiana</i> Freijó	Rachaduras e acanoamentos moderados e forte endurecimento	Muito rápida (1,5 dias)
<i>Brosimum acutifolium</i> Mururé	Rachadura e acanoamento moderados, torcedura e endurecimento de moderado a forte	Muito rápida (2,5 dias)
<i>Cordia bicolor</i> Freijó	Acanoamento de moderado a forte	Rápida (7 dias)
<i>Couratari oblongifolia</i> Tauari	Nenhum	Muito rápida (3,5 dias)
<i>Anacardium spruceanum</i> Caju-açu	Tendência para rachaduras, acanoamento, torcedura e endurecimento	Moderadamente lenta (14,5 dias)
<i>Parkia pendula</i> Fava bolota	Acanoamento moderado e forte endurecimento	Rápida (7,5 dias)
<i>Couratari guianensis</i> Tauari	Tendência para rachaduras, torceduras e endurecimento moderados	Muito rápida (3,0 dias)
<i>Sterculia pilosa</i> / <i>Sterculia speciosa</i> Tacacazeiro	Forte tendência para rachaduras e endurecimento, acanoamento moderado	Muito rápida (3,0 dias)

Obs.: Estes resultados foram retirados da publicação do LPF "Madeiras da Amazônia: Características e Utilização" – 1981.

BIBLIOGRAFIA

- AZEVEDO, Hélio Alves de. **O edifício até sua cobertura**. São Paulo, E. Blücher, 1977.
- BEGEMANN, Helmut F. **Lexikon der Nutzhölzer**, v. 1, Mering, Germany, E. Kittel, 1963.
- BEGEMANN, Helmut F. **Lexikon der Nutzhölzer**, v. 3, Mering, Germany, Holz-Verlag GmbH, 1966.
- CALIL JUNIOR, Carlito et alii – **Tecnologia da Madeira**. São Paulo, 1978. 65 p.
- ERFURTH, T & RUSCHE, H. **La comercialización de las maderas tropicales en America del Sur**. Roma, Estudiosos FAO, 1977.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO, **Fichas de características das madeiras brasileiras**. São Paulo, Divisão de Madeiras, 1971.
- HANDBOOK of hardwoods. **Princes Risborough**, London, 21 ed., Laboratory. Department of the Environment, 1972. 243 p.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE DESENVOLVIMENTO FLORESTAL. **Madeiras da Amazônia: Características e utilização**, vol. 1, Brasília, CNPq, 1981, il.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE DESENVOLVIMENTO FLORESTAL. **Madeiras da Amazônia: características e utilização**, v.2, Brasília, LPF, 1979. 1988, il.
- LOUREIRO, Arthur A. & SILVA, Marlene Freitas da. **Catálogo das madeiras da Amazônia**, v. 1, Belém, PA, 1968.
- PANDOLFO, Clara. **A floresta amazônica brasileira: enfoque econômico-ecológico**. Belém, PA, SUDAM. Departamento de Recursos Naturais, 1978. 118 p.
- WOOD HANDBOOK. Washington. Forest Products Laboratory. U.S. Department of agriculture. Agriculture handbook nº 72. 1974
- WOOD, T.W.W. **Species list: comercial and potencial**. Tapajós management plan. FAO Paper. Belém, PA, 1979. 10 p. (mimeografado).

USO DE ÓLEO TÉRMICO NA SECAGEM DE MADEIRA

*Mário Rabelo de Souza**

*Varlone Alves Martins***

*Físico

**Eng^o Florestal

Laboratório de Produtos Florestais

RESUMO

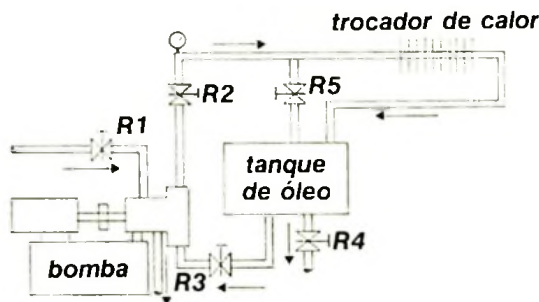
Dois secadores convencionais para madeira tiveram seus sistemas de aquecimento a vapor substituídos por óleo térmico, aquecido por resistência elétrica. Esta modificação mostrou-se positiva tanto sob o ponto de vista econômico, como pela facilidade de operação e pela segurança que proporciona.

PALAVRAS-CHAVE: Secagem de madeira, secadores convencionais (sistemas de aquecimento).

ABSTRACT

Two conventional dry kilns were modified in their heating systems to use termic oil pre-heated by resistance, instead steam. This adaptation have showed very positive results under the economic point of view, easy operation and security.

KEY-WORDS: Kiln drying, conventional dry kilns (heating systems).



- R_1 = entrada de água de refrigeração da bomba
 R_2 = saída da bomba
 R_3 = saída do tanque
 R_4 = limpeza do tanque
 R_5 = alívio

A pressão de trabalho utilizada é de 2kg/cm^2 , com um secador ligado (o de menor dimensão), e de $1,5\text{kg/cm}^2$, com os dois. A potência mínima para operar apenas o secador menor é 9kw, e 30kw para operar os dois. Com esta potência, consegue-se facilmente temperaturas de 100°C nas duas máquinas. O consumo de energia está em torno de 360kwh por dia, quando ligados e, plenamente carregados, os dois secadores.

Importante ainda é citar que a umidificação no interior da câmara, necessária ao processo de secagem, era anteriormente produzida também por vapor. Com a eliminação do vapor, passou a ser feita com água captada diretamente da rede de distribuição, pré-aquecida no tanque de óleo térmico.

3. COMENTÁRIOS E CONCLUSÕES

A experiência do LPF com o óleo térmico tem sido bastante positiva, pois, além do fator econômico altamente favorável, tem-se o aspecto da segurança.

O equipamento é simples e dispensa operador especializado.

A única desvantagem do sistema está no tempo inicial de aquecimento do secador. Com vapor tem-se um tempo de aproximadamente 10 minutos, enquanto com o óleo aquecido a 150°C este tempo eleva-se para 30 minutos. Para um laboratório, este aspecto mostra-se irrelevante, mas para uma indústria é uma variável de elevado peso, e deve ser considerada.

LÍQUIDO DA CASCA DA CASTANHA DE CAJU: REVISÃO DAS CARACTERÍSTICAS E USOS

*Marcos Antonio Eduardo Santana**
*Tereza Cristina Monteiro Pastore***

* Químico, Ph. D.

** Químico, M. Sc.

LABORATÓRIO DE PRODUTOS FLORESTAIS

RESUMO

O líquido da casca da castanha de caju (LCC) é um produto versátil e, por isso, vem se tornando uma matéria-prima industrial muito importante em amplas aplicações.

O LCC técnico é basicamente composto de duas substâncias majoritárias: cardanol e cardol, e em menor concentração de 2-metilcardol e ácido anacárdico. Os grupos hidroxifenólicos e a cadeia lateral insaturada fornecem ao material dupla funcionalidade, que é responsável por esta utilização tão abrangente.

Além da caracterização química do LCC, este artigo revisa os usos atual e potencial do LCC e seus componentes. Também é feita uma breve apreciação sobre o mercado do LCC.

PALAVRAS-CHAVE: líquido da casca de castanha, castanha de caju, LCC, cardanol, cardol, fenol.

ABSTRACT

Cashew nutshell liquid (CNSL) is a versatile product which has becoming a very important industrial raw material with extensive applications.

Technical CNSL is composed basically of two major compounds; cardanol and cardol, with a minor concentration of 2-methylcardol and anacardic acid. The phenolic hydroxyl groups and the unsaturated sidechain give the material a dual functionality, which is responsible for its broad utilization.

Besides the chemical characterization of CNSL, this paper review the current and potential utilization of CNSL and its components. A brief discussion of the CNSL market status is reported as well.

KEY-WORDS: Cashew nutshell liquid, CNSL, cardanol, cardol, phenols.

1. INTRODUÇÃO

O cajueiro (*Anacardium occidentale* L.) é o membro mais abundante da família Anacardiaceae. Esta espécie nativa do Brasil é ainda cultivada entre nós mas, provavelmente, devido à influência portuguesa, também cresce em muitos países tropicais, como Moçambique, Tanzânia, Índia, Quênia, Ceilão, Indonésia e outros (28).

Primariamente, o maior objetivo da cultura de caju é a produção da semente, pelo seu sabor, aroma e alto valor nutritivo, o que lhe proporciona um mercado muito forte nos Estados Unidos. No entanto, o principal subproduto de importância considerável em aplicações para polímeros é a mistura fluida fenólica denominada líquido da casca da castanha (LCC).

O LCC natural é composto principalmente de ácido anacárdico (2-carboxi-3-pentadecadienil fenol), cardol (m-pentadecadienil resorcinol), pequena quantidade de 2-metilcardol (2-metil-m-pentadienil resorcinol) e compostos correlatos com vários graus de insaturação. O LCC técnico, obtido por um tratamento especial de calor e descarboxilação, contém basicamente uma mistura de cardanol (3-pentadecadienil fenol), cardol, pequena quantidade de 2-metilcardol e compostos correlatos com diferentes graus de insaturação.

As resinas fenólicas são responsáveis por aproximadamente 4% da produção mundial de plásticos, incluindo os celulósicos e excluindo os elastômeros. Esta porcentagem alcança o nível de 11,7% na União Soviética, 8,2% nos Estados Unidos e 5,5% no Japão (12).

O líquido da casca da castanha pode ser considerado o material fenólico natural mais abundante e amplamente distribuído, com potencial anual disponível de cerca de 125.000 toneladas (27). Esta quantidade pode ser mais aumentada, baseando-se no fato de que a produção da indústria de castanha de caju foi projetada para exceder 10^6 toneladas/ano na década de 1990 e, teoricamente, poderá produzir 25% do subproduto LCC (21).

Com o LCC preparam-se resinas fenólicas por meio de reação com formaldeído, utilizadas em larga escala na manufatura de material de fricção para lona de freio e em menor extensão para revestimento de embreagem. O uso do LCC, porém, não está restrito a aplicações em polimerização, sendo também utilizado em tintas, remédios, detergentes e antioxidantes.

A disponibilidade e o preço relativamente baixo do LCC fazem com que esta matéria-prima seja muito importante na indústria química. O objetivo deste trabalho é discutir o uso corrente e potencial do LCC, como também tecer algumas considerações sobre o mercado.

2. O CAJUEIRO. INFORMAÇÕES GERAIS

O cajueiro, *Anacardium occidentale* L., originário do Brasil, apresenta uma grande variabilidade no *habitat* de crescimento, tanto em áreas cultivadas como naquelas onde cresce espontaneamente. A altura da árvore varia de 10 a 15 metros. Possui flores masculinas e hermafroditas em proporções variáveis na mesma inflorescência, porém as masculinas são sempre mais abundantes.

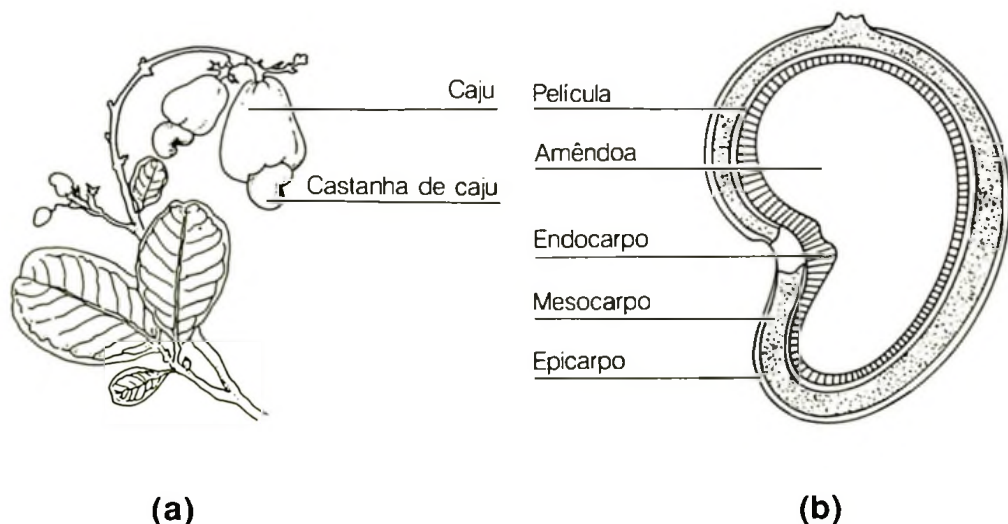


Figura 1 – (a) ramo do cajueiro e (b) castanha de caju.

O tamanho da castanha varia entre 3 e 5cm de comprimento e 2 e 3,5cm de largura. Possui formato de rim e está ligada à base do pedúnculo (Figura 1a). Esta fruta tem uma amêndoa de coloração marfim, coberta por uma membrana fina marrom (película), que é circundada por uma casca porosa e marrom, denominada mesocarpo. Este mesocarpo, com cerca de 3mm de espessura, contém o líquido da casca da castanha (LCC), uma mistura oleaginosa de coloração marrom avermelhada (Figura 1b).

A amêndoa, quando isenta da película, contém 1,6% de água, 10% de proteína, 57,4% de óleo, 5,3% de carboidratos, 2,4% de cinzas e 0,9% de fibras (27 e 28).

Na utilização industrial da castanha foram estimados os rendimentos: 23% de amêndoa, 18% de LCC, 55% de resíduo e 4% como perdas (17). O resíduo geralmente é queimado como energético.

O caju é um pseudofruto comestível muito apreciado no Brasil, usado em larga escala na indústria de sucos e doces.

3. O MERCADO DE LCC

O LCC é o subproduto mais importante na utilização da castanha de caju. O LCC é produzido e exportado por Moçambique, Tanzânia, Índia, Brasil e Quênia. Estes países são, na ordem citada, os principais produtores. Provavelmente por fatores políticos, a produção de LCC do Leste Africano tem diminuído desde 1978 e o Brasil é agora o principal produtor (27 e 28).

A Tabela 1 mostra a evolução da exportação de LCC de 1973 a 1979. Observa-se o declínio da produção de LCC do Leste Africano e o crescimento considerável da produção brasileira. Em 1985, a produção de LCC no Brasil foi estimada em 20.000 toneladas/ano somente no Ceará, que é o estado maior produtor (17).

Tabela 1 – Exportação de LCC em toneladas.

País	ANO						
	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979
Brasil	5.238	7.179	8.252	10.680	7.614	10.660	10.752
Índia	4.626	6.300	5.207	6.023	2.969	4.951	6.964 ^a
Moçambique	14.082	12.791	5.076	8.276	10.000	7.900	-
Tanzânia	848	658	502	1.614	873	1.025	750 ^b
Quênia	-	-	-	-	297	569	-

FONTE: Lopes Neto, 1981 (14).

^a De outubro/78 a maio/79.

^b De janeiro/79 a agosto/79.

A Figura 2 mostra o mercado consumidor do LCC produzido no Brasil, em 1980. Os Estados Unidos são ainda os maiores consumidores (35,3%), apesar de esta parcela ter diminuído em relação a 1975 (74,4%) (14).

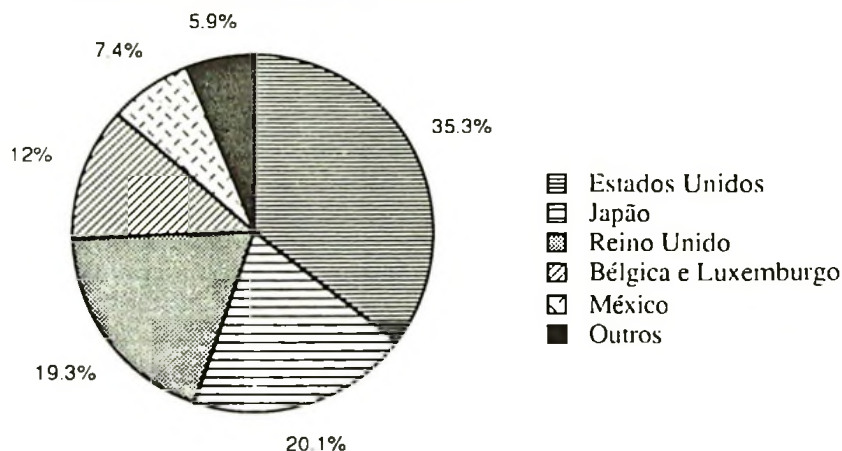


Figura 2 – Principais mercados consumidores do LCC brasileiro.

FONTE: Lopes Neto, 1981 (14).

O preço médio obtido pelo LCC brasileiro no mercado internacional de 1975 a 1980 foi de US\$ 715 por tonelada. O preço mais alto foi de US\$ 1,320 por tonelada em 1979. Os valores de maio/81 mostram que o preço do LCC no mercado americano varia de 350 a 500 dólares por tonelada. A queda da produção de automóveis nos Estados Unidos é apontada como sendo o motivo para a redução de preço, uma vez que a maior aplicação do LCC é em revestimento de freios e embreagens (17).

4. EXTRAÇÃO E REFINO DO LCC

Basicamente, o LCC é extraído da castanha por dois processos diferentes. O mais antigo consiste em aquecer a castanha bruta a 80 - 100°C por 10 minutos em autoclave. Este processo reduz a viscosidade do bálsamo e a quantidade de água na casca. Após resfriamento, as castanhas são cortadas manualmente e a amêndoa separada da casca. O LCC, então, é obtido pelo processo de prensagem da casca ou por extração com solvente. Em seguida, o LCC extraído é descarboxilado a 140°C durante 30 minutos por aquecimento indireto (2).

No segundo processo, mais atual, o LCC é extraído automaticamente pelo processo de banho a quente, no qual a castanha bruta é aquecida a 180 - 190°C no LCC, extraído anteriormente. Utiliza-se uma correia de transporte das castanhas que lentamente passa abaixo do nível do líquido. Portanto, o LCC extraído vem suplementar o utilizado no aquecimento. Depois que o LCC residual é removido, as castanhas cozidas com as cascas internas intactas são descascadas pelo processo de Sturtevant ou pelo processo denominado de Oltremare.

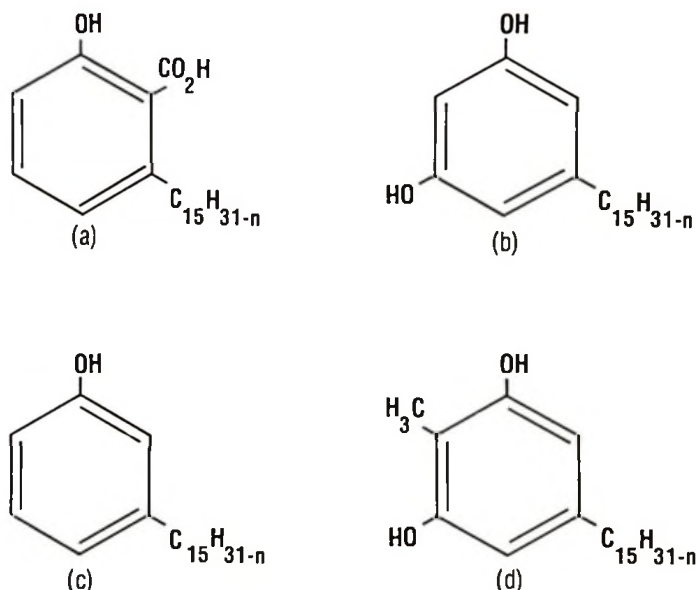
No primeiro, as castanhas são projetadas contra um prato duro que fragmenta as cascas que serão depois centrifugadas. Já no processo de Oltremare, as cascas são cortadas ao meio. Nos dois processos as amêndoas permanecem intactas.

O LCC precisa ser refinado, porquanto é produzido tanto em diferentes moinhos, como, em alguns casos, em bateladas diferentes do mesmo moinho, o que causa variação das suas características analíticas. Assim, emprega-se um tratamento ácido para melhorar a qualidade do LCC, que contém alta porcentagem de material volátil e impurezas em suspensão, resultando em um produto mais homogêneo (18).

O LCC extraído possui ação dérmica vesicante, por isso, antes de ser utilizado, requer tratamento para eliminar as impurezas metálicas e os traços de compostos sulfurosos (18).

5. CARACTERIZAÇÃO DO LCC

O líquido da casca da castanha é classificado de dois modos: técnico e natural. O LCC técnico, considerado um dos lipídios fenólicos mais importantes (4), consiste em uma mistura de cardanol (Figura 3c), uma pequena proporção de cardol (Figura 3b) e outra menor de 2-metilcardol (Figura 3d). O LCC natural, obtido por extração com solvente, contém principalmente ácido anacárdico (Figura 3a), e, em menores quantidades, o cardol, o 2-metilcardol e traços de cardanol. O LCC técnico é obtido por processo de aquecimento no qual o LCC natural é descarboxilado.



$n = 0, 2, 4 \text{ ou } 6$

Figura 3 – Componentes básicos do LCC: (a) ácido anacárdico, (b) cardol, (c) cardanol e (d) metilcardol.

A cadeia lateral consiste em 15 carbonos, podendo ser saturada ($n = 0$) ou insaturada ($n = 2, 4$ ou 6). A insaturação localiza-se no carbono 8 (monoeno), carbono 8 e 11 (dieno) e carbonos 8, 11 e 14 (trieno) como pode ser visto na Figura 4.

O LCC tem sido investigado sistematicamente desde 1847, quando Stadeler separou o cardol do ácido anacárdico, descarboxilando-o posteriormente. A fórmula correta para o ácido ($C_{22}H_{32}O_3$), porém, foi estabelecida quarenta anos mais tarde por Ruhemann e Skinner, como citado por Tyman (27). Esta fórmula molecular corresponde à cadeia lateral do dieno que representa uma insaturação média. A heterogeneidade da cadeia lateral foi estabelecida por Symes e Dowson (23).

Nas duas últimas décadas foi feito um trabalho extenso referente à estrutura dos componentes do LCC para melhor caracterizá-lo. Tyman (25) usou o método de cromatografia gasosa para determinar os componentes fenólicos do LCC natural e técnico após hidrogenação e metilação. A separação por cromatografia de camada fina (CCF) dos componentes fenólicos, seguida por metilação e cromatografia gasosa, possibilitou Tyman (24) determinar os constituintes não saturados da cadeia lateral.

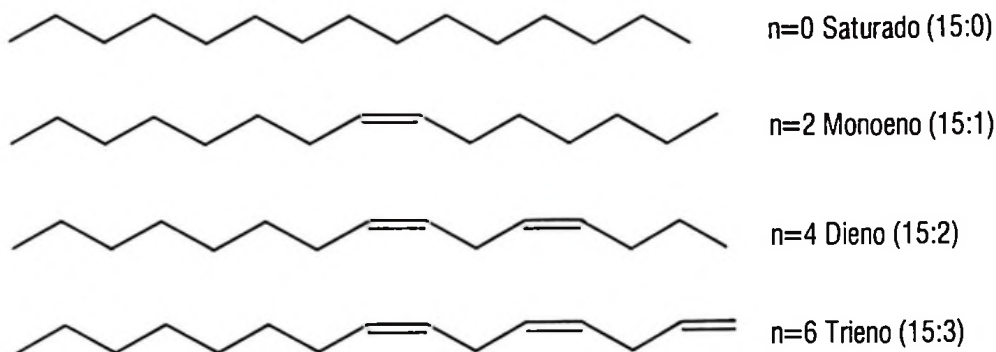


Figura 4 – Constituintes $C_{15}H_{31-n}$ dos componentes fenólicos do LCC.

Tyman (26) verificou que a combinação dos métodos CCF-espectrometria de massa era bastante eficiente na análise quantitativa dos constituintes não saturados dos lipídios fenólicos, por ser rápida e precisa.

Tyman e Kiong (28) determinaram a composição do LCC natural de várias fontes. Após a hidrogenação da cadeia lateral e metilação dos grupos acídicos, os seguintes componentes fenólicos foram determinados por cromatografia gasosa sobre polietileno glicol: ácido anacárdico (74,1 a 77,4%); cardol (15,0 a 21,1%); 2-metilcardol (1,7 a 2,6%) e cardanol (1,2 a 9,2%). Os constituintes saturados e insaturados foram separados dos componentes fenólicos por CCF e o trieno (36,3 a 50,4%), dieno (17,8 a 32,1%), monoeno (25,0 a 33,3%). Os constituintes saturados (2,2 a 3,0%) foram determinados por espectroscopia de massa. As composições do LCC técnico de quatro fontes diferentes foram determinadas por Tyman *et al.* (31), utilizando-se de cromatografia gasosa para analisar os componentes fenólicos e CCF-espectroscopia de massa para analisar os constituintes saturados e não saturados. Para o LCC de Moçambique (uma das quatro fontes), foram obtidos os seguintes resultados para os componentes fenólicos: cardanol (82,1 a 82,4%), cardol (11,9 a 13,6%), 2-metilcardol (2,9 a 3,7%) e ácido anacárdico (1,1%). Os constituintes saturados e não saturados foram determinados nos três componentes mais ricos em fenol; cardanol, cardol e 2-metilcardol, respectivamente. Os resultados foram: trieno (48,0; 56,8 e 50,2%), dieno (16,1; 27,8 e 23,6%), monoeno (32,0; 15,1 e 14,8%) e saturados (3,9; 0,3 e 1,3%).

Para impedir a derivação, problema da combinação das técnicas, e a polimerização térmica por meio de reações na cadeia lateral, Tyman *et al.* (30) propuseram um método quantitativo para analisar o LCC pelo processo de cromatografia líquida de alto desempenho (HPLC).

Este novo procedimento é mencionado pelos autores como mais rápido e preciso do que o de cromatografia gasosa, sozinho ou combinado com outras técnicas. O HPLC é um procedimento onde tanto a qualidade da matéria-prima como o monitoramento de reações que a contenha podem ser determinados.

6. SEPARAÇÃO DE FENÓIS NO LCC TÉCNICO

A cor escura do LCC, devido à presença de fenóis dihidrícos, principalmente o cardol, impede seu uso em muitas áreas tecnológicas. A separação em componentes relativamente puros é muito difícil, porque tais componentes possuem propriedades físicas similares.

Embora a mistura de cardanol e cardol, que possui uma cor amarelo pálida, possa ser separada do resíduo marrom escuro por destilação de alto vácuo e molecular, a separação prática do cardanol e cardol só pode ser obtida por cromatografia em coluna, que é um método bastante oneroso.

Baseado nestes fatos, Tyman *et al.* (29) propuseram um novo método para separar o cardanol do cardol. Verificaram que reagindo o LCC com aminas, tais como dietilenotriamina, N-(2-aminoetilamina) e dietanolamina, somente os fenóis dihidrícos formavam complexos. O cardanol não interage com estas aminas. O complexo é estável sob condições de destilação de alto vácuo a 160-220°C, portanto o destilado tem o conteúdo de cardanol aumentado e o de cardol diminuído, comparando-se com o LCC de partida. Os autores alegam que este processo pode ser usado para obter uma composição abrangendo no mínimo 90% em peso de cardanol, sendo que a razão dos constituintes trieno e monoeno é no mínimo 1:1.

Outros procedimentos de destilação para obtenção de cardanol têm sido propostos por vários pesquisadores (4 e 16). O cardol não pode ser recuperado por este processo devido ao seu ponto de ebulição e à sua sensibilidade à deterioração térmica maiores do que os do cardanol (21).

O cardol é também uma substância com potencial uso químico e possui maiores graus de insaturação e de reatividade no anel aromático do que o cardanol. Sood *et al.* (21) propuseram um método cromatográfico capaz de separar o cardanol do cardol onde as colunas cromatográficas são reutilizadas e os solventes recuperados. O LCC técnico inicialmente sofre uma destilação molecular para remover parcialmente os materiais poliméricos e, então, os componentes fenólicos são separados por cromatografia em coluna, usando-se como suporte sílica gel H (tipo 60 - para CCF). A Tabela 2 resume os dois experimentos onde dois graus de pureza da sílica gel foram utilizados.

Tabela 2 – Cromatografia de adsorção de LCC técnico em sílica gel tipo H para CCF

LCC técnico (g)	Fração combinada	Peso (g)	%	Solvente ^b	Volume (ml)	Componentes fenólicos
Experimento 1 (25,6)	1	17,68	69,1	P:P/E (12:1): P/E (10:1)	650:650: 650	Cardanol puro
	2	0,90	3,5	P/E (7:1)	650	
	3	0,98	3,9	P/E (3:1)	650	Cardanol/2-metilcardol
	4	0,98	3,1	P/E (1:1)	650	Cardanol/2-metilcardol
	5	2,84	11,1	P/E (1:1)	650	Cardol (puro)
	6	2,40	9,3	M	650	Polímero
Experimento 2 (5,0)	1(1-80) ^c	34,42	61,0	P:P/E (12:1): P/E (10:1) P/E (7:1)	1.000:500 500:500	Cardanol (98,5%) ^d
	2(82-89)	1,04	3,7	P/E (3:1)	500	Cardanol (87,5%) 2-metilcardol
	3(90-97)	2,34	4,2	P/E (3:1); P/E (1:1)	500:500	Cardanol (61,5%) 2-metilcardol
	4(98-106)	4,17	7,4	P/E (1:1)	500	2-metilcardol (52,3%) Cardol (40,8%)
	5(107-122)	9,19	16,3	P/E (1:1)	650	Cardol (98,8%)
	6(128-141)	5,24	9,3	M	2.000	Polímero

FONTE: Sood *et al.* (21).

^a Experimento 1 – Sílica gel H (125g), coluna reusada pela 4ª vez

Experimento 2 – Sílica gel H (250g)

^b P = éter de petróleo (60-80); E = éter dietílico; M = metanol

^c As figuras entre parênteses mostram as faixas de subfrações do eluente coletado

Como mostrado na Tabela 2, as frações foram combinadas em seis grupos e em dois experimentos. A primeira fração representa o cardanol puro e a quinta o cardol puro, enquanto nas intermediárias evidencia-se a presença do 2-metilcardol contendo pequena quantidade de cardol e cardanol.

7. USOS DO LCC E DO CARDANOL: ATUAL E POTENCIAL

O LCC é um dos lípidios conhecidos com maior grau de insaturação. É sensível tanto à polimerização como à auto-oxidação, por conter um grupo fenólico hidroxilado e uma cadeia lateral insaturada. Esta dupla funcionalidade do LCC é responsável pela ampla utilização desta matéria-prima.

7.1. Utilização em Reações de Polimerização

O uso industrial do LCC e do cardanol é baseado no fato de que estes compostos reagem com aldeídos, fornecendo produtos similares às resinas convencionais de fenol-formaldeído e podendo também ser polimerizado via cadeia lateral insaturada. O LCC e o cardanol sofrem reações de polimerização por vários métodos: (a) por meios físicos – quando são efetuadas por calor, pressão, radiação ou descarga elétrica; (b) por meios químicos – quando são realizadas por adição de vários reagentes ou reagentes oxidantes e (c) pela combinação dos métodos citados anteriormente (18).

A utilização mais importante do LCC é em reações de polimerização, onde o produto principal é o abrasivo para lona de freio. Geralmente uma polimerização ácida preliminar da cadeia lateral é efetuada com sulfato dimetílico ou dietílico. A Figura 5 mostra o diagrama de reação da polimerização ácida, que provavelmente envolve a formação do íon carbônio alílico, originado na ligação dupla mais reativa do trieno (27). Após a obtenção do material semipolimerizado, ele é polimerizado com formaldeído fornecendo os abrasivos.

A reação do LCC com formaldeído é realizada a temperaturas determinadas que dependem do grau de polimerização desejado. Catalisadores ácido ou alcalino na proporção de 0,1 a 10% são adicionados, acelerando consideravelmente a reação. As resinas obtidas por catálise ácida dão origem à resina tipo novolac, quando os fenóis do LCC estão em excesso. As resinas obtidas por catálise alcalina dão origem à resina tipo resol quando o formaldeído está presente em excesso. Na Figura 6 são mostrados diagramas das resinas tipo novolac e resol.

Harvey e Caplan (11) e Harvey (9 e 10), em 1949, realizaram um trabalho extenso sobre a utilização do LCC na preparação de abrasivos e resinas abrasivas para lona de freio. Desde então, novas técnicas foram desenvolvidas na manufatura de elementos de fricção, mas o LCC ainda é usado com este objetivo como pode ser verificado na patente recente, proposta por Schwartz (19).

O LCC quando polimerizado com aldeídos, como por exemplo o formaldeído, é também usado com revestimento em aplicações de verniz e laca. Estes revestimentos podem ter função protetora, decorativa ou mesmo isolante (18). Quando a cor escura do LCC torna-se um problema, usa-se o cardanol para preparar os revestimentos, sem que haja perda da cor natural do material a ser revestido.

A indústria elétrica é o maior consumidor de vernizes isolantes preparados com LCC e cardanol. Harvey (7) descobriu que filmes de verniz seco, impregnações e elementos moldados feitos de LCC possuem um valor da constante dielétrica maior do que as dos isolantes fabricados com óleo de linhaça, óleo da china e outros materiais antigamente usados. Também verificou que estes produtos feitos de LCC são insolúveis em solventes de petróleo e óleos,

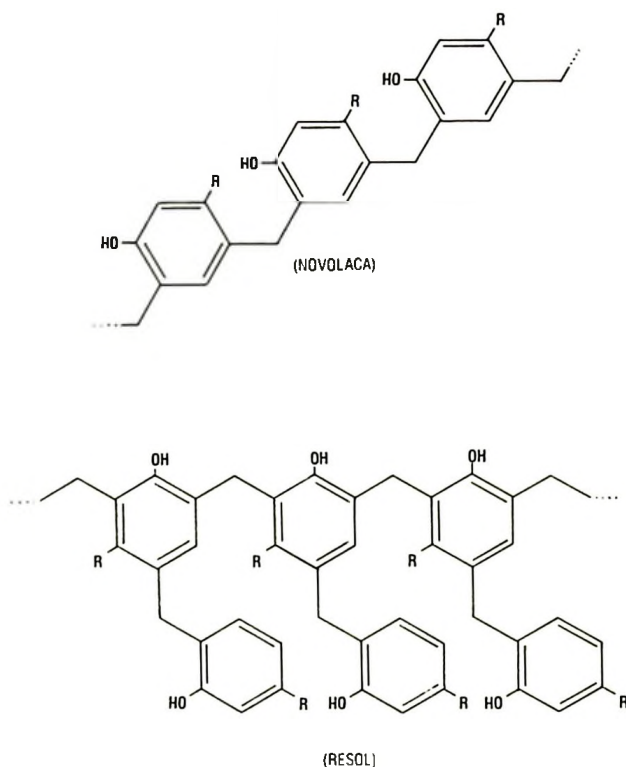


Figura 6 – Resinas tipos novolac e resol, onde $R = C_{15}$.

sendo impermeáveis à água e à umidade, podendo ser sucessiva e repetidamente aquecidos a temperaturas maiores que 260°C e resfriados, sem baixar o valor da constante dielétrica.

As resinas epoxi processadas do LCC e cardanol foram desenvolvidas na Índia e são preparadas com as resinas novolac e resol, solúveis em solventes comuns, como nafta e benzen. São basicamente usadas como revestimento (22). Resinas para laminações ou impregnações podem também ser preparadas com LCC, especialmente quando se requer um alto grau de flexibilidade no estágio final de cura, como em papéis, tecidos e fibras de vidro (18).

Outra utilização do LCC em polimerização é como adesivo para produtos de madeira, tais como compensados e aglomerados. Chittenden e Paddon (3) realizaram vários experimentos usando a resina LCC - formaldeído para colar aglomerados. O maior problema encontrado por estes autores foi a alta viscosidade inicial e o curto tempo de vida da resina. Usando solventes como etanol e 2-propanol conseguiram resolver o problema. A formulação básica da resina testada foi: 1kg de LCC dissolvido em 750g de etanol ou 2-propanol, uma solução de 40g de NaOH dissolvido em 200ml de água e 150g de paraformaldeído ou 375ml de formalina (40%

peso/volume). Foram feitos aglomerados de 19mm de espessura e 640kg/m^3 de densidade com uma resina de 10% de conteúdo sólido, sob pressão e à temperatura de 180°C por 15 minutos. As propriedades físico-mecânicas destes aglomerados excederam os valores exigidos pela norma British Standards 2604:1963.

O uso da resina obtida por Chittenden e Paddon (3) é factível tecnicamente, porém alguns aspectos devem ser melhorados para tornar-se viável economicamente. O solvente deve ser reduzido, ou mesmo substituído completamente por água. O tempo de pressão também deve ser diminuído. Por outro lado, a resina com alta viscosidade pode ser utilizada para colar outros produtos da madeira como, por exemplo, o compensado. De acordo com Ramaiah (18), as resinas LCC-aldeído, LCC-fenol-aldeído e LCC-xilol-aldeído têm sido desenvolvidas e prestam-se para atender a crescente demanda por qualidade e durabilidade da madeira e dos produtos à base de madeira.

Resinas de troca catiônica foram produzidas por meio de sulfonação de resinas LCC-formaldeído preparadas na presença de ácido hidrocloreídrico (1). Também desenvolveram-se resinas de troca aniônica a partir do LCC, que são produzidas industrialmente (18).

7.2. Outros Usos Químicos

Além dos produtos químicos descritos anteriormente, o LCC e o cardanol são usados vantajosamente na fabricação de vários outros.

Harvey (8) desenvolveu uma composição para inseticida baseada na rotenona ou piretrina dissolvida em solução de LCC. Já os éteres sulfonados de cardanol hidrogenado foram usados para melhorar as características anticorrosiva e antioxidante de óleos hidrocarbonados minerais, tais como óleos: lubrificantes, diesel, de aviação e de turbina (33).

O cardanol, o tetrahidrocardanol e seus éteres, depois de sulfonados sob diferentes condições e neutralizados com várias bases, fornecem agentes ativadores de superfície que ampliam ainda mais a diversidade das aplicações: agentes umectantes e sabões dispersantes de soda, detergentes, surfactantes e emulsificantes (20).

Já os componentes saturados de LCC, tetrahidrocardanol, tetrahidrocardol e ácido tetrahidroanacárdico substituíram o fenol, o resorcinol e o ácido salicílico nas preparações de drogas. A longa cadeia alquílica ($\text{C}_{15}\text{H}_{31}$) destas drogas análogas fornecem características de maior solubilidade em gordura e menor toxidez do que as originais (5).

A fabricação de tintas é outro campo no qual os componentes fenólicos do LCC têm sido bastante usados. O método geral para a preparação de tintas consiste na ligação de aminas aromáticas diazotizadas com tetrahidrocardanol, tetrahidrocardol ou ácido tetrahidroanacárdico, seguido por separação dos pigmentos monoazo e diazo em coluna de alumina (6).

O uso mais recente do LCC é como preservativo de madeira, protegendo-a contra térmitas sem danificar o meio ambiente. Lepage e Lelis (13) impregnaram pinho-do-paraná (*Araucaria angustifolia*) com uma solução etanólica de LCC. Amostras tratadas, lixiviadas ou não, foram submetidas ao ataque de *Cryptotermes*, o gênero mais comum de térmitas de madeira seca em São Paulo (Brasil), por 40 dias. A maior taxa de térmitas sobreviventes foi encontrada em amostras lixiviadas, pois os vapores das amostras não lixiviadas eliminaram as térmitas em um período de 20 a 30 dias. Praticamente não houve ataque nas espécies testadas após os 45 dias.

O cardanol tem sido usado na síntese de tris-(4-isocianato-3-pentadecilfenil) cianureto. Este poli-isocianato é usado para impermeabilizar têxteis e papéis (15).

Outra utilização potencial do LCC é como inibidor para dehidrocloração do cloreto de polivinil (PVC). De acordo com Varma *et al.* (32), a eficiência do LCC como estabilizador antioxidante para PVC é provavelmente devido à reação do HCl envolvido com duplas ligações do grupo alquil, presente na cadeia lateral do cardanol.

Os usos presentes e potenciais do LCC descritos acima são somente alguns exemplos dos produtos que derivam desta rica matéria-prima. Não foi intenção deste trabalho revisar exaustivamente todos estes usos. A Figura 7 resume as aplicações do líquido da casca da castanha.

8. CONCLUSÕES E SUGESTÕES

Nesta caracterização e revisão dos principais usos recentes do líquido da casca da castanha de caju, verifica-se o efeito produtivo da pesquisa na utilização da matéria-prima LCC e do seu principal componente, o cardanol.

O principal uso industrial do LCC e do cardanol tem sido em polimerização com aldeídos, sobretudo o formaldeído, onde é geralmente usado na manufatura de abrasivos para lona de freio, lacas, vernizes, vernizes para isolamento elétrico, adesivos, resinas epoxi e resinas de troca aniônica e catiônica. Pesquisas realizadas em vários laboratórios têm mostrado, definitivamente, que os derivados do LCC também podem ser usados com vantagem na preparação de antioxidantes, bactericidas, fungicidas, desinfetantes, inseticidas, pesticidas, herbicidas, drogas, tintas, preservativos de madeira e inibidores da degradação de PVC.

A extensa lista de produtos que podem ser derivados do LCC é baseada na composição química desta matéria-prima valiosa e nas possíveis reações de que é capaz de realizar. Basicamente, a dupla funcionalidade dos componentes do LCC responde pela importância deste produto. A disponibilidade e o relativo baixo preço do LCC também são características marcantes para esta próspera utilização.

Nos últimos anos, verificou-se um desenvolvimento tecnológico significativo do LCC. No entanto, há necessidade de mais pesquisas, pois outros produtos ainda podem ser obtidos do cardanol. O cardol, por exemplo, possui um potencial de utilização química que está longe de ser bem usado devido à dificuldade em separá-lo dos outros resíduos pelo processo de destilação. A cromatografia de coluna é, até agora, o único processo conhecido capaz de separar este composto.

O anel aromático do cardol é mais reativo do que o cardanol, uma vez que o cardol é análogo ao resorcinol.

O resorcinol é um material intermediário muito interessante para a produção de resinas termofixas, porém seu alto preço limita o uso para aplicações especiais. Tem grande importância na indústria de adesivos, onde é usado como resina para cura a frio, pois a reação com formaldeído é consideravelmente maior quando comparada com a de fenol-formaldeído. O resorcinol pode também ser usado como material intermediário para pigmentos, fármacos, cosméticos, agentes tanantes, agentes de tratamento têxtil e antioxidantes (12). O cardol é um composto natural que, se obtido puro, pode ser um substituto potencial do resorcinol.

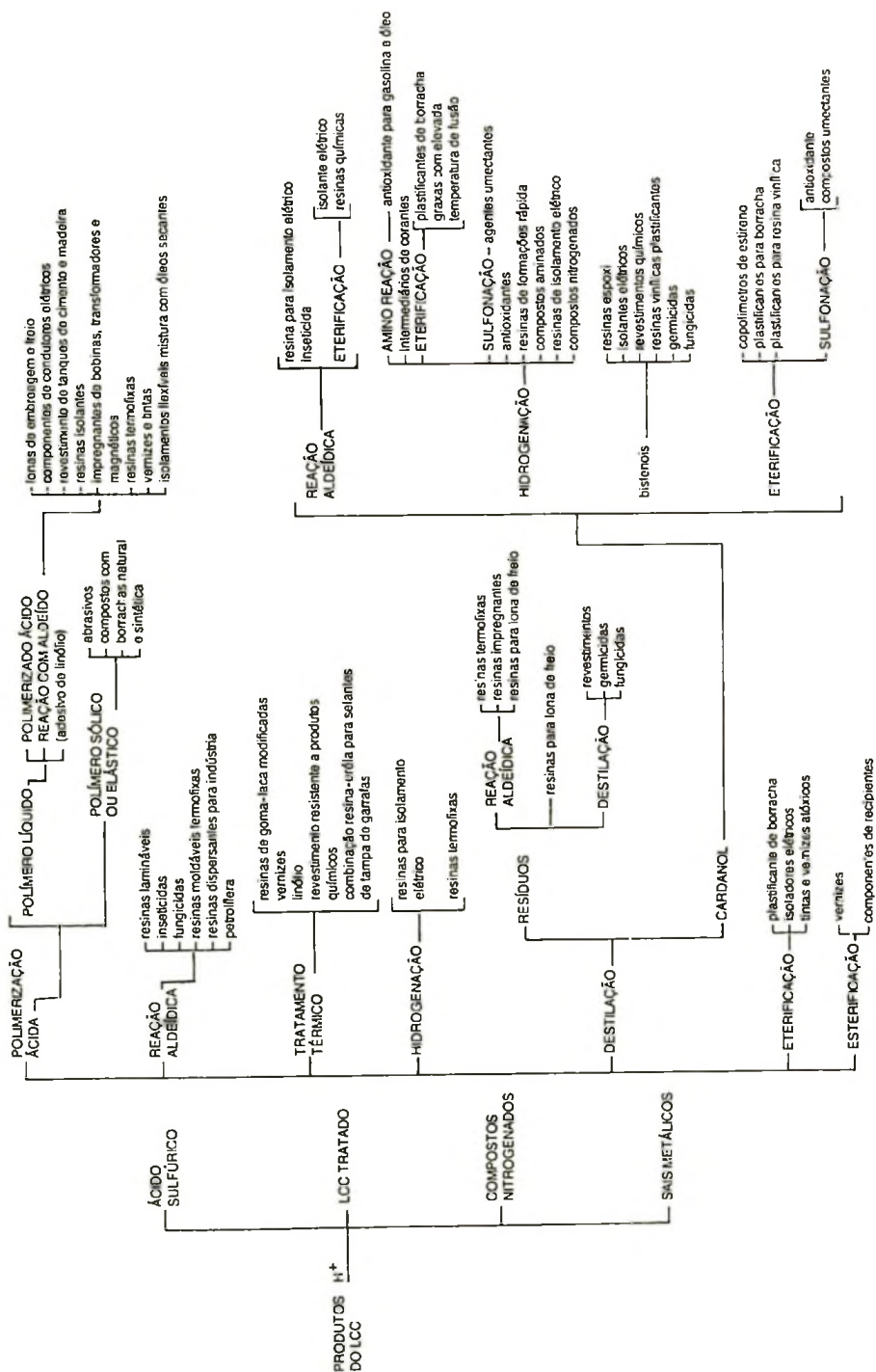


Figura 7 - Produtos do líquido da casca da castanha (Ramalim, 1976).

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 – Bhavnagary, H.M. e N. Krisnaswamy. **Indian Journal of Technology**. 5: 170. 1967.
- 2 – Brito, A. Fenóis de caju conquistam mercado. **Química e Derivados**. 12: 55. 1967.
- 3 – Chittenden, A.E. e A.R. Paddon. Cashew nut shell liquid as an adhesive in particleboard manufacture. **Tropical Science**. 15 (4): 329. 1973.
- 4 – Durrant, A.E., G.L. Davis e S.K. Sood. Long-chain phenols: Part 23: practical separation of the component phenols in technical cashew nut shell liquid (*Anacardium occidentale*): Distillation procedures for obtaining cardanol. **Journal of Chem. Tech. Biotechnol.** 32:681. 1982.
- 5 – Gulati, A.S. e B.C. Subba Rao. Drug analogues from the phenolic constituents of cashew nut shell liquid. **Indian Journal Chem.** 2 (8):337. 1964.
- 6 – Gulati, A.S. e B.C. Subba Rao. New dyes from phenolic components of cashew nut shell liquid. **Indian Journal Chem.** 4 (6): 265. 1966.
- 7 – Harvey. M.T. Insulate electrical conductor. U.S. Patent. 1.939,301. 1933.
- 8 – Harvey, M.T. Insecticidal composition. U.S. Patent. 2,346,256. 1944.
- 9 – Harvey, M.T. Allyl ether of Anacardic materials, bodied products thereof and novel compositions and friction elements produced therewith. U.S. Patent. 2,460,255. 1949.
- 10 – Harvey, M.T. Reaction products of an aldehyde with allyl ether of anacardic material. U.S. Patent. 2,460,256. 1949.
- 11 – Harvey, M.T. e S. Caplan. Resins from cashew nut shell liquid. U.S. Patent 2,523,623. 1950.
- 12 – Knop, A. e L.A. Pilato. **Phenolic resins: chemistry, applications and performance – future directions**. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, N. York. Tokio. 1985.
- 13 – Lepage, E.S. e A.T. de Leis. Protecting wood against dry-wood termites with cashew nut shell oil. **Forest Products Journal**, 30 (6): 35. 1980.
- 14 – Lopes Neto. **A agroindústria do caju no nordeste do Brasil e em outros países grande produtores**. Banco Nordeste do Brasil S.A. – Conselho Nacional do Desenvolvimento Científico e Tecnológico. 1981.
- 15 – Mahajan, S.S. Synthesis of polysocyanate from cashew nut shell liquid. **Indian Journal of Technology**. 22 (11): 439. 1984.
- 16 – Manzara, A., M. Patel e J.H.P. Tyman. U.S. Patent. 4,352,444. 1981.
- 17 – Monteiro, O.A.C., M.T.G. Freire e S.R.T. Barreira. Líquido da casca da castanha de caju: novas oportunidades industriais. **Revista de Química Industrial**. 232. 1985.
- 18 – Ramaiah, M.S. Progress of research in cashew industry. **Fette Seifen Anstrichmittel**. 78 (12): 472. 1976.

- 19 – Schwartz, H.D. Friction element comprise of heat resistant heterogeneous thermosetting friction material. U.S. Patent, 4,563,386. 1986.
- 20 – Sethi, S.C., B.C. Subba Rao, S.B. Kulkarni e S.S. Katti. Studies in the cashewnut shell liquid: Part II – Anionic surface active agents from cardanol, tetrahydrocardanol and their derivatives. **Indian Journal of Technology**. 1 (9): 348. 1963.
- 21 – Sood, S.K., J.H.P. Tyman, A. Durrani e R.A. Johnson. Pratical liquid chromatographic separation of the phenols in technical cashew nut shell liquid from **Anacardium occidentale**. **Lipids**. 21 (3): 241. 1986.
- 22 – Sundararamaiah, M., M.A. Sivasamban e B.G.K. Murthy. **Seminar on Coating of Today and Tomorrow**, realizado em 03/01/1971. Bombain, 1971.
- 23 – Symes, W.F. e C.R. Dowson. **Journal of the American Chemical Society**. 75: 4952. 1953.
- 24 – Tyman, J.H.P. **Journal of Chromatography**. 111: 227. 1975.
- 25 – Tyman, J.H.P. **Analytical Chemical**. 48: 30. 1976.
- 26 – Tyman, J.H.P. Long-chain phenols: Part VIII: quantitative analysis of the unsaturated constituents of phenolic lipids by thin-layer chromatography-mass spectrometry. **Journal of Cromatography**. 136: 289. 1977.
- 27 – Tyman, J.H.P. Non-isoprenoid long chain phenols. **Chemical Society Review**. 8: 499. 1979.
- 28 – Tyman, J.H. e L.S. Kiong. Long chain phenols. Part XI: composition of natural cashew nut shell liquid (**Anacardium occidentale**) from various sources. **Lipids**. 13(8): 525. 1978.
- 29 – Tyman, J.H.P., M.S. Patel e A.P. Manzara. Treatment of cashewnut shell liquid. U.S. Patent. 4,352,944. 1982.
- 30 – Tyman, J.H.P., V. Tychopoulos e P. Chan. Long chain phenols. Part XXV: quantitative analysis of natural cashew nut shell liquid (**Anacardium occidentale**) by high-performance liquid chromatography. **Journal of Chromatography**. 303: 137. 1984.
- 31 – Tyman, J.H.P., D. Wilczynski e M.A. Kashani. Compositional studies on technical cashew nut shell liquid (CNLS) by chromatography and mass spectroscopy. **Journal of the American Oil Chemist Society**. 55: 663. 1978.
- 32 – Varma, I.K., S.K. Dhara, M. Varma e T.S. Biddapa. Cashew nut shell liquid: characterization and studies of PVC degradation in solution. **Die Angewandte Makromolekulare Chemie**. 154: 67, 1987.
- 33 – Wasserman, D.. Salts of sulfonated ethers of hydrogenated cardanol as inhibitors for mineral hydrocarbon oils. U.S. Patent 2,586,191. 1952.

AGLOMERADO DE MISTURA DE ESPÉCIES TROPICAIS DA AMAZONIA**Roberto Massato Nakamura****Manoel Sobral Filho***** Eng^o Florestal – Foz do Iguaçu (PR)

** Químico, M. Sc., Ph. D. – O.I.M.T., Yokohama 220, Japão

RESUMO

Uma combinação de madeira de 36 espécies tropicais da Floresta Nacional do Tapajós foi usada para a fabricação de chapas de aglomerado de densidade 0,75g/cm³. Em geral, as chapas apresentaram resistência mecânica e estabilidade dimensional (inchamento) acima dos valores normalmente exigidos para aglomerados destinados a uso estrutural. Os resultados indicam que a matéria-prima formada pela mistura de um número elevado de espécies da Amazônia é adequada para a fabricação de chapas de aglomerado.

PALAVRAS-CHAVE: aglomerado, espécies tropicais, fabricação.

ABSTRACT

A mixture of the wood of Amazonian Tropical Species was used to manufacture 0.75g/cm³ density flakeboards. In general, the boards produced met the strength and thickness stability requirements for an structural type panel, indicating that the mixed Amazonian tropical species can be an adequate raw material for particleboard production.

KEY-WORD: flakeboard, tropical species, manufacture.

* O trabalho original foi publicado em DE – Série Técnica nº 4, ex – IBDF, 1981. Esta. 2ª edição foi revisada e ampliada.

1. INTRODUÇÃO

A maioria dos processos tecnológicos adotados pelas indústrias de produtos florestais tem rígidas exigências em relação ao tipo de espécie, tamanho e qualidade da matéria-prima madeireira, uma vez que estes processos foram quase que totalmente desenvolvidos em países com grandes reservas de florestas homogêneas.

A utilização dos recursos florestais da Amazônia restringe-se, praticamente, à produção de madeira serrada, laminados e compensados. Este sistema de aproveitamento da floresta implica uma exploração seletiva, com o corte e a extração somente das espécies consideradas valiosas do ponto de vista da produção e comercialização destes produtos.

O uso dos resíduos gerados na produção de madeiras serradas, laminados e compensados, juntamente com misturas de espécies preteridas no atual sistema de exploração florestal, poderia viabilizar-se pela produção de aglomerados.

Tecnicamente é possível fabricar aglomerados de qualidade comercial a partir de qualquer espécie ou mistura de espécies madeireiras. O Laboratório de Produtos Florestais (LPF) desenvolve um projeto de pesquisa para ampliar o uso dos recursos florestais da Amazônia por meio da fabricação de chapas de aglomerado.

Este informe técnico focaliza as propriedades de um tipo de aglomerado manufaturado no LPF, usando uma combinação de 36 espécies da Amazônia.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Os estudos iniciais do LPF na área de aglomerado concentraram-se na utilização de 36 espécies da Floresta Nacional do Tapajós.

O aglomerado foi fabricado usando-se uma combinação das espécies, de forma que a quantidade de cada uma na mistura fosse proporcional ao seu volume na área inventariada.

Para o cálculo de porcentagem de cada espécie a ser colocada na mistura, usaram-se dados preliminares obtidos em um inventário florestal da região de Santarém, à época conduzido pelo IBDF, hoje IBAMA. Estes dados preliminares indicaram a ocorrência de mais de 300 espécies na área, mas por uma questão prática de disponibilidade no LPF, somente 36 espécies foram incluídas na combinação de partículas. A Tabela 1 lista as espécies e as respectivas densidades e porcentagens usadas na mistura.

O sistema de combinação empregado resultou em uma mistura de partículas com uma densidade média de $0,55\text{g/cm}^3$, o que permitiu a manufatura de chapas de densidade média, utilizando-se uma razão de compactação (densidade de chapa/densidade média da mistura de espécies) de 1,36.

A madeira das espécies empregadas na mistura foi picotada com um conteúdo de umidade de cerca de 40%. Um picotador de disco, marca BEZNER, produziu as partículas. As facas foram reguladas de forma a gerar partículas tipo "flake", com uma espessura de 0,2mm e um comprimento de 2cm.

Após a operação de picotagem, e antes da mistura das espécies, as partículas foram submetidas à secagem em estufa, até um conteúdo de umidade de aproximadamente 3%.

O pó e o material mais fino (não retido em uma peneira com aberturas de 1,5mm de diâmetro) foram retirados antes de se proceder à mistura de espécies.

Usou-se como adesivo uma resina comercial à base de uréia-formaldeído com 60% de sólidos resinosos. Além do adesivo, adicionou-se também uma solução de parafina com concentração de 50%.

As seguintes condições mantiveram-se constantes na manufatura das chapas: Tipo de chapa – camada única homogênea.

Tamanho da chapa – 57 x 52 x 1,5cm

Densidade da chapa – 0,75g/cm³

Razão de compressão – 1,2/1

Porcentagem de resina – 10% de sólidos resinosos, baseado no peso seco da mistura das espécies.

Porcentagem de parafina – 1% de sólidos, baseado no peso seco da mistura das espécies.

Conteúdo de umidade do colchão – $10 \pm 1\%$

Temperatura da prensa – 150°C

Tempo para fechar a prensa – 1 minuto

Tempo total de prensagem – 8 minutos

Anteriormente à definição dos parâmetros acima, executou-se uma série de experimentos preliminares, variando-se a porcentagem de cola, a temperatura da prensa e o tempo total de prensagem, visando determinar condições ótimas para assegurar uma adequada quantidade de adesivo e sua completa polimerização. Os resultados destes experimentos preliminares indicaram que as condições descritas acima eram as mais indicadas para assegurar uma boa colagem.

A cola e a parafina foram aplicadas em forma de "spray", usando-se uma misturadora de cola mecânica, tipo DRAIS FSP 80. A abertura dos bicos de "spray" foi regulada para 2mm de diâmetro. Manteve-se a pressão em 2kg/cm². Em cada batelada preparou-se material suficiente para uma chapa.

Os colchões foram formados manualmente, deixando-se que as partículas caíssem em queda livre sob uma placa de alumínio, e prensados até uma espessura de 1,5cm, usando-se barras de ferro para controlar a espessura final. As pressões necessárias para fechar a prensa até a espessura especificada variaram de 30 a 40kg/cm². Após a prensagem dos colchões condicionaram-se as chapas resultantes a uma umidade relativa do ar de 65% e a uma temperatura de 20°C.

Fabricaram-se 16 chapas de acordo com o esquema descrito anteriormente. Estas chapas foram avaliadas por meio da determinação de propriedades mecânicas (tração perpendicular ao plano da chapa e flexão estática) e uma propriedade de estabilidade dimensional (inchaço).

A preparação das amostras para estes testes e a execução dos testes seguiram as normas DIN 68761 (5) para chapas de aglomerado.

Tabela 1 – Espécies usadas na mistura de partículas para fabricação de aglomerado

Nome Científico	Nome Comum	Densidade Básica* (g/cm ³)	P.E.M.P. (%)**
<i>Brosimum parinarioides</i>	Amapá-doce	0,57	5,3
<i>Brosimum potabile</i>	Amapá-doce	0,53	5,3
<i>Carapa guianensis</i>	Andiroba	0,59	2,9
<i>Protium heptaphyllum</i>	Breu	0,55	1,0
<i>Trattinickia burserifolia</i>	Breu sucuruba	0,44	1,2
<i>Bertholletia excelsa</i>	Castanheira	0,63	7,7
<i>Copaifera reticulata</i>	Copaíba	0,62	1,3
<i>Copaifera duckei</i>	Copaíba	0,62	0,6
<i>Enterolobium maximum</i>	Faveira tamboril	0,42	1,2
<i>Piptadenia communis</i>	Faveira folha fina	0,68	6,0
<i>Mezilaurus itauba</i>	Itaúba-amarela	0,70	4,5
<i>Nectandra rubra</i>	Louro-vermelho	0,55	1,0
<i>Laetia Procera</i>	Pau jacaré	0,68	0,6
<i>Cordia goeldiana</i>	Freijó	0,48	1,0
<i>Cordia bicolor</i>	Freijó	0,49	0,8
<i>Erisma uncinatum</i>	Quarubarana	0,48	1,0
<i>Tachigalia myrmecophylla</i>	Tachi preto folha fina	0,56	1,3
<i>Sclerolobium aff. crysophyllum</i>	Tachi vermelho	0,62	2,8
<i>Alexa grandiflora</i>	Melancieira	0,60	3,7
<i>Couratari sp</i>	Tauari/Tauari vermelho	0,62	10,0
<i>Iryanthera sp</i>	Ucuubarana	0,63	1,1
<i>Anacardium spruceanum</i>	Caju-açu	0,42	0,6
<i>Protium sp</i>	Breu sucuruba	0,63	1,0
<i>Parkia multijuga</i>	Fava bolota	0,38	1,3
<i>Virola michellii</i>	Ucuuba de terra firme	0,50	0,5
<i>Anacardium microsepalum</i>	Caju-açu	0,47	0,6
<i>Couratari oblongifolia</i>	Tauari	0,49	10,0
<i>Couratari stellata</i>	Tauari	0,65	10,0
<i>Parkia gigantocarpa</i>	Fava bolota	0,57	2,2
<i>Joannesia heveoides</i>	Castanha de ara- ra/munguba grande	0,39	0,5
<i>Brosimum sp</i>	Mururé	0,53	5,0
<i>Couratari guianensis</i>	Tauari	0,52	2,0
<i>Iryanthera grandis</i>	Ucuubarana	0,63	1,1
<i>Eschweilera grata</i>	Mata-mata	0,64	3,3
<i>Anacardium parvifolium</i>	Caju-açu	0,45	0,8
<i>Anacardium giganteum</i>	Caju-açu	0,44	0,8
TOTAL			100,00

* Peso Específico Básico.

** Porcentagem da Espécie na Mistura de Partículas.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Encontram-se na Tabela 2 os resultados dos testes e os valores para um tipo de aglomerado comercial produzido nos Estados Unidos.

Graças à qualidade das partículas geradas no picotador de disco, que se caracterizaram por uma alta razão comprimento/espessura, as chapas fabricadas no LPF apresentaram excelente módulo de ruptura. O módulo de ruptura das chapas produzidas no LPF excedeu em mais de duas vezes o módulo de ruptura da chapa comercial usada como comparação na Tabela 1. As partículas utilizadas nas faces de ambos os tipos de chapas comparadas na Tabela 2 foram produzidas com picotadores de disco, e as diferenças no módulo de ruptura podem ser atribuídas, principalmente, à diferença de densidade das chapas ($0,76\text{g/cm}^3$ para o aglomerado fabricado no LPF e $0,65\text{g/cm}^3$ para o aglomerado comercial), e em menor escala à utilização de espécies diferentes, pois a chapa comercial foi produzida com partículas de *Pinus elliottii* nas faces.

O aglomerado produzido no LPF seria indicado para aplicações estruturais, onde é necessária uma resistência relativamente alta à flexão estática. Entretanto, deve-se ressaltar que devido ao tipo de adesivo usado (uréia-formaldeído), este aglomerado só poderá ser utilizado em interiores, pois a ação da umidade excessiva, normalmente existente em aplicações exteriores, levaria a uma rápida degradação da colagem.

A resistência das chapas experimentais à tração perpendicular ao plano da chapa, ou ligação interna, revelou-se relativamente baixa. Este resultado já era esperado, uma vez que o uso de partículas tipo "flake" normalmente não favorece o desenvolvimento de uma alta resistência à tração. Esta propriedade depende substancialmente do grau de contato interpartículas e do grau de ligação partícula-partícula, os quais são maximizados quando se usam partículas menores, e mesmo alguma quantidade de material mais finamente dividido, como o pó de serra, contribuindo para diminuir o tamanho e o número de poros, e, conseqüentemente, reduzindo o volume vazio (4,9).

A chapa comercial usada como comparação na Tabela 2 foi fabricada em 3 camadas, tendo na camada central partículas menores geradas em um picotador de anel, o qual produz uma parcela bem maior de material fino e diminuto do que o picotador de disco. Esta é, então, a principal razão para este tipo de aglomerado possuir tração mais elevada que o aglomerado desenvolvido no LPF, apesar da maior densidade deste último.

Tabela 2 – Propriedades do Aglomerado de Mistura de Espécies Amazônicas e Aglomerado Comercial.

Chapa	Número de Amostras Testadas	Densidade (g/cm^3)	Flexão Estática (MOR) (kg/cm^2)	Tração Perpendicular (Ligação Interna) (kg/cm^2)	Inchamento 2h (%)	Inchamento 24h (%)
36 Espécies Amazônicas	64	0,76	470	5,0	2,7	7,9
Comercial ¹	—	0,65	196	7,1	3,5	—

FONTE: McNatt (8).

□ Dados de um aglomerado tipo "flakeboard", colocado no mercado dos Estados Unidos.

Além do aspecto da diferença em geometria das partículas e densidade, deve-se observar que a resistência à tração é fortemente determinada também pela quantidade de resina (2), pela atomização da resina (6,7) e pela distribuição de resina (3,7).

A estabilidade dimensional é uma das mais importantes propriedades do aglomerado, dada a necessidade de se manter no mínimo possível as variações dimensionais deste material em praticamente todas as suas aplicações. A avaliação da estabilidade dimensional do aglomerado é normalmente efetuada pela determinação da expansão linear (medida no plano da chapa) e do inchamento (medido na espessura da chapa).

Não se determinou a expansão linear das chapas produzidas no LPF, devido à falta de uma câmara com estrito controle de temperatura e umidade relativa do ar. Entretanto, a expansão linear do aglomerado em geral não ultrapassa 1%, e é bem menos crítica que o inchamento, que pode chegar a 20 – 30%.

O aglomerado fabricado no LPF revelou excelentes características relativamente ao inchamento. O inchamento após 2 horas (2,7%) como o após 24 horas (7,9%) de imersão em água estão abaixo dos valores máximos permitidos nas especificações das Normas DIN 68761 (5).

Estes resultados são extremamente favoráveis quando comparados com o inchamento de algumas chapas fabricadas comercialmente no Brasil, e testadas no LPF. Estas chapas apresentaram inchamento (imersão por 24h) na faixa de 15 – 20%. Este alto inchamento é provavelmente o aspecto mais negativo com relação à utilização do aglomerado, seja na fabricação de móveis, seja nos usos estruturais.

O inchamento depende principalmente de dois fatores: 1º, a natureza e a quantidade da cola, e 2º, a espessura das partículas. O excelente resultado conseguido para o aglomerado fabricado no LPF deve-se em parte à relativamente alta porcentagem de cola adicionada (10%) e à pequena espessura (0,2mm) das partículas.

Sabe-se, entretanto, que em um período de imersão de 24h, chapas densas, como as fabricadas no LPF, não foram suficientemente expostas à umidade, pois o número e o tamanho dos poros são reduzidos e assim este teste tende a resultar em valores relativamente baixos para o inchamento. Neste caso, períodos mais longos de exposição à umidade produziriam inchamentos superiores aos observados no teste de 24h.

4. CONCLUSÃO

O aglomerado fabricado no LPF, a partir de uma combinação de 36 espécies da floresta amazônica, possui excelente resistência à flexão estática e ao inchamento determinado por imersão em água durante 2h e 24h. Os valores para a resistência à tração perpendicular ao plano da chapa foram apenas razoáveis, mas ainda assim satisfizeram plenamente as especificações contidas em normas para este produto.

No cômputo geral, pode-se concluir que do ponto de vista tecnológico é perfeitamente viável fabricar-se aglomerado usando-se misturas de espécies da Amazônia como fonte de matéria-prima madeireira. Por meio da modificação de parâmetros do processo de manufatura, tais como quantidade de resina, densidade da chapa e geometria das partículas, pode-se facilmente produzir diferentes tipos de chapas com as características adequadas às exigências de faixas específicas do mercado consumidor de aglomerado.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a participação dos pesquisadores Deusdeth Dutra e Leônidas Gallo Tobar Villacis pelos experimentos preliminares e início deste projeto.

Também estendem seus agradecimentos à valiosa colaboração do Coordenador do LPF, Cleuber Delano José Lisboa, na revisão deste trabalho.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 – Boehner, A.W. e R.O. Gerjeansen. 1975. Effect of three species of logging slash on the properties of aspen planer shavings particleboard. *Forest Products Journal* 25 (12): 36-42.
- 2 – Burrows, C.H. 1961. Some factors affecting resin efficiency in flakeboard. *Forest Products Journal* 11 (1): 27-33.
- 3 – Carrol, M.N. e D. Mcvey. 1962. An analysis of resin efficiency in particleboard. *Forest Products Journal* 12 (7): 305-310.
- 4 – Gatchel, C.J.; B. Heebink e F.V. Hefty. 1966. Influence of component variables on properties of particleboard for exterior use. *Forest Products Journal* 16 (4): 46-59.
- 5 – German Standards Committee (Deutschen Normenausschuss). 1971. Specifications for particleboard. DIN 68761 (1) – 1961 (3). 1967. *Taschewbuch* 31, Holz.
- 6 – Kehr, E.; K.H. Macnt e G. Riehl. 1964. Contributions to the gluing and bonding process with chips in particleboard manufacture: I. About the influence of the throughput of binders when whirling nozzles are used. *Holztechnologie* 5 (1): 17-26.
- 7 – Lehmann, W.F. 1965. Improved particleboard through better resin efficiency. *Forest Products Journal* 15 (4): 155-161.
- 8 – McNatt, J. Dobbin. 1973. Basic engineering properties of particleboard. Research Paper FPL 206. U.S. Department of Agriculture, Forest Products Laboratory, Madison, Wisconsin.
- 9 – Sobral Filho, Manoel. 1979. The influence of wood furnish type on properties of oriented strand panels. PhD Dissertation. University of Idaho, Moscow, Idaho.

GASEIFICAÇÃO DE MADEIRA E DE RESÍDUOS LIGNO-CELULÓSICOS PARA SUBSTITUIÇÃO DE ÓLEO COMBUSTÍVEL

*Waldir Ferreira Quirino**
*Paulo José Prudente de Fontes***

*Engº Floresta, M.Sc.

**Engº Florestal

Laboratório de Produtos Florestais

RESUMO

Após o levantamento preliminar da oferta de madeira não-aproveitada, decorrente de desmatamento na Região Centro-Oeste e Rondônia e dos resíduos agrícolas das cinco principais culturas destas regiões, estudaram-se em laboratório as características destes materiais e métodos convenientes de tratamentos para utilização na gaseificação. Foram avaliados e determinados parâmetros como densidade, umidade, homogeneidade e processo de compactação de resíduos, estando ainda em processo a realização de testes de destilação seca, gaseificação e análise dos gases.

PALAVRAS CHAVE: lenha, compactação, energia, biomassa.

ABSTRACT

A preliminary survey of the non-utilized supply from the Midwest Region and Rondonia's deforestation was conducted. It was also conducted an inventory of the residues deriving from the five main cultivations from these regions. The characteristics and convenient treatment methods of the material from these regions to be used in gasification was studied in laboratory through a density, humidity, homogeneity and residues compacting processes evaluation. Also the dry distillation, the gasification and gases analyses are being conducted.

KEY-WORDS: biomass, energy, logs.

1. INTRODUÇÃO

O consumo e a utilização de fontes de energia renovável, como a biomassa, sempre constituiu uma parcela expressiva do balanço energético nacional, sendo praticamente responsável pelo abastecimento energético da população rural. Apesar de a biomassa acusar um sensível decréscimo nas últimas décadas, passando de uma participação nas fontes energéticas de aproximadamente 60%, em 1950, para 30%, em 1980, continua sendo para o Brasil, como acontece nos países pouco desenvolvidos ou em desenvolvimento, ainda muito importante, atualmente suplantada apenas pela hidreletricidade e pelo petróleo.

Portanto, a utilização da biomassa como fonte de energia sempre teve importância fundamental para o país, cabendo hoje à pesquisa o aperfeiçoamento e a ampliação dos processos de utilização desse grande potencial, objetivando o seu melhor aproveitamento.

A gaseificação é um processo bastante antigo, utilizado na transformação de combustíveis sólidos em gasosos, que apresentam melhor eficiência de combustão, facilidade de transporte, podendo ainda ser usados como matéria-prima em outros processos (gás de síntese), além de permitir o uso da mais ampla gama de combustíveis sólidos, como é o caso da biomassa.

A madeira, por apresentar um alto teor de voláteis, baixo teor de cinzas e ser praticamente isenta de enxofre é a matéria-prima ideal para gaseificação, sendo que, por esse processo, pode-se conseguir uma eficiência térmica de conversão de 80%. Os resíduos vegetais, como os restos de culturas agrícolas, se compactados, comportam-se física e quimicamente como a madeira na gaseificação.

A utilização da madeira, restos de culturas agrícolas e outros materiais ligno-celulósicos, para produção de gás combustível por meio da gaseificação, numa determinada região, deve ser precedida da avaliação de determinados fatores, como:

- a) grau de abundância e caracterização da biomassa disponível;
- b) distribuição e continuidade de oferta; e
- c) adequação técnica da biomassa, como homogenização, granulometria, teor de umidade e compactação para a gaseificação.

A etapa preliminar deste trabalho consistiu em estabelecer uma região e avaliar seu potencial de biomassa com possibilidades de ser gaseificado.

A escolha da Região Centro-Oeste, incluindo Rondônia, se deve tanto a atender o interesse de alguns órgãos governamentais, como a Superintendência de Desenvolvimento do Centro-Oeste, como, também, pelo expressivo crescimento da fronteira agrícola, gerando grande quantidade de madeira de desmatamentos e os próprios resíduos das culturas agrícolas. Outro fator importante para esta escolha se deve ao fato de grande parte da energia consumida na zona rural desta região, e mesmo nas cidades, ao norte, ser derivada de combustível importado, podendo ser substituído por gás oriundo da biomassa.

2. POTENCIAL DE BIOMASSA DA REGIÃO

O levantamento dos projetos de colonização oficiais e particulares cadastrados pelo Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária e também os projetos agropecuários aprovados pela Superintendência de Desenvolvimento da Amazônia, até 1982, mostram que haverá uma oferta de madeira decorrente dos desmatamentos pela implantação destes projetos, apenas na Região Centro-Oeste, e Rondônia, de 296,6 milhões de metros cúbicos. Levando-se em conta os períodos de implantação e o desenvolvimento total destes projetos, serão gerados

aproximadamente 20 milhões de m³/ano de madeira bruta com casca durante 15 anos. Isso sem considerar o surgimento de novos projetos ou frentes de desmatamento, além daqueles projetos não-cadastrados (não-incentivados), pela inerente dificuldade de coletar estes dados.

Admitindo que a indústria madeireira da região consuma 10% desta oferta, e o consumo doméstico absorva mais 15% (baseado em estimativas de consumo "per capita" da FAO), teremos ainda um excedente inaproveitado de 75% deste potencial, ou seja, aproximadamente 15 milhões de m³ de madeira/ano.

O potencial de resíduos agrícolas gerados na região em 1980 (segundo dados de produção do PAM – Produção Agrícola Municipal) pelas cinco principais culturas (arroz, milho, soja, cana-de-açúcar e mandioca) somou 9,46 milhões de toneladas.

Estimado o potencial de resíduos ligno-celulósicos da região em estudo e suas áreas de concentração, procedeu-se à escolha e coleta do material para testes em laboratório, visando sua adequação técnica para a gaseificação.

3. ADEQUAÇÃO DA BIOMASSA À GASEIFICAÇÃO

Considerando os processos de gaseificação em leito fixo co-corrente e contracorrente como os mais indicados para os usos previstos na região em foco, principalmente grupos geradores no meio rural, apontam-se as seguintes justificativas:

- são processos que permitem projetos de gaseificadores sem grandes sofisticções e, conseqüentemente, de custo mais baixo;
- são de fácil operação e barata manutenção;
- admitem boa flexibilidade na utilização de materiais como a biomassa.

A madeira para ser gaseificada deve ser picada em cavacos, sendo que a granulometria tem de atender à engenharia do equipamento de gaseificação, de maneira que permita um adequado fluxo de massa no seu interior. Gaseificadores contracorrente permitem a gaseificação de material com maior teor de umidade pelo efeito de pré-secagem dos gases quentes. Isso pode ser um ponto positivo, considerando a elevada umidade em que a biomassa é encontrada.

Geralmente a biomassa, como os resíduos agrícolas e o pó de serra, apresenta uma densidade muito baixa, como mostra a Tabela 1. Isso fez com que fosse considerada nesse trabalho a possibilidade de compactação desses materiais para a gaseificação.

Tabela 1 – Densidade de resíduos

Resíduo	Densidade "In Natura" Kg/m ³	Densidade após processado Kg/m ³	Umidade %
Palha de milho	33,4	móldo = 263	9,85
Casca de arroz	149,7	triturado = 72	11,59
Bagaço de cana	45,4	-	12,71
Pó-de-serra	300	móldo = 197	11,52
Palha de soja	48,1	-	9,93
		mólda = 240	

Utilizou-se em laboratório uma prensa hidráulica com aquecimento para a compactação desse material, produzindo briquetes cilíndricos com diâmetros de 2,5cm e altura variável de 2 a 4cm, dependendo da quantidade e densidade do material prensado.

Variando a pressão aplicada de 600 a 2400 kg/cm², verificou-se que a partir de 1600 kg/cm² de pressão, e a uma temperatura de 80°C, produziu-se briquetes com densidade de 0,8 g/cm³ a 1,1 g/cm³ com boa resistência. Constatou-se, também, que o aquecimento é essencial para manter a agregação dos materiais, sem a qual o briquete se desfaz, com exceção para o bagaço de cana moído, que mesmo sem aquecimento se mantém relativamente agregado.

Testando-se vários teores de umidade para esses resíduos, verificou-se que os materiais com umidades próximas ou inferiores a 10% apresentavam melhor estabilidade após a compactação.

Foi testado também o processo de briquetagem desses resíduos por extrusão em máquinas Hansa, produzidas no Brasil. Esse equipamento produz briquetes cilindros de diâmetro variável (de $\varnothing$ = 5cm a 12cm), e comprimento regulável na confecção. Conseguiram-se briquetes de madeira com densidade de até 1,23 g/cm³. Naturalmente, a densidade do briquete depende também da densidade da madeira ou do material de origem.

Confirmando a literatura, que afirma a semelhança dos resíduos ou restos vegetais compactados com a madeira, verificou-se que a destilação seca de briquetes de resíduos agrícolas apresentou porcentagem de carvão, condensáveis e gases não-condensáveis (GNC), bastante semelhante à madeira, principalmente quando carbonizados à mesma temperatura, como demonstram os dados da Tabela 2.

Tabela 2 – Rendimento em destilação seca

Material	Temperatura Final de Pirólise °C	Teor de Umidade %	Carvão Vegetal %	Condensáveis %	GNC %
Madeira de cerrado	500	12,50	32,2	47,9	19,9
Briquete de palha de milho	500	10,47	30,0	47,0	23,0

4. CONCLUSÃO

Durante a coleta de resíduos agrícolas para os testes e aplicações dos questionários, constatou-se seu baixíssimo aproveitamento. Apenas o bagaço de cana já tem um consumo de aproximadamente 70% dentro das próprias usinas. Mesmo assim, este excedente de 30% constitui uma quantidade muito expressiva. Os demais resíduos praticamente não são utilizados, chegando algumas cooperativas a comprar lenha para as fornalhas de suas secadoras, quando a poucos metros são geradas grandes quantidades de resíduos, tanto de beneficiamento quanto de pré-limpeza dos grãos.

Alguns resíduos agrícolas, como o da soja e da mandioca, podem ter outra utilização, pelo alto teor de proteínas, servindo, por isso, como ração animal.

Outros resíduos, como o do arroz e do trigo, quando incorporados ao solo podem afetar o balanço de nutrientes deste. A proporção C/N destes materiais é desigual, favorecendo ao carbono. Durante sua decomposição, as bactérias são obrigadas a utilizar o nitrogênio do solo,

empobrecendo-o. Vários técnicos afirmam que seria preferível retirá-los utilizando-os como energéticos.

No entanto, é necessário um estudo mais aprofundado para verificar a influência da exportação dos resíduos agrícolas, ou seja, a sua não-incorporação ao solo, afetando a ciclagem dos nutrientes, para cada tipo de cultura.

Os ciclos de cada tipo de cultura têm seus períodos distintos. Até mesmo variedades de uma mesma cultura têm períodos distintos de colheita. Isto proporciona uma distribuição de resíduos durante boa parte do ano, sendo completados estes períodos de oferta de resíduos com outros provenientes de limpeza de terreno ou mesmo desmatamentos para novos plantios.

Na data da redação deste trabalho, estavam sendo montados os experimentos para gaseificação e conseqüente avaliação dos gases produzidos. Com o término destes testes, será possível obter conclusões mais precisas sobre a gaseificação dos resíduos ligno-celulósicos, visando substituir os derivados de petróleo, principalmente em zonas rurais carentes de energia para seu desenvolvimento.

5. BIBLIOGRAFIA

- ASSUMPTÃO, Rosely M. V. (1981). Gaseificação de madeira e carvão vegetal – princípios e aplicações, Série de Publicações Técnicas, Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais/CETEC, 53 – 72, Belo Horizonte.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária – INCRA. (1981). Programa de Colonização Oficial. Brasília, 204 p.
- BRASIL. Secretaria de Planejamento da Presidência da República. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (1982). Produção Agrícola Municipal. Rio de Janeiro, Volume 7. 154 p.
- CARNEIRO, Carlos Marx Ribeiro. (1981). Levantamento das Alterações Antrópicas na Cobertura Florestal dos Estados do Amazonas, Acre, Mato Grosso e Território de Roraima e Rondônia – Análise da Potencialidade Florestal. M. A. – IBDF/DE, Programa de Monitoramento de Cobertura Florestal no Brasil. Brasília, 31 p.
- D'AVILA, Saul G. & MAKRAY, Zsdt T. (1981). Gaseificadores de madeira – aspectos técnicos e econômicos. Série de Publicações Técnicas, Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais/CETEC, 73-80, Belo Horizonte.
- FONTES, P.J.P. de, QUIRINO, W.F., PEIXOTO, R.C.D. (1982). Levantamento da Oferta Madeireira Derivada de Projetos Agropecuários e de Colonização nos Estados de Rondônia, Mato Grosso e Norte de Goiás. Brasil Florestal, 52 (XII) 19-26, Brasília, out/nov./dez.
- FONTES, P.J.P. de e QUIRINO, W.F. (1982). Relatório Final do Levantamento Preliminar do Potencial Utilizável? Madeira e Resíduos Agrícolas da Região Centro-Oeste. Relatório Técnico LPF/DE/IBDF. Distribuição Dirigida, 25 p. Brasília, dezembro.
- GOLDEMBERG, José (1979). Estratégias Energéticas para Países Desenvolvidos e em Desenvolvimento. Pesquisa e Planejamento Econômico, 9 (1): 83 a 112, Rio de Janeiro, abril.
- SIQUEIRA, Antônio B. (1981). Gasogênios para motores. Série de Publicações Técnicas, Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais/CETEC, 101-112, Belo Horizonte.
- WARDLE, P.A. e POTOCORVI, F. (1981). Special Enquiry of Fuelwood and Charcoal. Roma, FAO – Forestry Statistics and Economic Analysis Unit.

LABORATÓRIO DE PRODUTOS FLORESTAIS - IBAMA

Endereço: SAIN - Av. L4 Norte - Lote 04 - CEP 70770

Fones: (061)224-4789/224-5337/223-5664

Telex: (061)2120/1711 - Fax: 224-5206

Caixa Postal 152824 - CEP 70919

Brasília-DF