

**BENEFICIAMENTO E POLPAÇÃO DA  
RÁQUIS DA BANANEIRA "NANICÃO"  
(*Musa* GRUPO AAA, "GIANT CAVENDISH")**

**MARÍA LORENA BLANCO ROJAS**

Dissertação apresentada à Escola Superior  
de Agricultura "Luiz de Queiroz", da  
Universidade de São Paulo, para obtenção  
do título de Mestre em Ciências, Área de  
Concentração: Ciência e Tecnologia de  
Madeiras

**PIRACICABA**  
**Estado de São Paulo - Brasil**  
**Outubro - 1996**

**BENEFICIAMENTO E POLPAÇÃO DA  
RÁQUIS DA BANANEIRA "NANICÃO"  
(*Musa* GRUPO AAA, "GIANT CAVENDISH")**

**MARÍA LORENA BLANCO ROJAS**  
**Engenheira Química**

**Orientador: Prof. Dr. JOSÉ MANGOLINI NEVES**

Dissertação apresentada à Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Mestre em Ciências, Área de Concentração: Ciência e Tecnologia de Madeiras

**PIRACICABA**  
**Estado de São Paulo - Brasil**  
**Outubro - 1996**

**BENEFICIAMENTO E POLPAÇÃO DA  
RÁQUIS DA BANANEIRA "NANICÃO"  
(*Musa* GRUPO AAA, "GIANT CAVENDISH")**

**MARÍA LORENA BLANCO ROJAS**

Aprovada em: 01.10.96

Comissão julgadora:

Prof. Dr. José Mangolini Neves



-IPT/USP

Prof. Dr. Cláudio Angelini Sansigolo

-UNESP

Prof. Dr. Luiz Ernesto George Barrichelo

- ESALQ/USP



**Prof. Dr. JOSÉ MANGOLINI NEVES**

**Orientador**

## **DEDICATÓRIA**

A minha filha Catherine e ao Osni,  
com todo meu amor

**Semeia de manhã a tua semente, e de tarde não cesse a tua mão de fazer o mesmo, porque não sabes qual das duas nascerá primeiro, se esta, se aquela; e, se ambas nascerem a um tempo, melhor será.**

**Eclesiastes 11:6**

## AGRADECIMENTOS

Aos senhores professores, Dr. José Mangolini Neves, Dr. Márcio Augusto Rabelo Nahuz, Dr. Luiz Ernesto George Barrichelo, pelo seus conselhos, ensinamentos acadêmicos e profissionais, além pela sua amizade.

Aos produtores de banana do Estado de São Paulo, senhores Edison Magário de Bananas Magário, e Sérgio Tadeu Hamasiro, de Seiyu Bananas Climatizadas Ltda, pelo fornecimento do material para a elaboração deste trabalho e seu apoio técnico sobre os aspectos da bananicultura.

A senhora Carmem Aparecida Gonçalves de Oliveira pela paciência e dedicação demonstradas na execução da parte experimental deste trabalho, e a todas as pessoas da Divisão de Celulose e Papel do IPT, pela sua colaboração, especialmente a Regina, Abel, Cícero e Toninho.

As empresas brasileiras Duratex, Cibrapel, Ibar e Ripasa, nas pessoas da Quí. Cátia Benaduce, Eng. Marcos Vinícios Braga Rumen, Sr. Ulisses Farina, Sr. Silvio Rachid e Eng. Isabel Gómez Bulhões, pelo auxílio na realização de algumas partes experimentais deste trabalho.

As professoras Dra. Nanuza L. Menezes e Dra. Jane Elizabeth Krauz, do Instituto de Biociências do Departamento de Botânica da USP, e aos senhores Antônio Carlos Franco Barboza e Rubens Dias Humpherys, do Agrupamento de Produtos Básicos da Madeira; a Lic. Isabel María Carpio Malavassi e ao biólogo Luis Alberto Cruz Meléndez, do Laboratorio de Productos Forestales da Universidad de Costa Rica, pela ajuda na parte anatômica deste trabalho.

Aos designers gráficos Marcela Quirós Garita e Denis Castro Incera, do Centro de Diseño y Ayudas Audiovisuales (CEDAA), do Instituto de Investigaciones en Ingeniería; a Mauro Segura Herrera do LPF e a Andrés Enrique Lai Reyes do CIAGRI, pela ajuda na parte gráfica deste trabalho.

Aos meus colegas de aula, em especial a Maria Beatriz, Maria José, Cátia, Geraldo e Irene, pela ajuda no meu português, nos meus relatórios e por tentar preencher com o seu carinho meus dias no Brasil.

A Cidinha, Nida, Silvia e Adriana, pela sua amizade desinteressada, seu apoio nas horas de incerteza e pelo carinho para com a minha filha.

## SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS.....	xi
LISTA DE TABELAS.....	xiv
RESUMO.....	xvi
SUMMARY.....	xvii
RESUMEN.....	xviii
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Antecedentes.....	1
1.2. Objetivos.....	2
2. FIBRAS ANUAIS NA PRODUÇÃO DE PASTA CELULÓSICA.....	4
2.1. Revisão bibliográfica.....	5
2.2. Resíduos da atividade bananeira.....	7
2.3. Uso das fibras da ráquis da bananeira na produção de pasta celulósica.....	10
2.4. Cenário da coleta da banana no Brasil.....	11
2.5. Dados sobre bananicultura e comercialização.....	16
2.6. Conclusões específicas.....	19
3. CARACTERIZAÇÃO ANATÔMICA E FÍSICO-QUÍMICA.....	22
3.1. Revisão bibliográfica.....	23
3.2. Materiais e métodos.....	34
3.2.1. Material.....	34
3.2.2. Métodos.....	35
3.2.2.1. Identificação das amostras.....	35

3.2.2.2. Caracterização física .....	36
3.2.2.3. Caracterização anatômica, macro e microscópica .....	36
3.2.2.4. Caracterização química .....	42
3.3. Resultados experimentais e discussão .....	43
3.3.1. Caracterização física .....	43
3.3.2. Caracterização anatômica, macro e microscópica .....	45
3.3.2.1. Estrutura transversal .....	45
3.3.2.2. Estrutura longitudinal .....	47
3.3.2.3. Anatomia e morfometria de fibras .....	50
3.3.3. Caracterização química .....	58
3.4. Conclusões específicas .....	59
<b>4. BENEFICIAMENTO DE FIBRAS ANUAIS .....</b>	<b>62</b>
4.1. Revisão bibliográfica .....	63
4.1.1. Beneficiamento de plantas anuais a nível industrial .....	72
4.2. Materiais e métodos .....	74
4.2.1. Material .....	74
4.2.2. Métodos .....	74
4.2.2.1. Tratamento mecânico .....	74
4.2.2.2. Tratamentos físico-químicos .....	75
4.3. Resultados experimentais .....	79
4.3.1. Dimensões dos cavacos .....	79
4.3.2. Resultados do beneficiamento mecânico .....	80
4.3.3. Resultados dos beneficiamentos físico-químicos .....	80
4.4. Conclusões específicas .....	89
<b>5. POLPAÇÃO DE FIBRAS DA BANANEIRA .....</b>	<b>92</b>
5.1. Revisão bibliográfica .....	93
5.1.1. Pasta química .....	93

5.1.2. Pasta mecânica .....	95
5.1.3. Pastas para dissolução .....	96
5.1.4. Colagem.....	97
5.1.5. Mistura de pastas .....	98
5.2. Materiais e métodos .....	99
5.2.1. Material .....	99
5.2.2. Métodos .....	100
5.2.2.1. Obtenção de pasta .....	100
5.2.2.2. Caracterização das pastas.....	101
5.2.2.3. Eleição das melhores pastas .....	103
5.2.2.4. Misturas de pastas .....	103
5.3. Resultados experimentais.....	106
5.3.1. Avaliação da pasta hidrotérmica.....	106
5.3.2. Avaliação da pasta termoquímica à soda.....	115
5.3.3. Comparação entre pastas hidrotérmicas e termoquímicas à soda.....	121
5.3.4. Avaliação das pastas em misturas.....	124
5.3.5. Avaliação das misturas.....	130
5.3.5.1. Avaliação das misturas com pasta Capa A.....	130
5.3.5.2. Avaliação das misturas com pasta Capa B .....	133
5.4. Conclusões específicas.....	137
6. CONCLUSÕES GERAIS E RECOMENDAÇÕES.....	139
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	143

## LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
2.1. Encaixotamento da banana diretamente na plantação:.....	13
2.2. Rejeito da ráquis após o encaixotamento no bananal .....	13
2.3. Transporte dos cachos inteiros no caminhão.....	14
2.4. Transporte dos cachos inteiros em caminhão tipo "begonha" ....	14
2.5. Vista do galpão de embalagem.....	15
2.6. Rejeitos do processo de embalagem da banana no galpão.....	15
3.1 Esquema de extração de amostras da ráquis para estudos anatômicos e físicos .....	38
3.2.a. Micrografia da seção transversal da ráquis de <i>Musa</i> Grupo AAA 'Giant Cavendish', próximo da epiderme (40X) .....	46
3.2.b. Micrografia da seção transversal da ráquis de <i>Musa</i> Grupo AAA 'Giant Cavendish', próximo da epiderme (40X) .....	46
3.3.a. Micrografia da seção transversal da ráquis de <i>Musa</i> Grupo AAA 'Giant Cavendish', mostrando os feixes fibro-vasculares (100X).....	48
3.3.b. Micrografia da seção transversal da ráquis de <i>Musa</i> Grupo AAA 'Giant Cavendish', mostrando os feixes fibro-vasculares (100X).....	48
3.4.a. Micrografia da seção transversal da ráquis de <i>Musa</i> Grupo AAA 'Giant Cavendish', mostrando os tricomas curtos (100X) .	49

3.4.b.	Micrografia da seção transversal da ráquis de <i>Musa</i> Grupo AAA 'Giant Cavendish', mostrando os tricomas compridos (100X).....	49
3.5.a.	Micrografia da seção longitudinal da ráquis de <i>Musa</i> Grupo AAA 'Giant Cavendish', (40X) .....	51
3.5.b.	Micrografia dos feixes de fibras da ráquis de <i>Musa</i> Grupo AAA 'Giant Cavendish', (40X) .....	51
3.6.a.	Micrografia de um elemento traqueal da ráquis de <i>Musa</i> Grupo AAA 'Giant Cavendish', mostrando os feixes fibro-vasculares (1200X) .....	52
3.6.b.	Micrografia da seção longitudinal da ráquis de <i>Musa</i> Grupo AAA 'Giant Cavendish', mostrando os cristais nos elementos traqueais (200X) .....	52
4.1.	Micrografias da fibra beneficiada pelo tratamento termoquímico à soda, de <i>Musa</i> Grupo AAA 'Giant Cavendish' .....	88
5.1.	Variação das propriedades mecânicas das pasta hidrotérmica (HT) com o tempo de refino .....	109
5.2.	Variação da densidade aparente e permeância ao ar das pastas hidrotérmicas (HT) e termoquímicas à soda (TQS) com o tempo de refino .....	110
5.3.	<b>Micrografia de folha feita com pasta hidrotérmica de ráquis da bananeira, <i>Musa</i> Grupo AAA 'Giant Cavendish', refinada durante 60 minutos (200X).....</b>	<b>112</b>
5.4.	Micrografia de folha feita com pasta hidrotérmica de ráquis da bananeira, <i>Musa</i> Grupo AAA 'Giant Cavendish', refinada durante 60 minutos (100X).....	112
5.5.	Variação das propriedades mecânicas das pasta termoquímica à soda com o tempo de refino .....	118

5.6.	Micrografia de folha feita com pasta termoquímica à soda de ráquis da bananeira, <i>Musa</i> Grupo AAA 'Giant Cavendish', refinada durante 60 minutos (100X).....	120
5.7.	Micrografia de folha feita com pasta termoquímica à soda de ráquis da bananeira, <i>Musa</i> Grupo AAA 'Giant Cavendish', refinada durante 60 minutos (50X).....	120
5.8.	Comparação das propriedades mecânicas das pastas hidrotérmica (HT) e termoquímica à soda (TQS) com o tempo de refino .....	122
5.9.	Comparação da pasta termoquímica à soda (TQS) com as pastas de reciclo Capa A e Capa B .....	127
5.10.	Micrografia de folha feita com pasta de reciclo Capa A refinada a 20,5 °SR (50X).....	129
5.11.	Micrografia de folha feita com pasta de reciclo Capa B refinada a 30 °SR (250X).....	129
5.12.	Variação das propriedades das misturas de pasta de reciclo Capa A com pasta termoquímica à soda da bananeira .....	132
5.13.	Variação das propriedades das misturas de pasta de reciclo Capa B com pasta termoquímica à soda da bananeira .....	135
5.13.	Micrografia de uma folha feita com a mistura de 30% de pasta termoquímica à soda e 70% de pasta Capa A (100 X).....	143
5.14.	Micrografia de uma folha feita com a mistura de 30% de pasta termoquímica à soda e 70% de pasta Capa B (100 X) .....	143

## LISTA DE TABELAS

Tabela	Página
2.1. Parâmetros produtivos da bananicultura no Estado de São Paulo, 1994 .....	17
2.2. Situação bananeira na Costa Rica no período 1989-1994....	18
2.3. Material proveniente da ráquis da bananeira e potencialmente disponível segundo dados de 1994 .....	20
3.1. Dimensões médias das fibras de <i>Musa</i> .....	33
3.2. Classificação das fibras segundo o Coeficiente de Flexibilidade	40
3.3. Qualidade das fibras para a produção de papel, segundo o Índice de Runkel .....	41
3.4. Caracterização física da ráquis da bananeira " <i>in natura</i> " .....	44
3.5. Dimensões das fibras da ráquis da bananeira .....	54
3.6. Distribuição pelo comprimento das fibras da ráquis da bananeira	55
3.7. Relações morfológicas das fibras da ráquis da bananeira .....	56
3.8. Diâmetro dos elementos traqueais .....	57
3.9. Distribuição dos elementos traqueais pelo diâmetro .....	57
3.10. Caracterização química da ráquis da bananeira <i>in natura</i> .....	58
4.1. Condições dos beneficiamentos físico-químicos da ráquis da bananeira .....	78
4.2. Dimensões médias dos cavacos de ráquis da bananeira.....	79
4.3. Rendimentos dos tratamentos físico-químicos de beneficiamento de ráquis da bananeira.....	82
4.4. Variação percentual nas frações com o aumento no tempo de cozimento .....	83

4.5.	Resumo das condições e resultados dos beneficiamentos hidrotérmico e termoquímico à soda escolhidos .....	85
4.6.	Caracterização química da ráquis da bananeira pelo tratamento termoquímico à soda .....	86
4.7.	Material beneficiado seco proveniente da ráquis da bananeira potencialmente disponível, (segundo dados de 1994).....	87
5.1.	Composição das misturas (% mássica em base seca).....	105
5.2.	Caracterização das pastas hidrotérmicas de ráquis da bananeira .....	107
5.3.	Propriedades de algumas pastas de alto rendimento provenientes de espécies florestais .....	113
5.4.	Propriedades de algumas pastas químicas provenientes de espécies florestais .....	114
5.5.	Caracterização das pastas termoquímicas à soda de ráquis da bananeira .....	117
5.6.	Classificação de fibras Bauer- McNett para as pastas em misturas .....	125
5.7.	Caracterização das pastas termoquímicas à soda de ráquis da bananeira, e as pastas de reciclo Capa A e Capa B a 127 g/m <sup>2</sup> .....	126
5.8.	Caracterização das misturas de pastas termoquímicas à soda de ráquis da bananeira com a pasta de reciclo Capa A .....	131
5.9.	Caracterização das misturas de pastas termoquímicas à soda de ráquis da bananeira com a pasta de reciclo Capa B .....	134

# BENEFICIAMENTO E POLPAÇÃO DA RÁQUIS DA BANANEIRA "NANICÃO" (*Musa* GRUPO AAA, "GIANT CAVENDISH")

Autora: María Lorena Blanco Rojas

Orientador: PROF. DR. José Mangolini Neves

## RESUMO

Ráquis de bananeira, da variedade Nanicão ( *Musa* Grupo AAA, "Giant Cavendish"), proveniente de plantações da região de Registro, Estado de São Paulo, foi estudada para verificar sua viabilidade técnica na produção de pasta celulósica.

O trabalho consistiu de cinco etapas, a saber: coleta de informações sobre a obtenção do material na plantação e sobre os métodos de beneficiamento e polpação existentes; caracterização anatômica, física e química do material; beneficiamento dele por tratamentos mecânicos e físico-químicos; produção de pasta celulósica; e preparação de misturas com aparas de papelão.

O rendimento de material beneficiado foi de aproximadamente 33% em base seca, pelos tratamentos hidrotérmico (HT) e termoquímico à soda (TQS), os quais após 60 minutos de refinação em refinador Jokro geraram pastas com resistência mecânica, densidade aparente e permeância ao ar, altas.

A introdução de pasta termoquímica à soda em três diferentes proporções (10, 20 30% em base seca) melhorou os índices de tração e de arrebentamento de duas pastas secundárias provenientes da reciclagem de papelão.

Concluiu-se, que é viável tecnicamente a obtenção de pastas celulósicas hidrotérmica (HT) e termoquímica à soda (TQS), de alta resistência mecânica, a partir da ráquis da bananeira.

Com os dados de produção de banana de 1994 para o Estado de São Paulo e os resultados deste estudo, calculou-se que potencialmente poderiam ser obtidas aproximadamente 2000 toneladas por ano, das pastas celulósicas estudadas.

# DEPITHING AND PULPING OF THE "NANICÃO" BANANA STEM (*Musa* GROUP AAA, "GIANT CAVENDISH")

Author: MARÍA LORENA BLANCO ROJAS

Adviser: PROF. DR. JOSÉ MANGOLINI NEVES

## SUMMARY

The technical feasibility of pulping and papermaking of the "Nanicão" banana stem (*Musa* Group AAA, "Giant Cavendish") from plantations of Registro, São Paulo State was studied.

This work was divided in five parts: information search about the material's harvesting operation in the plantation, the depithing and pulping procedures; physical, chemical and anatomic characterization of the material;; mechanical and physico-chemical treatments for depithing; pulping; and the preparation of mixtures with waste paperboard.

The depithed material yielded about 33% (dry weight basis) under hydrothermal (HT) and soda thermochemical (TQS) treatments; the materials obtained after a 60-minute refining in a Jokro mill were high strength pulps, with high apparent density and air permeability.

The banana stem thermochemical pulp (TQS) was mixed with two recycled pulps of waste paperboard, in three different proportions - 10, 20 and 30% (dry weight basis) - to achieve high tensile and burst index and medium tear strength.

Generally, it can be concluded that it is technically feasible to produce hydrothermal and soda thermochemical pulps with high strength properties from depithed banana stem.

The application of the results of this study on the data of the banana production of the State of São Paulo in 1994 results in an estimated potential output of pulp of about 2000 tonnes/year.

## BENEFICIADO Y PULPEO DEL RAQUIS DE BANANO "NANICÃO" (*Musa* GRUPO AAA, "GIANT CAVENDISH")

Autora: María Lorena Blanco Rojas

Orientador: PROF. DR. José Mangolini Neves

### RESUMEN

Fue verificada la viabilidad técnica del raquis de banano de la variedad "Nanicão" (*Musa* grupo AAA, "Giant Cavendish"), proveniente de plantaciones de la región de Registro, Estado de São Paulo, en la producción de pulpa celulósica.

El trabajo consistió de cinco etapas, a saber: recolección de informaciones sobre la obtención del material en la plantación y sobre los métodos de beneficiado y pulpeo existentes, caracterización anatómica, física y química del material, beneficiado por tratamientos mecánicos y fisicoquímicos, producción de pulpa celulósica y preparación de mezclas con pulpa secundaria de cartón corrugado.

El rendimiento del material beneficiado fue de aproximadamente 33% en base seca, mediante los tratamientos hidrotérmico (HT) y termoquímico a la soda (TQS). Estos materiales después refinarlos durante 60 minutos en refinador Jokro generaron pulpas con altas: resistencia mecánica, densidad aparente y permeancia al aire.

La introducción de pulpa termoquímica a la soda, en tres proporciones diferentes (10, 20 y 30% en base seca) mejoró los índices de tracción y de explosión de dos pulpas secundarias provenientes del reciclado de cartón corrugado.

Se concluye que es técnicamente viable la obtención de pulpas celulósicas hidrotérmica (HT) y termoquímica a la soda (TQS), de alta resistencia mecánica a partir de raquis de banano.

Con los datos de producción de banano, para el Estado de São Paulo y los resultados de este estudio, se calculó que potencialmente pueden ser obtenidas 2000 toneladas por año, de las pulpas estudiadas.

# **1. INTRODUÇÃO**

## **1.1 Antecedentes**

Pesquisas sobre aspectos anatômicos, químicos e de polpação da ráquis da bananeira, realizadas na Escuela de Ingeniería Química da Universidad de Costa Rica, levaram aos pesquisadores a concluir que tratava-se de uma fibra longa, de boas características para formação de papel e de alta resistência mecânica (CHAVES, 1981; LÓPEZ, 1981; SABORÍO, 1981; SHEDDEN, 1978; TORRES, 1981).

Na Guatemala, alguns anos depois, com base nos resultados das pesquisas costarriquenhas, a organização GTZ, da Alemanha, financiou um projeto conjunto onde os pesquisadores do Instituto Centroamericano de Investigación y Tecnología (ICAITI), estudaram a produção de celulose a partir das diferentes partes da bananeira, como o pseudocaule, as folhas e a ráquis, chegando a determinar a viabilidade técnica e econômica da produção de celulose

e papel, em pequena escala, pelos processos químicos sulfato e organossolve (ICAITI, 1988b).

O Brasil, maior produtor de banana do mundo, logo tenderá a direcionar sua produção de banana para a exportação, devendo surgir para um futuro bem próximo a necessidade de se aproveitar da melhor maneira possível os resíduos da bananeira após sua embalagem para embarque, ou seja, surgirá logo a necessidade de se reaproveitar a ráquis destas bananeiras.

Assim, aproveitando a oportunidade oferecida pelo governo brasileiro de realizar estudos neste país e contando com a infra-estrutura do Agrupamento de Celulose e Papel, da Divisão de Produtos Florestais e Têxteis (DPFT), do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), mais as recomendações do Ministerio de Ciencia y Tecnología da Costa Rica, decidiu-se, através da realização deste trabalho, aprofundar os estudos sobre resíduos da bananeira.

## **1.2. Objetivos**

O objetivo geral deste trabalho foi o seguinte:

Verificar a viabilidade técnica dos resíduos da bananicultura na produção de pasta celulósica, mediante tratamentos simples, sem

reagentes químicos e de fácil implementação, para a região de Registro, Estado de São Paulo.

Para isto foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- Realizar um levantamento bibliográfico sobre os diferentes processos de polpação de fibras anuais incluídos os resíduos da bananicultura;
- Coletar informações sobre manejo e quantidade de resíduos gerados no cultivo e na comercialização da banana e determinar o seu uso potencial para papel;
- Obter pasta celulósica mediante tratamentos simples, livres de reagentes químicos e de fácil implementação; e
- Caracterizar física e mecanicamente as pastas obtidas, e identificar seus possíveis usos.

## **2. FIBRAS ANUAIS NA PRODUÇÃO DE PASTA CELULÓSICA**

Este capítulo apresenta em geral a situação da utilização de fibras anuais na obtenção de pasta celulósica e em particular o emprego dos resíduos orgânicos da bananicultura.

Para isto descreve-se o cenário do manejo destes resíduos nas plantações da região de Registro, no Estado de São Paulo e compara-se com o manejo dado em países de ampla cultura bananeira como é a Costa Rica.

Com essas informações é escolhida a matéria-prima a ser estudada e calculada a disponibilidade dela para a produção de pasta celulósica para as regiões citadas.

É importante anotar a carência de estatísticas apropriadas sobre a produção, produtividade e destino da atividade bananeira no Brasil, assim como

também a incerteza e confusões em certos dados. Este fato, marca uma limitante nas projeções que podem ser feitas neste estudo.

## **2.1. Revisão bibliográfica**

Durante muitos anos a produção mundial de celulose e papel esteve baseada somente em fibras provenientes de produtos agrícolas (linho, algodão, lã, e palha), entretanto, considera-se que atualmente a madeira, como matéria-prima recém-chegada na fabricação de celulose e papel, abrange a maior parte do mercado (JUDT, 1985 e ATCHISON & MCGOVERN, 1987). Por outro lado, papéis de melhor qualidade ainda continuam sendo fabricados só com fibras de plantas anuais ou destas misturadas com fibras provenientes de madeira, como por exemplo na produção de papéis especiais, tais como: segurança, filtros, isolantes elétricos, cigarro, etc. (REBOUÇAS & MARTINS, 1985).

As fibras provenientes de plantas anuais que não apresentam características arbóreas, são conhecidas na literatura especializada pela denominação "non-wood fibers", e que neste trabalho vão ser denominadas "fibras anuais". Estas fibras podem ser classificadas em: resíduos agrícolas (bagaço de cana-de-açúcar e palha de cereais, sorgo, talos de milho, talos de algodão, etc.); plantas de crescimento natural (bambu, junco, gramíneas, papiro, etc.); e plantas de importância comercial pelas fibras. Estas por sua vez dividem-se em: fibras do

talo ("kenaf", rami, linho, crotalária, juta, cânhamo); fibras de folhas (abacá, sisal, henequém, trapos velhos ou trapos feitos dessas fibras); e fibras de pêlos de sementes ("linters" de algodão ou fios, trapos de algodão, e resíduos têxteis de vários tipos) (ATCHISON & McGOVERN, 1987).

Segundo ATCHISON (1987a), do total de papel produzido no mundo, 6,7% em 1970, e 8,1% em 1985, foi obtido a partir de plantas anuais, e estando projetado em 9,1% para 1990. A maior capacidade de polpação de fibras anuais, em relação à capacidade total de fabricação de celulose no mundo, se concentra nas economias de mercado não desenvolvidas da Ásia, África e América Latina.

JUDT (1985, 1988) menciona que o uso atual das fibras anuais fica restrito principalmente às áreas do mundo com pouca quantidade de madeira, tais como o Oriente Médio, África do Norte, Ásia Central e México; que são regiões com grande demanda de papel, devido ao crescimento da população e da expansão de programas de educação, e contam com muitos resíduos agrícolas. A China (ATCHISON, 1987a; SHOUZU, 1988) atualmente, é o país com maior produção mundial de celulose e papel a partir de fibras anuais. Nesse país, 8.000 fábricas de pequena escala produziram cerca de 15 milhões de toneladas de celulose, das quais aproximadamente 22% foi a partir destas fibras (ZHU & PUFANG, 1994).

Na América Latina, dois dos cinco países líderes na produção de celulose e papel, a Colômbia e o México (PAYNE, 1994), fabricaram celulose a

partir de fibras anuais em grandes proporções com relação ao total de pasta produzida. Na Colômbia a porcentagem foi de 44% (MARMOLEJO, 1994) e no México de 33% (LLAMAS, 1994).

KNIGHT (1994), relata que o Brasil possui 35 fábricas, 12 das quais produzem pasta a partir de fibras anuais. A produção foi de 156000 e 127000 toneladas para os anos 1992 e 1993 respectivamente, enquanto que importou 3000 e 5000 toneladas de pastas de fibras anuais nos mesmos anos.

A fibra anual mais utilizada no mundo para produção de papel é o bagaço de cana-de-açúcar, sendo os maiores produtores, Taiwan e o México. Neste último, para 1992, 42,86% do total da celulose produzida foi a partir de bagaço de cana-de-açúcar, segundo dados reportados por PEARSON (1993). Outros tipos de fibras anuais de importância são as palhas, das quais os principais países produtores são: China, Espanha, Itália, Índia e Taiwan. Tem-se também o bambu, na Índia, e o junco, na China e Romênia.

## **2.2. Resíduos da atividade bananeira**

Até o momento, os resíduos orgânicos da bananicultura, como possíveis fontes de fibra longa para produção de celulose e papel, têm sido estudados por: (SEMANA et alii, 1978; SHEDDEN, 1978; ESCOLANO et alii, 1979; ESCOLANO, 1981; CHAVES, 1981; LÓPEZ, 1981; SABORÍO, 1981; TORRES,

1981; FRANCIA et alii, 1984; ESPINOZA, 1986; DARKWA, 1988; ICAITI, 1988b; ESCOLANO et alii, 1988; KILIPEN & OY, 1992 e AMADOR, 1992).

A bananicultura, é freqüentemente acusada como fonte importante de contaminação por agroquímicos, plásticos e resíduos sólidos perniciosos, além de provocar o aumento da erosão e desmatamento, ocasionado pela expansão das áreas de produção bananeira, e de ser a colheita da banana uma atividade relacionada com graves problemas de saúde dos trabalhadores. Estas razões têm impulsado, em alguns dos maiores países exportadores de banana, a busca de soluções que possam propiciar o reaproveitamento dos resíduos desta atividade.

Iglesias (1987)<sup>1</sup> citado por STURION (1994), menciona que o resíduo da bananicultura representa 40% da produção do fruto, entretanto, HIROCE (1972) afirma que são geradas cerca de 13 toneladas de matéria orgânica seca por hectare, quando considerados o pseudocaule, as folhas e o engão da bananeira.

MOREIRA (1987) estimou que um bananal conduzido e explorado dentro das normas recomendadas, fornece aproximadamente de 180 a 200 toneladas de restos de cultura por hectare e por ano, dentre dos quais encontram-se as folhas, o pseudocaule e a ráquis.

O autor menciona que, durante a colheita, o cacho é separado da bananeira por seccionamento do pseudocaule na altura da roseta foliar, sendo a

---

<sup>1</sup> IGLESIAS, M.B. *Revista agroquímica y tecnología de alimentos*. Valencia, 27(1):24-30, 1987.

melhor prática, deixar apenas o pseudocaule no maior comprimento possível e eliminar todas as folhas. Concordando com isto, HERNÁNDEZ (1991)<sup>2</sup> relata que a parte superior ao corte consiste em folhas que são cortadas e deixadas na plantação, enquanto a parte inferior, o pseudocaule, fica em pé, permitindo inicialmente ao filho absorver todos os seus nutrientes. As folhas e o pseudocaule são resíduos sustentáveis, que antes da biodegradação formam uma cobertura que ajuda no controle de plantas daninhas e posteriormente incorporam-se ao solo da plantação como nutrientes.

VITTI & RUGEIERO (1984) afirmam que a decomposição da parte vegetativa da bananeira é rápida, sendo que somente 10% da mesma permanece após quatro meses de incubação com o solo em condições de campo.

FERNANDEZ (1994)<sup>3</sup>, SCARPARE FILHO (1994)<sup>4</sup>, GALLO et alii (1972), PURSEGLOVE (1972) e MOREIRA (1987), concordam na necessidade de deixar esses resíduos na plantação. PURSEGLOVE (1972) relata que as folhas e o pseudocaule são utilizados como fonte de matéria orgânica, sendo espalhadas

---

<sup>2</sup> HERNÁNDEZ, C. (Costa Rica) Fotocópia cedida pelo autor da conferência "**Tratamiento de los desechos generados por el cultivo del banano**", ditada na Honduras, 1991.

<sup>3</sup> FERNÁNDEZ, J.C. (Engenheiro agrônomo, Registro) Comunicação pessoal, 1994.

<sup>4</sup> SCARPARE FILHO, J.A. (Professor de Fruticultura, Escola de Botânica, da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba) Comunicação pessoal, 1994.

em torno dos caules a fim de se assegurar o necessário grau de umidade das raízes, tanto em plantações de banana, como de outras culturas perenes.

### **2.3. Uso das fibras da ráquis da bananeira na produção de pasta celulósica**

MOREIRA (1987) afirma que a melhor forma de fornecer nitrogênio à bananeira, é através da matéria orgânica, que além de conter nutrientes, ajuda a reter a umidade do solo, sendo um fator muito importante, já que o nitrogênio é o responsável pelo crescimento da planta, do número de frutos e do número de pencas do cacho, sendo imprescindível para qualquer evolução interna da planta e da dinâmica nutricional, em geral. GALLO et alii (1972), quantificaram que 330 kg/ha de  $K_2O$ , teriam que ser restituídos se o pseudocaulé fosse retirado da plantação, além de afirmar que isto seria prejudicial à cultura, devido à exportação de outros nutrientes e pelo aumento do ciclo da colheita, atrasando o desenvolvimento da planta "filhote".

SEMANA et alii (1978), concluem que as tentativas para se encontrar um uso para as fibras provenientes de uma plantação de bananeira são justificadas, principalmente porque o processo de biodegradação dos resíduos orgânicos e sua incorporação ao solo como nutrientes, são processos muito lentos, além de estarem a maior parte dos minerais na parte não fibrosa da planta.

## 2.4. Cenário de coleta da banana no Brasil

Visitando algumas das plantações de Registro, foram observadas três formas de embalagem da banana:

- o encaixotamento dos frutos é feito diretamente no bananal, sendo a ráquis deixada no solo como rejeito (Figuras 2.1. e 2.2);
- o cacho é transportado inteiro, de caminhão colocando-se os cachos entre colchões de espuma, até o galpão de tratamento e embalagem, ou levado diretamente aos centros de distribuição e comercialização em São Paulo e Campinas (Figura 2.3.); e
- o cacho é transportado inteiro em caminhões tipo "cegonha" (Figura 2.4).

Esta última forma de transporte, está sendo desenvolvida pela firma "Bananas Magário", a qual utiliza caminhões do tipo "cegonha", adaptados com trilhos na parte superior da carroceria, onde os cachos são presos em roldanas que correm nestes trilhos. A parte inferior do cacho é amarrada por um elástico ao piso da carroceria, deixando assim os cachos pendurados, sem se tocar com os outros cachos, mantendo, assim a qualidade da fruta.

Desta maneira, os cachos são conduzidos até o galpão para seu tratamento e embalagem, onde são transferidos para o trilho localizado dentro do

galpão, também mediante roldanas, (Figura 2.5.) e os rejeitos da embalagem, são transportados de caminhão (Figura 2.6.).

Nos países exportadores de banana, basicamente, todos os cachos são levados até um lugar para tratamento, denominado "packing house", onde as frutas são classificadas, imersas em água com sulfato de alumínio, tratadas com fungicidas e embaladas, sendo tudo feito num sistema altamente mecanizado e contínuo, deixando os engaços praticamente limpos e no mesmo lugar.

Quanto às formas de manejo das frutas, deve-se permitir que se faça uma coleta limpa de uma grande quantidade de engaços, a fim de fazer-se viável seu aproveitamento para outros fins, em lugar de simplesmente devolvê-los à plantação ou deixá-los apodrecer a céu aberto. A tendência no Brasil, segundo FERNANDEZ (1994)<sup>5</sup>, e SILVA & MARICATO (1994), é a de maior mecanização e de se ter mais cuidados com relação à cultura e o tratamento da fruta, procurando melhorar também o tratamento pós-colheita, incluindo a construção de galpões acondicionados para o melhor tratamento e embalagem da fruta. Este tipo de coisas já são experiências concretizadas em alguns dos países líderes na exportação de banana, tais como: o Equador e a Costa Rica.

Considerando as situações anteriores, dos resíduos orgânicos da plantação bananeira, unicamente a ráquis, vai ser estudada como possível fonte

---

<sup>5</sup> FERNÁNDEZ, J.C. (Engenheiro agrônomo, Registro) Comunicação pessoal, 1994.



Figura 2.1. Encaixotamento da banana diretamente na plantação.



Figura 2.2. Rejeitos da râquis após o encaixotamento no bananal.

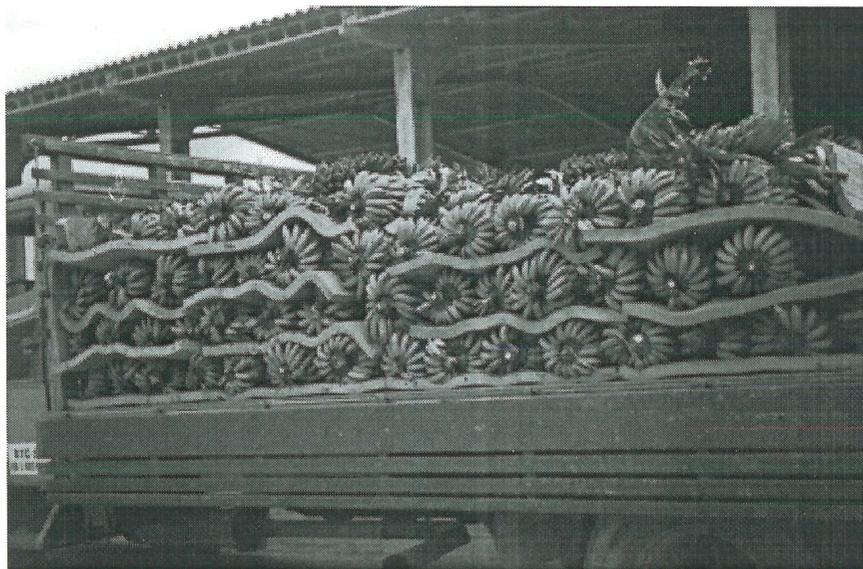


Figura 2.3. Transporte dos cachos inteiros no caminhão.



Figura 2.4. Transporte dos cachos inteiros em caminhão tipo "cegonha"



Figura 2.5. Vista do galpão de embalagem.



Figura 2.6. Rejeitos do processo de embalagem da banana no galpão.

de fibra; as folhas e o pseudocaule, são considerados mais importantes na fertilização do solo e na proteção de novas plantas.

## **2.5. Dados sobre bananicultura e comercialização**

A nível mundial, segundo dados da FAO (1991), em 1990 foram exportadas um total de 9,4 milhões de toneladas de banana, equivalentes a cerca de 2,63 bilhões de dólares. Deste total, a América Latina exportou 82,20%. Assim, o bloco dos países em desenvolvimento, participou com 94,85% da exportação mundial total de banana.

No Brasil, segundo MOREIRA (1987), a banana existe desde antes do seu descobrimento. Atualmente o Brasil é o maior produtor mundial mas também é o maior consumidor, contribuindo somente com 0,56% do total de fruto exportado pela América Latina. Segundo SILVA & MARICATO (1994), o consumo *per capita* anual brasileiro é de cerca de 20 kg/habitante-ano. A produção de banana neste mesmo ano foi estimada em 9 milhões de toneladas (SILVA & MARICATO, 1994), contribuindo os produtores do Vale do Ribeira com cerca de 20% da produção nacional e com 95% das exportações brasileiras. Estima-se um total de 8.500 bananicultores, que plantam uma área de cerca de 40.000 ha que inclui 6 milhões de bananeiras, com uma produtividade média de 10 ton/ha, valor bastante distante daquele apresentado pelos maiores países exportadores de

banana do mundo, tais como: Equador, Costa Rica e Colômbia, nos quais a produtividade atinge valores de até 80 ton/ha.

Para o Brasil, o valor da produção de banana em 1994 teve um valor de aproximadamente 13,7 milhões de reais. (IBGE, 1994).

ARRUDA et alii (1993) relatam que o Estado de São Paulo é o segundo produtor de banana do Brasil, com uma produtividade de 20 toneladas por hectare, e que se obtém de 1300 a 1500 cachos de banana por hectare.

Segundo o IBGE (1994), a região do Litoral Sul Paulista que engloba o Município de Registro e Itanhaem, contribui com 90% da produção do Estado, contando em 1994, com uma área plantada (incluindo a de várzea e a de morro) de 40,4 mil hectares. Na Tabela 2.1 apresentam-se dados mais específicos do cultivo.

Tabela 2.1. Parâmetros produtivos da bananicultura  
no Estado de São Paulo, 1994

<b>REGIÃO</b>	<b>ÁREA DESTINADA A COLHEITA</b>	<b>QUANTIDADE PRODUZIDA</b>	<b>RENDIMENTO MÉDIO</b>
	(ha)	(mil cachos)	(cachos/hectare)
Estado de São Paulo	44 900	54 550	1 214
Litoral Sul Paulista (Registro+Itanhaem)	40 445	47 905	1 184
Município de Registro	30 485	38 194	1 252

FONTE: IBGE (1994)

Segundo a CAMARA NACIONAL DE BANANEROS (1995) a bananicultura na Costa Rica possui um valor agregado que representa atualmente mais de um terço do valor agropecuário nacional (35% em 1994) e aproximadamente um 26% do valor das exportações, as quais, atingem um valor de 560,4 milhões de dólares. Alguns dados históricos da atividade apresentam-se na tabela seguinte:

Tabela 2.2. Situação bananeira na Costa Rica no período 1989-1994

PARÂMETRO	UNIDADES	1989	1990	1991	1992	1993	1994
Área	(ha)	24772	28296	33400	38119	49432	52737
Produtividade	(caixa/ha ano)	2731	2620	2421	2397	2044	1960
Exportação	(milhões de caixas)	67,5	74,1	80,8	91,3	101	103,3
Total de plantações		—	—	—	113	133	192

FONTE: CÁMARA NACIONAL DE BANANEROS (1995)

A bananicultura na Costa Rica tem uma produtividade de 40 toneladas de banana por hectare equivalente a 1740 cachos por hectare; a banana é exportada em caixas cada uma contendo 18,14 kg de banana e são obtidas 1,15 caixas por cada cacho de banana.

## 2.6 Conclusões específicas

Na bananicultura podem ser aproveitadas para celulose as fibras orgânicas provenientes de três fontes: camadas externa e intermédia do pseudocaule, nervura das folhas e a ráquis ou engaço.

Concordou-se com a opinião dos engenheiros agrônomos consultados de que não são possíveis de se aproveitar para produção de celulose nem o pseudocaule nem a nervura das folhas, já que eles formam parte do ciclo vegetativo da bananeira, e após a coleta do cacho atuam como reservatório de água, fixadores de nitrogênio, cobertura orgânica ou protetores de raízes de novas plantas.

A ráquis da bananeira pode ser aproveitada para celulose, quando a embalagem da banana é feita num lugar apropriado fora do bananal, sendo que as ráquis ficam como resíduo limpo e localizado num só lugar.

Esta última situação se apresenta na Costa Rica onde os processos de embalagem são tecnificados, o que não ocorre na região do Vale do Ribeira, onde a maior parte da produção bananeira é encaixotada na mesma plantação e em diferentes centros de comercialização dentro do Estado de São Paulo, o que inviabiliza a coleta das ráquis.

Porém, foi estimada a quantidade de material seco potencialmente disponível proveniente da ráquis da bananeira para as regiões estudadas. Os

resultados estão baseados nos parâmetros produtivos das Tabelas 2.1 e 2.2 e nas massas médias de 1,8 kg por ráquis com 93,6% de umidade para o Brasil, (valores determinados durante a caracterização física deste material e apresentados na Tabela 3.4) e 2,05 kg por ráquis com 94% de umidade <sup>6</sup> para a Costa Rica.

Tabela 2.3. Material proveniente da ráquis da bananeira e potencialmente disponível, segundo dados de 1994

REGIÃO	MATERIAL DISPONÍVEL	
	(kg secos/ha ano)	(toneladas secas/ ano)
Estado de São Paulo	139,8	6277
Litoral Sul Paulista (Registro-Itanhaem)	136,4	5517
Município de Registro	144,2	4396
Costa Rica	214,0	11286

O aproveitamento desses resíduos levaria ao banaicultor a diversificar sua atividade, por exemplo, extraíndo e vendendo fibras para

<sup>6</sup>

HERNÁNDEZ, C. (COSTA RICA) Fotocópia cedida pelo autor da conferência “**Tratamiento de los desechos generados por el cultivo del banano**”, ditada na Honduras, 1991

outros setores como o papelero, têxtil, químico ou da construção; o que geraria fonte de emprego para homens e mulheres nessas regiões onde a bananicultura geralmente existe sozinha; além de contribuir a eliminar problemas de poluição ao meio ambiente.

### **3. CARACTERIZAÇÃO ANATÔMICA E FÍSICO-QUÍMICA**

Este capítulo apresenta a caracterização físico-química completa da ráquis da bananeira, com o objetivo de fornecer os parâmetros utilizados freqüentemente nas avaliações tanto técnicas como econômicas, na busca do reaproveitamento do material, rejeito orgânico na comercialização da banana. Os principais aspectos pesquisados são: descrição macro e microscópica da ráquis, morfologia dos elementos estruturais e sua variação entre medula e periferia e dentre topo e base, composição química do material antes e depois de aplicado um processo de beneficiamento, devido a que os valores apresentados na literatura geralmente são com material beneficiado só que não descrevem apropriadamente o processo empregado nem a diferença

### 3.1. Revisão bibliográfica

A bananeira introduzida na América no século XVI, é uma erva de grande porte, monocotiledônea, que produz somente um ramo e morre. Sua fruta é utilizada como alimento há muitos anos no sudeste asiático (MOREIRA, 1987). SEMANA et alii (1978), afirmam que existem no mundo, cerca de 300 espécies diferentes de bananeiras, formadas de clones primários, e cerca de 150 mutantes facilmente reconhecíveis; tendo-se assim, um número verdadeiro, que provavelmente se encontra entre 200 e 300 espécies.

PURSEGLOVE, (1972); SEMANA et alii, (1978) e ALQUINI, (1986), concordam que a bananeira tem a seguinte classificação taxonômica:

<b>DIVISÃO</b>	Fanerógamas
<b>SUBDIVISÃO</b>	Angiospermas
<b>CLASSE</b>	Monocotiledôneas
<b>ORDEM</b>	Scitamineas
<b>FAMÍLIA</b>	<i>Musaceae</i>
<b>SUB-FAMÍLIA</b>	Musoidae
<b>GÊNERO</b>	<i>Musa</i>
<b>SUB-GÊNERO</b>	Eumusa

A *Musaceae* (DAHLGREN et alii, 1985) é uma família paleotropical, que aparece desde a África até o leste asiático, a Austrália e as Ilhas do Pacífico. PURSEGLOVE (1972), comenta que o gênero *Musa* contem cerca de 40 espécies de ervas perenes, rizomatosas, que são encontradas no sudeste asiático e no Pacífico, com seu centro de diversidade e provável origem na área de Assam-Burma-Tailândia.

Para MONTGOMERY (1954), o gênero *Musa* possui um grande número de espécies, dentre as quais estão incluídas muitas das plantas mais úteis no mundo, fornecendo uma importante proporção da demanda mundial de fibras para cordame, tecidos comuns e até para alguns tecidos mais finos. Seus frutos são importantes na dieta das pessoas em muitas partes do mundo, sendo ainda que em alguns países o botão floral é comido como um vegetal. Muitas seivas de suas plantas são usadas como substâncias corantes por alguns, suas folhas são usadas como forro para recipientes de cozimento, para embrulhar alimentos ou ainda como pratos para servir comida.

Dentro do gênero *Musa*, encontra-se o sub-gênero *Eumusa*, que tem sido classificado por SEMANA et alii (1978) como o de maior importância comercial e econômica, porque contém a maior parte das bananas comestíveis (de 9 a 10), incluindo as *Musa acuminata* e *Musa balbisiana*, híbridos poliplóides. ROWE (1975) afirma que as espécies silvestres de banana com sementes são diplóides e

as comerciais, geradas por polinização, são triplóides, o que faz com que sejam plantas mais vigorosas, produzindo frutos maiores e sem sementes.

A nível mundial o cultivar mais comercializado é o 'Giant Cavendish', pertencente à espécie Cavendish, introduzida no Brasil em 1960 e conhecida como "Nanicão" (GEMTCHÚJNICOV, 1976; e MOREIRA, 1987). Outros sinônimos podem ser encontrados na literatura para este cultivar, denominado de "Lacatan", "Congo" e "Nanica" no Brasil; "Giant Governor" ou "Grande Naine" nome encontrado por PURSEGLOVE (1972), e "*M. cavendishi*" conforme comentado por GEMTCHÚJNICOV (1976).

Segundo ALQUINI (1986), na sistemática de classificação das *Musas*, existem divergências acentuadas entre diversos autores, principalmente por serem plantas cultivadas por muito tempo e que se aclimataram facilmente em diferentes continentes e, por terem sofrido mutações, apresentam aspectos variados, propiciando o surgimento de variedades dentro de cada espécie, sem esquecer que o homem tem efetuado cruzamentos com o objetivo de se obter frutos com maior sucesso comercial.

. SEMANA et alii (1978) comentam que por conveniência denomina-se com "A", as bananeiras com características semelhantes à *Musa acuminata* e com "B", as com características semelhantes à *Musa balbisiana*, sendo o principal grupo o triplóide AAA, que contém os clones comerciais mais difundidos no mundo,

tendo seu centro de origem e diversidade na região da Malásia (PURSEGLOVE, 1972).

As bananas cultivadas são referidas pela designação botânica "Linnean", formada por dois termos: *Musa sapientum* L. (sin. *M. paradisiaca* variedade *sapientum* (L.) Kuntze) e as pacovas como *M. paradisiaca* L., Simmonds (1962)<sup>7</sup>, citado por PURSEGLOVE (1972), que sugere que a nomenclatura formal latina deve ser abandonada e substituída por uma nomenclatura baseada na genômica, onde o clone é referido ao gênero e este, ao seu próprio grupo, ou seja, no caso do "Nanicão" será *Musa* (Grupo AAA) 'Giant Cavendish'. Para MOREIRA (1987), a maneira correta de se denominar este tipo é: "Nanicão, triploide de *Musa acuminata* (AAA), do subgrupo Cavendish".

Com relação ao nome, ATEN et alii (1953), MONTGOMERY (1954), PURSEGLOVE (1972) e ALQUINI (1986), relatam a existência de ligações com as palavras árabes: 'musah', 'mauz', 'mouz'; com as musas da mitologia principalmente as deusas da inspiração; ou ainda com o nome de Antônio Musa, citado como médico (ou físico) de Otávio Augusto, primeiro imperador romano no período que viveu entre 63 e 14 antes de Cristo.

Com relação à ecologia das bananeiras, PURSEGLOVE (1972), menciona que são plantas de planícies tropicais úmidas, que crescem principalmente entre 30° Norte e 30° Sul do Equador; que necessitam de altas

---

SIMMONDS, N.W. **The evolution of the bananas.** London, Longman, 1962.

temperatura, umidade e intensidade de luz; que não toleram a competição com outros vegetais, principalmente com as gramas, não devem ser cultivadas em terrenos pobres ou secos, sem drenagens, precisando de grandes quantidades de água, de no mínimo, cerca de 25 mm/sem. Sobre as condições para o bom desenvolvimento das bananeiras, MOREIRA (1987) concorda com que a *Musa*, precisa de calor constante e adequada distribuição e exposição solar, além de que apresentam um ciclo de vida perfeitamente definido. O autor define o "ciclo vegetativo de uma bananeira" como sendo o período compreendido entre seu aparecimento na superfície da terra, sob a forma de "filhote", e a colheita de sua produção. Apresenta como definição alternativa, o "ciclo de produção de uma bananeira", como sendo o intervalo de tempo decorrido entre a colheita do cacho de uma bananeira e a colheita do cacho do seu filho. Os ciclos vegetativos e de produção são afetados por todos os fatores que atuam, direta ou indiretamente, na fisiologia da bananeira.

Morfologicamente, PURSEGLOVE (1972) descreve a *Musaceae*, como uma erva gigante, com um pseudocaule formado por bainhas foliares espiraladas colocadas; folhas novas formadas do meristema vizinho ao nível da terra, iniciando-se através do pseudocaule em uma condição fortemente cilíndrica; lâmina foliar grande, geralmente oblonga, com nervura central muito forte, com numerosas veias paralelas, de forma pinulada estendidas à margem; inflorescência terminal do meristema iniciando-se sobre o pedúnculo no centro do

pseudocaule e emergindo no centro da coroa de folhas; flores em cachos ou ramalhetes; e, como fruto, uma baga.

DAHLGREN et alii (1985), mencionam que o caule da *Musaceae* chamado de "corno", é subterrâneo, curto e fino. As folhas grandes, estão dispostas de maneira espiralada, formando uma roseta basal, porém acham-se sobrepostas umas sobre as outras sucessivamente no seu comprimento, formando um pseudocaule ao redor do talo até sua parte final.

Segundo MOREIRA (1987), o pseudocaule é formado pelas bainhas foliares que, sobrepondo-se concentricamente, dão um formato cilíndrico a esse órgão, podendo alcançar de 1,2 a 8,0 metros de altura, apresentando entre 10 e 50 centímetros de diâmetro e uma massa entre 10 a 50 quilogramas. O engaço é o alongamento do cilindro central do rizoma, tendo seu início no ponto de fixação da última folha e seu final na inserção da primeira penca; está revestido por pêlos rudimentares, e pode variar de 0 a 100 centímetros de comprimento, e ter entre 3 a 12 centímetros de diâmetro. Como continuação do engaço encontra-se "a ráquis", definida botanicamente como o "eixo", onde se inserem as flores de uma inflorescência; iniciando-se a partir do ponto de inserção da primeira penca e terminando no botão floral.

Na *Musaceae* existem vasos restritos às raízes, contendo placas de perfuração escalariformes e também simples; a camada externa da raiz, algumas vezes com periderme, tem cavidades cheias de ar e a estela contem numerosos

vasos dispersos e ilhas de floema com vários elementos crivados; sacos rafídeos estão amplamente distribuídos dentro da planta, contendo cristais de oxalato de cálcio que aparecem como cristais romboédricos; os autores também descrevem a existência de corpos de sílica nos brotos, a maioria das vezes ligados aos feixes vasculares (TOMLINSON, 1969; DAHLGREN et alii (1985).

A existência de laticíferos, do tipo articulado simples e intercomunicados na *Musa*, está mencionada por diferentes autores (MONTGOMERY, 1954; ESAU, 1972; FAHN, 1978 e ALQUINI, 1992). Haberlandt (1918)<sup>8</sup> citado por ALQUINI (1992), menciona que os laticíferos articulados, possuem septos transversais das células, e são perfurados por um ou mais poros. Os laticíferos são mencionados como chaves na identificação da família *Musaceae* por DAHLGREN et alii (1985) e associados aos feixes de fibras vasculares em todas partes da planta menos nas raízes.

ALQUINI (1992), pesquisando sobre a *Musa rosacea* Jacq., encontrou látex tanto nas células especializadas (laticíferos articulados), como nas células do parênquima, constituindo tecidos secretores. Os autores antes mencionados, concordam que o látex da *Musa*, está composto principalmente, por taninos, sendo visível sua presença, apontada pela secreção da seiva ou seja de substância aquosa, a qual se torna marrom escura quando exposta ao sol,

---

<sup>8</sup> HABERLANDT, G. **Physiologische pflanzenanatomie.** Leipzig, Verlag von Engelmann, 1918.

(PURSEGLOVE, 1972 e DAHLGREN et alii, 1985). Fahn (1990)<sup>9</sup> citado por ALQUINI (1992), menciona que os taninos quando observados na microscopia de luz, apresentam-se como aglomerados de corpúsculos coloridos de amarelo, vermelho ou castanho.

PORTER (1989) relata que os taninos vegetais estão presentes em grandes concentrações na maior parte das plantas lenhosas das coníferas e das folhosas dicotiledôneas, particularmente na casca e nos frutos; enquanto que nas folhosas monocotiledôneas, tais como para as famílias *Palmae*, *Musaceae* e *Iridaceae*, encontram-se em grandes concentrações nas folhas e nos frutos.

Alguns usos são mencionados para os taninos obtidos da bananeira, tais como: tinta têxtil (MONTGOMERY, 1954); e como mordente para tecidos e na fabricação de tinta (PURSEGLOVE, 1972).

Os taninos vegetais segundo FENGEL & WEGENER (1989), são compostos fenólicos que vão desde o simples fenol até sistemas flavonóides condensados, podendo ser extraídos com água quente da madeira e outros materiais (BUCHANAN, 1952).

JENSEN et alii, 1963; WENZEL, 1970; e FENGEL & WEGENER, 1989; classificam os taninos em hidrolisáveis e condensados. Os taninos hidrolisáveis, segundo BROWNING (1967), contêm ligações ésteres e glicosídicas, sendo geralmente ésteres do ácido gálico (galotaninos) e seus dímeros (ácido

---

<sup>9</sup> FAHN, A. **Plant anatomy**. Oxford, 4ed. Pergamon Press, 1990.

digálico e ácido elágico), conhecidos como elagitaninos. A este respeito WENZEL (1970) comenta que os taninos hidrolisáveis são ésteres de um açúcar, principalmente a glicose, com um ou vários ácidos carbocíclicos polifenólicos.

Com relação aos taninos condensados, WENZEL (1970) os define como constituídos por monômeros do tipo catequina, e JENSEN et alii (1963) narra que quando tratados com ácido produzem fleobáfeno.

Os taninos (STAMM & HARRIS, 1953), podem ser caracterizados qualitativamente por serem compostos solúveis em água, de gosto adstringente, que produzem colorações azul escuro ou verde com sais férricos; precipitam a gelatina, as proteínas solúveis e os alcalóides em solução; combinando-se com as proteínas da pele para produzir couro. BROWNING (1967) relata que os taninos vegetais hidrolisáveis produzem coloração azul com sais férricos, e verde com taninos do tipo catecol ou pirocatequina.

Nos processos de polpação os taninos, chegam a interferir nas reações dos processos sulfito, e bissulfito, podendo provocar reações de redução, produzindo tiosulfato ou provocando a condensação dos grupos benzil-álcool da lignina (WENZEL, 1970). Já, os taninos do tipo flavononas podem descolorir a pasta. FENGEL & WEGENER (1989), comentam que sob condições comparáveis de polpação Kraft e soda, os elagitaninos sofrem como reação principal a descarboxilação dos ácidos gálico e elágico, porém são resistentes ao álcali sob condições de polpação a soda a frio ou mecânica alcalina.

SEMANA et alii (1978), analisando as fibras do pseudocaule da bananeira, concluíram que elas podem ser comparadas com as fibras de materiais convencionais usados na produção de papel, tais como madeira de coníferas e abacá.

DARKWA (1988) relata que as fibras obtidas do pseudocaule da bananeira têm em média 4,0 mm de comprimento, enquanto TORRES (1981), estudando as fibras da ráquis da bananeira, encontrou fibras flexíveis, com boa superfície de contato e boa união fibra-fibra, o que permitiu classificá-las como fibras excelentes para fabricação de papel.

ALQUINI (1992), estudando as fibras da *Musa rosaceae* Jacq., encontrou fibras libriformes, e libriformes septadas no rizoma, no escapo floral, no limbo e na bainha foliar, sendo que nesta última apresentaram maior comprimento (valor médio de 3,051 mm). Resultados encontrados na literatura são apresentados na Tabela 3.1.

SEMANA et alii (1978), ao estudar sete variedades diferentes de bananeiras, concluíram que estas fibras em grupo, é um material desejável para produção de celulose e papel e apresentam, em relação às fibras do abacá, menos pentosanas, holocelulose e  $\alpha$ -celulose; mais lignina; maior quantidade de solúveis em álcool-benzeno e em hidróxido de sódio a 1%; além de mais cinzas e sílica. Comparando-as com outros materiais fibrosos, tais como o sisal, relata-se que elas apresentaram maior quantidade de holocelulose, mas menos de lignina e solúveis

em álcool-benzeno. Comparadas com madeira de coníferas e de folhosas apresentam maior quantidade de cinzas e de substâncias solúveis em soda a 1%.

Tabela 3.1. Dimensões médias das fibras de *Musa*

CARACTERÍSTICA	Ráquis <sup>1</sup>	Pseudocaule <sup>1</sup>	Bainha foliar <sup>2</sup>
Procedência	Costa Rica	Filipinas	Brasil
Comprimento (mm)	3,1-4,3	4,10	1,425-5,411
Largura (μm)	36	25	21
Espessura da parede (μm)	5	4	-
Diâmetro do lúmem (μm)	26	17	-

FONTE: TORRES (1981), SEMANA et alii (1987), ALQUINI (1992)

<sup>1</sup> 'Giant Cavendish'

<sup>2</sup> *Musa rosaceae* Jacq.

SHEDDEM (1978) e TORRES (1981), estudando a composição química das fibras da ráquis da bananeira, (variedade 'Giant Cavendish'), encontraram baixo teor de lignina (11,73%, base seca), mas altos teores de celulose e de hemiceluloses (53,50 e 15,92% em base seca, respectivamente). Estas características, segundo as autoras, tornam a espécie apropriada para obtenção de pastas de alto rendimento e de pastas de fácil refinação.

Com relação aos materiais estranhos, SHEDDEN (1978) determinou que a ráquis da bananeira contém baixos teores de resina e de extratos totais, (0,83 e 3,34%, em base seca, respectivamente), e altos teores de materiais solúveis em água fria e em água quente (11,00 e 13,39% em base seca respectivamente).

Analisando a composição química das fibras do pseudocaule da bananeira, variedade 'Giant Cavendish', SEMANA et alii (1978), encontraram alto teor de  $\alpha$ -celulose (62,7%) e baixo teor de lignina (12,7%) e concluíram que dentre outras variedades de bananeiras estudadas, esta é a mais recomendável para ser usada em grande escala na produção de celulose, pois apresenta alto teor de  $\alpha$ -celulose e baixos teores de materiais solúveis em NaOH 1%, cinzas e sílica.

## **3.2. Materiais e métodos**

### **3.2.1. Material**

O material utilizado no desenvolvimento deste trabalho foi ráquis de bananeira da variedade Nanicão, procedente da região do Vale do Ribeira, Município de Registro, Estado de São Paulo, Brasil. Especificamente, trata-se de material coletado nas plantações da firma "Bananas Magário", na idade de corte do cacho da bananeira, que nesta região é de 12,5 meses, sendo que a variedade

analisada é um triplóide de *Musa acuminata* (AAA), do subgrupo Cavendish (MOREIRA, 1987).

O Município de Registro, situa-se no extremo sul do Estado de São Paulo, na zona fisiográfica do litoral de Iguape. A posição da sede municipal é: 24° 29' 14" de latitude Sul e 47° 50' 17" de longitude W.Gr, distando 161 quilômetros, em linha reta, da Capital do Estado. O clima é quente com as seguintes variações térmicas: média das máximas 38 °C; média das mínimas 18 °C, média compensada 23 °C. A precipitação pluvial varia entre 1300 a 1500 mm. Os solos são caracterizados por latossolos vermelho-amarelo e podzólico vermelho-amarelo, com textura argilosa e gleys e solos hidromórficos (IBGE, 1958).

### **3.2.2. Métodos**

#### **3.2.2.1. Identificação das amostras**

A ráquis da bananeira tem uma forma basicamente cilíndrica, sendo que a parte mais velha fica junto ao botão floral e tem um diâmetro muito menor do que a parte mais nova que fica antes do cacho e onde o trabalhador faz o corte, esta parte tem um diâmetro maior. Para efeitos deste estudo, se chamará de "topo" a parte de menor diâmetro e de "base" a parte de maior diâmetro ou parte mais nova (Figura 3.1).

### **3.2.2.2. Caracterização física**

As dimensões e a massa médias das ráquis frescas, foram calculadas depois de realizar cem medições de comprimento; diâmetro da base, intermédio e do topo, com ajuda de um paquímetro, e cem pesagens do material em uma balança TOLEDO de carga máxima de 20 kg.

A densidade básica, definida como a relação entre a massa seca em estufa a 105 °C do material e o seu volume, quando em estado de completa saturação em água, foi determinada segundo a norma D-2395 (ASTM, 1983). O volume foi determinado pelo método do empuxo hidrostático utilizando mercúrio.

A densidade aparente foi calculada como a relação entre a massa do corpo de prova e o seu volume, com a umidade presente. Ambas as densidades foram analisadas em duas posições, no "topo" e na "base".

### **3.2.2.3. Caracterização anatômica, macro e microscópica**

Para os estudos anatômicos, macroscópicos e microscópicos do material, foram obtidas amostras em forma de discos, em duas diferentes posições no sentido longitudinal da ráquis. Os discos de 2 cm de espessura foram cortados a 10 cm dos extremos da ráquis, "topo" e "base".

Cada disco da ráquis, seccionado nas posições indicadas, foi cortado diametralmente em duas partes. Uma das partes foi utilizada para a realização dos cortes histológicos em micrótomo de deslize, (marca Reichert, NR 3072319), e a outra foi utilizada para a dissociação dos elementos anatômicos.

Para a realização dos cortes histológicos, foram colocadas amostras da ráquis "*in natura*" dentro de formas de plástico imersas em polietileno-glicol 1500 (PGE-1500) a 60 °C por 72 horas, aí foram endurecidas ao ocorrer o processo de deslocamento da água pelo PEG-1500, após foram passadas à geladeira. Quando retiradas das formas e antes da realização dos cortes no micrótomo foram eliminados os excessos de PEG-1500 dos lados com um canivete.

Foram realizadas medições do diâmetro dos elementos traqueais, 200 na posição "base" e 200 na posição "topo", utilizando as lâminas fixas dos cortes histológicos e um microscópio de luz.

Para estudar a variação das dimensões dos elementos, nas posições "interna-externa", foram lascadas fatias radiais no sentido longitudinal, sendo divididas cuidadosamente em dois grupos. O grupo interno incluiu o material desde a medula até a metade do comprimento radial, e o externo, desse ponto até a periferia ( Figura 3.1).

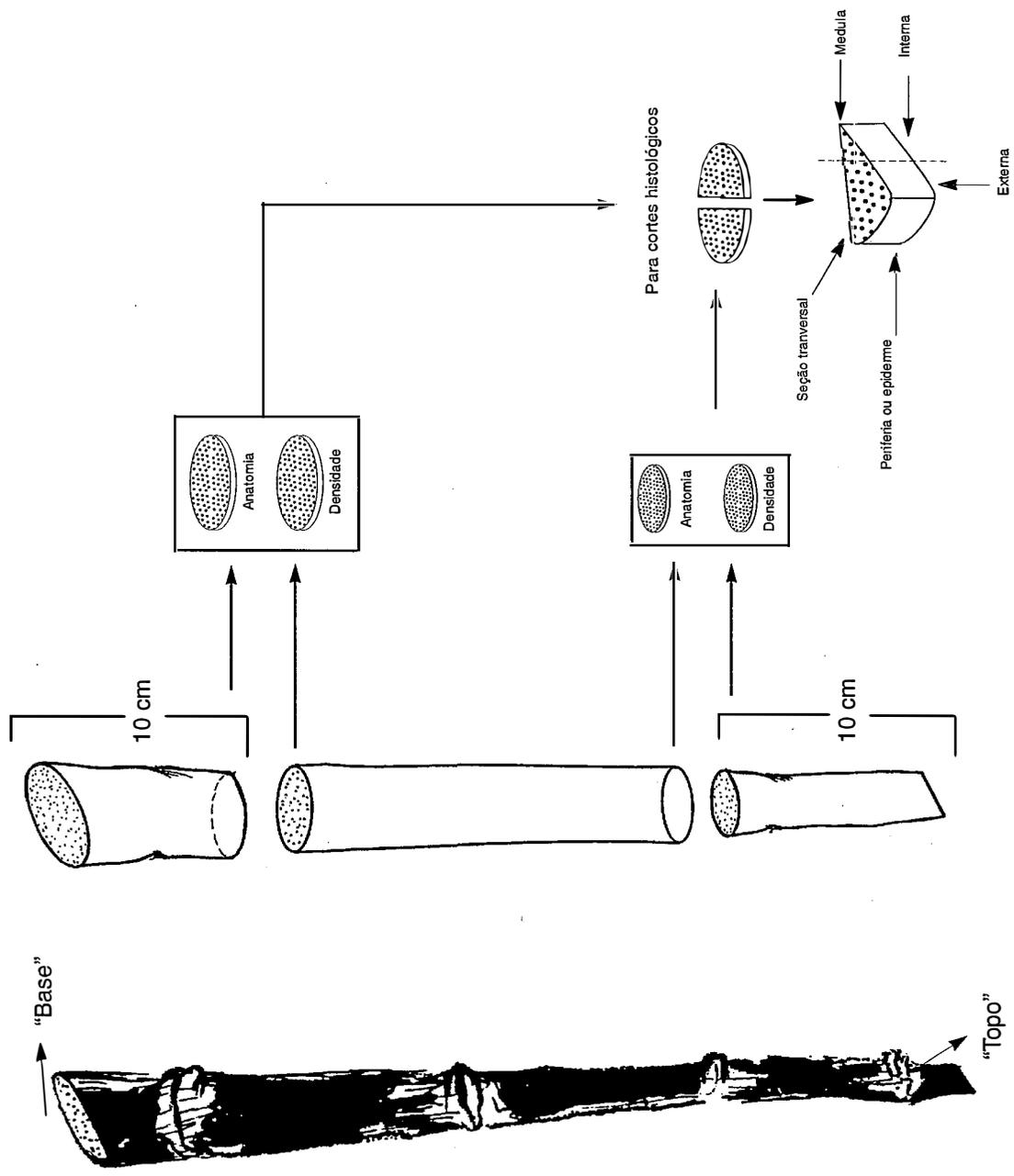


Figura 3.1. Esquema da extração de amostras da ráquis para estudos anatômicos e físicos.

O processo de dissociação foi conduzido a 60 °C durante algumas horas, utilizando uma mistura de ácido acético e peróxido de hidrogênio (100 volumes), em uma relação 1:1. Posteriormente o material remanescente foi lavado com água abundante, e depois tingido com safranina 5% solução aquosa e hematoxilina, antes da preparação das lâminas para observação ao microscópio de luz; a hematoxilina ajuda ressaltar as paredes das fibras quando elas são muito finas.

Foram realizadas no mínimo 30 medições de comprimento da fibra ( $C$ ), de largura da fibra ( $L$ ) e de diâmetro do lúmem da fibra ( $I$ ), por duplicata em quatro posições: base-interna, base-externa, topo-interna e topo-externa, sendo pelo tanto no mínimo 60 medições em cada posição.

A espessura da parede ( $e$ ) foi calculada como a metade da diferença entre a largura da fibra e o diâmetro do lúmem ( $e = (L - I)/2$ ).

Para cada uma das dimensões anteriores foi calculado o valor médio e o coeficiente de variação.

Com os resultados médios das dimensões das fibras, foram calculadas algumas relações de interesse na caracterização de fibras para uso na produção de celulose e papel, entre elas, o Coeficiente de Flexibilidade, o Índice de Runkel, o Índice de Enfeltramento e a Fração Parede.

O Coeficiente de Flexibilidade, corresponde à porcentagem entre o diâmetro do lúmem e a largura da fibra, relacionando o grau de contato entre fibras

na formação do papel e sua resistência mecânica final. A classificação das fibras com base neste coeficiente apresenta-se na Tabela 3.2.

O Índice de Runkel é definido como duas vezes a espessura média da parede da fibra dividida pelo diâmetro médio do lúmen, é útil para determinar a potencialidade de uma espécie na produção de papel. O critério de classificação das fibras segundo este índice apresenta-se na Tabela 3.3.

Tabela 3.2. Classificação das fibras segundo o Coeficiente de Flexibilidade

<b>COEFICIENTE DE FLEXIBILIDADE</b>	<b>CARACTERÍSTICAS</b>
<b>&gt; 75</b>	Fibras que têm sofrido colapso, boa superfície de contato, boa união fibra-fibra.
<b>75 - 50</b>	Fibras que têm sofrido colapso parcial, com uma boa seção transversal de forma elipsoidal. Boa superfície de contato. Boa união fibra-fibra.
<b>50 - 30</b>	Fibras que têm sofrido pouco colapso, pouca superfície de contato. Pouca união fibra-fibra.
<b>&gt; 30</b>	Fibras que não têm sofrido colapso. Muito pouca superfície de contato. Fraca união fibra-fibra.

FONTE: Istas et alii (1954) citados por PALMER & GIBBS (1974)<sup>10</sup>

<sup>10</sup>

ISTAS, J.R.; HEREMANS, R.; RAEKELBOOM, E.L.; I.N.E.A.C. Série Technique 43. p.29, 1954.

Tabela 3.3. Qualidade das fibras para a produção de papel, segundo o Índice de Runkel

Índice de Runkel	Qualidade	Grupo
0,00-0,25	Excelente	I
0,25-0,50	Muito boa	II
0,50-1,00	Boa	III
1,00-2,00	Regular	IV
> 2,00	Má	V

FONTE: Runkel (1952)<sup>11</sup> citado por CARPIO (1992)

Valores altos do Índice de Runkel indicam fibras mais rígidas que formam papéis mais volumosos com zonas de união mais baixas.

O Índice de Enfeltramento é definido como a relação entre o comprimento médio e a largura média da fibra, e a Fração Parede calcula-se como a porcentagem de duas vezes a espessura média da parede, dividida pela largura média da fibra.

<sup>11</sup> RUNKEL, R.O.H. *Pulp from tropical wood*. TAPPI 35(4):174-178, 1952.

#### 3.2.2.4. Caracterização química

As análises químicas foram realizadas com o material em duas formas: integral e beneficiado, ambos secos ao ar. Os materiais foram moídos em moinho de martelos e peneirados até atingir a granulometria necessária segundo as normas utilizadas.

As análises foram feitas no mínimo em duplicata, e o resultado foi reportado como o valor médio referido em relação à massa seca de material, junto com o coeficiente de variação.

O teor de extratos totais, foi determinado após extrações com diclorometano, álcool-tolueno 1:2, álcool etílico 95% e água, e o teor de lignina Klason, segundo a norma T-13m (TAPPI, 1992).

Os teores de materiais solúveis foram determinados em hidróxido de sódio 1%, segundo a norma T-4m (TAPPI, 1992); em água quente e em água fria, segundo a norma T-207 (TAPPI, 1992).

A solução obtida depois da extração do material com água fervendo foi filtrada e daí determinada a quantidade de taninos presentes, utilizando o método colorimétrico descrito por TARAS (1963) e FRANSON (1981), o qual se baseia na formação de uma cor azul, formada quando reagem os grupos hidroxilas aromáticos dos taninos com os ácidos tungstofosfórico e molibdofosfórico; foi feita uma curva de calibração empregando ácido tânico.

O teor de material inorgânico ou cinzas, foi determinado segundo a norma T-211 (TAPPI, 1992).

O teor de holocelulose quando possível foi calculado como a diferença entre o material original e o teor de lignina, o teor de extratos totais e o teor de material inorgânico.

Além, foi determinado o poder calorífico superior para o material integral, seguindo a norma D-3286-82 (ASTM, 1984).

### **3.3. Resultados experimentais e discussão**

#### **3.3.1. Caracterização física**

A ráquis da bananeira tem uma forma quase cilíndrica, sendo o diâmetro menor no extremo mais próximo ao botão floral, seu comprimento é muito variável porque depende entre outros fatores de como o trabalhador faz o corte e da estação do ano em que é feita a coleta.

Devido ao seu alto teor de umidade, quando o material seca-se ao ar ou na estufa sofre uma grande contração volumétrica.

Os resultados das propriedades físicas da ráquis da bananeira apresentam-se na Tabela 3.4.

Tabela 3.4. Caracterização física da ráquis da  
bananeira “*in natura*”

CARACTERÍSTICA	Médio	Máximo	Mínimo	Desvio padrão
Teor de umidade (% base úmida)	93,6	94,93	92,98	0,50
Densidade básica (kg/m <sup>3</sup> )	51	52	49	1,3
Densidade aparente (kg/m <sup>3</sup> )	954	969	947	9,1
Densidade de empacotamento (kg/m <sup>3</sup> ) <sup>12</sup>	421	--	--	--
Teor de umidade de saturação (% base úmida)	94,64	94,83	94,46	0,139
Comprimento (m)	0,724	0,885	0,600	0,096
Diâmetro (cm)				
Topo	2,85	3,74	2,00	0,055
Intermédio	3,99	4,80	3,06	0,049
Base	5,13	6,20	4,11	0,061
Massa (kg)	1,800	2,880	1,280	0,309

<sup>12</sup>

LÓPEZ, J. (Engenheiro agrónomo, Siquirres). Comunicação pessoal, 1996.

### **3.3.2. Caracterização anatômica, macro e microscópica**

#### **3.3.2.1 Estrutura transversal**

A ráquis da bananeira em sua seção transversal apresenta uma estrutura anatômica caracterizada por numerosos feixes fibro-vasculares envolvidos por células de parênquima, com epiderme papilosa e suber estratificado.

As células estão dispostas no sentido longitudinal, não possuindo células dispostas no sentido radial, como os raios das dicotiledôneas e gimnospermas.

Os tecidos da ráquis da bananeira estão formados dos seguintes tipos de células:

- células de parênquima formando o tecido fundamental
- elementos traqueais com espessamento helicoidal, com células companheiras formando os feixes fibro-vasculares
- fibras formando as bainhas de fibras.

A estrutura da seção transversal da ráquis está mostrada nas Figuras 3.2a. e 3.2b.

O tecido parenquimatoso é mais abundante nas camadas mais internas da ráquis, diminuindo gradativamente em direção à periferia.

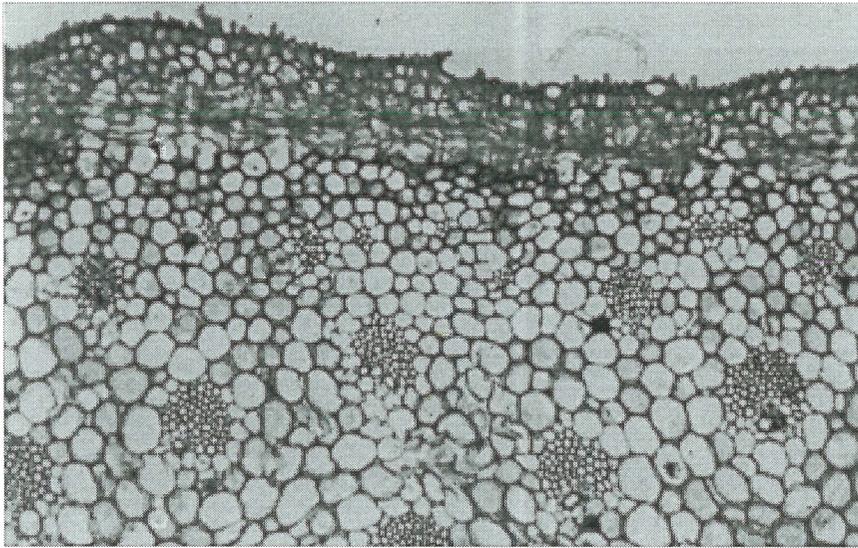


Figura 3.3a. Micrografia da seção transversal da ráquis de *Musa* Grupo AAA "Giant Cavendish", próximo da epidermi (40X)

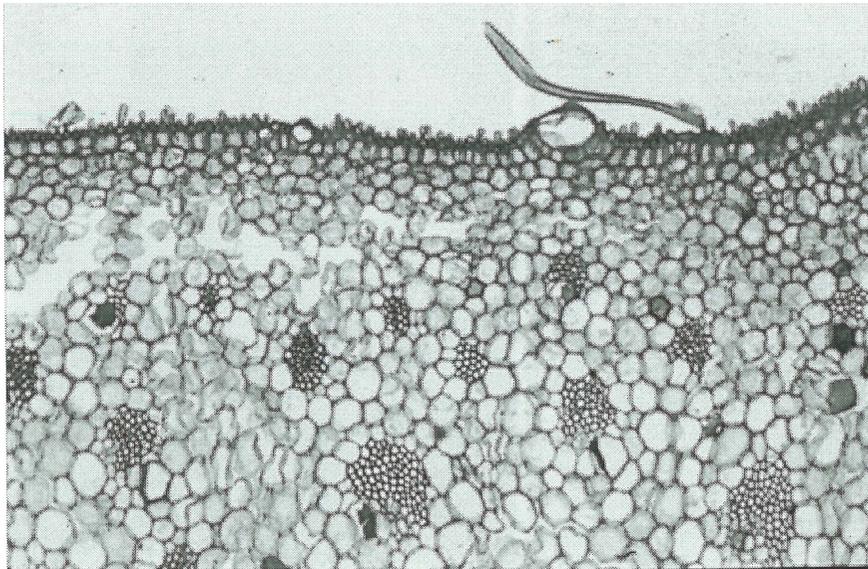


Figura 3.3b. Micrografia da seção transversal da ráquis de *Musa* Grupo AAA "Giant Cavendish", próximo da epidermi (40X)

Os feixes vasculares, são formados pelo xilema, com um elemento traqueal e algumas vezes com dois, com 1 ou 2 vasos de metaxilema, o qual pode ser observado nas Figuras 3.3a. e 3.3b.

No sentido transversal da ráquis, os elementos traqueais são de diâmetro maior e se encontram em menor número na parte interna, existindo de menor diâmetro e em maior número na parte externa; os feixes maiores têm mais floema e aparecem maior número de elementos traqueais.

A distribuição das bainhas ou feixes é ao acaso no feixe fibrovascular (distribuição atastotélica), apresentando feixes de fibras isolados em um lado ou em ambos lados do feixe vascular, ou seja, eles não fecham o elemento, e em maior quantidade na área oposta ao metaxilema.

Os tricomas da epiderme são do tipo unicelular e de diferentes tamanhos, curtos e muito compridos; eles podem ser observados nas Figuras 3.4a. e 3.4b.

### **3.3.2.2 Estrutura longitudinal**

Na estrutura longitudinal, observando de fora para dentro existe: epiderme, várias camadas de parênquima, bainhas de fibras isoladas, camadas de floema junto dos feixes fibro-vasculares; também, canais ou dutos, conhecidos como laticíferos, cheios de substâncias de cor vermelho acastanhado.

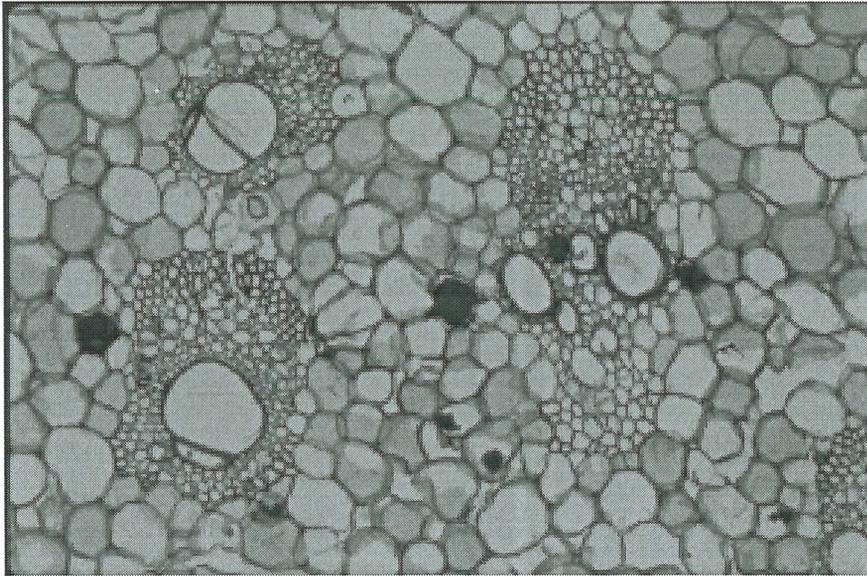


Figura 3.3.a. Micrografia da seção transversal da ráquis de *Musa* Grupo AAA "Giant Cavendish", mostrando os feixes fibro-vasculares (100X)

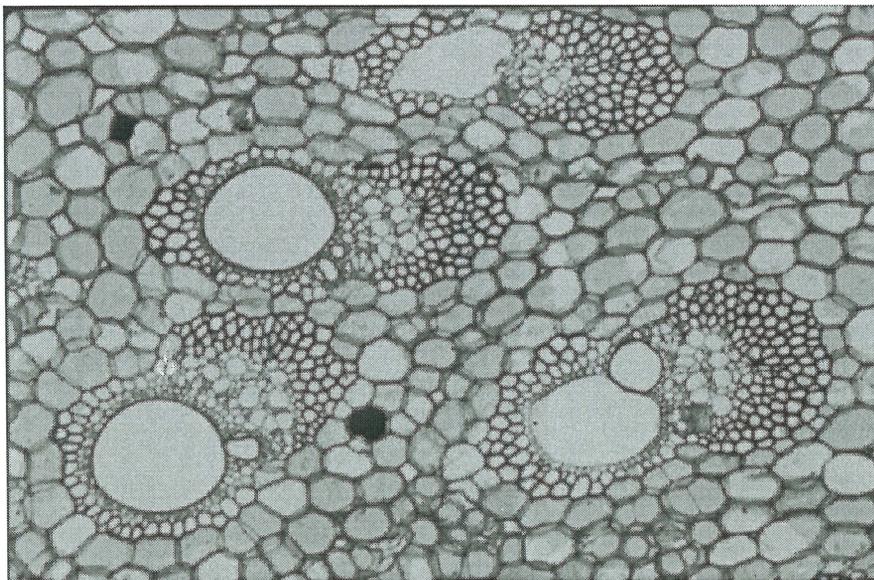


Figura 3.3.b. Micrografia da seção transversal da ráquis de *Musa* Grupo AAA "Giant Cavendish", mostrando os feixes fibro-vasculares (100X)

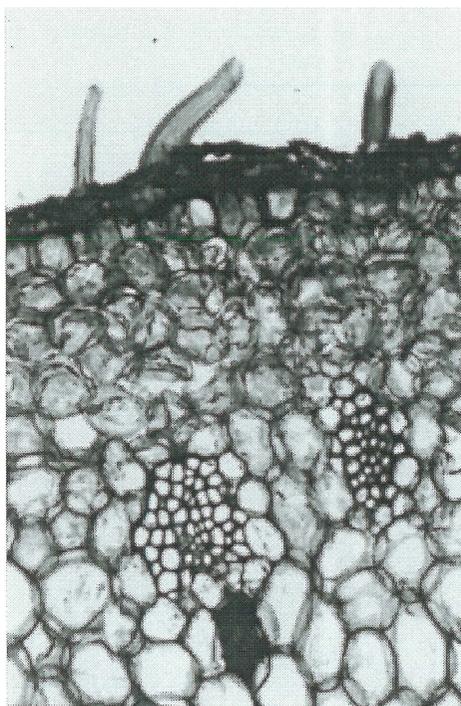


Figura 3.4.a. Micrografia da seção transversal da ráquis de *Musa* Grupo AAA "Giant Cavendish", mostrando os tricomas curtos (100X)

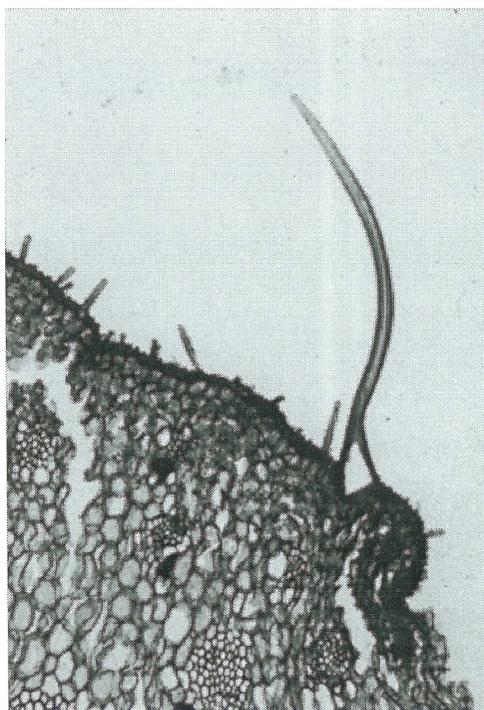


Figura 3.4.b. Micrografia da seção transversal da ráquis de *Musa* Grupo AAA "Giant Cavendish", mostrando os tricomas compridos (100X)

Um detalhe da estrutura longitudinal encontra-se na Figura 3.5a. e a localização axial dos feixes de fibras apresenta-se na Figura 3.5b. Os elementos traqueais (Figura 3.6a.) apresentam espessamento do tipo helicoidal, o qual pode ser observado na Figura 3.6b.; os laticíferos encontrados são do tipo articulados simples e anastomosados ou seja associados aos tecidos vasculares, do tipo reportado por (ESSAU, 1972); além, foram observados muitos cristais prismáticos (Figura 3.6b), nos elementos traqueais e em algumas células de parênquima; geralmente refringentes na luz polarizada, determinou-se que esses cristais não eram de sílica pelo fato de não serem amorfos.

Tanto a Figura 3.5b. quanto a Figura 3.6a. foram obtidos na Unidad de Microscopía (UME) pela bióloga Ethel Sánchez e foram reproduzidos com autorização do Laboratorio de Productos Forestales da Universidade de Costa Rica.

### **3.3.2.3 Anatomia e morfometria de fibras**

Para avaliar os resultados das medições anatômicas das fibras da ráquis da bananeira foi realizada uma análise de variância multivariada (MANOVA) tendo como variáveis dependentes as seguintes: comprimento de fibra (mm), largura da fibra ( $\mu\text{m}$ ), diâmetro do lúmem ( $\mu\text{m}$ ) e espessura da parede da fibra ( $\mu\text{m}$ ).

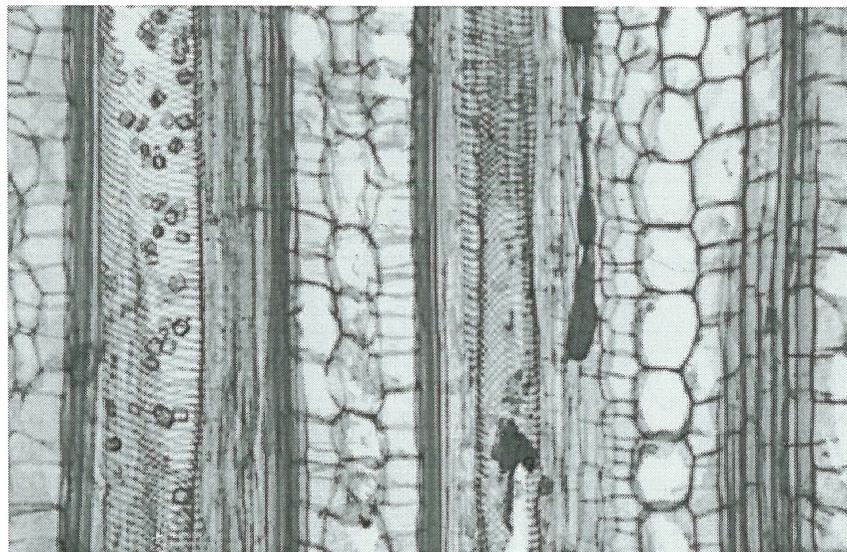


Figura 3.5.a. Micrografia da seção longitudinal da ráquis de *Musa* Grupo AAA "Giant Cavendish" (40X)

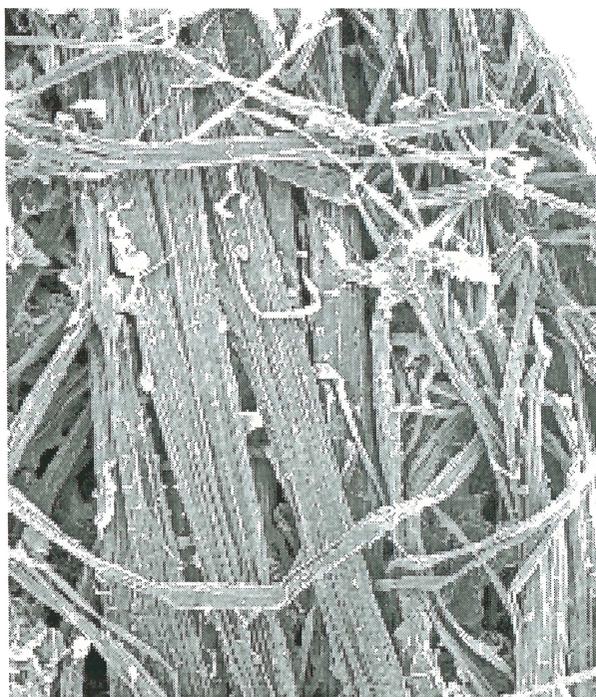


Figura 3.5.b. Micografia dos feixes de fibras da ráquis de *Musa* Grupo AAA "Giant Cavendish" (40 X)

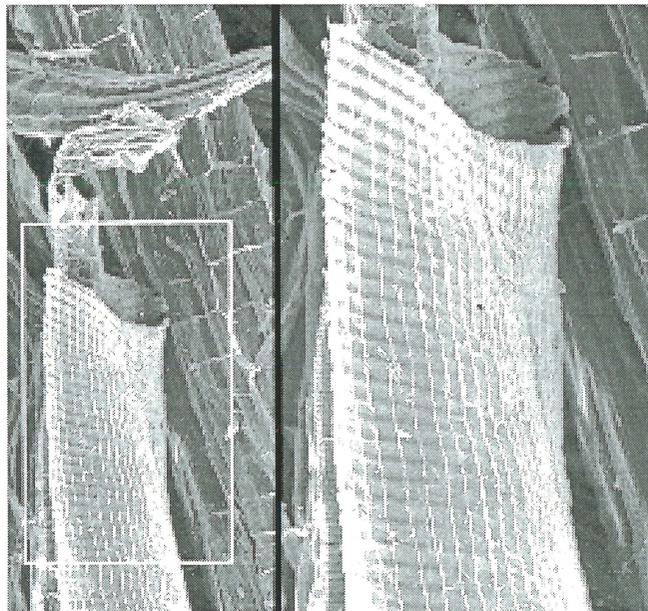


Figura 3.6.a. Micrografia de um elemento traqueal da ráquis *Musa* Grupo AAA "Giant Cavendish" (1200X)

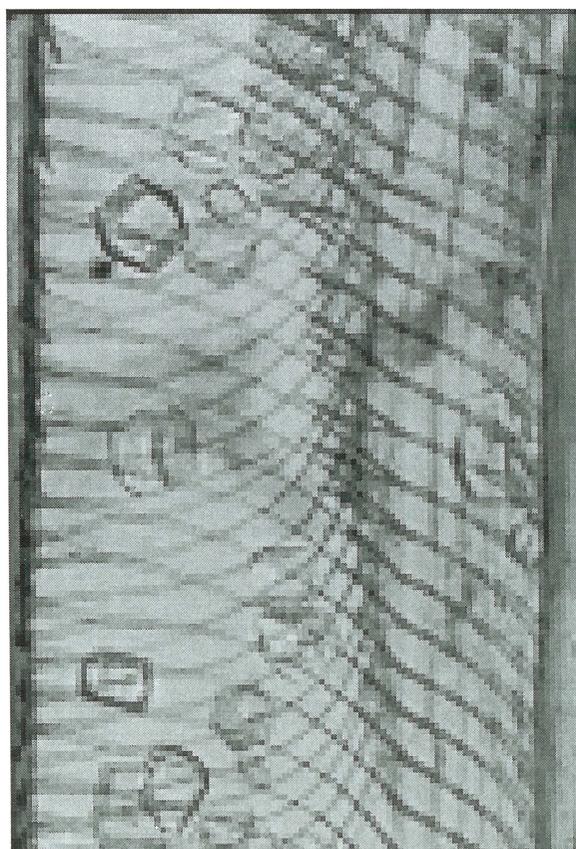


Figura 3.6.b. Micrografia da seção longitudinal da ráquis de *Musa* Grupo AAA "Giant Cavendish" mostrando os cristais presentes nos elementos traqueais (200X)

Como variáveis independentes foram consideradas quatro posições na ráquis. Duas posições ao longo da ráquis chamadas de "base" e "topo", e duas posições ao longo do raio da ráquis, chamadas de "interna" e "externa". Um total de 234 valores foram analisados para as quatro variáveis dependentes nas quatro posições consideradas.

Inicialmente foram avaliadas as premissas da análise de variância: normalidade dos dados e homogeneidade das matrizes de dispersão, esta última pelo teste Box's M, apresentado no programa SPSS/PC+.

Foi observado que o teste de homogeneidade das matrizes de dispersão foi não significativo, sendo que ao nível de 5% de probabilidade as matrizes de dispersão são iguais. Portanto, pode-se trabalhar com a matriz de dispersão comum. Com relação à normalidade dos dados, há evidências de que as variáveis seguem uma distribuição normal. Portanto, as premissas da análise de variância multivariada foram satisfeitas.

O teste foi significativo ao nível de 5% de probabilidade, sendo que existe interação entre as posições "topo-base" e "externa-interna". Isto implica que, as posições não podem ser consideradas separadamente para efeito de análise das variáveis das dimensões anatômicas consideradas.

Para se avaliar qual das variáveis anatômicas medidas foi a responsável pela significância da interação, fez-se uma análise de variância univariada para cada uma das variáveis separadamente. Observa-se que somente

o comprimento de fibra foi significativo ao nível de 5%. Portanto, há evidências de que o comprimento das fibras da ráquis da bananeira varia entre "topo-base" e nessas posições varia entre "interna-externa", ou seja da medula para a periferia.

Na Tabela 3.5. apresentam-se os resultados médios, máximos, mínimos e o coeficiente de variação, para a largura da fibra, diâmetro do lúmem e a espessura da parede; devido a que o comprimento apresentou variação nas diferentes posições, são mostrados os resultados para cada uma assim como também a distribuição das fibras pelo seu comprimento na Tabela 3.6.

Tabela 3.5. Dimensões das fibras da ráquis da bananeira

<b>CARACTERÍSTICA</b>	<b>Valor Médio</b>	<b>Valor Máximo</b>	<b>Valor Mínimo</b>	<b>Coeficiente de variação (%)</b>
Largura da fibra ( $\mu\text{m}$ )	27,8	52,3	15,6	24
Diâmetro do lúmem ( $\mu\text{m}$ )	18,2	40,8	7,8	34
Espessura da parede ( $\mu\text{m}$ )	4,8	8,7	1,7	30
Comprimento (mm)				
Base-externa	3,003	5,227	1,426	29
Base-interna	3,857	6,336	1,996	24
Topo-externa	2,944	5,734	1,267	31
Topo-interna	3,136	5,892	1,346	23

Tabela 3.6. Distribuição pelo comprimento das fibras da ráquis da bananeira

COMPRIMENTO DA FIBRA	ÂMBITO (mm)	PROPORÇÃO (%)			
		BASE- EXTERNA	BASE- INTERNA	TOPO- EXTERNO	TOPO- INTERNO
Extremamente curtas	(< 0,5)	0	0	0	0
Muito curtas	(0,5 < 0,7)	0	0	0	0
Moderadamente curtas	(0,7 < 1,6)	2	0	3	1
Moderadamente compridas	(1,6 < 2,2)	15	3	17	9
Muito compridas	(2,2 < 3,0)	37	19	35	33
Extremamente compridas	(> 3,0)	46	78	45	57

As diferentes relações morfológicas entre as dimensões das fibras da bananeira podem ser observadas na Tabela 3.7.

Tabela 3.7. Relações morfológicas das fibras da ráquis da bananeira

CARACTERÍSTICA	VALOR MÉDIO
Coeficiente de flexibilidade ( $\frac{F}{L}$ )	65
Índice de Runkel ( $\frac{2 \cdot e}{l}$ )	0,46
Fração parede ( $\frac{2 \cdot e}{L}$ )	34
Índice de enfiamento ( $\frac{C}{L}$ )	
Base-externa	108
Base-interna	139
Topo-externa	106
Topo-interna	113

Observou-se que os diâmetros dos elementos traqueais são muito variáveis desde a periferia até a medula, também que apresentam diferença entre posições Topo e Base; na Tabela 3.8 são apresentados os valores médio, máximo e mínimo junto com o seu coeficiente de variação para cada posição. Segundo o especificado por (TORTORELLI, 1956) foi feita uma distribuição por tipo de diâmetro dos elementos traqueais, a qual apresenta-se na Tabela 3.9.

Tabela 3.8. Diâmetro dos elementos traqueais

POSIÇÃO	DIÂMETRO			
	Médio ( $\mu\text{m}$ )	Coefficiente de variação (%)	Máximo ( $\mu\text{m}$ )	Mínimo ( $\mu\text{m}$ )
Base	197	85	315	79
Topo	149	64	216	82

Tabela 3.9. Distribuição dos elementos traqueais pelo diâmetro

TAMAÑO DE DIÂMETRO	ÂMBITO ( $\mu\text{m}$ )	PROPORÇÃO (%)	
		BASE	TOPO
Pequeno	(25 a 100)	2	3
Médio	(100 a 200)	38	93
Grande	(200 a 300)	56	4
Muito grande	(> 300)	4	0

### 3.3.3. CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA

A caracterização química da ráquis da bananeira enquanto a composição, substâncias solúveis, poder calorífico e teor de taninos, apresenta-se na Tabela 3.10, para o material na sua forma original ou integral.

Tabela 3.10. Caracterização química da ráquis da bananeira *in natura*

<b>COMPOSIÇÃO</b>	<b>Valor médio</b>	<b>Coefficiente de variação (%)</b>
<b>COMPOSTOS ESSENCIAIS OU PRIMÁRIOS</b>		
Holocelulose* (% base seca)	≈ 33	--
Lignina (% base seca)	8,67	18.75
<b>COMPOSTOS SECUNDÁRIOS OU ESTRANHOS</b>		
Extratos totais (% base seca)	44,16	3.22
Material inorgânico (% base seca)	22,84	0.23
<b>SOLUBILIDADE EM:</b>		
água quente (% base seca)	43,22	1.91
água fria (% base seca)	37,25	9.05
NaOH 1% (% base seca)	61,45	0.77
<b>TANINOS</b> (% base seca)	0,67	1.33
<b>PODER CALORÍFICO SUPERIOR</b> (kcal/kg)	3296	1.76

### 3.4. Conclusões específicas

Fisicamente, em média a ráquis da bananeira possui um altíssimo conteúdo de umidade (93,6%), sendo que a contração volumétrica de úmido à seco é altíssima. A densidade básica é baixíssima (51 kg secos por cada metro cúbico de material úmido) e a densidade aparente é de 954 kg por cada metro cúbico de material com a umidade original.

Anatomicamente a ráquis da bananeira apresenta uma estrutura típica de uma monocotiledônea, feixes vasculares imersos em um mar de parênquima; o metaxilema com um ou dois elementos traqueais os quais apresentam espessamento helicoidal, e grande quantidade de cristais refringentes na luz polarizada; o floema composto de proto e meta floema disperso ao acaso; presença de laticíferos articulados simples associados aos feixes vasculares preenchidos com substâncias de cor vermelho

Morfologicamente as fibras da ráquis da bananeira são, extremamente compridas (mais do 80% são maiores de 3,0 mm); as paredes das fibras são finas (lúmem é 65% da largura da fibra); e a largura da fibra considera-se média (entre 25 e 40  $\mu\text{m}$ ).

Os diâmetros dos elementos traqueais variam entre as posições "base" e "topo". Na "base" são elementos traqueais de diâmetro grande, 38% entre 100 e 200  $\mu\text{m}$  e 56% entre 200 a 300  $\mu\text{m}$ , porém no "topo" 93% dos

elementos traqueais está entre 100 a 200  $\mu\text{m}$ . Conclui-se que os diâmetros dos elementos traqueais são de tamanho médio no “topo” e grande na “base”.

Analisando as relações morfológicas, segundo o Índice de Runkel (0,46) as fibras da ráquis da bananeira se classificam no grupo II, pelo que podem ser consideradas como fibras de muito boa qualidade para produção de papel; segundo o Coeficiente de Flexibilidade (65), pode-se dizer que as fibras têm sofrido colapso parcial apresentando boa superfície de contato e boa união fibra-fibra; além, apresentam Índices de Enfeltramento entre 106 e 139, entre maior estes índices as fibras consideram-se flexíveis e com boas possibilidades de formar papéis bem ligados.

Quimicamente, a ráquis da bananeira na sua forma original contém altos teores de extratos (44,16%) e de materiais inorgânicos (22,84%) o que reflete em baixos teores de holocelulose e por tanto em baixos rendimentos de polpação, uma vantagem e o seu baixo teor de lignina (8,67%) característico de fibras anuais e que dispensa o uso de reagentes químicos seletivos para a eliminação desta.

O teor de holocelulose não pode ser determinado pela diferença entre o material original a lignina, os extratos totais, e o material inorgânico pelos altos teores dos dois últimos, pelo que foi considerado como o valor da fração “fibra” obtida no capítulo 4.

Além disto, a ráquis da bananeira contém grande proporção mássica de substâncias solúveis em água quente (43,22%), em água fria (37,25%) e em

hidróxido de sódio a 1% (61,45%), isto reflete em baixos rendimentos em processos de polpação. Praticamente todos os extraíveis são solúveis em água quente já que os seus teores são muito semelhantes, isto é interessante de conhecer porque não precisa de substâncias químicas para deixar o material livre de extratos.

Por outro lado, o conteúdo de taninos é muito baixo (0,67%), sendo eles de cor castanho ou vermelho, do tipo hidrolisáveis pela reação azul que apresentam com os sais férricos.

Energeticamente, a ráquis da bananeira apresenta um poder calorífico superior médio de 3296 kcal/kg, valor bastante inferior ao da madeira.

## **4. BENEFICIAMENTO DE FIBRAS ANUAIS**

Este capítulo contém uma detalhada revisão de literatura sobre os diferentes métodos de beneficiamento de fibras anuais: manuais, físico-mecânicos e termoquímicos, sendo que para nível industrial a experiência está baseada no bagaço de cana-de-açúcar, material semelhante em estrutura à ráquis da bananeira.

Apresentam-se os resultados das experiências realizadas a nível de laboratório com a ráquis da bananeira, os rendimentos obtidos e a eficiência de separação da “medula” para a obtenção de fibras limpas para uso em polpação. Comentam-se também as dificuldades práticas encontradas na execução desta parte do trabalho.

#### 4.1. Revisão bibliográfica

MONTGOMERY (1954) relata que através da história, a celulose tem sido um material muito importante na vida econômica do homem. Os egípcios já usavam fibras de celulose da planta de papiro para vestuário e papel. Comenta ainda que a celulose está presente em toda matéria vegetal, variando sua qualidade de acordo com o tipo de planta e raramente ocorre sozinha na natureza, estando sempre associada a outras substâncias. Há muito tempo, os povos antigos já faziam pequenos melhoramentos nos métodos de extração de celulose, provenientes de fibras longas presentes em plantas tais como: cânhamo, linho, rami e algodão.

Em geral, as fibras obtidas das monocotiledôneas e em particular das folhas de bananeira, são classificadas como "fibras duras", do inglês "leaf fibers", pelo fato de serem geralmente endurecidas e de textura mais grossa do que as fibras obtidas dos talos das plantas dicotiledôneas, denominadas "fibras da casca", do inglês "bast fibers" (ATEN et alii, 1953; MONTGOMERY, 1954; ESAU, 1972).

Essas "fibras duras" ocorrem em feixes, que são verdadeiros agregados de células individuais com os finais sobrepostos, produzindo filamentos contínuos por todo o comprimento da folha (MONTGOMERY, 1954). No talo os feixes estão dispersos por todo o tecido principal, formando o sistema vascular

(FAHN, 1978). Os feixes geralmente estão envolvidos por células parenquimáticas, conhecidas como "medula" (no inglês "pith"), este particular é descrito para o bambu por TOMAZELLO & AZZINI (1988) e para o bagaço de cana-de-açúcar, por ATCHINSON (1987b). Com relação ao pseudocaule da bananeira, DARKWA (1988) relata que a relação entre fibras e medula é de 70:30.

O termo "beneficiamento de fibras" usado amplamente na literatura consultada, tem sido definido como um processo de limpeza das fibras provenientes de vários tipos de materiais vegetais, tais como: rami, abacá, bagaço de cana-de-açúcar, linho, kenaf, etc. É conhecido também pelos nomes de "desmedulamiento" em espanhol, "desmedulamento" em português, e "depithing", em inglês. Basicamente, consiste na separação do tecido parenquimatoso que envolve os feixes de fibras, além de pectinas e outras substâncias que são indesejáveis nos processos de produção de celulose, de papel e de painéis de boa qualidade.

Para utilizar resíduos agro-industriais que contêm medula, na produção de celulose, papel e painéis, ATCHINSON (1972, 1987b, 1988) afirma que a medula deve ser removida, sempre que possível. Quando ambos, medula e sujeiras, são separadas totalmente das fibras, elas ficam limpas e uniformes, para o uso nas operações subseqüentes de polpação. O autor afirma que independente do processo de polpação, a medula confere decididamente a mínima resistência à penetração e à ação de reagentes químicos, consumindo uma grande porção

deles e gerando um baixo rendimento de pasta utilizável. Além disso, os componentes não fibrosos "*in natura*" que ficam na pasta, danificam a sua qualidade e afetam o acabamento final do papel. (GONZÁLEZ et alii, 1993; PATEL et alii, 1985). Com relação à bananeira, DARKWA (1988) menciona a necessidade de se reduzir ou mesmo eliminar a medula quando o pseudocaule é utilizado na produção de celulose para papel.

Referindo-se a diferentes materiais vegetais o ATCHINSON (1987b), afirma que o beneficiamento dos materiais deve ser economicamente viável e feito por meios mecânicos.

Diferentes processos de beneficiamento mecânico aplicado a diversas plantas anuais são mencionados na literatura (ATEN et alii, 1953; MONTGOMERY, 1954; COOK, 1968; ESTUDILLO, 1977; BENATTI JUNIOR, 1986; GROOT et alii, 1988; ATCHINSON, 1987b, 1988, 1989; SANTANA & TEIXEIRA, 1993).

O beneficiamento manual de plantas anuais é apresentado por BENATTI JUNIOR (1986), quando aplicado ao rami; por ESTUDILLO (1977); para as fibras do abacá; e, por ATEN et alii (1953), para o pseudocaule da bananeira. Este processo consiste na raspagem manual da epiderme do vegetal mediante o uso de facas, produzindo baixíssimo rendimento de fibra além de ser necessário o emprego de muita mão-de-obra.

Nas Filipinas, para o beneficiamento das fibras do pseudocaule das bainhas foliares do abacá (*Musa textilis* Nee), MONTGOMERY (1954) comenta que o método mais amplamente usado e mais velho, consta de duas operações: separação da camada externa fibrosa de cada bainha foliar, conhecido como "tuxying", seguida da remoção do material mucilaginoso liberando assim os filamentos, denominados simplesmente de "fibras do tuxy" ou fibras.

Ambas as operações são efetuadas logo após o corte ou caída do pseudocaule. O trabalhador introduz a ponta de uma faca entre as camadas externa e intermédia do pseudocaule, liberando a camada externa que apresenta aproximadamente 2,54 a 7,62 cm de largura. Esta tira é puxada no comprimento total da bainha, obtendo-se de 2 a 3 tiras ou "tuxies", os quais são tirados da plantação para sua posterior limpeza. A eliminação do material não fibroso é feita de duas formas: manual ou mecânica. A forma manual conhecida no inglês como "hand stripping", embora primitiva fornece a fibra de abacá mais fina do mundo. Consiste em eliminar o material polposo da fibra, puxando a tira com a mão, entre uma faca com um lado dentado, o qual é contrapesado com um bloco de madeira. O material restante do pseudocaule é deixado na plantação onde sofre decomposição biológica e se incorpora ao solo como fertilizante.

O uso de desfibradoras rotatórias ou máquinas de desmedulamento mecânico com alimentação manual, para o beneficiamento mecânico das plantas

anuais, tem sido mencionado por diversos autores (ATEN et alii, 1953; MONTGOMERY, 1954; e BENATTI JUNIOR, 1986; entre outros).

O processo mecânico, conhecido no inglês como "spindle stripping" realiza-se numa pequena máquina raspadora. O aparelho consta de um tambor rotativo, em cuja superfície estão montadas esquadrias em "L", que golpeiam o material como se fossem facas cegas. O conjunto, representado pelo tambor mais as facas, é protegido por uma carcaça móvel, que tem pela frente uma boca de alimentação. O tambor é acionado por um motor, que pode ser acionado a óleo diesel, exigindo uma potência instalada de 9 HP. Além do inconveniente da alimentação manual, que exige muita mão-de-obra, a máquina apresenta baixo rendimento operacional e seu manejo é extremadamente perigoso para os indivíduos que a operam.

Este equipamento tem sido empregado no beneficiamento de diferentes fibras através do mundo: de sisal e henequém no México, de "cabuya", na Costa Rica, das bainhas foliares da bananeira, nas Filipinas e do rami, no Brasil. É conhecida no México, como raspadora, no Brasil, como "periquito" e em inglês como "hagotan" (BENATTI JUNIOR, 1986; MONTGOMERY, 1954; e ATEN et alii, 1953).

As decortificadoras de alimentação mecânica, apresentadas por BENATTI JUNIOR (1986), conforme usadas no Brasil, o material entra no equipamento através de esteiras. Com relação às desfibradoras manuais, pode-se

dizer que são equipamentos que oferecem maior segurança aos operadores, produzindo fibras com melhor qualidade e maior uniformidade, apresentando maior capacidade de produção e gerando um volume até seis vezes maior de fibras brutas.

ESTUDILLO (1977), comenta sobre um equipamento em que folhas de abacá são introduzidas totalmente e passam entre um rolo corrugado e uma bigorna angular fixa.

Nas Filipinas são utilizados também pequenos raspadores, conhecidos como decorticadores, nos quais o pseudocaule da bananeira é cortado em comprimentos não menores do que 1,2 m (4 ft), nem maiores de 1,8 m (6 ft), os quais são alimentados horizontalmente, através de rolos espremedores ou trituradores, os quais aplanam e espalham o material pela ação de navalhas raspadoras (MONTGOMERY, 1954). Para o beneficiamento do pseudocaule da bananeira, ATEN et alii (1953), recomendam o uso de decortificadoras com capacidade média, operando com dois tambores, com grande capacidade, também opera com dois tambores, onde navalhas colocadas no primeiro tambor são mais compridas do que as que estão no segundo, havendo possibilidade de se lavar o material beneficiado em alguns dos casos.

ESTUDILLO (1977) relata sobre o desenvolvimento de um método de extração e beneficiamento de fibras anuais, eficiente e econômico, no qual é utilizado um equipamento denominado de FORPRIDECOM, podendo ser

empregado para materiais fibrosos agrícolas tais como: abacá, banana, sisal (*Agave sisalana*), kenaf, maguei, folhas de abacaxi, palha de arroz, bagaço de cana-de-açúcar, etc, com a finalidade da utilização das fibras na produção de pasta para papel (ESCOLANO et alii, 1979).

Neste equipamento, os materiais a serem beneficiados são cortados em comprimentos entre 5 e 15 cm e alimentados diretamente na máquina, a qual desfibra-os rápida e continuamente, separando ao mesmo tempo o material parenquimatoso. O processo permite uma extração contínua de fibras, com rendimentos entre 50 e 60% maiores que nos processos tradicionais mencionados anteriormente.

ESTUDILLO (1977) relata que esta máquina é facilmente operada por dois homens, podendo ser fixa ou portátil, permitindo o beneficiamento dos materiais diretamente na plantação, evitando assim a movimentação, o que reduz os custos de transporte. A fração parenquimatosa extraída no processo, pode ser devolvida à plantação, atuando como adubo ou fertilizante e protetor das raízes de plantas novas ou recém plantadas. Pode também, ser vendida como substrato para a cultura de cogumelos.

ESCOLANO et alii (1979) beneficiaram pseudocaule da bananeira pelo processo FORPRIDECOM, obtendo 58,8% de fibras limpas, 38,5% de parênquima e 2,7% de feixes não desfibrados; na fração de parênquima,

encontraram 72,2% de células de parênquima e 27,8% de fibras quebradas ou finos.

Segundo o ICAITI (1988a), o processo de maceração de materiais vegetais para a produção de fibra, é um processo antigo, no qual ocorrem várias reações biológicas e bioquímicas complexas, entre os carboidratos, glucosídeos, taninos, compostos nitrogenados e materiais corantes, deixando intato os feixes de fibras, isto quando levado por um período de tempo correto.

BENATTI JUNIOR (1986), relata que quando as fibras vão ser utilizadas na confecção de tecidos, estas devem ser lavadas a fim de se eliminar quase que por completo as substâncias pécticas, sendo, por isso, denominado "processo de degomagem". Segundo ele, para o rami, no Brasil são utilizados três processos de degomagem: biológicos, físicos e químicos.

Na degomagem por processos biológicos ou maceração, os materiais crus são mergulhados em água, submetendo-os à ação de microorganismos que provocam fermentação das substâncias pécticas ou aglutinantes, por períodos que variam entre 8 e 15 dias, dependendo da temperatura e da agitação da água, e da quantidade de microorganismos nela existentes. Depende também da idade e do tamanho do material a ser processado (ESTUDILLO, 1977; BENATTI JUNIOR, 1986; ICAITI, 1988a; e entre outros).

O beneficiamento de fibras de rami por processos físicos ou de vaporização é efetuado lavando-se as fibras por aquecimento, seguido-se a cen-

trifugação destas para eliminação das substâncias solúveis em água (BENATTI JUNIOR, 1986). A nível de laboratório, AB EL-REHIM & TARABOULSI (1987) mencionam o uso de vapor direto no beneficiamento de bagaço de cana-de-açúcar, entretanto ZHAI et alii (1988) apresentaram um método de decantação na separação das células parenquimáticas do talho de trigo.

Os processos de beneficiamento de fibras por processos químicos, denominados de "degomagem total" expõem as fibras a produtos químicos, tais como: hidróxidos de sódio ou de potássio, que dissolvem as substâncias não solúveis em água (BENATTI JUNIOR, 1986). Quando o bagaço de cana-de-açúcar é beneficiado a uma concentração de 2 a 3% de agentes químicos, o processo é denominado de "processo molhado" ou "em suspensão" (SANTANA & TEIXEIRA, 1993).

Para o beneficiamento de bagaço de cana-de-açúcar, AB EL-REHIM & TARABOULSI (1987) utilizaram cal ("lime"). Eles afirmam que a cal é efetiva para romper as ligações de hidrogênio entre a medula e as fibras e que este processo pode ser considerado como um primeiro estágio no processo de polpação deste material, resultando numa diminuição do consumo de reagentes químicos.

#### 4.1.1. Beneficiamento de plantas anuais a nível industrial

ATCHINSON (1972, 1987b), menciona que depois da extração de açúcar do bagaço de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*), a massa do talo seco em estufa contém cerca de: 30% de medula ou células parenquimáticas; cerca de 5% de material denso de epiderme; 15% de elementos fibrosos, (compridos e curtos), de parede fina e lúmens largos, além de vasos de parede fina; sendo que o restante 50% são feixes de fibra de alta qualidade, condensados na parte dura ou casca espessa do talo, compostos por fibras finas, fortes, flexíveis e apropriadas para produção de muitos tipos de papel.

Esta descrição do bagaço de cana-de-açúcar é muito semelhante à morfologia apresentada pela ráquis da bananeira, no que diz respeito aos processos de beneficiamento empregados.

Além disso, ATCHINSON (1989) menciona que a tecnologia desenvolvida para o beneficiamento e produção de celulose para bagaço de cana-de-açúcar e bambu parece ser aplicável com êxito a qualquer fibra anual. Portanto, será apresentado aqui um breve resumo sobre beneficiamento de bagaço de cana-de-açúcar e consideradas as informações obtidas na hora de se escolher um método de beneficiamento da ráquis da bananeira.

ATCHINSON (1987b) menciona quatro formas do bagaço de cana-de-açúcar entrar no processo de beneficiamento: a seco, entre 10 e 25% de

umidade; a úmido ("moist"), com 50% de umidade, tal como chega da usina de açúcar; e o molhado ("wet"), no qual o bagaço de cana-de-açúcar entra num desagregador ("hydrapulper"), com consistência entre 10 e 18%, sendo descarregado, antes do digestor, com consistência entre 16 e 22%. A primeira forma é inadequada para fabricação de produtos de altíssima qualidade e o segundo é o mais econômico, o que leva o autor a concluir que a melhor solução é a combinação de pelo menos duas das formas anteriores; geralmente, a seco ou a úmido na primeira etapa, seguida do desmedulamento molhado.

Ao longo do tempo têm sido projetados vários tipos de equipamentos para efetuar o beneficiamento de materiais vegetais. As máquinas mais modernas e especialmente desenvolvidas para o beneficiamento do bagaço de cana-de-açúcar e materiais similares, são todas projetadas para atingir o mesmo efeito básico ou seja, separar os grandes feixes de fibras, expondo a medula ou por fricção ou por ruptura mecânica, afrouxando-a das fibras, separando-se duas frações, numa só operação. Os seis equipamentos mais conhecidos no mundo para atingir esse resultado são similares e empregam um rotor, munido de martelos em parte rígidos e em parte móveis, que circundam completamente os pratos de malhas perfuradas, através dos quais passa a fração de medula, podendo ser coletada separadamente da fração das fibras. Em todas as máquinas menos uma, o bagaço de cana-de-açúcar entra na máquina no sentido do eixo e

viaja ao longo deste até a saída de descarregamento da fibra. Alguns equipamentos são de eixo horizontal e outros de eixo vertical (ATCHISON, 1987b).

## **4.2. Materiais e métodos**

### **4.2.1. Material**

Foi utilizada ráquis de bananeira com as características descritas no item 3.2.1., na sua forma natural.

### **4.2.2. Métodos**

#### **4.2.2.1. Tratamento mecânico**

Foram encontrados dois equipamentos em São Paulo, à serem utilizados no beneficiamento mecânico da ráquis da bananeira: uma raspadora ou "periquito" propriedade da ESALQ, e um moinho de martelos, propriedade do senhor Ulisses Farina, localizado em Jundiaí, São Paulo.

Para o moinho de martelos, a ráquis da bananeira no seu estado natural, foi cortada em pedaços pequenos com ajuda de uma faca e colocada

diretamente na boca do moinho; na saída o material fragmentado foi coletado em um saco.

#### **4.2.2.2. Tratamentos físico-químicos**

A partir da ráquis da bananeira na sua forma natural foram feitos manualmente cavacos, com ajuda de uma faca, cortando no sentido longitudinal do comprimento maior. Foram medidas as dimensões dos cavacos: comprimento no sentido longitudinal, largura no sentido transversal, e espessura no sentido radial, com ajuda de um paquímetro. Após isto, foram calculados os valores médios, mínimos e máximos para cada dimensão e o seu coeficiente de variação.

Foram efetuados cinco tratamentos físico-químicos de beneficiamento da ráquis da bananeira:

- Impregnação;
- Termoquímico sem pressão;
- Termoquímico pressurizado;
- Hidrotérmico pressurizado; e
- Hidrotérmico sem pressão

Durante os tratamentos físico-químicos teve que ser empregada uma alta relação sólido/líquido, pela densidade do material e pelas dimensões dos cavacos. Esta relação foi obtida em laboratório, utilizando uma proveta, uma massa conhecida de cavacos e água, visando com que os cavacos ficassem totalmente imersos na água, para atingir homogeneidade na hora do cozimento.

As concentrações dos reagentes químicos empregadas foram decididas segundo indicações extraídas dos textos consultados para fibras anuais, e sempre visando obter celulose de um modo simples e barato, tentando encontrar uma solução viável ao aproveitamento da ráquis.

As condições utilizadas de temperatura, pressão, relação sólido/líquido e concentração de reagentes químicos são apresentadas na Tabela 4.1. Todos os tratamentos menos os de impregnação levaram uma hora até atingir a temperatura de cozimento, e foram realizados com o material natural na forma de cavacos; todavia, as concentrações foram calculadas como porcentagens mássicas com base na quantidade de material seco original.

Após os tratamentos físico-químicos de beneficiamento sem pressão, o material obtido foi lavado para se eliminar o licor residual, sendo em seguida desagregado por cinco minutos, para melhorar o afrouxamento e separação da medula dos feixes de fibras e simular a desintegração que poderá ocorrer no processo a nível industrial. Para isto foi empregado um desagregador semelhante ao descrito na norma T-205 (TAPPI, 1992). Posteriormente o material foi depurado

durante vinte minutos em peneira plana vibratória tipo Somerville, com ranhuras de 4,5 cm de comprimento por 0,15 mm de largura, sob uma pressão de água constante de 1,5 kg/cm<sup>2</sup>.

O material foi classificado em três frações: aquele que passou pelas ranhuras e foi coletado dentro de um saco de náilon de 200 mesh e nomeado de "medula"; o resíduo, que ficou sobre a peneira, denominado como "fibras", e os materiais dissolvidos ou perdidos na água, que foram considerados como "solúveis".

As frações "fibras" e "medula" foram centrifugadas para equalização da umidade, pesadas e determinado o seu teor seco. Com esses valores calculou-se a proporção mássica das frações "fibras" e "medula" com relação ao material seco original. A fração "solúveis" foi determinada pela diferença da massa seca do material original menos as massas secas das frações "fibras" e "medula".

No caso dos tratamentos a pressão, o material resultante foi colocado no desagregador durante 5 minutos, e passado quantitativamente ao classificador de fibras Bauer-McNett, onde foi agitado por 40 minutos; utilizando-se uma peneira de 16 mesh para reter a fração denominada de "fibras" e um saco de tecido de 400 mesh, para reter a fração nomeada de "medula", o material não retido foi classificado como "solúveis". Os sacos com as frações foram levados à estufa e secados até massa constante, a 105 °C.

Tabela 4.1. Condições dos beneficiamentos físico-químicos da rãquis da bananeira

TRATAMENTO	REAGENTE	CÓDIGO	TEMPERATURA (°C)	TEMPO (horas)	RELAÇÃO SÓLIDO LÍQUIDO (% mássico)
IMPREGNAÇÃO	Água	IMP-A-1	25	48	1/20
	CaCO <sub>3</sub> 10%	IMP-C-1	25	48	1/20
	NaOH 5%	IMP-S-1	25	48	1/20
HIDROTÉRMICO SEM PRESSÃO <sup>1</sup>	ÁGUA	HT-A-1	95	3	1/20
	ÁGUA	HT-A-2	95	1,5	1/20
HIDROTÉRMICO PRESSURIZADO <sup>2</sup>	Água	HTP-A-1	160	0,5	1/30
TERMOQUÍMICO SEM PRESSÃO <sup>1</sup>	CaCO <sub>3</sub> 10%	TQ-C-1	95	3	1/20
	CaCO <sub>3</sub> 10%	TQ-C-2	95	1,5	1/20
	NaOH 5%	TQ-S-1	95	3	1/20
	NaOH 5%	TQ-S-2	95	1,5	1/20
TERMOQUÍMICO PRESSURIZADO	<sup>2</sup> CaCO <sub>3</sub> 3%	TQP-C-1	160	0,5	1/30
	<sup>3</sup> NaOH 5%	TQP-S-1	160	1,0	1/20

1 Em vidraria de laboratório

2 Em cápsulas dentro de digestor rotatório, marca REGMED

3 Em digestor rotatório, marca REGMED

Após isto, foram pesados e calculadas as proporções mássicas de material para cada fração com relação ao material seco original. A fração "solúveis" foi determinada como a diferença da massa seca do material original menos as massas secas das frações "fibras" e "medula".

### 4.3. Resultados experimentais

#### 4.3.1. Dimensões dos cavacos

As dimensões médias dos cavacos utilizados nos tratamentos de beneficiamento físico-químicos da ráquis da bananeira, junto ao seu desvio padrão, são apresentados na Tabela 4.2.

Tabela 4.2. Dimensões médias dos cavacos de ráquis da bananeira

<b>DIMENSÃO</b>	<b>VALOR MÉDIO</b>	<b>DESVIO PADRÃO</b>
	<b>(mm)</b>	<b>(mm)</b>
Largura no sentido transversal	28,3	5,0
Comprimento no sentido longitudinal	21,4	4,9
Espessura no sentido radial	4,5	1,5

#### **4.3.2. Resultados do beneficiamento mecânico**

No caso do beneficiamento mecânico, a moagem do material foi fácil, só que não foi possível a separação do material parenquimático das fibras, ambas as frações encontravam-se muito ligadas; pode se dizer que o material simplesmente foi triturado sem nenhum avanço para o beneficiamento, por este motivo o tratamento foi rejeitado.

Tentou-se utilizar a raspadora, da ESALQ, porém não foi possível, por motivos de segurança.

#### **4.3.3. Resultados dos beneficiamentos físico-químicos**

Os resultados da proporção mássica de cada fração com relação ao material seco original, para cada tratamento apresentam-se na Tabela 4.3.

Os tratamentos de impregnação com: água, NaOH 5% e CaCO<sub>3</sub> 10%, não foram eficientes para o beneficiamento da fibra da ráquis da bananeira. Os materiais, depois dos tratamentos apresentavam o mesmo aspecto que com o moinho de martelos, porém foram separadas as frações.

Nos três casos, a fração "fibra" estava muito misturada com o material parenquimático, apresentando valores muito altos, (desde 46,9% até 56,7% ) fato que demonstrou o baixo grau de beneficiamento.

Os tratamentos pressurizados, hidrotérmico e termoquímico com  $\text{CaCO}_3$  3%, foram eficientes e praticamente semelhantes no grau de beneficiamento da ráquis. Com eles, foram obtidas frações "fibras" de 33,2% com o hidrotérmico e 33,8% com  $\text{CaCO}_3$  3%. Os materiais parenquimáticos foram destruídos e eliminados, refletindo isto nas altas proporções de "solúveis": 57,3% para o hidrotérmico e 53,8% para o termoquímico, sendo por tanto as frações "medula" muito baixas (9,5% e 12,4% respectivamente).

No tratamento pressurizado com NaOH 5% não foi possível obter "fibras" já que o material virou uma "goma negra" impossível de se trabalhar. Pensa-se que ela foi um produto da união dos extratos presentes na ráquis com a soda a altas temperatura e pressão. Após os tratamentos termoquímicos com NaOH 5% sem pressão, ela também apareceu grudada no eixo e nas paredes do desagregador. Essa "goma negra" só foi solúvel em solventes orgânicos tais como álcool etílico ou xilol, ou pode ser limpada com detergente e ação abrasiva. Este fenômeno pode ser estudado quimicamente em trabalhos posteriores já que sai dos objetivos do presente estudo.

Ao analisar os tratamentos sem pressão, determinou-se que o fato de aumentar o tempo de cozimento de 1,5 h para 3,0 h nos tratamentos hidrotérmico, termoquímico com  $\text{CaCO}_3$  10%, e com NaOH 5%, produz "fibras" mais limpas, menor proporção de "medula" e maior proporção de "solúveis". Isto

Tabela 4.3. Rendimentos dos tratamentos físico-químicos de beneficiamento de ráquis da bananeira\*

TRATAMENTO	REAGENTE	PROPORÇÃO MÁSSICA			pH
		(% em base seca)			
		"FIBRAS"	"MEDULA"	"SOLÚVEIS"	
IMP-A-1	ÁGUA	46,9	10,1	43,0	---
IMP-C-1	CaCO <sub>3</sub> 10%	56,7	8,71	34,6	---
IMP-S-1	NaOH 5%	50,3	13,04	36,6	---
HT-A-1	ÁGUA	32,4	22,2	45,3	---
HT-A-2	ÁGUA	38,5	26,3	35,2	5,4
HTP-A-1	ÁGUA	33,2	9,5	57,3	5,0
TQ-C-1	CaCO <sub>3</sub> 10%	32,2	23,2	44,6	9,4
TQ-C-2	CaCO <sub>3</sub> 10%	40,0	25,1	35,0	9,5
TQ-S-1	NaOH 5%	33,7	29,5	36,8	8,9
TQ-S-2	NaOH 5%	34,3	27,2	38,5	9,2
TQP-C-1	CaCO <sub>3</sub> 3%	33,8	12,4	53,8	6,4

\* Os valores representam média de pelo menos duas réplicas de cada tratamento

sugere que com o aumento do tempo de cozimento, houve uma perda de material parenquimático que saiu na fração 'solúveis'.

Os resultados das variações das três frações para os tratamentos mencionados apresentam-se na Tabela 4.4.

Tabela 4.4. Variação percentual nas frações com o aumento no tempo de cozimento

TRATAMENTO	VARIAÇÃO AO PASSAR DE 1,5 h A 3 h		
	"FIBRAS" (%)	"SOLÚVEIS" (%)	"MEDULA" (%)
Hidrotérmico	- 15,3	+ 28,7	- 16%
Termoquímico com CaCO <sub>3</sub> 10%	- 19,5	+ 27,4	- 7,6
Termoquímico com NaOH 5%	- 1,75	+ 4,4	- 8,5

Nos tratamentos hidrotérmicos e termoquímicos com tempos de cozimento de 3 horas, a fração 'medula' tinha o aspecto gelatinoso e inchado, semelhante aos mencionados e obtidos por outros pesquisadores (ATCHINSON, 1972; ABD EL-REHIM & TARABOULSI, 1987)..

Esta característica fazia com que ela escapa-se facilmente pelas ranhuras do classificador Somerville obtendo-se "fibras" muito limpas. Por outro lado, essas "fibras" por encontrar-se limpas, inchadas e flexíveis, concluiu-se que este material já estava pronto para os processos de refinação e formação de folhas, não necessitando algum tipo de polpação intermediária.

Depois de se avaliar os resultados anteriores, foram escolhidos para continuar este estudo, os tratamentos hidrotérmico e termoquímico sem pressão, com tempos de cozimento de 3 horas, por serem tratamentos mais simples de serem feitos em pequena escala; produzem bons graus de beneficiamento ("fibras" mais limpas, menos "medula" e mais "solúveis"), além de requerer o uso de equipamentos mais simples. Preferiu-se o tratamento termoquímico com NaOH 5% com relação ao termoquímico com CaCO<sub>3</sub> 10 %, por ser um reagente mais comum na produção de celulose para papel e de pastas para dissolução, daqui para frente este tratamento foi denominado de "tratamento termoquímico à soda", para diferir do processo à soda fria, usualmente empregado no processamento de plantas anuais.

Com o objetivo de conhecer melhor estes tratamentos, foram feitas corridas em um digestor tipo M/K, e avaliados: o rendimento de "fibras", o teor de sólidos totais, a densidade e o pH do licor final de cozimento. Os resultados para ambos os tratamentos são apresentados na Tabela 4.5.

Tabela 4.5. Resumo das condições e resultados dos beneficiamentos hidrotérmico e termoquímico à soda escolhidos

PROPRIEDADE	BENEFICIAMENTO	
	HIDROTÉRMICO (HT)	TERMOQUÍMICO À SODA (TQS)
Temperatura (°C)	95	95
Relação sólido/líquido (%)	1/20	1/20
Tempo de cozimento (h)	3	3
Concentração de NaOH (%)	0	5
pH	5,7	9,2
Sólidos totais (%)	1,10	1,47
Densidade (g/mL)	0,995	1,003
Rendimento (% mássica em base seca)	30,6	35,6

Como é usual, procurou-se determinar o número de Kappa das pastas obtidas, mais isto não foi possível, pois não verificou-se constância dos resultados. Isto se deve à presença de uma quantidade grande de material não fibroso junto com a pasta, o que tornava a norma para execução deste ensaio inadequada, e o qual poderá ser objeto de estudos futuros.

Foi determinada a composição química do material beneficiado pelo tratamento termoquímico à soda com o objetivo de analisar o efeito do tratamento de beneficiamento sobre o material original. Na Tabela 4.6 são apresentados os resultados além de micrografias da fibra beneficiada (Figura 4.1).

Tabela 4.6. Caracterização química da ráquis da bananeira beneficiada pelo tratamento termoquímico à soda (TQS)

<b>COMPOSIÇÃO</b>	<b>Valor médio</b>	<b>Coefficiente de variação (%)</b>
<b>COMPOSTOS ESSENCIAIS OU PRIMÁRIOS</b>		
Holocelulose* (% base seca)	86,37	--
Lignina (% base seca)	10,18	13,8
<b>COMPOSTOS SECUNDÁRIOS OU ESTRANHOS</b>		
Extratos totais (% base seca)	1,13	1,05
Material inorgânico (% base seca)	2,32	0,0
<b>SOLUBILIDADE EM:</b>		
água quente (% base seca)	2,03	48
água fria (% base seca)	6,45	3,29
NaOH 1% (% base seca)	4,75	9,22

\* calculada por diferença

Baseado nos resultados das Tabela 2.1 e 4.5., foram calculadas as quantidades de material beneficiado seco potencialmente disponível mediante os tratamentos hidrotérmico e termoquímico à soda para as regiões estudadas, os resultados são apresentados na Tabela 4.7.

Tabela 4.7. Material beneficiado seco proveniente da ráquis da bananeira potencialmente disponível (segundo dados de 1994)

REGIÃO	BENEFICIAMENTO			
	HIDROTÉRMICO (HT)		TERMOQUÍMICO À SODA (TQS)	
	(kg/ha ano)	(ton /ano)	(kg/ha ano )	(ton/ano)
Estado de São Paulo	42,8	1921	49,0	2203
Litoral Sul Paulista (Registro-Itanhaem)	41,7	1688	47,9	1936
Município de Registro	44,1	1345	50,6	1543
Costa Rica	65,5	3454	75,1	3880

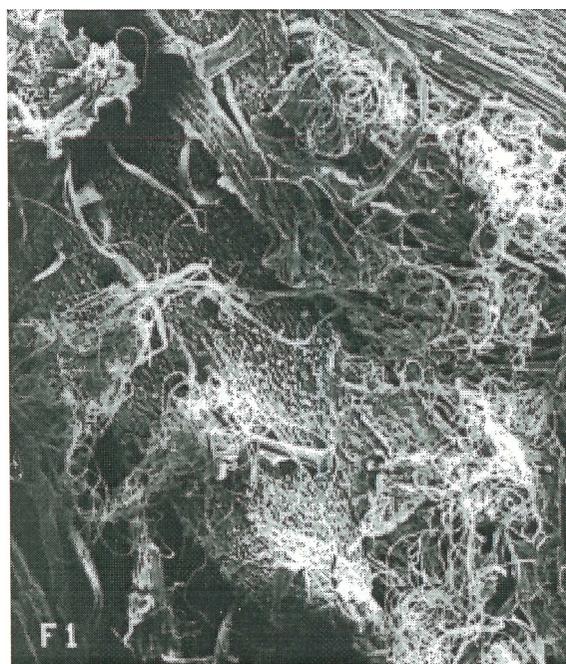


Figura 4.1 Micrografias da fibra beneficiada pelo tratamento termoquímico à soda, de *Musa* Grupo AAA "Giant Cavendish".

#### 4.4. Conclusões específicas

Com relação aos diferentes tratamentos estudados para o beneficiamento da ráquis da bananeira visando a produção de pasta para papel, foram obtidas as seguintes conclusões:

- os tratamentos mecânico em moinho de martelos e os tratamentos físico-químicos de impregnação com água, soda e carbonato de cálcio, não foram efetivos;

os tratamentos pressurizados só com água e com carbonato de cálcio a 3%, foram efetivos, obtendo-se frações "fibras" próximas a 33%, altas frações de "solúveis" (53,8% e 57,3% respectivamente), e por tanto, baixas quantidades de "medula". Não foi possível obter "fibras" limpas quando utilizado hidróxido de sódio a 5%, tornando-se o material uma "goma negra" difícil de eliminar;

- nos tratamentos hidrotérmicos e termoquímicos com carbonato de cálcio a 10% e com hidróxido de sódio a 5%, sem pressão, comprovou-se que aumentando o tempo de cozimento de 1,5

horas para três horas, refletia em um melhoramento no beneficiamento;

- os tratamentos hidrotérmicos e termoquímicos com carbonato de cálcio a 10% e com hidróxido de sódio a 5%, sem pressão e com três horas de cozimento foram efetivos e produziram praticamente a mesma limpeza das fibras, obtendo-se ao redor de 33% de fração fibras, variando somente na proporção de fração "medula"

De maneira geral, os tratamentos hidrotérmico e termoquímicos com  $\text{CaCO}_3$  a 10% e  $\text{NaOH}$  5% por 3 horas de cozimento, assim como também, os tratamentos hidrotérmicos e termoquímico com  $\text{CaCO}_3$  3% pressurizados, são igualmente efetivos no beneficiamento da ráquis da bananeira, sendo que pode ser obtido ao máximo, aproximadamente 33% de fibras limpas, com características apropriadas para posterior refinamento. Porém, estes tratamentos variam na quantidade de material não fibroso eliminado, sendo que o tratamento mais eficiente juntando ambos aspectos é o hidrotérmico pressurizado por 0,5 horas.

Analisando o tratamento de beneficiamento termoquímico à soda desde o ponto de vista de composição química, este foi efetivo porque gerou um material com as seguintes características:

- diminuíram os solúveis em água fria em 82,7%;
- diminuíram os solúveis em água quente em 95,3%;
- diminuíram os solúveis em hidróxido de sódio em 92,3%;
- diminuíram os extratos totais em 97,4%; e
- diminuiu o teor de material inorgânico em 89,8%.

## **5. POLPAÇÃO DE FIBRAS DA BANANEIRA**

Este capítulo contém uma detalhada revisão bibliográfica sobre a polpação de fibras da bananeira (do pseudocaule, da nervura da folha e da ráquis), sob diferentes processos: químicos, mecânicos, assim como sobre produção de pastas de dissolução e a produção de papéis a nível de laboratório a partir de misturas com outras pastas.

Além disso, contêm os resultados das pastas obtidas após dois tipos de beneficiamento a pressão atmosférica: hidrotérmico e termoquímico à soda. Estes processos de beneficiamento escolhidos como métodos alternativos de obtenção de pasta celulósica, consistem principalmente de três etapas: cozimento, separação física de substâncias indesejáveis e refinação.

Além, apresentam-se as caracterizações físicas, mecânicas e químicas das pastas obtidas a partir do material beneficiado da ráquis de fibra da bananeira a diferentes tempos de refino, assim como também, das misturas feitas com dois tipos de aparas de papelão comerciais.

Os processos testados levam em conta a redução de custos em equipamentos e controle de efluentes, pensando na possibilidade de serem aplicados em pequena escala pelos próprios produtores e/ou comerciantes da banana.

## **5.1 Revisão bibliográfica**

### **5.1.1 Pasta química**

DARKWA (19818) comenta que pode ser produzida pasta a partir do pseudocaule das bananeiras mediante o uso dos processos soda ou Kraft, com baixo consumo de álcali ativo (9% de NaOH sobre massa de matéria-prima fibrosa inicial seca). As propriedades de resistência mecânica encontradas nessas pastas foram similares às pastas Kraft provenientes de *Pinus* do sul dos Estados Unidos.

O ICAITI (1988b), depois de beneficiar as fibras da bananeira, mediante um tipo de processo mecânico ("wearing blend"), preparou pastas químicas por três processos: ao sulfato, a soda e mediante o processo organossolve.

Quase todas as pastas, na sua preparação tiveram rendimentos maiores do que 50% e menores do que 67%, não possuíram rejeitos e foram muito difíceis de se refinar. Quando avaliadas a nível de laboratório, apresentaram

excelentes índices de tração, rasgo e arrebatamento e alta resistência a dobraduras, pelo que foram comparadas às pastas comerciais de fibra longa e classificadas aptas para branqueamento, devido a seus baixos números Kappa (ICAITI, 1988b).

O autor afirma que a pasta organossolve obtida do pseudocaulo da bananeira, é semelhante à pasta de algodão, apresenta altos valores de dobraduras e rendimentos algumas vezes maiores que as de pastas a soda e Kraft (até 16% maiores).

Quanto aos processos estudados, o ICAITI (1988b) conclui que os melhores resultados foram obtidos pelo processo organossolve pois, em alguns casos, os resultados foram melhores que os obtidos com pastas Kraft. Estas pastas organossolve foram também as mais fáceis de se refinar e se apresentaram tão brancas quanto as pastas comerciais semibranqueadas. Por este processo, LÓPEZ (1981), utilizando ráquis da bananeira beneficiado mecanicamente, encontrou rendimentos entre 60 e 95%, recomendando o uso da pasta organossolve em papéis que precisam de alta resistência mecânica, mas onde a cor não é importante.

VISPERAS et alii (1984) comentam que o uso de resíduos agrícolas em processos de polpação com álcool etílico, é uma alternativa atrativa para fábricas de pequena escala de produção. Relatam que este tipo de polpação tem as seguintes vantagens: alto rendimento, recuperação da lignina e de carboidratos

presentes no licor negro, redução da poluição e de compostos malcheirosos, além de poder ser implantado com um menor custo.

Com os resultados obtidos, o ICAITI (1988b) efetuou uma avaliação econômica preliminar da polpação organossolve das fibras da bananeira, objetivando a fabricação de produtos de alto valor agregado, tais como: papel moeda, certificados, pergaminho e vegetal. Determinou também a viabilidade econômica para três tipos de fábricas com capacidades de 5, 10 e 15 ton/dia, com retornos de investimento de 10,39, 18,61 e 34,72%, respectivamente.

### **5.1.2. Pasta mecânica**

Estudando a produção de pasta mecânica em refinador de discos, CHAVES (1981) encontrou resistências mecânicas comparáveis ao papel "Liner 26", empregado na fabricação de caixas de papelão, usados na exportação de banana na Costa Rica.

SABORÍO (1981) encontrou índices de arrebentamento e de resistência à auto-ruptura 200% superiores aos índices de pastas mecânicas do bagaço de cana-de-açúcar e, de um modo geral, propriedades mecânicas análogas às de muitas pastas de madeiras usadas na fabricação de cartões comerciais.

### 5.1.3. Pastas para dissolução

ELAZEGUI et alii (1982) e FRANZIA et alii (1984), comentam que os resíduos agrícolas, por serem materiais baratos e com baixos teores de lignina, quando comparados com a madeira, são elegidos como possíveis fontes de matéria-prima para a produção de pastas para dissolução, já que não se exige resistência mecânica, sendo usada somente a celulose na forma já purificada.

Cabe salientar que os autores definem as pastas para dissolução como matérias-primas intermediárias usadas na produção de produtos têxteis, tais como: raiom, celofane, lacas e laquês, filmes de celulóide, plásticos, etc. Além, reportam que o abacá e a banana (*Musa balbisiana*) apresentaram resultados promissores na produção de pastas para dissolução, ao serem preparadas por um processo de pré-hidrólise, seguido de um processo sulfito, (utilizando 12,5% de  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  e 3% de NaOH). Obteve-se pastas com altos níveis de  $\alpha$ -celulose (94,2%) e baixo conteúdo de pentosanas (2,89%).

FRANZIA et alii (1984) estudaram 17 tipos de fibras comerciais de abacá mostrando que, graças aos baixos teores de sílica e de cinzas, não houve deterioração na fiação do raiom. Quando pré-hidrolisado com vapor de água a 170 °C, o abacá apresentou altos rendimentos devido ao seu alto teor de holocelulose. Os autores afirmam que o vapor de água é um agente pré-hidrolisante caro

mas rápido e eficiente, que produz mínima degradação da celulose e elimina a maior parte das hemiceluloses, lignina e extratos presentes.

#### **5.1.4. Colagem**

ESPINOZA (1986) realizou um estudo de colagem, tanto superficial como interna, nas pastas obtidas com fibra da ráquis da bananeira beneficiada. A colagem superficial foi realizada a 30 °C, aplicando-se à pasta 10 ppm de  $Al_2(SO_4)_3$ ; e colagem interna da pasta sem branqueamento foi realizada a 30 °C, 5,5 de pH e com aplicação de 60 ppm de amido; e para a pasta branqueada, as condições foram 30 °C, 4,0 de pH e 60 ppm de amido.

A autora conclui que a colagem das fibras da ráquis da bananeira é efetiva sob os processos estudados, e que melhora as características de: índice de arrebetamento, permeância ao ar, gramatura, espessura e brilho, não apresentando diferença em alvura e opacidade. Há possibilidade de melhorar a colagem superficial realizando-se primeiro uma colagem interna. Os papéis colados obtidos podem ser utilizados como material para embalagem, cartões, sacos, enquanto que sem branquear podem ser empregados na fabricação de papéis vegetal e manteiga.

### 5.1.5. Misturas de pastas

Segundo a opinião de OLIVEIRA (1979), a indústria papelreira intensifica o uso de mistura de pastas de celulose na fabricação de quase todos os tipos de papel, objetivando a mistura de fibras longas e curtas. Alguns dos fins da mistura de dois ou mais tipos de pastas de celulose são: melhorar a qualidade de uma celulose inferior, aproveitar os excedentes de matérias primas fibrosas ou baratear o custo do produto final (FOELKEL & BARRICHELO, 1975).

Segundo ATCHINSON (1988), selecionando-se apropriadamente a mistura de fibras anuais e o método de polpação, é possível produzir qualquer tipo de papel e cartão, sem a adição de pastas obtidas a partir de madeira, entretanto, em muitos casos, espera-se que as fibras anuais possam ser utilizadas pelo menos numa pequena proporção.

Na literatura disponível e pesquisada, encontraram-se poucas citações de trabalhos onde se estudaram ou a preparação ou as características de misturas de pastas de fibras de *Musa* com outros tipos de pastas. Assim, este aspecto tornou-se um dos objetivos deste trabalho.

ESCOLANO (1981) relata que misturas de pastas de abacá com pastas provenientes de bagaço de cana-de-açúcar ou madeira de folhosas produzem pastas com altas propriedades de resistência à tração, arrebitamento e rasgo, predizendo um futuro brilhante para as pastas de abacá na produção de

papéis de alta qualidade pelo processo FORPRIDECOM. Procuraram-se detalhes sobre este processo, mas não se conseguiu encontrar nenhum.

Outra pesquisa relata que nas Filipinas, pastas à soda fria obtidas a partir do pseudocaule da bananeira, podem ser consideradas como potenciais suplementos das pastas de fibra longas, importadas e usadas lá, na produção de papel jornal (ESCOLANO et alii, 1979). O papel jornal produzido da mistura de pastas à soda não branqueadas, contendo 80% de pasta obtida de bagaço de cana-de-açúcar e 20% de pasta obtida do pseudocaule de bananeira, apresentou propriedades de resistência mecânica aceitáveis, porém baixo brilho e opacidade, quando comparado com papel jornal padrão, entretanto, o papel jornal formado da mistura de pastas à soda, não branqueadas, (80% de pasta de palha de arroz e 20% de pasta de pseudocaule da bananeira) satisfaz os requisitos padrões tanto de resistência mecânica como de propriedades ópticas.

## **5.2. Materiais e métodos**

### **5.2.1. Material**

Foram empregadas as frações “fibras” de ráquis da bananeira beneficiada pelos tratamentos hidrotérmico e termoquímico à soda, sob as condições mostradas na Tabela 4.5.

## **5.2.2. Métodos**

### **5.2.2.1. Obtenção de pasta**

Com o objetivo de obter pasta celulósica, as frações “fibras” de ráquis beneficiadas foram tratadas em refinador Jokro, a quatro diferentes períodos de tempo: 30, 45, 60 e 90 minutos. Após, cada tempo de refino, foi determinada a resistência à drenagem (°SR), por um método normalizado (C10M-1996, da ABTCP em revisão), que mede a razão na qual a água drena de uma suspensão de um litro, feita a partir de 2 gramas de pasta, através de um prato perfurado, quando a fibra é submetida a uma pressão de água uniformemente decrescente. Os resultados deste ensaio foram expressos em graus Schopper-Riegler (°SR) corrigidos para uma amostra de 2,00 gramas.

Para cada tempo de refino foram preparadas folhas manuais em formador do tipo Rapid Koethen, de aproximadamente 60 g/m<sup>2</sup>, que foram deixadas em acondicionamento segundo a norma P4 (ABTCP/IPT, 1994).

### 5.2.2.2. Caracterização das pastas

As pastas obtidas foram caracterizadas quanto à suas propriedades: físico-mecânicas, superficiais e conteúdo de cinzas.

Foram determinadas as seguintes propriedades físicas das folhas formadas: gramatura, espessura, densidade aparente e volume específico.

A gramatura foi determinada segundo a norma P6 (ABTCP/IPT, 1994) como a massa de papel seca (g) dividida pela área analisada ( $m^2$ ), e a espessura calculada como a espessura média de uma simples folha, dada em  $\mu m$ , segundo a norma P5 (ABTCP/IPT, 1994).

Com esses valores foi determinada a densidade aparente, calculada como a gramatura em base seca ( $g/m^2$ ) dividida pela espessura do papel ( $\mu m$ ) segundo a norma P5 (ABTCP/IPT, 1994), sendo que o valor inverso desta corresponde ao volume específico.

Além foi determinada a propriedade superficial, permeância ao ar, definida como o fluxo médio de ar que passa pelo corpo-de-prova (unidade de área), sob unidade de diferença de pressão por unidade de tempo, sob condições especificadas. Expressa-se em micrômetro por Pascal por segundo ( $\mu mPa/s$ ) e foi determinada segundo a norma P32 (ABTCP/IPT, 1994).

Todavia, foram determinadas as propriedades mecânicas das pastas obtidas aos quatro tempos de refino e expressas como resistência à auto-ruptura, alongamento, e os índices de rasgo, arrebetamento e tração.

A resistência à auto-ruptura corresponde à força média de tensão expressa em kg, dividida por cada centímetro de largura de uma tira papel que tenha uma gramatura de  $100 \text{ g/m}^2$ . É equivalente ao comprimento em metros de uma fita do mesmo papel de largura uniforme, necessária para atingir ruptura quando segurada por uns dos seus extremos, foi medida segundo a norma P8 (ABTCP/IPT, 1994). Determinou-se também o alongamento, que corresponde ao aumento no comprimento que o corpo-de-prova apresenta no momento da ruptura, quando submetido ao ensaio de resistência à tração.

O índice de rasgo foi determinado segundo a norma P9 (ABTCP/IPT, 1994) e corresponde à força em gramas necessária de se aplicar sobre uma folha simples de  $100 \text{ g/m}^2$  para rasgá-la; calculou-se dividindo a força de rasgo (mN) pela gramatura em base seca ( $\text{g/m}^2$ ), vezes 100 e reportou-se em  $\text{mN-m}^2/\text{g}$ .

O índice de arrebetamento foi determinado segundo a norma P8 (ABTCP/IPT, 1994) sendo equivalente ao número de metros quadrados de papel cuja massa provocaria um arrebetamento se fosse aplicada a cada centímetro da folha colocada no aparelho. Calculou-se como a pressão média de arrebetamento (kPa) dividida pela gramatura ( $\text{g/m}^2$ ) e reportou-se em  $\text{kPa-m}^2/\text{g}$ .

As pastas foram caracterizadas com relação ao seu teor de cinzas pelo processo de incineração em mufla, segundo a norma T-211 (TAPPI, 1992)

### **5.2.2.3. Eleição das melhores pastas**

Os valores das propriedades mecânicas, da densidade aparente e da permeância ao ar, das pastas da bananeira foram grafadas em função do tempo de refino, com o objetivo de escolher a pasta com maior resistência mecânica e de verificar o comportamento das propriedades antes mencionadas com o tempo.

### **5.2.2.4. Misturas de pastas**

Foram preparadas misturas de pastas não branqueadas com a melhor pasta termoquímica à soda (TQ-S-1) da ráquis da bananeira, escolhida conforme descrito no item anterior, e respectivamente com duas pastas comerciais de aparas de papelão, com o objetivo de se verificar o efeito da inclusão da primeira nas propriedades de resistência mecânica das segundas.

Foram empregados dois tipos de receitas de pastas para fabricação de papel capa reciclada: uma denominada de Capa A, de maior resistência ao arrebentamento ( para atender Mullen entre 100 e 130 libras por polegada

quadrada), usada como papel capa intermediário na fabricação do corrugado duplo, possuindo maior resistência do que o papel miolo utilizado normalmente; e outra denominada de Capa B de resistência ao arrebentamento até 100 libras por polegada quadrada.

As pastas foram conseguidas na empresa CIBRAPEL, localizada em Rio de Janeiro e apresentavam as seguintes receitas:

<b>Capa A:</b>	20% de aparas selecionadas
	80% reciclado comum
<b>Capa B:</b>	20% aparas selecionadas
	10% tubo Kraft e sacos de supermercado
	70% reciclado comum

Ambas pastas foram tomadas diretamente da caixa de entrada da máquina formadora de papel, com graus de refino de 20,5 °SR para Capa A e 30 °SR para Capa B, regulamentos utilizados na planta fabril.

As misturas foram feitas adicionando-se sobre amostras das duas pastas de aparas de papelão quantidades crescentes de pasta termoquímica à soda da ráquis de bananeira; as proporções usadas foram de 10, 20, e 30% em base seca. Ao todo foram feitas seis misturas as quais foram codificadas conforme mostra a Tabela 5.1.

Tabela 5.1. Composição das misturas (% mássica em base seca)

<b>MISTURA</b>	<b>PASTA TERMOQUÍMICA À SODA</b>	<b>CAPA A</b>	<b>CAPA B</b>
<b>1A</b>	10	90	0
<b>2A</b>	20	80	0
<b>3A</b>	30	70	0
<b>1B</b>	10	0	90
<b>2B</b>	20	0	80
<b>3B</b>	30	0	70

Para caracterizar os materiais envolvidos na fabricação das misturas, foi feita uma classificação das fibras em aparelho Bauer-McNett, e também foram elaboradas folhas de ensaio de aproximadamente 127 g/m<sup>2</sup> e avaliadas conforme o indicado no item 5.2.2.2, menos quanto à permeância ao ar.

### **5.3. Resultados experimentais**

#### **5.3.1. Avaliação da pasta hidrotérmica**

Como se sabe, (NEVES et alii, 1986), as propriedades das pastas estão relacionadas com o tempo de refino, o qual reflete no trabalho mecânico e na quantidade de energia aplicada sobre as fibras para atingir as características adequadas à manufatura do papel.

Assim, para se acompanhar a evolução das propriedades das pastas estudadas, estas foram analisadas em função do tempo de refino, entretanto não foi possível, a análise das propriedades em função da resistência à drenagem, como é comum de se fazer, pois os resíduos de material parenquimático e de epiderme interferem nos resultados de drenabilidade.

Isto mostra que neste caso, a drenabilidade não é um bom indicador para se avaliar curvas de refino, fato observado também por outros pesquisadores (ATCHINSON, 1972, ABD EL-REHIM & TARABOULSI, 1987)).

Os resultados médios com os desvios padrões, (para cada tempo de refino) das características da pasta hidrotérmica, são apresentados na Tabela 5.2..

Tabela 5.2. Caracterização das pastas hidrotérmicas de ráquis da bananeira

CARACTERÍSTICAS	VALOR MÉDIO	DESVIO PADRÃO						
<b>Condições de refino</b>								
Tempo de refino (minutos)	30	--	45	--	60	--	90	--
Resistência à drenagem (°SR)	48	--	43	--	39	--	48	--
<b>Propriedades físicas</b>								
Gramatura (g/m <sup>2</sup> )	60,3	--	63,1	--	61,7	--	63,9	--
Espessura (µm)	209	26	191	10	162	10	162	10
Densidade aparente (kg/m <sup>3</sup> )	293	37	330	18	381	13	396	17
Volume específico (cm <sup>3</sup> /g)	3,5	0,4	3,02	0,12	2,63	0,10	2,53	0,13
<b>Propriedades mecânicas</b>								
Carga de ruptura, 15 mm (kg <sub>f</sub> )	4,21	0,7	5,01	0,5	6,60	0,78	6,55	0,6
Índice de tração (Nm/g)	45,6	7,2	51,9	5,3	69,9	8,2	67,0	5,8
Resistência a auto-ruptura (m)	5011	791	5704	582	7682	901	7363	637
Alongamento (%)	1,3	0,3	1,8	0,3	2,6	0,4	2,8	0,3
Pressão de arrebentamento (kg/cm <sup>2</sup> )	1,94	0,5	2,5	0,2	2,6	0,2	2,7	0,1
Índice de arrebentamento (kPam <sup>2</sup> /g)	3,1	0,8	3,9	0,3	4,2	0,3	4,1	0,2
Força de rasgo de 5 folhas (gf)	26,6	3,7	24,2	3,6	17,4	0,9	14	1,1
Índice de rasgo (mNm <sup>2</sup> /g)	13	0,4	12	1,8	8,9	0,5	6,7	0,6
<b>Propriedades superficiais</b>								
Permeância ao ar, Gurley (s/100ml)	47	13,1	130	27	179	28	266	24,9
(µm Pa/s)	2,92	0,9	1,02	0,2	0,73	0,1	0,48	0,05
<b>Conteúdos químicos</b>								
Teor seco (%)	91,14	0,05	91,44	0,05	91,41	0,05	91,94	0,05
Cinzas (% base seca)	1,53		1,63		1,71		1,75	

Como era de se esperar, estas propriedades variaram com o tempo de refino, que passou de 30 para 90 minutos. Esta variação foi a seguinte:

- a espessura das folhas diminuiu em 22,5%, e a permeância ao ar aumentou em 466%; podendo ser o resultado da fragmentação mecânica do material parenquimático presente e da delaminação das paredes das fibras, as quais são muito finas;
- a densidade aparente aumentou em 35,2%;
- as propriedades mecânicas variaram do seguinte modo: aumentaram o índice de tração em 46,9%; o alongamento em 115%; e o índice de arrebentamento em 32,2%; entretanto, o índice de rasgo diminuiu em 48,5%;
- as folhas manuais apresentaram uma cor marrom clara, muito brilhante quando observadas ao olho nu, embora os resultados de alvura foram muito baixos; e
- os teores de cinzas ou material inorgânico ficaram entre 1,53% e 1,75% (base seca).

Estas observações são mostradas nas figuras 5.1 e 5.2, podendo-se ver que as propriedades de índice de tração e de arrebentamento, tendem a valores máximos quando o tempo de refino foi de 60 minutos, e o índice de rasgo vai decrescendo com o tempo de refinação.

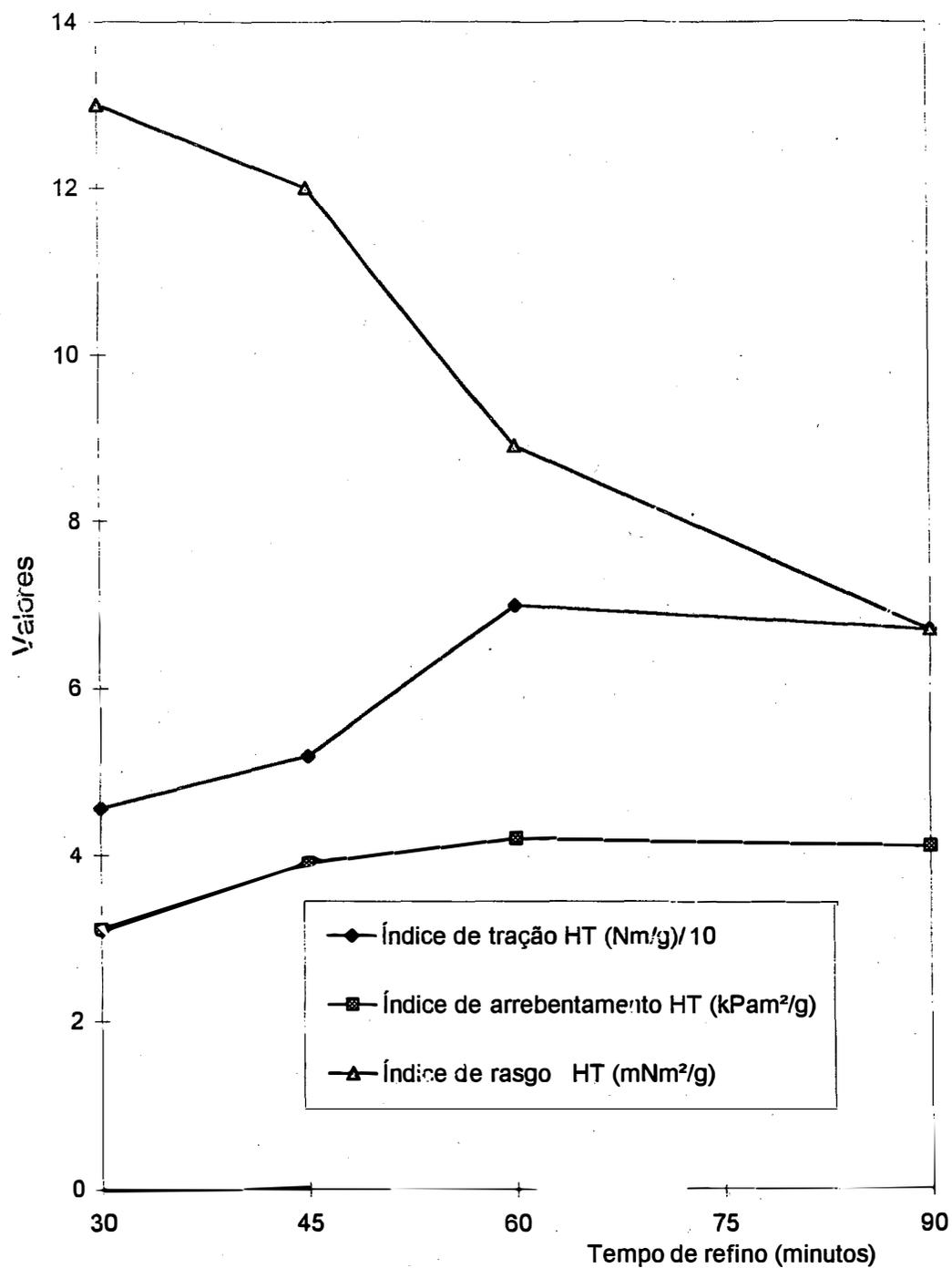


Figura 5.1  
Variação das propriedades mecânicas da pasta hidrotérmica (HT) com o tempo

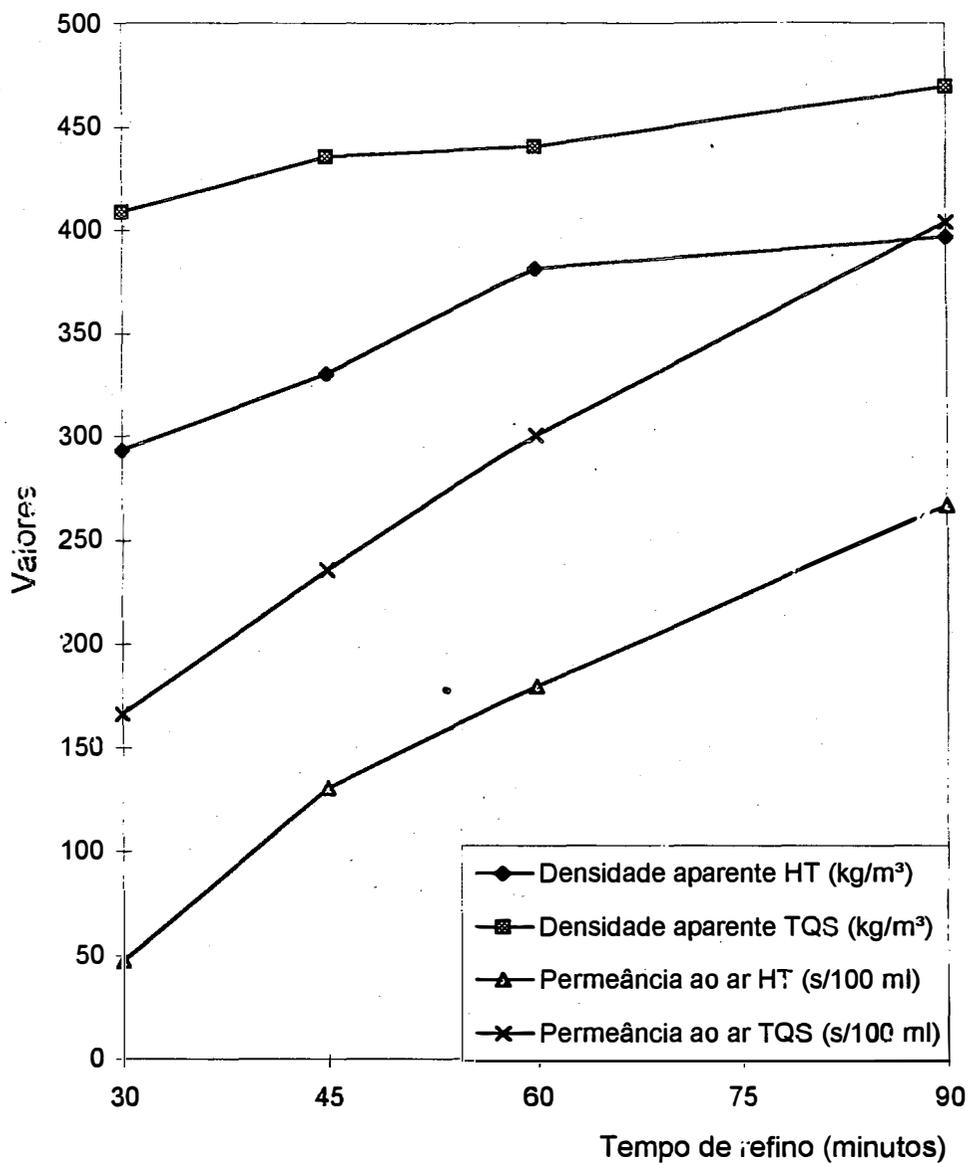


Figura 5.2

Varição da densidade aparente e permeância ao ar das pastas hidrotérmica (HT) e termoquímica à soda (TQS) com o tempo de refino

O aumento da densidade aparente, assim como também dos índices de tração e de arrebetamento, podem ser explicados pelo fato de que as fibras passaram de uma forma tubular rígida para uma forma de “fita” durante o tratamento mecânico de refinação, isto pode ser visto com clareza nas Figuras 5.3. e 5.4., onde observa-se que houve um aumento da área de contato entre fibras. Esta maior interação fibra-fibra provoca uma melhor conformação da folha, refletindo isto na queda da espessura e do volume específico aparente, um aumento considerável nos índices de tração e de arrebetamento, os quais dependem tanto da força de união entre fibras como da sua própria natureza. Nas Tabelas 5.3. e 5.4., têm-se os valores de propriedades de pastas de alto rendimento e pastas químicas, extraídas da literatura (NEVES et alii, 1987a; NEVES et alii, 1987b; NEVES, J., 1989), com o objetivo de realizar comparações com as pastas obtidas neste estudo.

Contrastando os valores das propriedades da Tabela 5.3. com as das pastas hidrotérmicas da ráquis da bananeira, pode-se ver que os níveis de densidade aparente atingidos, têm valores semelhantes aos das pastas de alto rendimento (mecânica, SGW; mecânica de desfibrador, RMP; termomecânica, TMP; e quimiotermomecânica, CTMP), usadas na fabricação de papéis imprensa, e valores menores do que os das pastas químicas semibranqueadas (SBR) e pastas Kraft branqueadas provenientes de várias espécies florestais, quando comparadas com as pastas da Tabela 5.4..



Figura 5.3 Micrografia de folha feita com pasta hidrotérmica de ráquis da bananeira, *Musa* Grupo AAA "Giant Cavendish", refinada durante 60 minutos (200x)

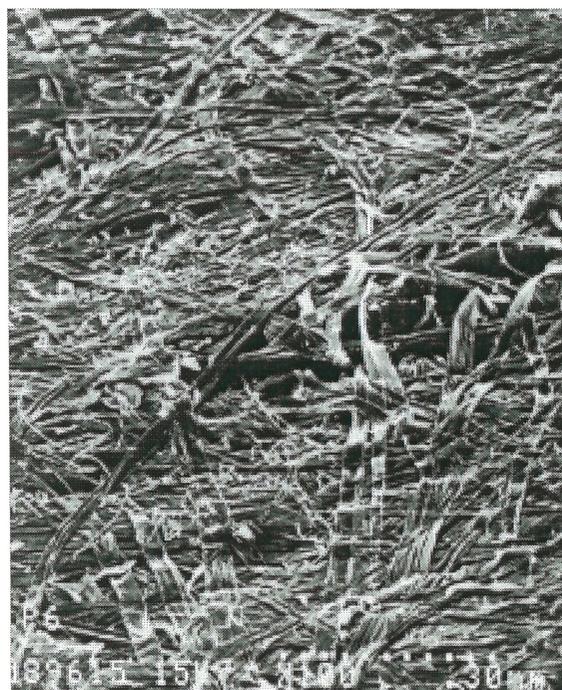


Figura 5.4 Micrografia de folha feita com pasta hidrotérmica de ráquis da bananeira, *Musa* Grupo AAA "Giant Cavendish", refinada durante 60 minutos (100x)

Tabela 5.3. Propriedades de algumas pastas de alto rendimento provenientes de espécies florestais

<b>Tipo de pasta</b>	TMP-NB	TMP-B	TMP-B	TMP	CTMP-NB
<b>Matéria-prima</b>	Araucária	Araucária	<i>Pinus tadea</i>		Araucária
Usos			Papel imprensa	Papel imprensa	
Espessura ( $\mu\text{m}$ )			175		
Densidade aparente ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )			337	400	
Resistência à auto-ruptura (km)				4,0	
Alongamento (%)			1,1		
Índice de tração (Nm/g)	18,3	26,3	23,0		23,3
Índice de arrebentamento ( $\text{kPa}\cdot\text{m}^2/\text{g}$ )			1,03	1,7	
Índice de rasgo ( $\text{mNm}^2/\text{g}$ )	5,8	7,0	4,46	8,0	8,4
<b>Tipo de pasta</b>	SGW	RMP	RMP		
<b>Matéria-prima</b>			<i>Pinus sp</i>	CTMP-B	
Usos	Papel imprensa	Papel imprensa	Papel imprensa	Araucária	
Espessura ( $\mu\text{m}$ )	--	--	167		
Densidade aparente ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )	400	335	345		
Resistência à auto-ruptura (km)	3,2	3,5			
Alongamento (%)			1,3		
Índice de tração (Nm/g)			19,3		
Índice de arrebentamento ( $\text{kPa}\cdot\text{m}^2/\text{g}$ )	1,3	1,5	1,02	33,3	
Índice de rasgo ( $\text{mNm}^2/\text{g}$ )	5,0	6,0	3,49	8,1	

NB: sem branquear  
 Araucária: *Araucaria cunninghamia*  
 CTMP: quimiotermodomecânicas  
 SGW: pasta mecânica de mó

B: branqueada  
 TMP: termomecânicas  
 RMP: pasta mecânica de desfibrador

Fonte: (NEVES et alii, 1987a; NEVES et alii, 1987b; NEVES, 1989)

Tabela 5.4. Propriedades de algumas pastas químicas provenientes de espécies florestais

Tipo de pasta	KRAFT-B	KRAFT-B	KRAFT-B	SBR	KRAFT-B
Matéria-prima	Eucalipto	Mistura de folhosas	<i>Pinus spp</i>		Eucalipto
Usos	Papel escrever	Papel escrever	Papel imprensa	Papel imprensa	Papel imprensa
Espessura ( $\mu\text{m}$ )			98		103
Densidade aparente ( $\text{kg/m}^3$ )	619	618	641	660	588
Resistência à auto-ruptura (km)				8,0	
Alongamento (%)			3,5		4,6
Índice de tração (Nm/g)	59	55	84,6	78,5	69,6
Índice de arrebentamento ( $\text{kPa}\cdot\text{m}^2/\text{g}$ )	3,3	3,3	5,46	6,0	4,28
Índice de rasgo ( $\text{mNm}^2/\text{g}$ )	9,0	10,3	9,38	14,0	10,8

SBR: semibranqueada  
B: branqueada

Fonte: (NEVES et alii, 1987a; NEVES et alii, 1987b; NEVES, 1989)

Quanto às propriedades mecânicas, vê-se que as pastas hidrotérmicas de ráquis da bananeira, são superiores às pastas de alto rendimento, em índice de tração e em índice de arrebentamento, sendo o índice de rasgo muito semelhante o inferior em alguns casos. Isto pode ser explicado pelo fato da ráquis da bananeira ter paredes muito finas, que podem colapsar muito facilmente e sofrer maior degradação durante o processo de

refinação, isto, além do corte e da própria escamação das paredes das fibras, conferidos pelo processo.

Durante o processo de refinação da pasta hidrotérmica, quando se passou do tempo de refino de 30 para 90 minutos, houve consumo de energia mas com ganhos nos valores da densidade aparente e das propriedades mecânicas com exceção do índice de rasgo, fornecendo assim pastas de boa qualidade.

### **5.3.2. Avaliação da pasta termoquímica à soda**

Os resultados médios com os desvios padrões, (para cada tempo de refino) das características da pasta termoquímica à soda, são apresentados na Tabela 5.5..

Como era de esperar, estas propriedades variaram com o tempo de refino, que passou de 30 para 90 minutos, da seguinte maneira:

- a espessura das folhas diminuiu em 15,2%, e a permeância ao ar aumentou em 143%, podendo ser o resultado da fragmentação mecânica do material parenquimático presente e da delaminação das paredes das fibras, as quais são muito finas;

- a densidade aparente aumentou em 15,0%;
- as propriedades mecânicas variaram do seguinte modo: aumentaram o índice de tração em 13,9%, o alongamento em 8,7%, e o índice de arrebentamento em 15,7%, entretanto o índice de rasgo diminuiu em 21,1%;
- os teores de cinzas ou material inorgânico ficou entre 1,44% e 1,67% (base seca); e
- as folhas manuais apresentaram uma cor marrom escura e pouco brilhante quando observadas ao olho nu, embora os resultados de alvura tenham sido da ordem de 16%.

Estas observações são mostradas nas Figuras 5.2 e 5.5, podendo-se ver que as propriedades de índice de tração e de arrebentamento, tendem a valores máximos quando o tempo de refinação foi de 60 minutos, e o índice de rasgo vai decrescendo com o tempo de refinação.

Os ganhos em densidade aparente, índice de tração e índice de arrebentamento, assim como a diminuição no índice de rasgo podem ser explicados com os mesmos critérios apresentados para as pastas hidrotérmicas.

Tabela 5.5. Caracterização das pastas termoquímicas à soda de ráquis da bananeira

CARACTERÍSTICAS	VALOR	DESVIO	VALOR	DESVIO	VALOR	DESVIO
	MÉDIO	PADRÃO	MÉDIO	PADRÃO	MÉDIO	PADRÃO
<b>Condições de refino</b>						
Tempo de refino (minutos)	30	--	45	--	60	--
Resistência à drenagem (°SR)	32	--	41	--	35	--
<b>Propriedades físicas</b>						
Gramatura (g/m <sup>2</sup> )	62,3	--	61,4	--	59,7	--
Espessura (µm)	154	15	143	15	136	6
Densidade aparente (kg/m <sup>3</sup> )	408	37	435	43	440	17
Volume específico (cm <sup>3</sup> /g)	2,47	0,23	2,32	0,25	2,28	0,10
<b>Propriedades mecânicas</b>						
Carga de ruptura, 15 mm (kgf)	6,6	0,8	7,2	0,5	7,8	0,8
Índice de tração (Nm/g)	69,3	8,5	76,7	5,3	85,6	8,8
Resistência a auto-ruptura (m)	7616	934	8429	582	9407	967
Alongamento (%)	2,3	0,3	2,3	0,3	2,6	0,4
Pressão de arrebatamento (kg/cm <sup>2</sup> )	3,2	0,2	3,4	0,3	3,5	0,2
Índice de arrebatamento (kPa·m <sup>2</sup> /g)	5,1	0,4	5,4	0,4	5,7	0,3
Força de rasgo de 5 folhas (gf)	14	1,2	11	0,8	10	0,4
Índice de rasgo (mNm <sup>2</sup> /g)	7,1	0,7	5,9	0,3	5,3	0,0
<b>Propriedades superficiais</b>						
Permeância ao ar, Gurley (s/100ml)	166	24	235	35	300	16
(µm Pa/s)	0,79	0,1	0,55	0,08	0,43	0
<b>Conteúdos químicos</b>						
Teor seco (%)	92,10	0,05	92,14	0,05	91,36	0,05
Cinzas (% base seca)	1,67		1,66		1,46	
					403	22
					0,32	0,02
					92,28	0,05
					1,44	

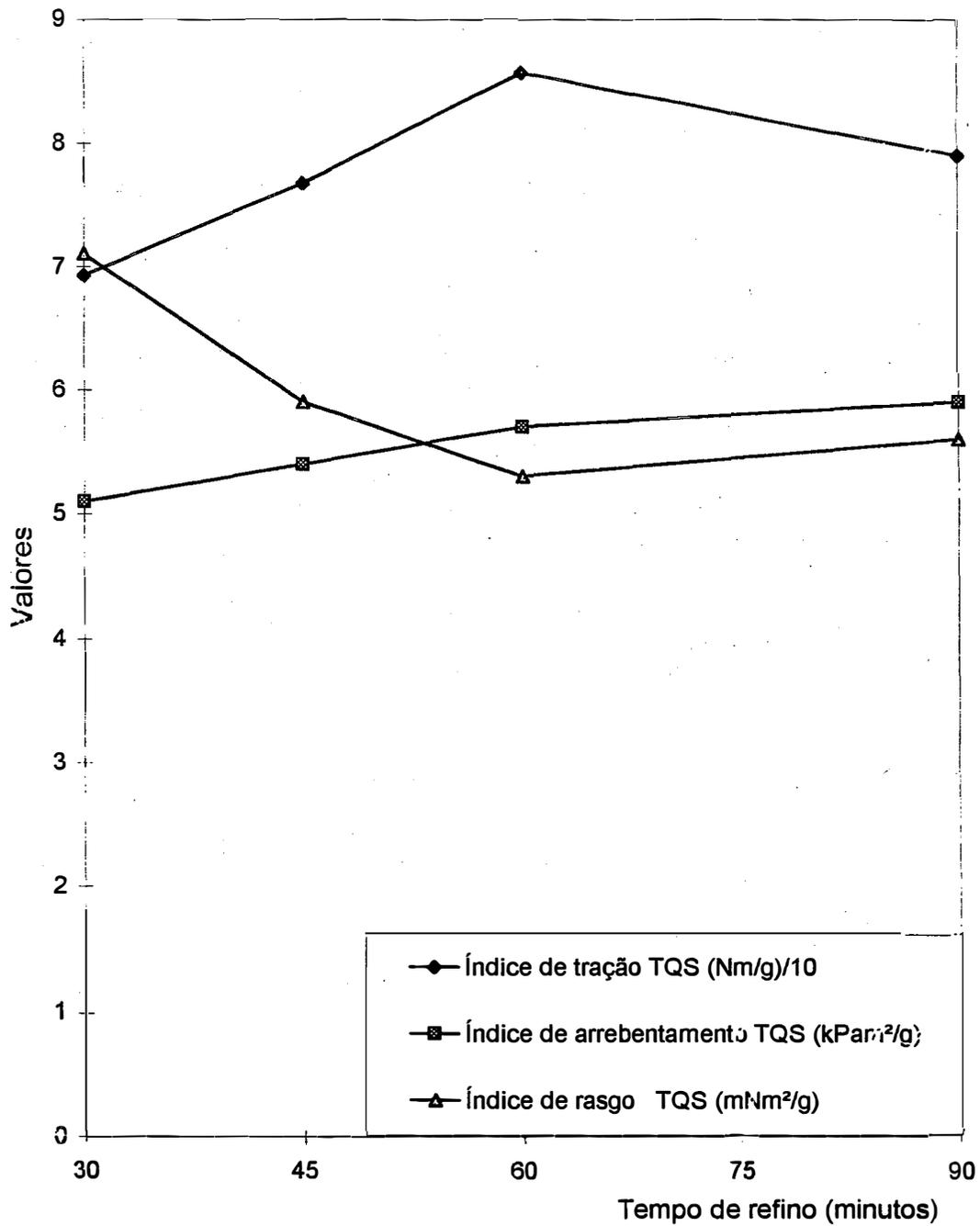


Figura 5.5.  
Variação das propriedades mecânicas da pasta termoquímica à soda com o tempo de refino

Para efeitos de comparação, contrastando os valores das propriedades da Tabela 5.3., com os das pastas termoquímicas à soda da ráquis da bananeira, os níveis de densidade aparente atingidos, têm valores semelhantes aos das pastas de alto rendimento (mecânica, SGW; mecânica de desfibrador, RMP; termomecânica, TMP; e termoquimicamecânica, CTMP), usadas na fabricação de papéis para imprimir, e valores menores do que os das pastas químicas semibranqueadas (SBR) e pastas Kraft branqueadas provenientes de várias espécies florestais, quando comparadas com às propriedades da Tabela 5.4..

Quanto às propriedades mecânicas, vê-se que as pastas termoquímicas à soda da ráquis da bananeira, são superiores em índice de tração e em índice de arrebentamento, sendo o índice de rasgo muito semelhante o inferior em alguns casos.

Tem-se que, durante o processo de refinação da pasta termoquímica à soda, quando se passou do tempo de refino de 30 para 90 minutos, houve também consumo de energia mas com ganhos nos valores da densidade aparente, e das propriedades mecânicas com exceção do índice de rasgo, fornecendo assim pastas de boa qualidade.

Nas Figuras 5.6 e 5.7 são apresentadas micrografias das folhas feitas com pasta termoquímica à soda, refinada durante 60 minutos, observam-se a grande fibrilação das fibras e a boa formação da folha.

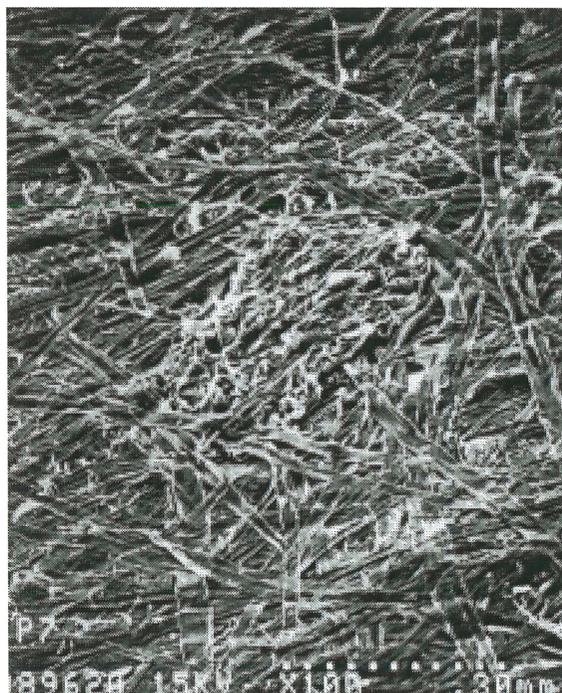


Figura 5.6 Micrografia de folha feita com pasta termoquímica à soda de ráquis da bananeira, *Musa* Grupo AAA "Giant Cavendish", refinada durante 60 minutos (100x)



Figura 5.7 Micrografia de folha feita com pasta termoquímica à soda de ráquis da bananeira, *Musa* Grupo AAA "Giant Cavendish", refinada durante 60 minutos (50x)

### **5.3.3. Comparação entre pastas hidrotérmicas e termoquímicas à soda**

Com base no tempo de refino, e contrastando os valores apresentados nas Tabelas 5.2. e 5.5., vê-se que os valores das diferentes propriedades das pastas hidrotérmicas analisadas foram menores do que os das pastas termoquímicas à soda. Por outro lado, vê-se também que estas últimas precisam menos energia para se atingir os melhores valores das primeiras. Isto se deve à introdução de soda no tratamento de beneficiamento da fibras da ráquis da bananeira, tornando-as menos friáveis e com maior capacidade de receber energia na forma de deformação ou fibrilação.

Este fato reflete nas propriedades mecânicas, pois se observa que os índices de tração e de arrebentamento são maiores para as pastas termoquímicas à soda, acontecendo para todos os níveis estudados.

Os índices de rasgo das pastas termoquímicas à soda são menores; isto pode ser interpretado, em termos, tanto do efeito da soda sobre os componentes químicos existentes nas paredes das fibras da ráquis; como da própria espessura e fragilidade destas fibras.

Estas comparações podem ser observadas nas Figuras 5.8 e 5.2.

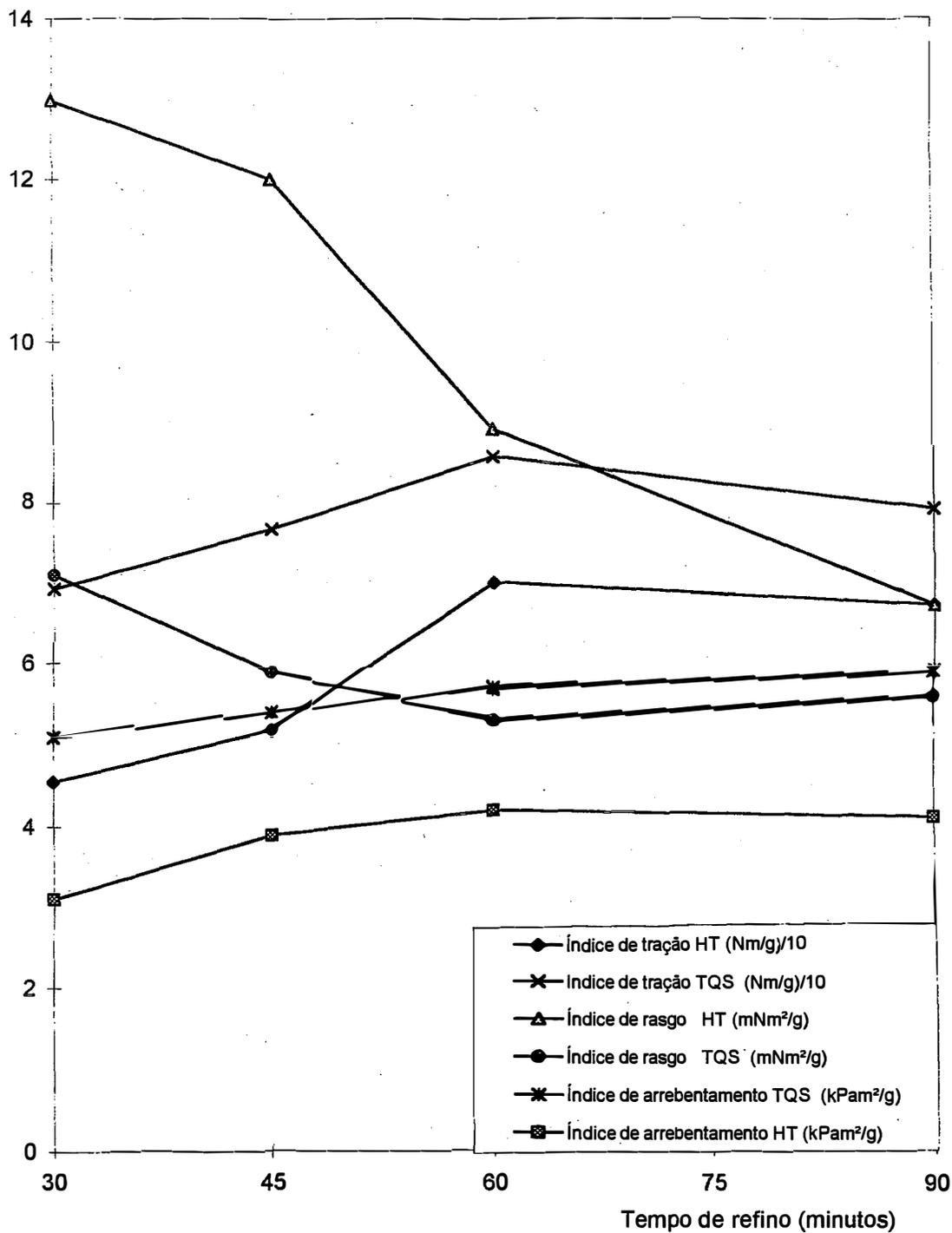


Figura 5.8  
Compação das propriedades mecânicas das pastas hidrotérmica (HT) e termoquímica à soda (TQS) com o tempo de refino

Sabe-se que a introdução de soda num processo de preparação de pasta celulósica incha as hemiceluloses e as regiões amorfas das fibras, ambas dentro da lamela média e da parede secundária das fibras, ajudando na refinação à fibrilação de suas camadas e diminuindo o consumo de energia. Como as paredes das fibras da ráquis da bananeira são muito finas (Tabelas 3.5 e 3.7); este inchamento pode chegar talvez a rompê-las, diminuindo de este modo sua resistência intrínseca. Este efeito é bastante pronunciado com o aumento do tempo de refino, onde as possibilidades de corte das fibras aumenta muito, devido ao longo tempo de atuação das facas do refinador sobre as fibras.

Sumariando, têm-se que a introdução de hidróxido de sódio (5% em base seca sobre as fibras) produz os seguintes efeitos nas propriedades mecânicas da pasta termoquímica com relação à pasta hidrotérmica, no nível de 60 minutos de tempo de refino:

- 15,5% de aumento na densidade aparente;
- 67,6% de aumento na permeância ao ar;
- 22,5% de aumento na resistência à auto-ruptura;
- 35,7% de aumento no índice de arrebentamento;
- 40,5% de diminuição no índice de rasgo; e
- nenhum efeito no alongamento.

Estas observações permitem concluir que para a ráquis da bananeira, o processo termoquímico à soda deve ser preferido em relação ao hidrotérmico, principalmente quando são requeridas pastas com maior resistência à tração e ao arrebentamento; maior permeância ao ar; maior densidade aparente e menor resistência ao rasgo.

#### **5.3.4. Avaliação das pastas em misturas**

Para as pastas em misturas: pasta termoquímica à soda refinada a 60 minutos, e as pastas de reciclo Capa A e Capa B, avaliadas a uma gramatura de  $127 \text{ g/m}^2$ , apresentam-se os resultados da classificação de fibras na Tabela 5.6.; os resultados médios com os desvios padrões das propriedades analisadas, na Tabela 5.7., e uma comparação das suas propriedades mecânicas e da densidade aparente na Figura 5.9. Todavia, são apresentadas micrografias de folhas feitas com as pastas Capa A e Capa B, nas Figuras 5.10 e 5.11.

Tabela 5.6. Classificação de fibras Bauer-McNett  
para as pastas em misturas

FRAÇÃO RETIDA EM PENEIRA	PASTA					
	TERMOQUÍMICA À SODA		Capa A		Capa B	
	x	s	x	s	x	s
16	4,17	0.08	18,63	0.15	7,03	0.13
30	3,36	0.007	37,88	0.18	49,04	0.25
50	17,66	0.41	14,13	0.14	18,60	0.12
100	5,02	0.014	4,08	0.03	5,52	0.52
PASSOU A						
100	69,79	--	25,28	--	25,33	--

x: valor médio  
s: desvio padrão

Tabela 5.7. Caracterização das pastas termoquímicas à soda de ráquis da bananeira, e as pastas de reciclo Capa A e Capa B a 127 g/m<sup>2</sup>.

Tipo de pasta	Termoquímica à soda		Capa A		Capa B	
	VALOR MÉDIO	DESVIO PADRÃO	VALOR MÉDIO	DESVIO PADRÃO	VALOR MÉDIO	DESVIO PADRÃO
<b>Condições de refino</b>						
Tempo de refino (minutos)	60	--	--	--	--	--
Resistência à drenagem (°SR)	48	--	20,5	--	30	--
<b>Propriedades físicas</b>						
Gramatura (g/m <sup>2</sup> )	126,7	--	128,2	--	126,7	--
Espessura (µm)	218	5	278	11	263	14
Densidade aparente (kg/m <sup>3</sup> )	581	14	461	17	484	24
Volume específico (cm <sup>3</sup> /g)	1,72	0,04	2,17	0,08	2,07	0,11
<b>Propriedades mecânicas</b>						
Carga de ruptura, 15 mm (kgf)	17,9	1,8	6,2	0,4	8,7	0,6
Índice de tração (Nm/g)	92,2	9,1	31,4	2,3	44,7	3,2
Resistência a auto-ruptura (m)	10133	1000	3451	253	4913	352
Alongamento (%)	2,9	0,2	2,4	0,4	2,4	0,3
Pressão de arrebatamento (kgf/cm <sup>2</sup> )	6,7	0,8	2,4	0,1	3,4	0,3
Índice de arrebatamento (kPam <sup>2</sup> /g)	5,2	0,6	1,8	0,1	2,6	0,2
Força de rasgo de 5 folhas (gr)	23	2,3	49	2,2	44	1,7
Índice de rasgo (mNm <sup>2</sup> /g)	5,8	0,7	12,2	0,5	11,1	0,4
<b>Propriedades ópticas</b>						
Alvura (%)	16,8	--	--	--	--	--
<b>Conteúdos químicos</b>						
Teor seco (%)	91,32	0,05	92,13	0,05	92,13	0,05
Cinzas (% base seca)	2,32	0,0	2,82	0,02	2,66	0,01

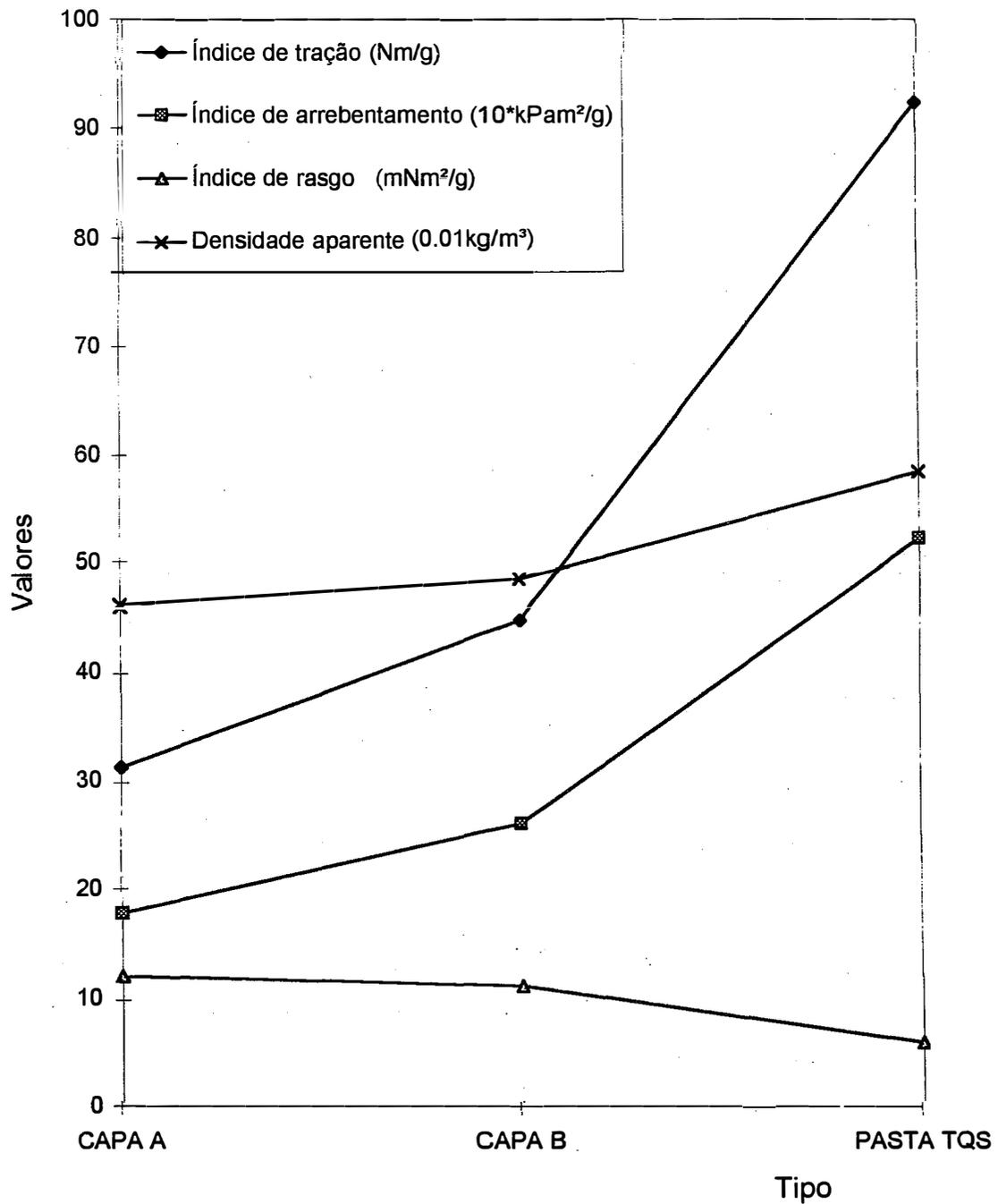


Figura 5.9  
Comparação da pasta termoquímica à soda de bananeira (TQS) com as pastas de reciclo Capa A e Capa B

Na classificação de fibras Bauer-McNett, consideram-se como fibras longas às frações retidas na peneira 50 ou mais; como fibras intermédias as retidas sobre a peneira 100 e que passaram a peneira 50, e como finos a fração que passou a peneira 100. Levando em conta esta definição, observa-se que as pastas de reciclo Capa A e Capa B possuem proporções semelhantes das três frações analisadas e que a pasta termoquímica à soda é muito diferente delas.

Esta última, apresenta grande quantidade de finos (aproximadamente 70%), isto interfere nos processos de fabricação de papel diminuindo a drenabilidade das pastas, e portanto, a velocidade de drenagem na máquina formadora de papel.

Das figuras 5.10 e 5.11, observa-se que as pastas de reciclo Capa A e Capa B possuem fibras muito danificadas, típicas de fibras provenientes de pasta secundária.



Figura 5.10 Micrografia de folha feita com pasta de reciclo  
Capa A refinada a 20,5° SR (50x)

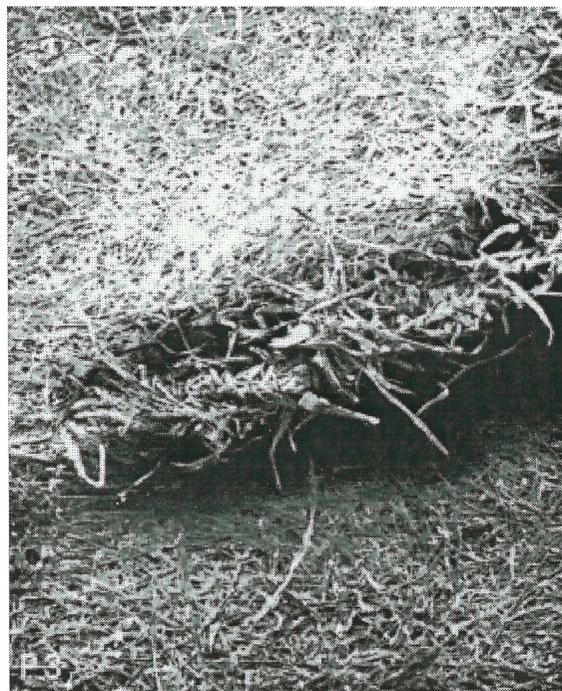


Figura 5.11 Micrografia de folha feita com pasta de reciclo  
Capa B refinada a 30° SR (25x)

### **5.3.5. Avaliação das misturas**

#### **5.3.5.1. Avaliação das misturas com pasta Capa A**

Os resultados médios com os desvios padrões, das características das misturas com pasta de reciclo Capa A, para cada proporção de pasta termoquímica à soda da ráquis da bananeira, são apresentadas na Tabela 5.8., e a variação das propriedades mecânicas e a densidade aparente com relação à proporção de pasta termoquímica à soda de ráquis da bananeira, é mostrada na figura 5.12..

Além, apresenta-se uma micrografia de folha feita com 30% de pasta termoquímica à soda e 70% de pasta Capa A, mistura 3A (Figura 5.13).

Tabela 5.8. Caracterização das misturas de pastas termoquímicas à soda de ráquis da bananeira com pasta de reciclo Capa A

Tipo de mistura	1A		2A		3A	
	VALOR MÉDIO	DESVIO PADRÃO	VALOR MÉDIO	DESVIO PADRÃO	VALOR MÉDIO	DESVIO PADRÃO
Proporção de pasta de bananeira (%)	10	--	20	--	30	--
<b>Condições de refino</b>						
Resistência à drenagem (°SR)	28	--	29	--	27	--
<b>Propriedades físicas</b>						
Gramatura (g/m <sup>2</sup> )	127,4	--	124,4	--	128,3	--
Espessura (µm)	268	8	260	14	262	23
Densidade aparente (kg/m <sup>3</sup> )	476	15	480	23	494	37
Volume específico (cm <sup>3</sup> /g)	2,10	0,06	2,09	0,11	2,04	0,18
<b>Propriedades mecânicas</b>						
Carga de ruptura, 15 mm (kgf)	8,4	1,0	8,8	1,3	10,3	1,2
Índice de tração (Nm/g)	43,1	5,1	46,2	6,8	52,4	5,9
Resistência a auto-ruptura (m)	4737	560	5077	747	5759	648
Alongamento (%)	2,3	0,3	2,6	0,4	2,8	0,3
Pressão de arrebentamento (kg/cm <sup>2</sup> )	3,1	0,2	3,6	0,3	5,0	0,2
Índice de arrebentamento (kPam <sup>2</sup> /g)	2,4	0,2	2,8	0,2	3,8	0,2
Força de rasgo de 5 folhas (gf)	50	1,9	45	1,8	46	2,17
Índice de rasgo (mNm <sup>2</sup> /g)	12,1	0,4	11,4	0,5	11,2	0,6
<b>Propriedades ópticas</b>						
Alvura (%)	18,5	--	16,2	--	30,9	--
<b>Conteúdos químicos</b>						
Teor seco (%)	92,38	0,05	92,26	0,05	91,99	0,05
Cinzas (% base seca)	2,66	0,02	2,61	0,007	2,59	0,03

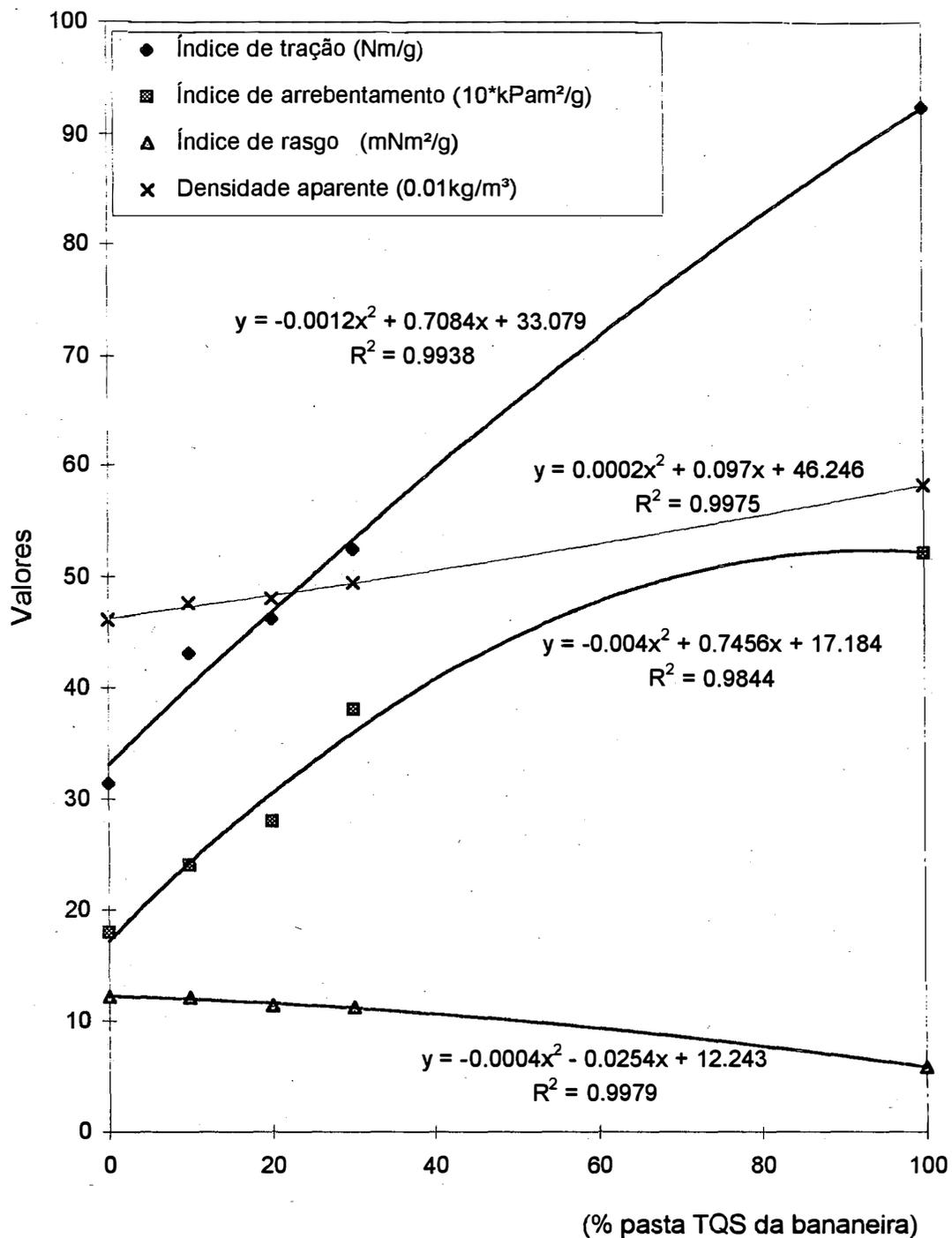


Figura 5.12

Variação das propriedades das misturas de pasta de reciclo Capa A com pasta termoquímica à soda da bananeira

### **5.3.5.2. Avaliação das misturas com pasta Capa B**

Os resultados médios com os desvios padrões, das características das misturas com pasta de reciclo Capa B, para cada proporção de pasta termoquímica à soda da ráquis da bananeira, são apresentadas na Tabela 5.9., e a variação das propriedades mecânicas e a densidade aparente com relação à proporção de pasta termoquímica à soda de ráquis da bananeira, é mostrada na Figura 5.13..

Além, apresenta-se uma micrografia de folha feita com 30% de pasta termoquímica à soda e 70% de pasta Capa B, mistura 3B (Figura 5.14).

Tabela 5.9. Caracterização das misturas de pastas termoquímicas à soda de ráquis da bananeira com pasta de reciclo B

Tipo de mistura	1B		2B		3B	
	VALOR MÉDIO	DESVIO PADRÃO	VALOR MÉDIO	DESVIO PADRÃO	VALOR MÉDIO	DESVIO PADRÃO
Proporção de pasta de bananeira (%)	10	--	20	--	30	--
<b>Condições de refino</b>						
Resistência à drenagem (°SR)	34	--	37	--	39	--
<b>Propriedades físicas</b>						
Gramatura (g/m <sup>2</sup> )	129,4	--	127,4	--	127,6	--
Espessura (µm)	272	23	254	10	247	8
Densidade aparente (kg/m <sup>3</sup> )	478	35	503	19	517	17
Volume específico (cm <sup>3</sup> /g)	2,10	0,18	1,99	0,08	1,94	0,06
<b>Propriedades mecânicas</b>						
Carga de ruptura, 15 mm (kg <sub>f</sub> )	9,3	0,9	10,4	0,6	12,3	1,2
Índice de tração (Nm/g)	46,7	4,4	53,4	3,2	63,0	6,0
Resistência a auto-ruptura (m)	4759	448	5441	352	6924	659
Alongamento (%)	3,0	0,2	2,6	0,4	2,9	0,3
Pressão de arrebentamento (kg/cm <sup>2</sup> )	4,2	0,3	4,8	0,3	5,3	0,4
Índice de arrebentamento (kPam <sup>2</sup> /g)	3,2	0,2	3,7	0,2	4,1	0,3
Força de rasgo de 5 folhas (gf)	50	1,3	45	1,9	43	2,3
Índice de rasgo (mNm <sup>2</sup> /g)	12	0,4	11	0,5	11	0,7
<b>Propriedades ópticas</b>						
Alvura (%)	25,3	--	20,3	--	28,3	--
<b>Conteúdos químicos</b>						
Teor seco (%)	92,03	0,05	92,49	0,05	92,35	0,05
Cinzas (% base seca)	2,67	0,03	2,52	0,02	2,56	0,04

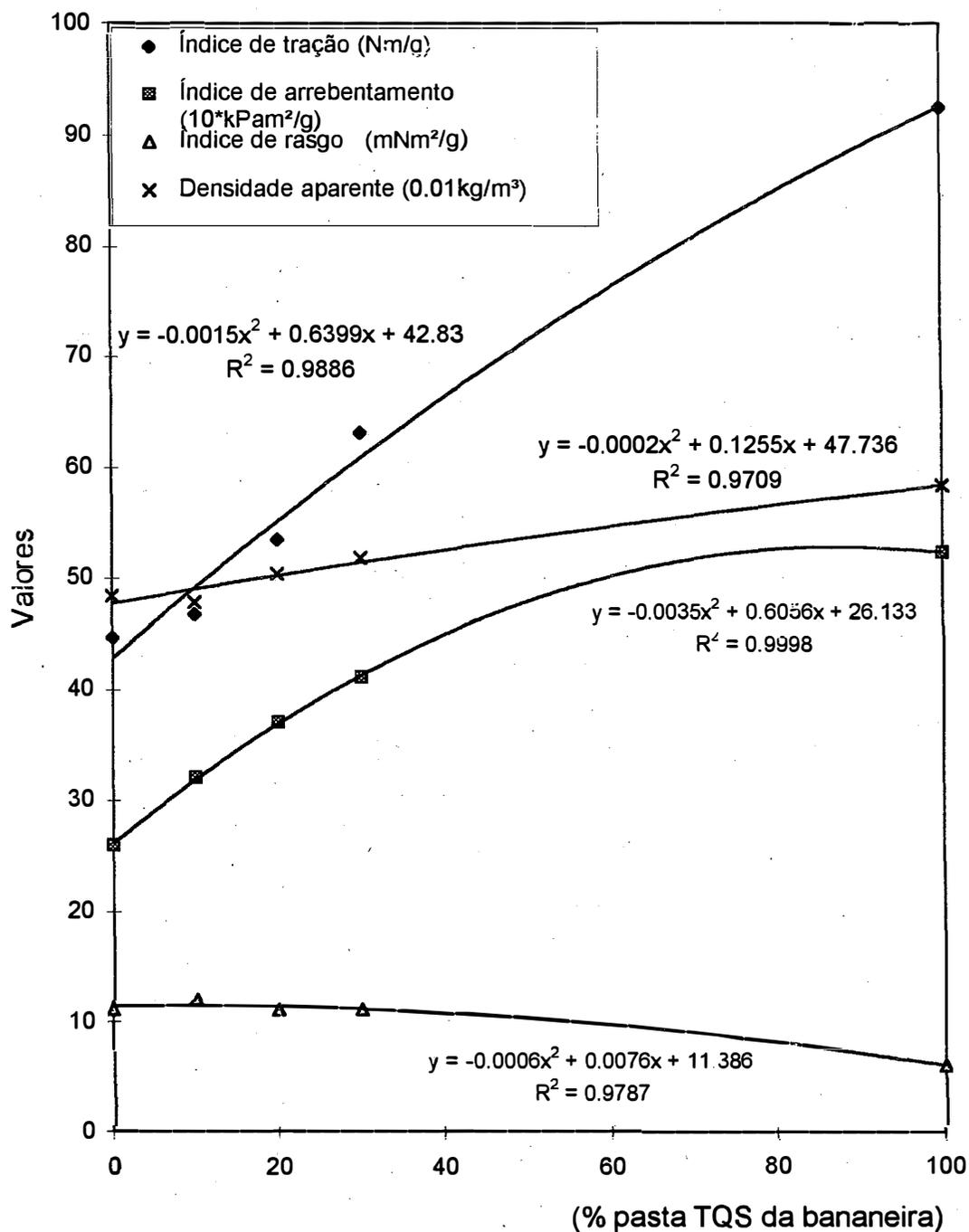


Figura 5.13

Varição das propriedades das misturas de pasta de reciclo Capa B com pasta termoquímica à soda da bananeira



Figura 5.13 Micrografia de uma folha feita com a mistura de 30% de pasta termoquímica à soda e 70% de pasta capa A ( 100 x)

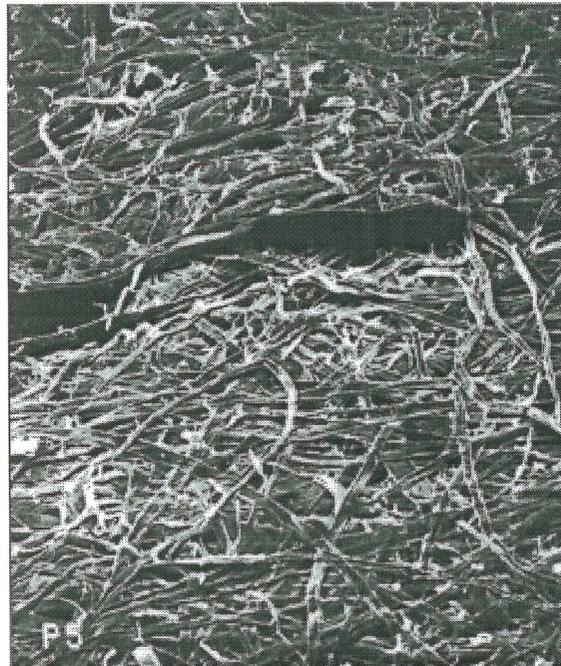


Figura 5.14 Micrografia de folha feita com a mistura de 30% de pasta termoquímica à soda e 70% de pasta capa B (100x)

#### 5.4. Conclusões específicas

Do estudo de produção de pasta para papel a partir do material beneficiado da ráquis da bananeira pode-se concluir que:

- é viável tecnicamente a produção de pastas celulósicas para fabricação de papel, após a refinação do material beneficiado pelos processos hidrotérmico e termoquímico à soda (descritos no capítulo 4);
- as melhores propriedades mecânicas, maior densidade aparente e maior permeância ao ar, foram encontradas após 60 minutos de refinação em refinador Jokro, para ambas as pastas;
- as pastas termoquímicas à soda apresentam melhores propriedades mecânicas com relação às pastas hidrotérmicas, em todos os níveis de tempo de refinação;
- as pastas obtidas são de cor marrom claro, brilhantes ao olho nu, de alta resistência mecânica à tração e ao arrebentamento, porém de resistência média ao rasgo;
- as pastas hidrotérmica e termoquímica à soda, apresentam melhores propriedades de resistência mecânica que as de pastas de alto

rendimento, e menores que as de pastas químicas semibranqueadas, branqueadas e sem branquear;

- o processo termoquímico à soda é mais conveniente com relação ao hidrotérmico, quando são requeridas pastas com boas resistência à tração e ao arrebentamento.

Do estudo de pastas em misturas obteve-se que:

- a pasta de reciclo Capa B apresenta maiores propriedades de resistência mecânica e densidade aparente do que as pasta Capa A, entretanto, a pasta termoquímica à soda de ráquis da bananeira possui maiores índices de tração e de arrebentamento e menor índice de rasgo do que elas;
- as pastas Capa A e Capa B contem frações semelhantes após a classificação de fibras no aparelho Bauer-McNett, e estas frações são muito diferentes com relação à pasta termoquímica à soda, a qual possui uma grande fração de finos;
- a inclusão de pasta termoquímica à soda de ráquis nas pastas de reciclo Capa A e Capa B, melhora os seus índices de tração e de arrebentamento, e não tem efeito significativo sobre a densidade aparente nem sobre o índice de rasgo.

## 6. CONCLUSÕES GERAIS E RECOMENDAÇÕES

Com o objetivo de verificar a viabilidade técnica da produção de pasta para papel a partir de ráquis da bananeira (*Musa* Grupo AAA “Giant Cavendish”), conhecida no Brasil como Nanicão, foram considerados três resíduos orgânicos gerados após a coleta do fruto: o pseudocaule, as folhas e a ráquis ou engaço. Os dois primeiros foram desconsiderados como matéria-prima para produção de celulose, pelo fato de formar parte do ciclo de vida da bananeira, sendo que as ráquis ficam geralmente fora da plantação e podem ser aproveitadas com o fim de eliminar um problema ambiental e dar aproveitamento e valor agregado ao rejeito, o qual representa para o Estado de São Paulo aproximadamente 6300 toneladas secas de biomassa ao ano.

Após as análises anatômicas e químicas verificou-se que a ráquis possui fibras extremamente compridas com paredes finas e de boa qualidade para produção de papel; além do que quimicamente contem um baixo teor de lignina é

baixo e altos teores de extratos, substâncias solúveis em água quente e substâncias inorgânicas.

Levando em conta os fatores anteriores, a morfologia da ráquis e a necessidade de se utilizar processos não dispendiosos nem daninos ao meio ambiente para produção de celulose, a ráquis da bananeira foi tratada pelo processo denominado de hidrotérmico, consistindo de duas etapas.

A primeira etapa o beneficiamento do material, consistiu da eliminação de materiais não fibrosos presentes na ráquis em sua forma original e que refletem na qualidade final do papel (epiderme, células parenquimáticas, extratos, cinzas); e uma segunda etapa na qual o material beneficiado é refinado até a obtenção de pasta adequada aos usos papeleiros.

Na etapa de beneficiamento o material em forma de cavacos foi cozinhado em água durante 3 horas a 98 °C, após foi feita a separação física dos materiais indesejáveis e o material beneficiado passou à etapa de refinação mecânica onde a fibra adquiriu as características de pasta para papel; sendo o rendimento global deste processo aproximadamente 31% de pasta hidrotérmica com relação ao material original seco.

A pasta hidrotérmica obtida é uma pasta de fibra longa, de cor marrom claro muito brilhante ao olho nu, de alta resistência mecânica à tração e ao arrebatamento, de resistência média ao rasgo e de baixa permeância ao ar; comparada com pastas comerciais de alto rendimento apresenta maior resistência

mecânica e menor resistência quando comparada com pastas químicas branqueadas e sem branquear.

O processo hidrotérmico pressurizado no qual foi aumentada a temperatura de cozimento até 170 °C, gerou maior quantidade de materiais solúveis e pelo tanto menor quantidade de “medula” para separar, sendo o rendimento de material fibroso aproximadamente igual ao processo sem pressão.

O processo termoquímico à soda foi uma outra modificação ao processo hidrotérmico que consistiu da adição de soda na hora do cozimento do material (5% de NaOH com relação ao material seco original) o que produziu basicamente os mesmos rendimentos das diferentes frações na etapa de beneficiamento, porém pastas com melhores propriedades mecânicas à tração e ao arrebatamento e menores ao rasgo do que as pastas hidrotérmicas.

Com os resultados de rendimento das pastas obtidas, estimou-se para o Estado de São Paulo que a quantidade de ráquis potencialmente disponível é suficiente para alimentar uma fábrica que produza aproximadamente 6 toneladas de pasta por dia.

Se recomenda realizar o beneficiamento das ráquis nos locais onde é embalada a banana e nos primeiros dois dias após o corte dos cachos, já que as ráquis são atacadas rapidamente por organismos biodegradadores devido à alta proporção de parênquima e umidade presentes, fatores que também fazem inviável seu transporte.

Verificou-se que a pasta termoquímica à soda de bananeira pode ser usada para melhorar propriedades de papel capa proveniente de aparas de papelão quando misturada nas receitas estudadas, nas proporções de 10, 20 e 30% . A introdução de pasta TQS nas receitas consideradas teve os seguintes efeitos: aumento dos índices de tração e de arrebentamento, aproximação da cor a papel kraft tradicionalmente usado para fabricação de papel capa, nenhum efeito sobre o índice de rasgo, e aumento da densidade aparente do papel.

Como visto, há viabilidade técnica de uso da ráquis de bananeira para produção de fibras para o Setor de Celulose e Papel, entretanto, sua viabilidade econômica deve ser avaliada. O problema então se restringe à preparação de um estudo de dimensionamento de equipo, projeto e localização de planta, bem como da viabilidade econômica, os quais não foram executados por estar fora dos objetivos deste trabalho e que poderia ser objeto de um estudo complementar.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABD EL-REHIM, S.A.; TARABOULSI, M.A. Mechano chemical depithing of bagasse. In: TAPPI. **Non-wood plant fiber pulping**. Atlanta, TAPPI Press, 1987. p.137-143. (Progress Report, 17).
- ABTCP/IPT. **Manual de normas técnicas: pasta celulósica e papel**. São Paulo, 1994. V.1, 49p.
- AMADOR, G. Estudio de alternativas pra el tratamiento y utilización del raquis de banano. San José, 1992. 219p. (Licenciatura en Ingeniería Química - Universidad de Costa Rica).
- ALQUINI, Y. Interpretação morfológica de *Musa rosaceae* Jacq. Curitiba, 1986. 92p. (Mestrado em Ciências Biológicas - Universidade Federal do Paraná).
- ALQUINI, Y. Anatomia dos órgãos em desenvolvimento de *Musa rosaceae* Jacq. (Musaceae). São Paulo, 1992. 258p. (Doutorado em Ciências na Área de Botânica - Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo).
- ARRUDA, S.T.; PÉREZ, L.H.; BESSA JUNIOR, A.A. A bananicultura no Vale do Ribeira: características dos sistemas de produção. **Agricultura em São Paulo**, São Paulo, 40(1):1-17, 1993.
- ASTM. **Standard test methods for specific gravity of wood and wood-based materials: D2395-83**. Easton, 1983. p.497-507.
- ASTM. **Standard test methods for gross calorific values of solid fuel by the isothermal-jacket bomb calorimeter D3286-82**. Easton, 1984. 05.05(05): p.435-444.

- ATCHISON, J.E. Review of bagasse depithing. Reprinted from **Proc. ISSCT**, 14, 1972. p.1202-1217.
- ATCHISON, J.E. Data on non-wood plant fibers. In: TAPPI. **Pulp and paper manufacture: secondary fibers and non-wood pulping**. 3.ed. Montreal, CPPA/TAPPI, 1987a. V.3, p.4-21.
- ATCHISON, J.E. Bagasse. In: TAPPI. **Pulp and paper manufacture: secondary fibers and non-wood pulping**. 3.ed. Montreal, CPPA/TAPPI, 1987b. V.3, p.22-70.
- ATCHISON, J.E. Advances in the state-of-the-art for the production of pulp and paper from non-wood plants. In: 1988 INTERNATIONAL NON-WOOD FIBER PULPING AND PAPERMAKING CONFERENCE, Beijing, 1988. **Proc. s.L.p., s.c.p.**, 1988. p.24-49.
- ATCHINSON, J.E. New developments in non-wood plant fiber pulping: a global perspective. In: 1989 INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON WOOD AND PULPING CHEMISTRY, Raleigh, 1989. **Proc. Atlanta, TAPPI**, 1989. p.457.
- ATCHISON, J.E.; MCGOVERN, J.N. History of paper and the importance of non-wood plant fibers. In: TAPPI. **Pulp and paper manufacture: secondary fibers and non-wood pulping**. 3.ed. Montreal, CPPA/TAPPI, 1987. V.3, p.1-3.
- ATEN, A.; FAUNE, A.D.; RAY, L.R. **Equipment for the processing of long vegetable fibers**. Rome, FAO, 1953. p.1-22. (FAO Development Paper, 25 Agriculture).
- BENATTI JUNIOR, R. **Rami: planta têxtil e forrageira**. São Paulo, Nobel, 1986. p.43-53.
- BROWNING, B.L. (Ed.) **Methods of wood chemistry**. New York, Interscience, 1967. V.1, p.240-243, 228.
- BUCHANAN, M.A. The tannins and coloring matters. In: WISE, L.E.; JAHN, E.C. **Wood chemistry**. 2.ed. New York, Reinhold Publishing, 1952. V.1, p.618-637. (American Chemical Society Monograph Series).
- CAMARA NACIONAL DE BANANEROS. **Planteamiento del sector bananero al Poder Ejecutivo**. San Joss, 1995. 22p.

- CARPIO, I. M. **Maderas de Costa Rica: 150 especies forestales.** San José, Editorial de la Universidad de Costa Rica, 1992. p.13-16.
- CHAVES, M. Pulpeo mecánico de raquis de banano, pino y poró. San José, 1981. (Licenciatura en Ingeniería Química - Universidad de Costa Rica).
- COOK, J.G. **Natural Fibres.** 4.ed. s.L.p., W.S. Cowell, 1968. V.1, p.30-33. (Handbook of textile fibres).
- DAHLGREN, R.M.T.; CLIFFORD, H.T.; YEO, P.F. **The families of the monocotyledons: structure, evolution, and taxonomy.** s.L.p., Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1985. p.352-359.
- DARKWA, N.A. Pulping chemical of plantation (*Musa paradisiaca* L.) pseudostems. In: 1988 INTERNATIONAL NON-WOOD FIBER PULPING AND PAPERMAKING CONFERENCE, Beijing, 1988. **Proc.** s.L.p, s.c.p., 1988. V.2, p.973-974.
- ELAZEGUI, T.A.; BAWAGAN, B.O.; CRUZ, M.P. Prehydrolysis-pulping study on abaca stripping wastes. **FORPRIDE DIGEST**, Laguna, 11(1/2):53-56, Jan./June 1982.
- ESAU, K. **Anatomía vegetal.** 2.ed.rev. Barcelona, Ediciones Omega, 1972. p.236, 240, 346-362.
- ESCOLANO, J.O. Utilization of abaca for pulp and paper. **FORPRIDE DIGEST**, Laguna, 10(1/2):12-15, Jan./June 1981.
- ESCOLANO, J.O.; TAMOLANG, F.N.; VILLANUEVA, E.P. Newsprint from sugarcane bagasse and other non-wood plant fibers. In: TAPPI. **Non-wood plant fiber pulping.** Atlanta, TAPPI, 1979. p.117-121. (Progress Report, 10).
- ESCOLANO, J.O.; VISPERAS, R.V.; BALLON, C.H. The pulping of the some *Musa* sp. fibers other than abaca (*Musa textilis* NEE.). In: 1988 INTERNATIONAL NON-WOOD FIBER PULPING AND PAPERMAKING CONFERENCE, Beijing, 1988. **Proc.** s.L.p., s.c.p., 1988. V.1, p.197-205.
- ESPINOZA, M. Estudio del encolado a partir de materias primas nacionales para la obtención de papel en diversos usos en la industria. San José, 1986. (Licenciatura en Ingeniería Química - Universidad de Costa Rica).

- ESTUDILLO, C.P. FORPRIDECOM fiber-extraction machine: its technological and economic advantages. **FORPRIDE DIGEST**, Laguna, 6(1):67-68, 1977.
- FAHN, A. **Anatomía vegetal**. s.L.p., H. Blume Ediciones, 1978. p.169-178.
- FAO. **Yearbook Trade 1990**. Rome, 1991. V.44, p.160-161. (FAO Statistics Series, 102).
- FENGEL, D.; WEGENER, G. **Wood: chemistry, ultrastructure, reactions**. . 2.ed. Berlin, Walter de Gruyter, 1989. p.207-213.
- FOELKEL, C.E.; BARRICHELO, L.E.G. Mistura de celuloses de *Eucalyptus saligna* e *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. **IPEF**, Piracicaba, (10):63-75, 1975.
- FRANCIA, P.C.; BELEN, L.D.; ESCOLANO, E.U.; VILLANUEVA, E.P. Non-wood fibers for rayon grade high alpha pulp. **FPRDI JOURNAL**, Laguna, 13(2): 25-32, Apr./June 1984.
- FRANSON, M. A. (Ed.). **Standar methods for the examination of water and wasterwater**. 15.ed. Washington, APHA/AWWAWPCF, 1981. p.536-537.
- GALLO, J.R.; BATAGLIA, O.C.; FURLANI, P.R.; HIROCE, R.; FURLANI, A.M.C.; RAMOS, M.T.B.; MOREIRA, R.S. Composição química inorgânica da bananeira (*Musa acuminata* SIMMONDS, cultivar Nanicão. **Ciência e Cultura**, São Paulo, 24(1):70-79, jan. 1972.
- GEMTCHÚJNICOV, I. **Manual de taxonômia vegetal: plantas de interesse econômico**. São Paulo, Ed. Agronômica Ceres, 1976. p.268-299.
- GONZÁLEZ, A.; GARCÍA, O.L.; VILLAMIL, G.. Pasta de alto rendimento a partir de bagaço de cana. **O Papel**, São Paulo, 14(9):19-25, set. 1993.
- GROOT, B.; ZUILICHEM, D.; ZWAN, R.P. The use of non-wood fibers for pulping and papermaking in the Netherlands. In: 1988 INTERNATIONAL NON-WOOD FIBER PULPING AND PAPERMAKING CONFERENCE, Beijing, 1988. **Proc.** s.L.p., s.c.p., 1988. V.1, p.216-222.
- HIROCE, R. O aproveitamento do pseudocaule. **O Estado de São Paulo**, São Paulo, 19 mar. 1972. Suplemento Agrícola 877: p.11.
- IBGE. **Anuário estatístico do Brasil**. Rio de Janeiro, 1994. p.132, 145.

- IBGE. Enciclopédia dos municípios brasileiros. Rio de Janeiro, 1958. V30. p.20-21
- ICAITI. **The production of fibres from the stem of the banana fruit by retting, with simultaneous generation of the effluents with a mixed culture of alge.** Guatemala, 1988a. p.1-8. (Projeto: Integrated utilization of banana plant. Final Report).
- ICAITI. **The production of pulp and paper from the stems of the fruit, pseudostems of the leaves of the banana plant, using conventional (Kraft, full soda) and non conventional process (organosolv).** Guatemala, 1988b. p.1-53. (Projeto: Integrated utilization of banana plant. Final Report).
- JENSEN, W.; FREMER, K.E.; SIERILÄ, P.; WARTIOVAARA, V. The chemistry of the bark. In: BROWNING, B.L. (Ed.). **The chemistry of wood.** New York, Interscience, 1963. Cap.12, p.629-632.
- JUDT, M. Research problems in developing countries using non-woody fibres, as seen by UNIDO. In: SEAQUIST, A.J.; COBB, E.C. (Comp.). **Non-wood plant fiber pulping.** Atlanta, TAPPI Press, 1985. p.57-143. (Progress Report, 15).
- JUDT, M.. The science of non-wood fibers pulp and papermaking. In: 1988 INTERNATIONAL NON- WOOD FIBER PULPING AND PAPERMAKING CONFERENCE, Beijing, 1988. **Proc.** s.L.p., s.c.p., 1988. V.1, p.8-23.
- KILIPEN, O.; OY, E. Non-wood speciality pulps. In: PULPING CONFERENCE, Boston, 1992. **Proc.** Atlanta, TAPPI Press, 1992. Book 1, p.4753.
- KNIGHT, P. Brazil: Rinsing domestic consumption fuels output growth. **PPI**, Brussels, 30(7):80, Jul. 1994.
- LLAMAS, X. Mexico: investments in the pipeline, despite diminishing output. **PPI**, Brussels, 36(7): 84, Jul. 1994.
- LÓPEZ, E. Producción de papel a partir de raquis de banano. San José, 1981. (Licenciatura en Ingeniería Química - Universidad de Costa Rica).
- MARMOLEJO, M.R. Colombia: local producers tighten their belts. **PPI**, Brussels, 36(7):89, Jul. 1994.

- MONTGOMERY, B. The leaf fibers. In: MAUERSBERGER, H.R. (Ed.). **Matthew's textile fibers: their physical, microscopic, and chemical properties.** 6.ed. New York, John Wiley, 1954. p.360-438.
- MOREIRA, R. **Banana: teoria e prática de cultivo.** Campinas, Fundação Cargill, 1987. p.3-25, 85-107.
- NEVES, J. Refinação de pasta celulósica: fatores que influem no processo e que são afetados por esta etapa da preparação de massa. **O Papel**, São Paulo, 47(5):35-40, mai. 1986.
- NEVES, J.; BERGMAN, S.; BARROTTI, S.L.; BUGAJER, S. Características básicas de papéis que recebem ou podem vir a receber pastas de alto rendimento -par- em sua formulação. **O Papel**, São Paulo, 48(11):73-92, nov. 1987a.
- NEVES, J.; LIMA, A.; ASSUMPAÇÃO, R. Características básicas de pastas de alto rendimento, conforme sua utilização. **O Papel**, São Paulo, 48(11):93-101, nov. 1987b.
- NEVES, J. TMP de *Pinus tadea*: misturas para a fabricação de papel imprensa. **O Papel**, São paulo, 50(12):107-124, dez.1989.
- OLIVEIRA, R. Produção de celulose kraft a partir de misturas de madeira de *Pinus strobus* var. *chiapensis* e *Eucalyptus urophylla* de origem híbrida. Viçosa, 1979. 177p. (Magister Scientiae - Universidade Federal de Viçosa)
- PALMER, E.R.; GIBBS, J.A. **Pulping characteristics of *Gmelina arborea* and *Bursera simaruba* from Belize.** London, Tropical Products Institute, May. 1974. 27p. ( L36)
- PATEL, R.J.; ANGADIYAVAR, C.S.; SRINIVASA, Y.. Non-wood fiber plants for paper making: a review. In: SEAQUIST, A.J.; COBB, E.C. (Comp.). **Non-wood plant fiber pulping.** Atlanta, TAPPI Press, 1985. p.77-90. (Progress Report, 15).
- PAYNE, M. Latin America: gearing up for next century. **PPI**, Brussels, 35(1)46-47, Jan. 1994.
- PEARSON, J. (Ed.) Annual review: world trends and trade. **PPI**, Brussels, 35(7):23-27, July. 1993.

- PORTER, L.J. Condensed tannins. In: ROWE, J.W. (Ed.). **Natural products of woody plants: chemicals extraneous to the lignocellulosic cell wall.** Berlin, Springer Series in Wood Science, 1989. V.1, p.651-690.
- PURSEGLOVE, J.W. **Tropical crops: monocotyledons.** New York, John Wiley, 1972. V.2, p.343-384.
- REBOUÇAS, J.T.; MARTINS, M.A.L. Efeito da ação do refino nas propriedades físico-mecânicas da polpa de sisal e outras não madeira. In: CONGRESSO ANUAL DA ABCP, 28., São Paulo, 1985. **ANAIS.** São Paulo, ABCP, 1985. p.149-167.
- ROWE, P.R. Origen y mejoramiento genético del banano. In: DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIONES AGRÍCOLAS TROPICALES DE LA COMPAÑÍA UNITED BRANDS. **Guía práctica para el cultivo del banano.** 1975. p.1.
- SABORÍO, C.M. Producción de papel y cartón a partir de raquis de banano. San José, 1981. (Licenciatura en Ingeniería Química - Universidad de Costa Rica).
- SANTANA, M.A.; TEIXEIRA, D.E. Uso do bagaço de cana-de-açúcar na confecção de chapas aglomeradas. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 7., Curitiba, 1993. **Anais.** São Paulo, SBS/SBEF, 1993. V.2, p.667-672.
- SEMANA, J.A.; ESCOLANO, E.U.; FRANCIA, P.C. Proximate composition of the fibers of some Philippine banana. **FORPRIDE DIGEST**, Laguna, 7(4):10-18, 1978.
- SHEDDEN, M. Estudio de raquis de banano (*Musa giant cavendishii* Lambert) e investigación de sus posibles usos. San José, 1978. (Licenciatura en Ingeniería Química - Universidad de Costa Rica).
- SHOUZU, H. China's non-wood plant fibrous raw materials and its application for pulping and papermaking. In: 1988 INTERNATIONAL NON-WOOD FIBER PULPING AND PAPERMAKING CONFERENCE, Beijing, 1988. **Proc.** s.L.p., s.c.p., 1988. V.1, p.50-64.
- SILVA, G.; MARICATO, O. Banana I. **Revista Globo Rural**, São Paulo, 9(103):19-24, maio 1994.
- STAMM, A.J.; HARRIS, E.E. **Chemical processing of wood.** New York, Chemical Publishing, 1953. p.71-72, 479-480.

- STURION, G. Utilização da folha da bananeira como substrato para o cultivo de cogumelos comestíveis (*Pleurotus spp*). Piracicaba, 1994. 147p. (Mestre em Ciências, Área de Concentração: Ciência e Tecnologia de Alimentos - ESALQ).
- TAPPI. **TAPPI Test Methods: T1-T1209**. Atlanta, 1992.
- TARAS, M.J. Water analysis. In: WELCHER, F.J. (Ed.). **Standars methods of chemical analysis**. 6.ed. New York, Van Nostrand Reinhold, 1963. V.2B, Cap.48, p.2492-2493.
- TOMLISON, P.B. **Anatomy of the monocotyledons**. s.L.p., Oxford University Press, 1969. V.3, p.296-301, 303-315, 393-415.
- TOMAZELLO FILHO, M.; AZZINI, A. Variação e estrutura dos colmos de bambu (*Bambusa vulgaris* Schrad). **O Papel**, São Paulo, 49(12):155-161, dez. 1988.
- TORRES, M. Propiedades fundamentales de la fibra de raquis de banano (*Musa giant cavendishii*). San José, 1981. (Licenciatura en Ingeniería Química - Universidad de Costa Rica).
- TORTORELLI, L.A. **Madera y bosques argentinos**. Buenos Aires, ACME, 1956. 910p.
- VISPERAS, R.V.; ESTRELLADO, A.R.; LASMARIAS, V.B.; PAMPLONA, B.S. A preliminary study on ethanol pulping of abaca fibers. **FPRDI J.**, Laguna, 13(2):20-24, Apr./June 1984.
- VITTI, G.C.; RUGEIERO, C. Aproveitamento do engaço, coração e ráquis, como fonte de nutrientes. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE BANANICULTURA, 1., Jaboticabal, 1984. **ANAIS**. São Paulo, UNESP, 1984. p.392-399.
- WENZEL, H.F.J. **The chemical technology of wood**. New York, Academic Press, 1970. p.147-149, 317.
- ZHAI, H.; LEE, Z.; TAI, D. Separation of fibrous cells and parenchymatous cells from wheat straw and the characteristics in soda-AQ pulping. In: 1988 INTERNATIONAL NON-WOOD FIBER PULPING AND PAPERMAKING CONFERENCE, Beijing, 1988. **Proc.** s. L.p., s.c.p., 1988. V.1, p.468-478.
- ZHU, Y.; PUFANG, C. China: more capacity under construction as new lines sart up. **PPI**, Brussels, 36(7): 62, July. 1994.