

ANTONIO GONÇALVES DA SILVA

**CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS DO PSEUDOCAULE E DAS
POLPAS CELULÓSICAS KRAFT BRANQUEADAS DE *Musa sp.***

Tese apresentada à Universidade
Federal de Viçosa, como parte das
exigências do Curso de Pós-
graduação
em Ciência Florestal, para obtenção
do
Título de “Magister Scientae”.

**VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
JANEIRO - 1998**

ANTÔNIO GONÇALVES DA SILVA

**CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS DO PSEUDOCAULE E DAS
POLPAS CELULÓSICAS KRAFT BRANQUEADAS DE *Musa sp.***

Tese apresentada à Universidade
Federal de Viçosa, como parte das
exigências do Curso de Pós-
graduação
em Ciência Florestal, para obtenção
do
Título de “Magister Scientae”.

A. APROVADA: 19 de janeiro de 1998

Prof. Jorge Luiz Colodette
(Conselheiro)

Prof. Rubens Chaves de Oliveira
(Conselheiro)

Prof. José Gabriel de Lelles
Almeida Neto

Eng. Francisco J. de

Prof. José Lívio Gomide
(Orientador)

memorian)

sobrinhos.

A Deus,
A minha mãe, e avó (in

A minha irmã,
Aos meus

AGRADECIMENTOS

A Deus pela minha rápida recuperação dos meses de coalescência.

Ao professor José Lívio Gomide, pela dedicação, amizade e orientação deste estudo.

Aos professores Jorge Luiz Colodette e Rubens Chaves de Oliveira, pelos ensinamentos, sugestões, amizade e incentivo à realização deste estudo.

Ao CNPq pela bolsa de estudo.

À Universidade Federal de Viçosa pela oportunidade concedida.

Ao Arquivo Nacional/MJ pela oportunidade e liberação das minhas atividades profissionais, para realização deste estudo.

AO Sr. Yiu Lau Lam da PETROBRÁS/CENPES, pela colaboração.

Ao Sr Gustavo Wener da Araguaia's Bananas e ex-presidente da ABANORTE, pelo fornecimento do material para realização deste experimento.

Aos funcionários do Laboratório de Celulose e Papel, pela amizade e colaboração.

À Unión del Países Expotadores de Banano pelo fornecimento de referências bibliográficas.

Aos funcionários da Biblioteca Central pelo auxílio à correção das referências bibliográficas.

A todos que direta ou indiretamente auxiliaram com a realização deste estudo.

BIOGRAFIA DO AUTOR

Antônio Gonçalves da Silva, filho de Antônio Izidoro da Silva e Edith Gonçalves Corrêa, nasceu na Cidade de São Sebastião do Rio de Janeiro, no antigo Estado da Guanabara, atual Estado do Rio de Janeiro, em 23 de fevereiro de 1961.

Cursou o primeiro segmento do primeiro grau na Escola Municipal Santo Tomás de Aquino, e o segundo na Escola Municipal Joaquim Abílio Borges. Iniciou o segundo Grau no Colégio Estadual André Mourois, concluindo-o no Colégio Hélio Alonso, na sua terra natal.

Em 1980, iniciou o curso de Engenharia Química na Universidade Estadual do Rio de Janeiro, graduando-se em dezembro de 1984.

No ano seguinte, por aproveitamento de estudos, ingressou no curso de Licenciatura em Química, na mesma Universidade, graduando-se em março de 1986.

De 1986 a 1988 trabalhou como químico do Programa Nacional de Preservação da Documentação Histórica - Pró-Documento/ISOHB/PRÓ-MEMÓRIA, atuando na área de controle e combate à biodeterioradores de bens móveis e imóveis.

Em 1988 realizou estágio de aperfeiçoamento em técnicas de controle de biodeterioradores de documentos em papel e técnicas de fabricação de papel alcalino, no Istituto Centrale per la patologia del Libro Afonso Gallo em Roma.

Em setembro de 1988, ingressou no Arquivo Nacional/MJ, como Especialista de Nível Superior, atuando como químico responsável pelo desenvolvimento de técnicas para restauração e conservação de documentos em papel, onde permanece até a presente data.

Em agosto de 1993 iniciou o curso de Pós-Graduação em Ciência Florestal, optando pela área de Tecnologia da Madeira, Celulose e Papel, a nível de mestrado, na Universidade Federal de Viçosa, concluindo os requisitos para obtenção do Título de "Magister Scientiae" janeiro de 1997.

CONTEÚDO

	Página
EXTRATO.....	vii
ABSTRACT.....	ix
1 - INTRODUÇÃO.....	1
2 - REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1 - A Família das <i>Musáceas</i>	4
2.2 - A Cultura da banana	5
2.3 - Produção de polpa celulósica de <i>Musa</i> <i>sp.</i>	5
2.3.1 - Características das fibras de bananeira	6
2.3.2 - Pré-hidrólise e polpação	7
3 - MATERIAL E MÉTODOS	10
3.1 - Material	10
3.2 - Métodos	10
3.2.1 - Características físicas do pseudocaule	10
3.2.2 - Características anatômicas das fibras de <i>Musa</i> <i>sp.</i>	11
3.2.3 - Pré-hidrólise do pseudocaule de <i>Musa</i> <i>sp.</i>	12
3.2.4 - Características químicas do pseudocaule e das frações fibrosas.....	12
3.2.5 - Polpação kraft do pseudocaule e das frações fibrosas de <i>Musa sp.</i>	13
3.2.6 - Branqueamento das polpas kraft	13
3.2.7 - Características físico-mecânicas das polpas de <i>Musa</i> <i>sp.</i>	15
3.2.8 - Constituintes minerais.....	15

4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO	16
4.1 - Características do pseudocaule e das fibras de <i>Musa</i> <i>sp.</i>	16
4.1.1 - Características hídricas do pseudocaule	16
4.1.2 - Constituição do pseudocaule	19
4.1.3 - Densidade	19
4.1.4 - Características dimensionais das fibras do pseudocaule de <i>Musa sp.</i>	20
4.1.5 - Pré-hidrólise do pseudocaule de <i>Musa</i> <i>sp.</i>	28
4.1.6 - Elementos minerais do pseudocaule e das frações fibrosas de <i>Musa sp</i>	36
4.2 - Polpação kraft.....	39
4.2.1 - Deslignificação.....	37
4.2.2 - Rendimentos.....	41
4.2.3 - Viscosidade.....	46
4.2.4 - Características do licor residual.....	47
4.4 - Branqueamento das polpas kraft- O.....	52
4.5 - Refino e propriedades físico- mecânicas.....	55
4.5.1 - Refino e formação de folhas de celulose de <i>Musa</i> <i>sp.</i>	55
4.5.2 - Propriedades físico mecânicas.....	57
4.5.2.1 - Alongamento.....	58
4.5.2.2 - Índice de arrebentamento.....	59

4.5.2.3 - Índice de rasgo	60
4.5.2.4 - Módulo de elasticidade.....	61
4.5.2.5 - Opacidade.....	62
5 - CONCLUSÕES.....	64
6 - SUGESTÕES PARA ESTUDOS FUTUROS.....	65
7 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	66
8 - ANEXO.....	

EXTRATO

SILVA, A. G.; M.S. Universidade Federal de Viçosa, janeiro de 1998. **Características tecnológicas do pseudocaule e de polpas celulósicas kraft branqueadas de *Musa sp.*** Professor orientador: José Lívio Gomide. Professores conselheiros: Jorge Luiz Colodette e Rubens Chaves de Oliveira.

Foi investigado o uso do pseudocaule de *Musa sp.*, principal resíduo da bananicultura, na produção de celulose kraft branqueável para confecção de papel especial utilizado na restauração de documentos. A matéria prima utilizada, com cerca de 94% de umidade, foi obtida de plantios comerciais existentes em Janaúba-MG. Os pseudocaules foram cortados em toretes de 10 cm de altura e secos ao ar. A constituição estrutural do pseudocaule, base peso verde, foi determinada como sendo 75,3 % para a região externa ou bainha e 24,7 % para a região interna ou medula. A densidade básica dessa matéria prima foi determinada como 52 Kg/m³, valor muito inferior ao de madeiras de folhosas e de coníferas. Suas fibras apresentaram dimensões médias de 2,9 mm de comprimento, 20,9 µm de diâmetro, 14,1 µm de lúmen e 3,4 µm de espessura de parede, o que permite sua classificação como vegetal de fibra longa.

A análise química do pseudocaule apresentou 57,3 % de holocelulose, 17,7 % de lignina, 16,4 % de pentosanas, 15,5 % de cinzas, 9,4% de extrativos em álcool/tolueno, 22,6% de extrativos em água quente e 40,6 % de extrativos em NaOH 1%.

Para a separação das duas frações que constituem o pseudocaule da bananeira, a fração de fibras e a de material mucilaginoso ou finos, foram utilizados tratamentos a 120°C com água e soluções aquosas de NaOH e H₂SO₄ a 2%, base peso seco. Os rendimentos em fibras obtidos para os três tratamentos foram, respectivamente, 51, 46 e 40 %.

Foi utilizado o processo kraft para produção de polpa celulósica, utilizando tanto o pseudocaule integral como a fração de fibras. As polpas do pseudocaule integral apresentaram número kappa superior a 32, mesmo quando foram utilizadas elevadas cargas de álcali. A polpação kraft da fração de fibras obtida com os

pré-tratamentos de NaOH, H₂O e H₂SO₄ resultou em número kappa 17 e viscosidades em torno de, respectivamente, 45, 23 e 31 cP.

A deslignificação com oxigênio das polpas kraft obtidas da fração de fibras do pseudocaule apresentaram menores índices de redução da lignina e de rendimento que valores convencionais para polpas de *Pinus* e *Eucalyptus*. **As** polpas kraft-O₂ foram branqueadas pela sequencia DEpD a alvura de 79% ISO, valor inferior ao obtido convencionalmente para polpas de *Eucalyptus*.

As propriedades físico-mecânicas das polpas celulósicas branqueadas de *Musa sp*, produzidas após pré-hidrólise, foram superiores às de celulose de *Eucalyptus*.

A polpa celulósica kraft branqueada de bananeira possibilitaria a confecção de folhas com características similares ou superiores às do “papel japonês” utilizado para restauração de documentos.

1. INTRODUÇÃO

Os vegetais empregados na indústria de celulose podem ser tanto lenhosos como fibrosos. Os lenhosos são classificados como dicotiledôneas e gimnospermas, também conhecidas, respectivamente, como folhosas e coníferas. Os vegetais fibrosos são as dicotiledôneas arbustivas e as monocotiledôneas. As plantas fibrosas utilizadas para produção de celulose são os resíduos agrícolas, a juta, o sisal, o algodão, o rami, a crotalária etc.

JUDT (1985) relatou que até cerca de 90 anos atrás somente as plantas fibrosas, como o linho, o algodão e as palhas de cereais, eram usadas na fabricação de papéis. Após a 2ª Guerra Mundial, ocorreu a ampliação no uso de fibras vegetais na produção de celulose. Atualmente, mais de 90% das fibras de polpas celulósicas são obtidas de lenhos. No entanto, em diversos países, como Malásia, Espanha, Filipinas e China, as plantas fibrosas são as principais matérias-primas empregadas na produção de celulose.

ATCHINSON (1988, 1995) relatou que, nos últimos anos, o crescimento da produção mundial de celulose de plantas fibrosas tem sido superior aos índices observados no incremento das fibras de lenhos. Em 1975, cerca de 6,9% da produção mundial de celulose foi fabricada com vegetais fibrosos, e para 1998, estima-se uma produção de cerca de 11,0%. A média anual de crescimento da produção de celulose com esses vegetais é de 3,4%. Este índice é superior ao de 1,4%, previsto para o

incremento anual da fabricação de celulose de madeiras. O uso de resíduos agrícolas na produção de celulose deve aumentar, pois a queimada como técnica de limpeza não tem sido ecologicamente recomendada, o que faz com que esses resíduos sobrem e se acumulem no campo.

DARKWA (1978) mencionou que o crescimento no uso de plantas fibrosas pode ser atribuído a vários fatores. O primeiro refere-se ao interesse das indústrias de papéis e dos produtores florestais em buscar novas fontes de materiais fibrosos. Outro fator importante é o interesse dos países em utilizar fibras de vegetais nativos, pois muitos têm deficiências de fibras longas para produção de papéis com alta resistência mecânica. Além disto, é difícil, ou muitas vezes impossível, a importação da quantidade necessária desses produtos.

MISRA (1975), HURTER (1989) e KILPINEN (1991) relataram que a celulose de vegetais fibrosos, principalmente as de fibras longas, como as do sisal e bambu, pode ser empregada na manufatura de papéis especiais, como para cigarro, filtros, bolsas para chá, transformadores, de segurança, permanentes, carbono, bíblia etc. O maior valor de comercialização dessas fibras viabiliza a produção de polpas celulósicas dessas matérias-primas, uma vez que os processos de produção de celulose de vegetais fibrosos apresentam custo superior ao das polpas de madeiras. Muitas vezes, as plantas fibrosas podem substituir, com vantagens, as fibras de coníferas em produtos cujas propriedades de resistência mecânica são de grande importância.

Em meados de 1920, os vegetais fibrosos eram as principais matérias-primas empregadas na produção de celulose para papéis. Nesse período, as indústrias possuíam pequena capacidade, com produção diária de apenas 5 a 25 toneladas. Nos anos pós-guerra, ocorreram grandes desenvolvimentos na utilização dessas fibras, e nos últimos 25 anos, em diversos países desenvolvidos, foram construídas fábricas de médio e grande porte para produção de celulose a partir de vegetais fibrosos (MISRA, 1975).

No Brasil, essa tendência de aumento no uso de vegetais fibrosos não foi verificada, apesar de o País ser um grande produtor agrícola, possuir grande diversidade de espécies botânicas e de sua indústria de celulose ter apresentado grande crescimento a partir da década de 70.

O crescimento da indústria nacional de celulose, a partir desse período, foi

causado pela construção de grandes fábricas que utilizam o eucalipto como matéria-prima. Atualmente, menos de 4% da celulose nacional é obtida de plantas fibrosas, e recentemente, algumas indústrias que operavam com esses vegetais deixaram de utilizar este tipo de matéria-prima.

O Brasil ainda apresenta superávit na produção de celulose de fibras curtas. Entretanto, se novos investimentos não forem realizados para implantação de novas empresas, a partir do ano 2005 o País poderá se transformar em importador de polpa celulósica (SANTOS,1996). Dados estatísticos do relatório anual da Associação Nacional dos Fabricantes de Papel e Celulose demonstram que o Brasil possui deficiência em celulose de fibras longas e que, em 1996, foram importadas cerca de 180 mil toneladas dessa matéria-prima.

Além disso, diversos papéis especiais, como o denominado “papel japonês”, empregado na restauração de documentos em suportes celulósicos, não são produzidos pela falta de matéria-prima. Apesar da grande diversidade botânica existente no Brasil, poucos estudos foram realizados na busca de novos vegetais para suprir tais deficiências. Para restauração de importantes documentos da memória nacional, há necessidade de utilizar um papel especial que é comercialmente conhecido como “papel japonês” ou “papel de arroz”. Este tipo de papel não é produzido no País e o mercado nacional é totalmente abastecido por importações, ao elevado preço em torno de US\$4,00 por folha de 70x50 cm e gramatura de 11 g/m². O Arquivo Nacional, órgão federal responsável pela preservação da memória nacional, há alguns anos realizou estudos com polpas celulósicas de sisal e de crotalária para produção desse tipo de papel.

Esses estudos, entretanto, não apresentaram bons resultados, e não foi possível confeccionar um papel de baixa gramatura com características semelhantes às do papel japonês. Nos estudos realizados pelo Arquivo Nacional, foi verificado que as fibras das famílias vegetais de Musaceae e de Bromeliaceae possuíam características anatômicas similares às fibras usadas na manufatura do papel japonês.

A região irrigada da Companhia de Desenvolvimento do Vale do Rio São Francisco, no norte de Minas Gerais, está se tornado um importante pólo de fruticultura, onde a bananicultura já ocupa cerca de 5.000 ha, com previsão de

expansão para 20.000 ha em cinco anos. Além disso, esse fruto é produzido em quase todo território nacional. Essa cultura produz elevada quantidade de material lignocelulósico, cuja utilização na fabricação de produtos industrializados é prejudicada pelo seu elevado conteúdo hídrico.

A bananicultura é praticada em quase todo território nacional, destacando-se os Estados do Ceará, Pernambuco, São Paulo, Minas Gerais e Rio de Janeiro (CAMPOS, 1982) como grandes produtores nacionais. Apesar de o País não ser um grande exportador de banana, a produção nacional é de cerca de 550 mil toneladas anuais (FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA-FIBGE, 1993), produção esta superior à de diversos países tradicionalmente exportadores. Na Costa Rica, os rejeitos da bananicultura são lançados ao mar pelos produtores (MENA, 1992), transformando-se em importante fonte de poluição dos cursos hídricos. No Brasil, nas culturas comerciais, os rejeitos são utilizados na alimentação do gado e na cobertura do solo, para reduzir a perda de água por evaporação e para reposição de nutrientes no solo. Porém, elevado percentual de material é deixado no bananal, o que favorece o desenvolvimento de biodeterioradores e de animais peçonhentos.

O objetivo do presente estudo foi a produção de celulose kraft branqueável do pseudocaule de bananeira, para fabricação de papéis especiais, como o papel tipo japonês, freqüentemente importado, no Brasil, para restauração de documentos. Essa celulose de bananeira também poderá ser empregada para suprir parcialmente a deficiência brasileira de polpas de fibras longas, reduzindo os impactos dos resíduos da cultura, o que permite, ainda, aumentar o valor agregado da bananicultura, que tem se expandido em várias fronteiras agrícolas do País.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. A família Musaceae

CAMPOS (1982) relatou que as bananeiras pertencem ao gênero *Musa*, estabelecido por Carl Von de Linné. Este gênero pertence à família Musaceae, do grupo das monocotiledôneas. A Figura 1 mostra a classificação dessa família.

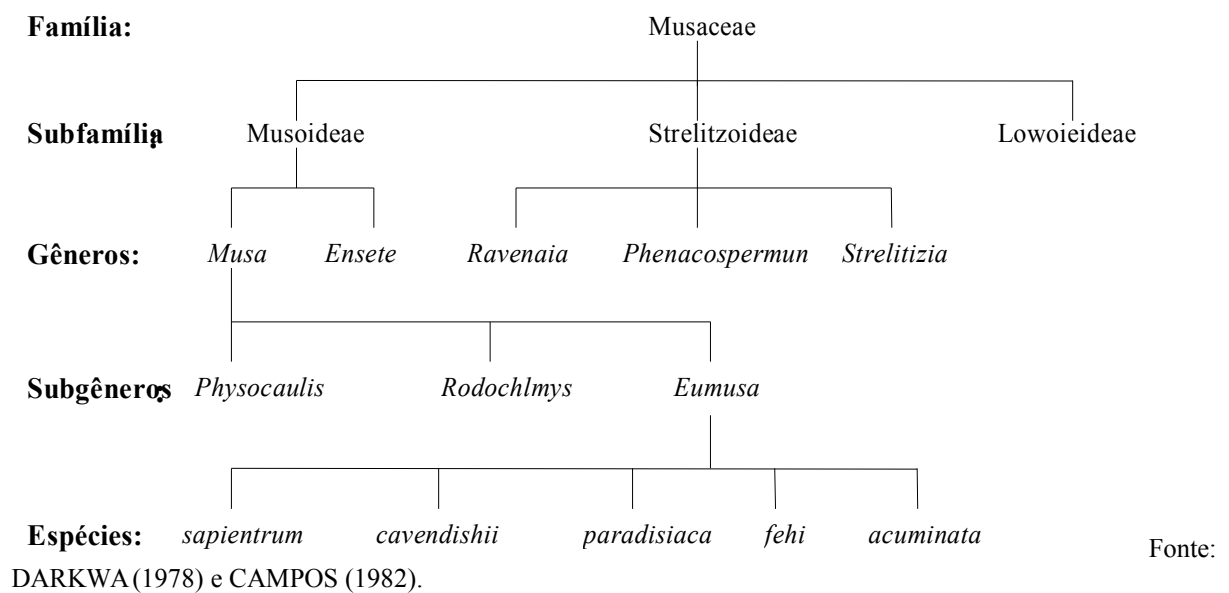


Figura 1 - Classificação da família Musaceae.

As variedades descritas na Figura 1 compreendem os diversos híbridos, cujas características são muito similares, mas que podem ser diferenciadas na frutificação (DARKWA, 1978).

A bananeira é uma erva gigante, típica de regiões tropicais úmidas, com altura variando de 2,0 a 9,0 m. É um vegetal herbáceo completo, cujo ciclo de vida se completa com o amadurecimento e a queda dos frutos (MOREIRA, 1987). A emissão de novos indivíduos pelo rizoma, muitas vezes, faz com que essas plantas sejam consideradas, erroneamente, como permanentes.

As plantas da família Musaceae apresentam pseudocaule vegetativo aéreo, que é a área compreendida entre a raiz e o engate foliar formado pelas bainhas das folhas, com arranjo espiralado. As folhas novas são formadas próximo ao meristema de crescimento, localizado na base inferior da planta, cujas atividades metabólicas diminuem após a frutificação. Seu sistema foliar é muito desenvolvido e sua estrutura está particularmente relacionada à alimentação hídrica. O caule, ou rizoma, é subterrâneo e é o centro vital da planta, onde ocorrem a formação das raízes, das folhas e da inflorescência e a geração de novos indivíduos.

2.2. A cultura da bananeira

Diversos autores citados por VON LOESECKE (1950) descreveram a bananeira como originária de regiões tropicais do sudeste asiático. No Brasil, esse vegetal já foi encontrado na época do descobrimento (MOREIRA, 1987). Por ser uma planta tropical, ela se desenvolve principalmente nas regiões situadas entre 30° de latitude norte e sul, da linha do equador, estando presente na maioria dos Estados brasileiros.

PURSEGLOVE (1975) relatou que os locais ideais para o crescimento desses vegetais devem ter índice pluviométrico médio mensal em torno de 100 mm e temperatura média de 27°C. Em locais com temperaturas inferiores a 21°C ou baixos índices pluviométricos, pode ocorrer redução no seu desenvolvimento. MOREIRA

(1987) mencionou que temperaturas superiores a 37°C também podem inibir seu crescimento, em virtude da desidratação dos tecidos.

O pleno crescimento da bananeira ocorre em locais com elevada intensidade luminosa, umidade relativa elevada, solos profundos e férteis e com boa drenagem. Essas características possibilitam o pleno desenvolvimento do seu sistema radicular e a colheita do fruto num período de sete a nove meses. Na América Central, há locais onde a colheita é realizada num período de apenas quatro meses. Nas regiões subtropicais, esse período pode ser de 18 a 1.000 meses (PURSEGLOVE, 1975).

2.3. Produção de polpa celulósica de bananeira

O interesse brasileiro em utilizar o pseudocaule de bananeira para produção de celulose para manufatura de papéis não é recente. No início do século XVIII, já havia interesse da Coroa Portuguesa na exploração dessa matéria-prima (BARDI, 1982). SCHLESINGER (1959) e BARDI (1982) mencionaram que a primeira fábrica de papel do País, a do Engenho da Conceição, instalada na Bahia em 1843, chegou a produzir papéis com essa matéria-prima. No entanto essa indústria não teve êxito, por causa da concorrência dos produtos importados. Recentemente, tem sido noticiada a inauguração de uma usina piloto semi-industrial em Pernambuco, (INFORMATIVO ANAVE, 1996).

BRASIL (1879) descreveu que nos registros de patentes do antigo Ministério da Guerra, atual Ministério da Justiça, foi encontrada uma concessão para utilização de fibras de bananeira para produção de papéis (Ato Concessivo Nº 7.491, solicitado por Eugênio Müller).

Na literatura, existem diversos estudos sobre os processos de deslignificação de fibras de celulose de bananeira, visando a produção de polpas de celulose para manufatura de papéis. Dentre eles, destacam-se as investigações realizadas por MAC CALLUM (1922), DARKWA (1978) e FERNANDES et al. (1981), que estudaram diversos processos de polpação e de branqueamento das fibras do pseudocaule de bananeira, do vegetal inteiro e do rizoma.

2.3.1. Características das fibras de bananeira

O pseudocaule da bananeira é um dos resíduos agrícolas da cultura da bananeira. JARMAN et al. (1977) relataram que esse material contém entre 1,0 e 1,5% de fibras, enquanto o abacá, *Musa textile*, possui cerca de 2,0%. Os outros constituintes desses materiais são substâncias mucilaginosas (4 a 8%) e água (90 a 96%). VALLADARES et al. (1978) afirmaram que o pseudocaule geralmente contém cerca de 93% de água e 7% de material sólido e que 40% dos materiais sólidos são constituídos por fibras de celulose.

O elevado conteúdo hídrico do pseudocaule da bananeira é o principal entrave na utilização deste material para, por exemplo, geração de energia e produção de celulose. A elevada umidade também dificulta seu transporte "in natura", mesmo a curtas distâncias. O conteúdo hídrico desse material inviabiliza seu armazenamento por mais de 15 dias, por causa da perda de rendimento em fibras e dos problemas na deslignificação e no branqueamento, ocasionados por microrganismos (FERNANDES et al., 1981). Para solucionar esses problemas, JARMAN et al. (1977) descreveram técnicas específicas para isolamento das fibras de bananeira. TAMAS (1980) descreveu experiências de agroindústrias filipinas na extração e secagem ao sol de fibras de abacá. HEYSE (1973), MISRA (1980) e PERALTA (1996) citaram outros procedimentos para obtenção de fibras de Musaceae para produção de celulose.

As características dimensionais das fibras de bananeira dependem da espécie e dos fatores edafoclimáticos. VALLADARES et al. (1978) reportaram dimensões médias de 3,4 mm de comprimento e 25 µm de diâmetro de fibra. DARKWA (1978), nos seus estudos com *Musa paradisiaca*, encontrou valores mais altos para o comprimento das fibras, especificando que as dimensões das fibras obtidas nos processos alcalinos de polpação foram ligeiramente inferiores ao comprimento inicial, por causa da degradação dos carboidratos durante esses tratamentos. DARKWA (1978) relatou, ainda, que o comprimento médio das fibras na polpa de celulose depende do material utilizado, uma vez que qualquer parte da planta, como o pseudocaule, as folhas, o pedúnculo, o rizoma ou o vegetal inteiro, pode ser empregada para polpação.

A polpa de celulose do pseudocaule inteiro, incluindo as folhas, produzida por FERNANDES et al. (1981), apresentou fibras com comprimento máximo, mínimo e médio de 6,0, 0,6 e 1,5 mm e na celulose do pseudocaule estas dimensões foram de

6,0, 1,8 e 3,4 mm, respectivamente. Esses autores relataram que as fibras curtas são oriundas das regiões internas do pseudocaule e das folhas, uma vez que a deslignificação de apenas o pseudocaule apresentou fibras com maiores dimensões.

A composição química do pseudocaule de bananeira depende da espécie e dos fatores edafoclimáticos. Geralmente, a bananeira e a maioria das plantas fibrosas utilizadas na produção de celulose, segundo PATEL et al. (1985), possuem elevados teores de cinzas e de substâncias solúveis em água fria, em água quente e em NaOH a 1,0% e menores teores de lignina e holocelulose, em relação às madeiras de coníferas e de folhosas.

O baixo teor de holocelulose das espécies do gênero *Musa* reduz o rendimento dos processos químicos de polpação. O teor mais baixo de lignina desses vegetais deveria favorecer a deslignificação, pois menores números kappa poderiam ser obtidos com menores cargas de álcali ou fatores H mais baixos. Entretanto, para deslignificação dos baixos teores de lignina são necessárias cargas de álcali relativamente altas. O rendimento em polpa celulósica produzida pelas plantas fibrosas geralmente é inferior aos valores obtidos no tratamento de madeiras, por causa do menor teor de holocelulose dos vegetais fibrosos. O alto teor de constituintes minerais desses vegetais pode dificultar a recuperação do licor negro (ASSUMPCÃO, 1991). JEYASINGAM (1986, 1991) citou que o alto teor de elementos minerais interfere na fabricação do papel, por reduzir a durabilidade dos equipamentos e as propriedades de resistências mecânicas da folha de papel.

2.3.2. Pré-hidrólise e polpação

HURTER (1989) descreveu diversos fatores que influenciam os custos de produção da celulose de materiais fibrosos, como plantio, colheita, transporte, preparação da fibra e estocagem. Na fabricação de polpa celulósica de bananeira, os dois primeiros fatores são custeados pelo fruto, que é o produto principal da bananicultura. O pseudocaule é o resíduo de sua produção, como o bagaço de cana é o rejeito das usinas açucareiras. Porém, o capital necessário ao custeio das outras operações deve ser considerado.

PATEL et al. (1985) relataram que na literatura especializada encontram-se descritos processos convencionais e não-convencionais para produção de polpas de

celulose, para mais de 30 espécies de plantas fibrosas. O preço de mercado dessas polpas celulósicas geralmente é superior ao das polpas de coníferas e de folhosas, mas elas possuem maior custo de produção e menor rendimento (FRANCO et al., 1982). No entanto, as matérias-primas fibrosas são excelentes materiais para produção de papéis em muitas regiões onde o suprimento de madeira é limitado ou de elevado custo (HURTER, 1989).

Uma das principais vantagens do emprego de vegetais fibrosos na produção de polpa química de celulose é o seu menor teor de lignina, em relação aos lenhos de coníferas e folhosas. Essa característica pode possibilitar sua deslignificação pelo processo soda, com uma carga de álcali inferior à utilizada na deslignificação de madeiras. Essas condições de processamento eliminam a emissão de substâncias químicas de odor desagradável, como as mercaptanas geradas no processo kraft. Outra vantagem é que são utilizados resíduos agrícolas, cujo custo de produção já foi coberto pelos frutos.

As principais desvantagens referentes ao uso de vegetais fibrosos na produção de celulose estão relacionadas com a disponibilidade desses produtos, uma vez que a maioria desses vegetais é planta anual. Além disto, em vários países, como no Brasil, o cultivo é muitas vezes realizado em pequenas propriedades. Esses aspectos dificultam e aumentam os custos de coleta, transporte e estocagem, que são agravados pela sua baixa densidade (ASSUMPÇÃO, 1991). No caso da bananeira, outros fatores, como o elevado conteúdo hídrico e o alto percentual de produtos mucilaginosos e cinzas, também dificultam a produção de polpa celulósica.

FERNANDES et al. (1981) reportaram a existência de cerca de 38% de material mucilaginoso no pseudocaule absolutamente seco. Nas suas conclusões, os autores recomendam a remoção desses constituintes antes da polpação, pois eles dificultam a lavagem da polpa e o processo de deslignificação, resultando em celulose mais escura e em obstrução de feltros e telas. Eles concluíram que 2% de ácido clorídrico, base fibra seca, remove grande quantidade das substâncias mucilaginosas, sem causar degradação significativa nas propriedades de resistência das fibras. Esse ácido foi utilizado por apresentar custo inferior ao ácido sulfúrico, que também poderia ser empregado. Nesses tratamentos foram obtidos 35% de fibra bruta, 35% de material mucilaginoso, composto principalmente por holocelulose, lignina e constituintes

minerais, e 28% de produtos solúveis em ácido. Esses autores recomendam que devem ser investigadas as possibilidades de empregar os subprodutos da pré-hidrólise nos processos de polpação, para aumentar o rendimento.

DARKWA (1978) removeu os materiais mucilaginosos do pseudocaule com NaOH 1 e 2%, HCl 1%, Na₂SO₃ 1% e com 0,5% de di-octil sulfosuccinato de sódio, seguido de tratamento mecânico em refinador de disco para separação dessas impurezas. As polpas kraft produzidas com as fibras pré-tratadas apresentaram, em geral, números kappa mais baixos e maiores índices de resistência mecânica. As resistências mais elevadas foram explicadas pelo aumento das ligações interfibrilares, ocasionado pela remoção dos materiais mucilaginosos que prejudicam essas ligações. O tratamento com NaOH 2% foi mais eficiente que os demais reagentes, mas o emprego dessa concentração de álcali dificultou o processamento das fibras, por causa da formação de espuma.

Os estudiosos Kane e Marathe (1949) e Chittenden e Coomber (1950), citados por VALLADARES et al. (1978), encontraram resultados pouco favoráveis nos seus estudos de polpação e de branqueamento da polpa celulósica do pseudocaule com hipoclorito de cálcio ou bissulfito de cálcio. A celulose branqueada apresentou baixos índices de resistência mecânica, devendo-se ressaltar que os resultados desfavoráveis podem ter sido consequência da metodologia de branqueamento utilizada.

Heikal et al. (1976), citados por FERNANDES et al. (1981), reportaram que a polpação de *Musa cavendish*, após a remoção dos constituintes mucilaginosos, requer menor quantidade de reagentes químicos que as madeiras, pois os teores de lignina e de substâncias solúveis em NaOH 1% geralmente são muito inferiores.

Essas afirmativas de Heikal contrastam com os estudos realizados por MAC CALLUM (1922), que deslignificou o pseudocaule de bananeiras com água a uma pressão de quatro a seis atmosferas, durante 3 a 6 horas. A polpa obtida nesse processo era mais clara que a celulose dos tratamentos alcalinos com hidróxido de sódio, o que possibilitava menor consumo de reagentes no branqueamento.

DARKWA (1978) deslignificou *Musa paradisiaca L.* pelos processos kraft e soda. No processo kraft, foram obtidos rendimentos entre 50,4 e 34,5% e números kappa variando de 58,8 a 9,4. Na deslignificação soda, esses índices foram de 47,1 a 34,9% e 52,3 a 9,4, respectivamente.

FERNANDES et al. (1981) produziram polpa kraft com fibras do pseudocaule de *Musa cavendish*, tratada previamente com HCl 2%, para remoção das substâncias mucilaginosas. A deslignificação das fibras desse processo de pré-hidrólise foi realizada com 18,5% de sulfidez e 14,5% de álcali ativo (como Na₂O), fator de diluição de 1:6, aquecimento por 90 minutos até 162°C e cozimento por 30 minutos, obtendo-se 20,4% de rendimento em celulose, em relação ao pseudocaule .

Nos estudos de polpação de fibras de monocotiledôneas descritos na literatura, a relação licor/material geralmente é superior aos índices relatados para deslignificação de madeiras. Na polpação kraft de bananeira, DARKWA (1978) e FERNANDES et al. (1981) empregaram proporções de 5:1 e 6:1, respectivamente. Eles descreveram que é essencial manter essa relação elevada por causa da sua baixa densidade. Tal procedimento dificulta a recuperação do licor residual, pois a alta diluição aumenta o consumo de energia do processo.

A viscosidade da polpa de celulose de bananeira não-branqueada depende das características do vegetal, do processo de deslignificação e das condições de polpação. McGOVERN et al. (1987) verificaram que a viscosidade específica da polpa marrom do abacá (*Musa textile*) situa-se em torno de 52 cP e a da celulose branqueada em torno de 17 cP (m. Pa.s). DARKWA (1978) reportou viscosidades intrínsecas entre 3.810 e 6.440 dL/g (5,5 a 10,4 cP), para polpas de *Musa paradisiaca* L. produzidas com e sem material mucilaginoso, respectivamente.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Material

Este estudo foi realizado com pseudocaulos de bananeira, com cerca de um ano de idade, provenientes de plantios comerciais de Janaúba-MG. O plantio desse vegetal foi realizado originalmente em espaçamento de 3x2 m, mas após quatro anos de exploração não existia distância definida entre os vegetais, em virtude do crescimento e desenvolvimento de novos indivíduos a partir do rizoma inicial (caule subterrâneo).

Para realização dos estudos de caracterização morfológica das fibras, composição do pseudocaulo e densidade básica, foram coletados num talhão, ao acaso, após colheita dos frutos, três pseudocaulos (amostras A, B e C). Foi determinada a altura útil de cada um dos pseudocaulos. A 0, 50 e 100% da altura útil das plantas foram retirados toretes de 20 cm de comprimento, para obtenção de material suficiente para essas determinações. As amostras foram retiradas nessas localizações, por causa de variações que ocorrem nas fibras, com a altura da planta, conforme citado por FERNANDES et al. (1981). Essas amostras foram acondicionadas em sacos de polietileno, transportados imediatamente para o Laboratório de Celulose e Papel da Universidade Federal de Viçosa, a fim de evitar perda de umidade.

Para realização dos estudos de polpação e análises químicas, após a colheita dos frutos, cerca de 200 pseudocaulos foram seccionados em toretes com cerca de

10 cm de comprimento. Para remover o excesso de água, os toretes foram secos ao ar no próprio local de coleta e, após essa secagem preliminar, foram embalados em sacos de polietileno e transportados para Viçosa.

Os toretes foram, em seguida, cortados em dimensões de 3x5 cm, submetidos a nova secagem ao ar, para uniformização da umidade, e armazenados em sacos de polietileno, para estabilização e manutenção do teor de umidade. Para simplificação, esse material será denominado simplesmente de bananeira.

3.2. Métodos

3.2.1. Características físicas do pseudocaule

Nos toretes retirados a 0, 50 e 100% da altura útil do pseudocaule, foram determinados a densidade, a biomassa e os diâmetros das regiões externa (bainha) e interna (medula). Estes valores foram empregados na determinação do peso verde e da composição percentual das regiões interna e externa do pseudocaule.

Os toretes foram divididos longitudinalmente em quatro partes iguais. Duas das subdivisões, diametralmente opostas, cortadas nas alturas de 0, 50 e 100%, foram utilizadas para estudos de caracterização anatômica das fibras, e as outras duas foram utilizadas para determinação da densidade básica e do teor de umidade do pseudocaule.

A determinação das características dimensionais das fibras foi realizada conforme metodologia descrita na norma TAPPI 259 om-93. A densidade foi determinada em duplicata, como densidade básica, expressando a relação entre o peso absolutamente seco do pseudocaule e seu volume saturado, segundo procedimentos descritos na norma TAPPI 258 om-94

3.2.2. Características anatômicas das fibras de bananeira

As amostras dos pseudocaules verdes retiradas a 0, 50 e 100% da altura útil foram cortadas longitudinalmente em quatro partes iguais. Duas amostras diametralmente opostas foram utilizadas para medições de fibras e as duas outras, para determinação de densidade básica. Uma das amostras para medição de fibras foi

subdividida nas suas regiões externa e interna, e a outra foi utilizada para representar o vegetal inteiro. Essas amostras foram cortadas em forma de palitos e codificadas como I (região interna do pseudocaule), E (região externa do pseudocaule) e T (pseudocaule inteiro).

Duas amostras representativas dos palitos foram maceradas com solução de ácido acético e peróxido de hidrogênio, na proporção de 1:5, em estufa a 60°C, por aproximadamente 20 horas, conforme os procedimentos descritos por RAMALHO (1987). Após esse tratamento, o material foi lavado com água destilada, em excesso, até remoção total da solução macerante. Posteriormente, o material macerado foi submetido à agitação mecânica, para individualização das fibras. As fibras foram suspensas em água destilada e armazenadas em frascos vedados.

Para mensuração das dimensões das fibras, foram retiradas duas alíquotas com cerca de 3 ml de cada amostra de suspensão de fibras. As alíquotas foram transferidas para tubo de ensaio e coloridas com 0,5 ml de uma solução de safranina a 1% em etanol e, em seguida, diluídas com 4,0 ml de água destilada. Foram preparadas 20 lâminas, com cerca de 0,5 ml dessa suspensão em cada lâmina. Foram medidas cinco fibras inteiras e sem dobras em cada lâmina, totalizando 100 fibras para cada amostra.

A medição das dimensões das fibras foi realizada em microscópio óptico, por meio de projeção de imagem numa tela fixa. O comprimento das fibras foi determinado com objetiva de 6,3x e a largura e o diâmetro do lúmen, com objetiva de 40x. Foi utilizado planímetro para as medições de comprimento das fibras, após calibração com lâmina micrométrica. A espessura da parede da fibra foi determinada, matematicamente, como a metade da diferença entre a largura da fibra e o diâmetro do lúmen.

As inter-relações entre as dimensões das fibras foram calculadas pelos procedimentos matemáticos descritos por FOELKEL (1977a).

3.2.3. Pré-hidrólise do pseudocaule de bananeira

Para o isolamento das fibras utilizadas na polpação kraft, foram analisados três diferentes tratamentos de pré-hidrólise, empregando-se água e soluções aquosas a 2% de NaOH e H₂SO₄. Esses tratamentos foram realizados com 220 g de amostras do

pseudocaule absolutamente secas (a.s.), cortadas em dimensões de 3x5 cm.

Os tratamentos de pré-hidrólise foram realizados em autoclave rotativa, com quatro reatores individuais de 2 litros cada um, aquecida eletricamente e dotada de termômetro e manômetro. Os parâmetros para a pré-hidrólise foram: temperatura máxima = 120°C, tempo até temperatura = 45 minutos, tempo à temperatura = 60 minutos, relação licor/amostra = 6/1. Após a pré-hidrólise, o material foi descarregado em caixa com tela de aço inox de 150 mesh, recolhendo-se amostra do licor residual para análises. O material hidrolisado foi lavado com excesso de água e desintegrado em “hidrapulper” laboratorial com capacidade de 20 litros e, a seguir, a fração fibrosa foi separada do material mucilaginoso em depurador laboratorial Voith, dotado de placa com abertura de 0,02 mm. Foram determinados os rendimentos em fibras e em material mucilaginoso. Para os estudos de polpação kraft, foi hidrolisada uma quantidade suficiente de pseudocaule, utilizando-se 1.100 g de pseudocaule e digestor rotativo com capacidade de 20 litros. Após a desagregação no hidrapulper, essa maior quantidade de material foi depurada manualmente em peneira com abertura de 0,15 mm, utilizando água corrente. As frações fibrosas das pré-hidrólises para os estudos de polpação foram secas ao ar e acondicionadas em saco de polietileno, para uniformização e manutenção da umidade.

3.2.4. Características químicas do pseudocaule e das frações fibrosas

As amostras do pseudocaule cortado nas dimensões de 3x5cm foram obtidas pela técnica de quarteamento, e as frações fibrosas e mucilaginosas obtidas da pré-hidrólise quantitativa foram trituradas em moinho Wiley. Esses materiais triturados foram classificados em peneiras de 40 e 60 mesh, e a fração selecionada foi acondicionada a $23\pm 1^\circ\text{C}$ e $50\pm 2\%$ de umidade relativa e, em seguida, armazenada em frasco hermeticamente fechado. As análises químicas foram realizadas pelos procedimentos especificados no Quadro 1. O teor de lignina Klason foi determinado pelo método descrito por GOMIDE e DEMUNER (1986), e a lignina solúvel foi determinada no filtrado deste procedimento por espectrofotometria ultravioleta, segundo o procedimento de GOLDSCHIMID (1971). O teor de holocelulose foi determinado matematicamente, com base no peso seco do material, pela subtração dos teores de lignina total, de extrativos em etanol/tolueno e de cinzas.

Quadro 1 - Metodologias utilizadas na caracterização química do pseudocaule e das fibras de bananeira

Análises	Métodos
Lignina Klason	GOMIDE et al. (1986)
Lignina solúvel	GOLDSCHMID (1971)
Holocelulose	Matematicamente
Pentosanas	TAPPI T 223 cm-84
Cinzas	TAPPI T 211 cm-93
Solubilidade em EtOH/tolueno	TAPPI T 204 0m-88
Solubilidade em NaOH 1%	TAPPI T 212 om-93
Solubilidade em água quente	TAPPI T 207 om-93

3.2.5. Polpação kraft do pseudocaule e das frações fibrosas de bananeira

Os cozimentos do pseudocaule e das frações fibrosas de bananeira foram realizados no mesmo digestor rotativo empregado para a pré-hidrólise. As condições de polpação kraft utilizadas foram: álcali ativo (como NaOH) = 10, 12,5, 15, 17,5, 20, 24, 25 e 30%; sulfidez = 25%; temperatura máxima = 170°C; tempo até temperatura = 90 minutos; tempo à temperatura = 60 minutos; e relação licor/material = 1/5.

Após o cozimento, a massa foi descarregada em caixa de madeira com tela de aço inox de 150 mesh. A massa foi lavada com excesso de água corrente à temperatura ambiente, para remoção do licor residual. A individualização das fibras foi realizada em hidrapulper laboratorial de 20 litros, na consistência de 0,5%.

A suspensão fibrosa foi depurada num classificador laboratorial Voith, dotado de placa com aberturas de 0,02 mm, para separação das fibras e dos rejeitos do cozimento. Posteriormente, as polpas foram desaguadas até uma consistência em torno de 75-80%.

No final de cada cozimento, foram coletados 100 ml de licor residual para determinação do pH, dos teores de sólidos e das concentrações dos reagentes residuais, conforme a norma TAPPI T 625 cm-85. Os residuais de NaOH e Na₂S foram determinados pelo método simplificado de potenciometria, segundo os procedimentos

descritos por GRACE et al. (1989).

A polpa celulósica foi caracterizada quimicamente, determinando-se o número kappa, segundo os procedimentos descritos na norma TAPPI T 236 cm-85, e a viscosidade, por método adaptado da norma CPPA G 4U, após tratamento com dióxido de cloro gerado “in situ”, a 70°C, por 10 minutos, segundo os procedimentos descrito por BROWING (1967).

3.2.6. Branqueamento das polpas kraft

As polpas celulósicas kraft obtidas com fibras pré-hidrolisadas de *Musa* sp. foram deslignificadas com oxigênio e branqueadas pela seqüência DEpD. A deslignificação com oxigênio foi conduzida no mesmo reator utilizado para polpação, e os estádios de branqueamento com dióxido de cloro e extração alcalina foram realizados em sacos de polietileno.

As condições empregadas nesses estádios e as análises realizadas após cada um encontram-se no Quadro 2. Nos estádios de dioxidação e extração alcalina, as polpas foram pré-aquecidas em forno de microondas, por cerca de 3 minutos, e transferidas para uma câmara aquecida por vapor, nas condições estabelecidas no Quadro 2.

Quadro 2 - Condições de branqueamento das polpas celulósicas das fibras de bananeira e análises realizadas

Características	O	D	Ep	D
Consistência, %	10	10	10	10
Temperatura, °C	100	70	70	70
Tempo, min	60	60	60	180
Fator kappa	-	0,26	-	-
ClO ₂ , como Cl ₂ %	-	-	-	3,0
H ₂ O ₂ , %	-	-	0,5	-
O ₂ , %	1,7	-	-	-
MgSO ₄	0,5	-	0,5	-
NaOH, %	2,0	-	2,0	-
pH inicial	> 12	4,0	> 12	5,0
pH final	>11,5	2,5 - 3,0	> 11,5	4,0
Pressão O ₂ , kg/cm ²	5,0	-	-	-
Análises				
Número kappa	x	-	x	x
Viscosidade, cP	x	x	x	x
Alvura a.d.	x	x	x	x
Alvura o.d.	-	-	-	x
Reagente residual	-	x	x	x
Rendimento, %	x	-	-	-

Após os estádios de branqueamento e extração oxidativa, foram retirados cerca de 100 ml de licor residual, para determinação de pH e dos teores residuais de

reagentes, por metodologias descritas por KRAFT (1967). Após o estágio de deslignificação com oxigênio a polpa foi lavada com água corrente, e para os demais estádios foi utilizada água destilada.

A confecção de folhas para medição da alvura foi efetuada segundo os métodos adaptados da norma TAPPI T 205 om-88, e sua determinação foi realizada em espectrofotômetro computadorizado Elrepho, conforme a norma TAPPI T425 om-92. A estabilidade da alvura das polpas branqueadas foi determinada por tratamento das folhas em estufa a $105 \pm 2^\circ\text{C}$, por 1 hora, obtendo-se a alvura envelhecida, ou alvura o.d. (oven dry).

3.2.7. Características físico-mecânicas das polpas de bananeira

Para melhorar a drenabilidade e facilitar a formação das folhas laboratoriais, as polpas branqueadas foram submetidas a um tratamento em liquidificador doméstico, numa consistência de 1%, por 2 minutos, para melhor separação das frações de finos e fibrosa. Para confecção de folhas manuais, as polpas celulósicas foram refinadas em moinho Jökro, por 2,5; 5,0; 7,5; e 10 minutos, e o refino foi determinado em grau Schopper Riegler, conforme a metodologia descrita na norma ABCP C10/73. A polpa refinada foi utilizada para confecção de folhas com cerca de 60 g/m^2 , de acordo com os procedimentos descritos na norma TAPPI T 205 om-88. Na confecção das folhas manuais, por causa da baixa drenabilidade, a altura da coluna de água no formador foi reduzida para apenas 15 cm.

As folhas obtidas por esses procedimentos foram acondicionadas a $23 \pm 1^\circ\text{C}$ e $50 \pm 2\%$ de umidade relativa, conforme a norma TAPPI T 402 om-93. O preparo das amostras para realização dos ensaios seguiu os procedimentos descritos na norma TAPPI T-220 om-88. As propriedades físico-mecânicas das celuloses foram determinadas segundo os métodos descritos nas normas especificadas no Quadro 3.

Quadro 3 - Metodologias para caracterização das propriedades físico-mecânicas das

polpas de bananeira

Propriedades	Normas
Gramatura	TAPPI T 420 om-93
Opacidade	TAPPI T 519 om-91
Espessura	TAPPI T 411 om-89
Resistência à tração e ao alongamento	TAPPI T 494 om-88
Módulo de elasticidade	TAPPI T 494 om-88
Resistência ao rasgo	TAPPI T 414 om-88
Resistência ao arrebentamento	TAPPI T 404 om-91

A resistência à tração foi determinada em aparelho de teste universal “Instron”, modelo computadorizado de coleta, análise e saída de dados, com distância entre garras de 100 mm, velocidade de teste de 25 mm/min e célula de carga de 1000 N. Simultaneamente a este ensaio, ou seja, no mesmo corpo-de-prova, foram também determinados o módulo de elasticidade e a deformação ao ponto de ruptura (alongamento).

3.2.8. Constituintes minerais

Os constituintes minerais do pseudocaule, das frações fibrosas e das polpas celulósicas foram determinados nas cinzas desses materiais, por fluorescência semiquantitativa de raio X.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Características do pseudocaule e das fibras de bananeira

Para melhor conhecimento do pseudocaule da bananeira, foram determinadas suas características gerais, incluindo a composição estrutural (regiões externa e interna) em diferentes alturas, o teor de umidade, a densidade e as características dimensionais das fibras dessa matéria-prima.

4.1.1. Características hídricas do pseudocaule

Os valores experimentais de duas repetições dos teores de umidade das seções longitudinais e transversais de três pseudocaules (A, B e C) de bananeira encontram-se no Quadro 1A. Os valores médios dessas determinações estão apresentados no Quadro 4.

Os valores do Quadro 4 demonstram que o pseudocaule da bananeira possui elevado teor de umidade, muito superior ao das madeiras de coníferas e folhosas. Nas bananeiras, esta característica está relacionada com a função fisiológica do pseudocaule de transportar água e nutrientes para as folhas que possuem uma ampla superfície de evaporação, o que varia entre 12 e 15 m² (CAMPOS, 1982). Esse elevado teor de umidade é um dos principais entraves na

Quadro 4 - Teores de umidade do pseudocaule de bananeira

Amostras	Posição											
	0%		50%			100%			Vegetal Inteiro			
	E*	I*	I*	E*	I*	I*	E*	I*	I*	E*	I*	T*
A	96,3	92,8	95,4	96,8	98,1	96,9	95,9	97,3	96,0	96,3	93,6	95,9
B	95,8	89,2	92,4	95,9	97,5	96,1	94,6	97,4	95,0	95,5	90,5	93,8
C	95,0	86,7	90,5	95,0	97,4	95,4	94,2	97,3	94,8	94,8	88,2	92,2
Média	95,7	89,6	92,8	95,9	97,7	96,1	94,9	97,3	95,3	95,5	90,8	94,0

* E - Seção externa do pseudocaule, * I - seção interna do pseudocaule e * T - seção total.

utilização industrial do pseudocaule de bananeira, uma vez que encarece o transporte e facilita a deterioração durante armazenamento, prejudicando o branqueamento e as propriedades de resistência da polpa celulósica (FERNANDES et al., 1981). Para minimizar tais problemas, esses autores aconselham a secagem logo após o abate, e JARMAN et al. (1977), do mesmo modo que TAMAS (1980), sugerem a extração das fibras por descorticação, como realizado com o sisal e o abacá.

Apesar de terem sido detectadas diferenças de teores de umidade nas diversas seções do pseudocaule da bananeira, elas não foram acentuadas, com valores caracteristicamente acima de 90%.

4.1.2. Constituição do pseudocaule

No Quadro 5 encontram-se as características das porções dos pseudocaules verdes utilizados neste estudo.

Esses índices evidenciam que os pseudocaules das bananeiras são compostos por uma região externa, que corresponde a 75% do volume, e outra interna, mais compacta e menos volumosa, que constitui 25% do volume do pseudocaule. A altura útil determinada foi de cerca de 3 m, para as três amostras. Estes valores estão próximos aos mencionados por FERNANDES et al. (1981), que nos seus estudos com *Musa cavendish* utilizaram o vegetal integral, inclusive Quadro 5 - Características do pseudocaule de bananeira

Amostra	Proporção, %		Peso Verde, kg	Umidade, %	Peso Seco, kg	Altura Útil, M
	Externa	Interna				

A	72,0	28,0	33,5	95,9	1,36	2,4
B	76,1	23,9	56,9	93,8	3,53	2,6
C	77,8	22,2	64,1	92,3	5,01	2,8
Média	75,3	24,7	51,5	94,0	3,30	2,6

as folhas, que era constituído por 8% de região interna, 39% de parte externa e 53% de folhas. A região interna do pseudocaule da bananeira constitui uma pequena porção do vegetal e, por ser mais compacta, dificulta a secagem, mas ela não deve ser descartada por possuir apreciável teor de material fibroso.

As características superiores de peso e altura da amostra C podem estar relacionadas a fatores edafoclimáticos ou genéticos de material geneticamente modificado para resistir ao tombamento causado pelo peso dos frutos e pelo vento.

O peso seco determinado para a bananeira foi muito inferior ao de madeiras. Porém, a elevada produtividade das Musaceas, em torno de 1.500 kg de pseudocaules por hectare/ano, e o uso de um resíduo agrícola que é descartado podem anular esse aspecto negativo.

A bananeira com idade de um ano, na época da colheita do fruto, já apresenta suas fibras totalmente desenvolvidas, e a sua elevada produtividade pode minimizar os aspectos negativos da elevada umidade e do baixo peso. Além disto, as despesas para produção do pseudocaule podem ser consideradas nulas, pois são custeadas pelos frutos, o produto principal, sendo esse um dos resíduos da bananicultura.

Em 1991, foram produzidas 554 mil toneladas de bananas no Brasil (FIBGE, 1993). A produtividade média de uma cultura de banana é de 40 kg de frutos “in natura” por planta e cerca de 1.300 a 1.500 pseudocaules por hectare, o que corresponde, portanto, a uma produção anual em torno de 22,2 milhões de pseudocaules. Com cerca de 2,5% em fibras no pseudocaule, a produção nacional de fibras de bananeira corresponde a cerca de 17.700 toneladas, o suficiente para produção de 8.850 toneladas de celulose, quantidade superior à de fibras de algodão importadas pelo País, em 1996.

4.1.3. Densidade

Os resultados experimentais da densidade das três amostras de pseudocaule (A, B e C), determinados como densidade básica, encontram-se no Quadro 2A. No Quadro 6 estão apresentados os valores médios dessas determinações.

Quadro 6 - Densidade básica dos pseudocaules de bananeira., em kg/m³

Amostras	Posição											
	0%		50%			100%			Vegetal Inteiro			
	E*	I*	T*	E*	I*	I*	E*	I*	I*	E*	I*	T*
A	35,5	69,6	44,2	25,7	19,9	25,4	32,8	26,2	32,4	31,7	61,4	36,3
B	36,0	102	65,7	30,7	24,0	30,2	39,8	28,2	38,4	35,2	91,5	51,2
C	42,2	128	86,3	37,0	29,7	36,2	47,3	32,0	45,2	41,3	116	68,6
Média	37,9	99,9	65,4	31,1	24,5	30,6	40,0	28,8	38,7	36,1	89,6	52,0

* E - Seção externa do pseudocaule, * I - seção interna do pseudocaule e * T - seção total.

As amostras A e B apresentaram densidades inferiores à da amostra C, o que pode estar relacionado com as modificações genéticas mencionadas anteriormente. A parte inferior do pseudocaule apresentou maior densidade, o que pode ser explicado pela maior compactação da base. As porções inferiores dos pseudocaules de bananeira apresentaram as densidades mais elevadas; a porção mediana, as mais baixas; e as porções mais altas, valores intermediários de densidade.

A diferença de densidade entre as regiões externas e internas do pseudocaule é uma das razões para a recomendação de HURTER (1989), que sugeriu a remoção da parte interna do abacá (*Musa textilis*) para o seu processamento industrial. O abacá pertence ao gênero da bananeira e é uma matéria-prima tradicional utilizada nas Filipinas e no Equador.

Dos parâmetros utilizados para determinar a qualidade da matéria-prima para produção de celulose, a densidade básica é um dos mais empregados, uma

vez que está relacionada com a produtividade do digestor e com a qualidade do produto final. O pseudocaule da bananeira apresenta grande desvantagem, quando comparado com as madeiras tanto de coníferas como de folhosas, por causa de sua baixa densidade, como pode ser verificado no Quadro 7.

Quadro 7 - Densidade básica do pseudocaule de bananeira e de matérias-primas convencionais para produção de celulose

Material	Densidade Básica, kg/m ³			
	0%	50%	100%	Vegetal Inteiro
Pseudocaule A	44,2	25,4	32,4	36,3
Pseudocaule B	65,7	30,2	38,4	51,2
Pseudocaule C	86,3	36,2	45,2	68,6
<i>E. grandis</i>	508 ¹	470 ¹	461 ¹	482 ²
<i>P. elliotti</i>	464 ³	403 ³	396 ³	350 ⁴

¹ SHIMOYAMA et al. (1991), ² SILVA (1996), ³ CARNEIRO (1988) e ⁴ FOELKEL e BARRICHELO (1975).

HURTER (1989) relatou que os materiais fibrosos, por possuírem baixa densidade e serem volumosos, apresentam alto custo de transporte a longas distâncias, conseqüentemente as fábricas devem ser localizadas próximo às plantações.

4.1.4. Características dimensionais das fibras do pseudocaule de bananeira

Os dados experimentais e a análise estatística referentes às dimensões de 100 fibras das regiões do pseudocaule encontram-se no Quadro 3A. Os valores médios estão apresentados no Quadro 8, no qual também estão apresentadas as dimensões de fibras de *Eucalyptus* e *Pinus*, para maior facilidade de comparação. No Quadro 9, é apresentada uma classificação das fibras do pseudocaule, conforme a metodologia utilizada por KUAN et al. (1988). Nas Figuras de 2 a 5 são apresentados os histogramas de distribuição das dimensões das fibras por classe de freqüência.

Quadro 8 - Características morfológicas das fibras de bananeira

Amostras	Comprimento, mm	Diâmetro, μm	Diâmetro de Lúmen, μm	Espessura de Parede, μm
Pseudocaule inteiro	2,90	20,91	14,12	3,44
Pseudocaule externo	3,44	20,92	13,82	3,55
Pseudocaule interno	2,78	24,61	19,81	2,39
<i>Pinus elliotti</i> ¹	3,55	46,82	33,90	3,35
<i>Eucalyptus grandis</i> ²	1, 11	17,40	11,70	2,60

¹GONÇALES (1983) e ²CARNEIRO (1988).

Quadro 9 - Classificação das fibras do pseudocaule de bananeira

Região do Pseudocaule	Fibras < 1,5 mm, %	Fibras 1,5-2,5 mm, %	Fibras >2,5 mm, %
Pseudocaule inteiro	2,9	74,8	22,3
Pseudocaule externo	4,8	68,0	27,2
Pseudocaule interno	4,8	76,7	18,0

Até alguns anos atrás, admitia-se o comprimento das fibras como a característica mais importante para determinar as propriedades do papel, especialmente sua resistência. Atualmente, sabe-se que não somente o comprimento mas, também, as outras dimensões das fibras e suas inter-relações, do mesmo modo que outras características da matéria-prima do processo de polpação e de fabricação do papel, influenciam a qualidade do produto final (FOELKEL, 1977a).

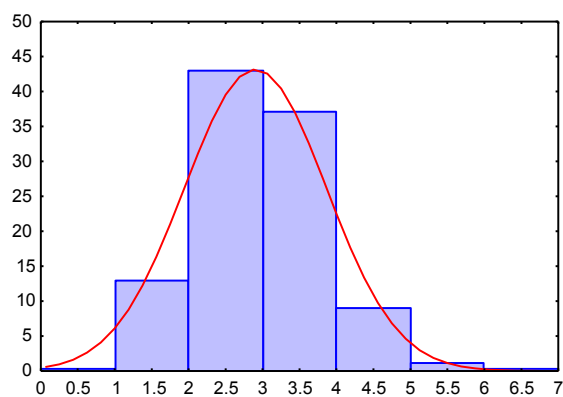
O diâmetro, ou largura das fibras, por si só é uma característica da fibra cuja relação com a qualidade da celulose ainda não está bem definida. A espessura de parede celular é um dos fatores que mais se relaciona com a resistência da polpa celulósica, afetando positivamente a resistência ao rasgo. Segundo FOELKEL (1977a), as fibras de parede espessas possuem maior teor relativo de celulose, o que favorece o rendimento do processo de polpação. Entretanto, numa mesma espécie, as fibras de parede mais espessas podem fornecer celulose com menores índices de resistência à tração e ao

arrebitamento, por apresentarem menor colapso durante a formação da folha.

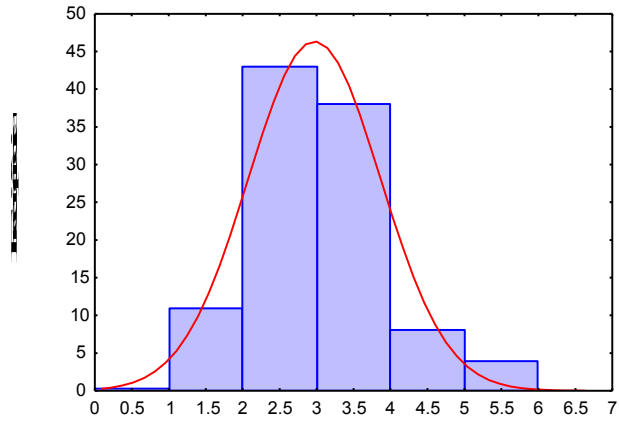
Maiores diâmetros de lúmen e paredes menos espessas facilitam o colapso das fibras durante a formação da folha, resultando em maior intensidade de ligações interfibras e, conseqüentemente, em propriedades de resistências à tração e ao arrebitamento mais elevadas.

Do ponto de vista papelheiro, KUAN et al. (1988) relataram que as fibras vegetais geralmente são classificadas como fibras longas quando possuem comprimento médio entre 2 e 5 mm e como fibras curtas quando o comprimento está entre 0,5 e 1,5 mm. Com base nesta afirmação e nos valores apresentados no Quadro 9, as fibras do pseudocaule de bananeira, podem ser classificadas como fibras longas.

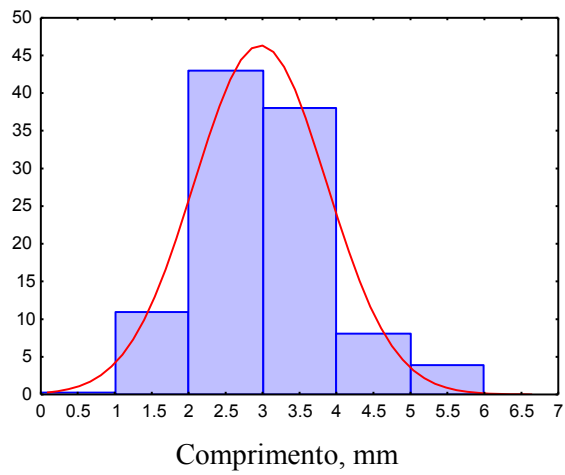
Nas Figuras de 2 a 5, encontram-se os histogramas de distribuição por classe de freqüência das características morfológicas das fibras do pseudocaule de *Musa* sp. Nessas figuras, pode ser observado que os histogramas de distribuição das dimensões apresentaram comportamento similar ao da curva normal de distribuição, com maior variabilidade que as fibras de madeiras de *Pinus elliottii* e *Eucalyptus grandis*.



(A) Pseudocaule inteiro

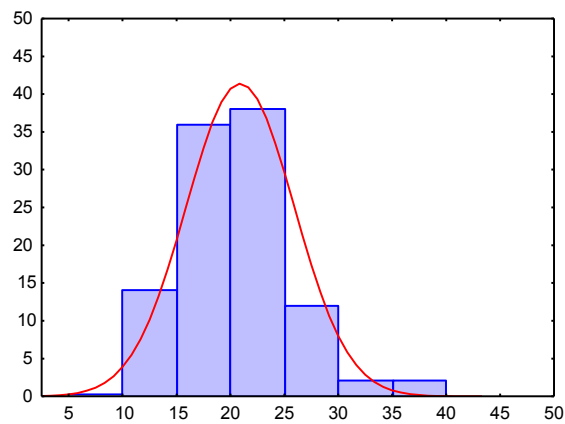


(B) Região interna do pseudocaule

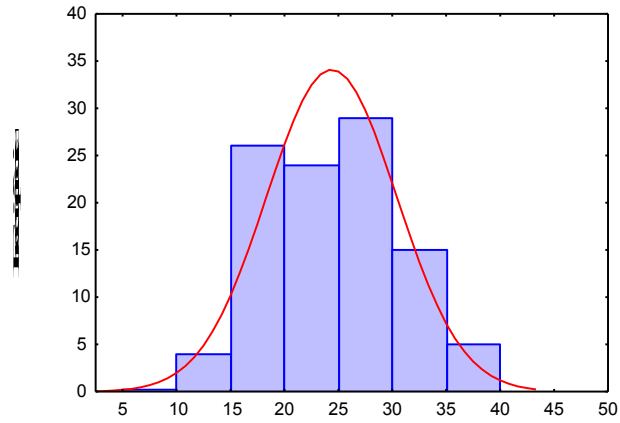


(C) Região externa do pseudocaule

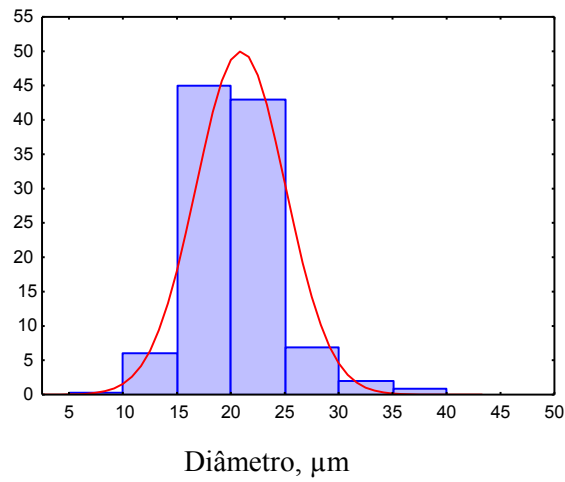
Figura 2 - Comprimento das fibras do pseudocaule de bananeira.



(A) Pseudocaule inteiro

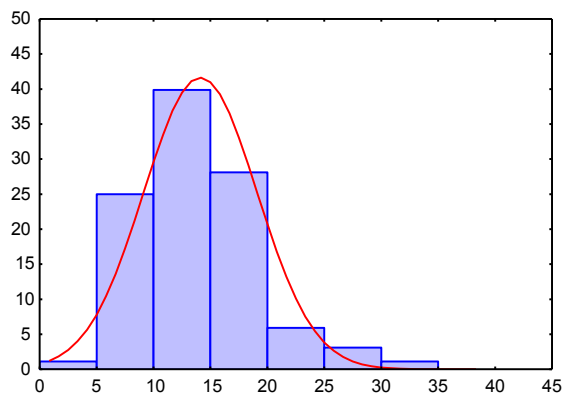


(B) Região interna do pseudocaule

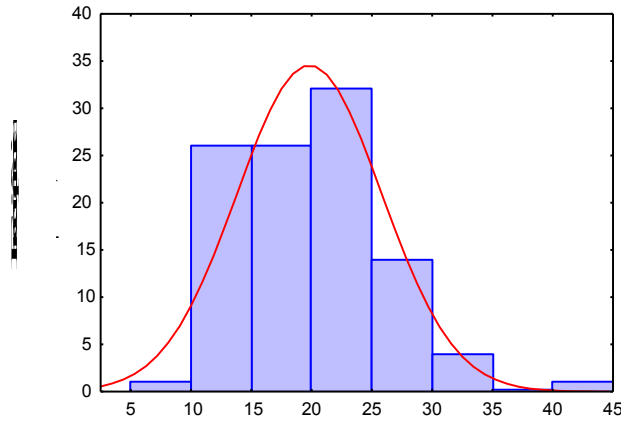


(C) Região externa do pseudocaule

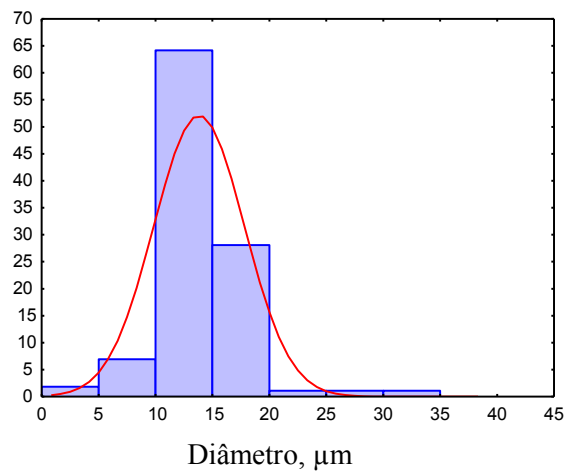
Figura 3 - Diâmetro das fibras do pseudocaule de bananeira.



(A) Pseudocaule inteiro

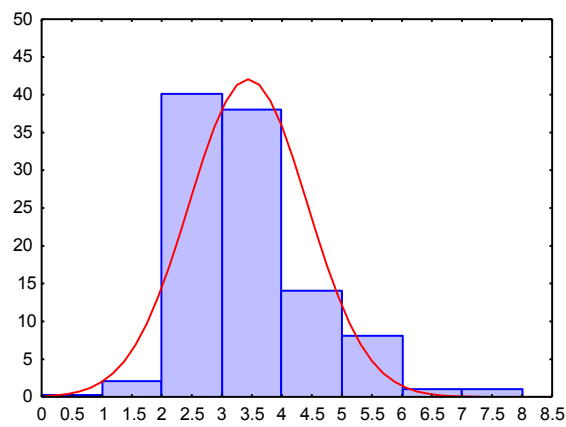


(B) Região interna do pseudocaule

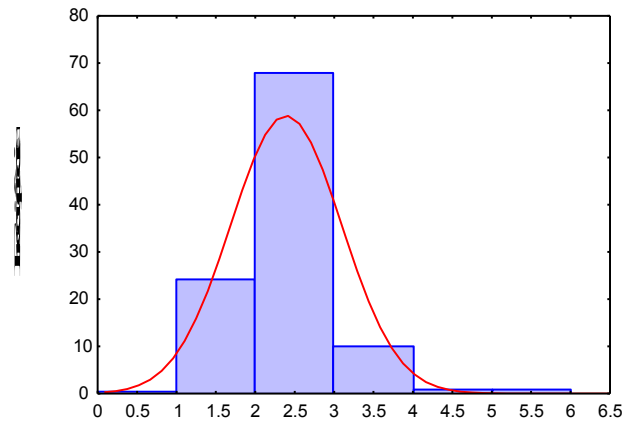


(C) Região externa do pseudocaule

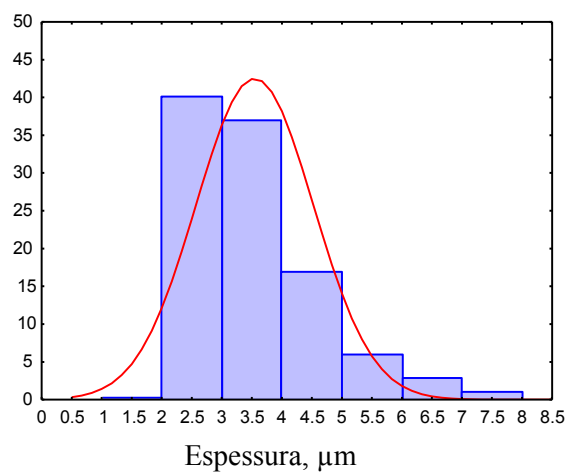
Figura 4 - Diâmetro do lúmen das fibras do pseudocaule de bananeira.



(A) Pseudocaule inteiro



(B) Região interna do pseudocaule



(C) Região externa do pseudocaule

Figura 5 - Espessura de parede das fibras do pseudocaule de bananeira.

As fibras da região interna do pseudocaule apresentaram menores dimensões de comprimento e de espessura de parede.

Essas características das fibras da região interna do pseudocaule podem ser ocasionadas pelo fato de essa região estar ainda em crescimento e, segundo FERNANDES et al. (1981), a *Musa cavendish* ser constituída por 23% de fibras tubulares e 77% de achatadas.

Atualmente, as relações entre as dimensões fundamentais das fibras têm sido reconhecidas como mais importantes, em certos casos, que as próprias dimensões isoladamente (FOELKEL, 1977a). As inter-relações das dimensões fundamentais das fibras do pseudocaule de bananeira são apresentadas no Quadro 10.

Quadro 10 - Inter-relações entre as dimensões das fibras de bananeira e matérias-primas convencionais

Amostra	Índice de Enfeltramento	Coefficiente de Flexibilidade, %	Fração Parede, %	Índice de Runkel
Pseudocaulo Inteiro	138,7	67,5	32,9	0,5
Pseudocaulo região externa	164,4	66,1	33,9	0,5
Pseudocaulo região interna	112,9	80,5	19,4	0,2
<i>P. elliotii</i> ¹	75,8	72,4	14,3	0,2
<i>E. grandis</i> ²	63,8	67,2	29,9	0,4

¹GONÇALES (1983) e ²CARNEIRO (1988).

Geralmente, ao comparar fibras de materiais lenhosos de mesma espécie florestal, admite-se que o índice de enfeltramento não possui ampla variação, pois normalmente fibras mais longas são também mais largas. Entretanto, esta afirmativa deve ser feita com restrições, pois para algumas espécies, principalmente materiais fibrosos, o desenvolvimento substancial do comprimento não é proporcional ao aumento na largura das fibras (OLIVEIRA, 1979).

Os elevados valores determinados para o índice de enfeltramento das fibras de bananeira foram muito superiores aos índices das fibras de *Pinus elliotii* e *Eucalyptus grandis*, o que deve favorecer as resistências físico-mecânicas das polpas de bananeira.

FOELKEL (1977a) relatou que, geralmente, materiais fibrosos utilizados na produção de celulose devem possuir fração-parede inferior a 40%, o que ocorreu com as fibras do pseudocaulo. O autor relatou, ainda, que na seleção de fibras para produção de polpa celulósica o índice de Runkel deve ser inferior à unidade, o que ocorreu com as fibras do pseudocaulo da bananeira.

4.1.5. Pré-hidrólise do pseudocaulo de bananeira

Os materiais lignocelulósicos possuem, geralmente, várias substâncias orgânicas de baixo peso molecular, denominadas extrativos. Essas substâncias

são solúveis em água ou solventes orgânicos e são indesejáveis, pois consomem álcali e reduzem o rendimento da polpação. Neste estudo, foi verificado que o pseudocaule da bananeira possui elevado teor de extrativo e, portanto, foram testadas algumas técnicas para remoção de parte dos extrativos antes da polpação.

Em alguns vegetais fibrosos, como bagaço de cana, sisal e Musacea, a matéria-prima original é submetida a um conjunto de processos químicos, físicos ou mecânicos, para separação do material fibroso e redução do teor de extrativos. Neste estudo, foram investigados vários pré-tratamentos, com o objetivo de separar a fração fibrosa do pseudocaule de bananeira e eliminar constituintes indesejáveis. Esses pré-tratamentos consistiram de hidrólise, com água e soluções de NaOH e H₂SO₄ a 2%, em relação ao peso seco do material. Foram utilizadas condições suaves de pré-hidrólise, para evitar degradação excessiva do material original, mas procurando utilizar condições químicas capazes de favorecer a eliminação de substâncias indesejáveis existentes no pseudocaule. As concentrações de álcali e ácido utilizadas foram as recomendadas em estudos de otimização realizados por DARKWA (1978) e FERNANDES et al. (1981). Após a pré-hidrólise, o material fibroso era separado da fração de finos, ou material mucilaginoso, por meio de peneiramento manual em água corrente.

Os resultados experimentais dos tratamentos de pré-hidrólise encontram-se no Quadro 4A. Os valores médios desses tratamentos e os pHs dos licores da pré-hidrólise estão apresentados no Quadro 11.

Quadro 11 - Rendimentos e características dos licores da pré-hidrólise de bananeira

Pré-Hidrólise	Rendimento, %			pH	
	Fibras	Finos	Total	Inicial	Final
H ₂ O	50,7	21,4	72,1	7,4	5,8
NaOH 2%	45,7	24,9	70,6	13,4	7,1
H ₂ SO ₄ 2%	39,7	30,3	70,0	1,6	3,6

Existem diversos procedimentos para reduzir o teor de materiais não-lignocelulósicos no pseudocaule de Musaceae, como os descritos por HEYSE

(1973) e DARKWA (1978). Neste estudo, foi verificado que a pré-hidrólise reduziu o teor dos materiais mucilaginosos, tornando a fração fibrosa do pseudocaule mais semelhante a das madeiras. Pelos resultados obtidos, pode-se deduzir que a pré-hidrólise do pseudocaule da bananeira possibilitou a remoção de células de parênquimas, de elementos de vasos e de substâncias solúveis, como taninos, substâncias pécnicas, gomas e materiais mucilaginosos localizados no interior dessas células. A remoção desses constituintes deverá favorecer o cozimento das fibras, resultando numa polpa celulósica de melhor qualidade e, possivelmente, em melhor drenabilidade.

O tratamento de pré-hidrólise com água resultou em maior rendimento em fibras, mas esta superioridade foi devido, provavelmente, a um maior teor de células de parênquima que permaneceram aderidas às fibras. Esse material apresentou maior dificuldade de processamento posterior na polpação, no branqueamento e na formação de folhas de papel.

Os inconvenientes da pré-hidrólise ácida estão relacionados ao menor rendimento em fibras e à alternância de pH entre o estágio de pré-hidrólise ácida e o cozimento alcalino. Num processo industrial, essa modificação de pH requer o uso de digestor de aço inoxidável, de custo elevado.

No Quadro 11 pode ser observada, ainda, a grande modificação na alcalinidade do licor de pré-hidrólise alcalina, que decresceu de 13,4 para 7,1, demonstrando o grande consumo de álcali pelas substâncias constituintes do pseudocaule. Essas substâncias consumidoras de álcali podem ser os taninos, que, segundo HEYSE (1973), constituem cerca de 13% da fração de 8% de sólidos do pseudocaule. Os taninos não possuem afinidade com substâncias ácidas e neutras, o que pode explicar a menor variação de pH nos processos de pré-hidrólise com água e ácido sulfúrico.

A principal desvantagem do estágio de pré-hidrólise foi o baixo rendimento em fibras, como mostrado no Quadro 11. Apesar deste aspecto negativo, os tratamentos de pré-hidrólise resultaram em fibras que deverão apresentar maiores facilidades de polpação, de branqueamento e de formação de folhas, provavelmente por resultarem em fibras com menores teores de impurezas solúveis (Quadro 12).

Um dos aspectos negativos da pré-hidrólise refere-se à perda de material mucilaginoso, que é constituído principalmente por produtos holocelulósicos, conforme mostrado no Quadro 12. Entretanto, sua remoção aumentou o grau de drenabilidade da polpa celulósica, conforme será demonstrado posteriormente na seção de propriedades físico-mecânicas das polpas celulósicas. Esses materiais causam problemas no processamento industrial, provocando obstrução de telas e feltros e, conseqüentemente, dificultando a drenabilidade da polpa.

A utilização do estágio de pré-hidrólise causou a remoção de substâncias solúveis e de materiais mucilaginosos do pseudocaule, modificando significativamente a composição química das fibras, conforme pode ser observado no Quadro 12.

Quadro 12 - Características químicas do pseudocaule, das frações fibrosas e dos materiais mucilaginosos de bananeira

Amostras	Cinzas, %	Solubilidade, %			Lignina Klason, %			Pentosanas %	Holocelulose %
		H ₂ O Quente	NaOH 1%	EtOH/Tolueno	Insolúve l	Solúvel	Total		
Pseudocaule	15,5 a	22,6 a	40,9 a	9,4 a	15,2	2,5	17,8	16,4 a	57,3 a
Fibras H ₂ O	4,3 b	4,5 b	24,8 b	2,05 b	13,8	2,6	16,4	17,6 b	77,2 b
Fibras NaOH	4,4 b	5,0 b	22,3 b	2,13 b	13,8	2,6	16,4	17,8 b	77,1 b
Fibras H ₂ SO ₄	3,9 b	5,4 b	28,4 b	1,97 b	17,8	2,7	20,5	16,6 a	73,6 b
F calculado (1%)	202*	512*	107*	230*	10,7ns	6,33 ns	11,6 ns	20,9*	172*
MM H ₂ O	6,61a	7,90 a	20,9 a	1,89	13,2 a	2,3 a	15,5 a	14,7	76,0 a
MM NaOH	8,08 b	11,1a b	32,6 b	2,08	12,0 a	2,0 a	14,0 a	15,1	75,8 a
MM H ₂ SO ₄	7,76ab	13,3 b	39,8 b	2,66	16,4 b	2,8 b	19,7 b	15,6	69,9 b
F calculado (1%)	48,8*	37,2*	100*	7,70 ns	94,1*	193*	108	7,71 ns	58,1*
<i>P. elliotii</i> ²	0,18	1,65	9,1	1,9	26,5	0,2	26,7	8,1	74,7
<i>E. grandis grandis</i> ³	0,20	2,23	10,9	1,6	24,8 ⁴	3,11 ⁴	27,9 ⁴	13,3	81,3

MM = materiais mucilaginosos. * significativo a 1% de probabilidade e ns = não-significativo a 1% de probabilidade.

²CARNEIRO (1988), ³GONÇALES (1983) e ⁴MINCHOLA ROBLES (1996).

No Quadro 12, pode ser observado que os teores de constituintes minerais no pseudocaule de bananeira e nas suas frações de fibras e de material mucilaginoso são muito superiores aos das madeiras tanto de *Eucalyptus* como *Pinus*. Nesse mesmo quadro, pode ser observado que a pré-hidrólise causou pronunciada remoção dos elementos minerais.

Contrastando com os lenhos de *Eucalyptus* e de *Pinus*, o pseudocaule da bananeira apresentou elevados teores de substâncias solúveis em água quente, o que indica a presença expressiva de sais, açúcares, amido, gomas, tanino, substâncias pécnicas e pigmentos. ESCOLANO et al. (1971) relataram que os extrativos das Musaceae solúveis em água normalmente são constituídos por substâncias facilmente extraíveis, como sais, ciclitol, gomas etc.

Na fração extraída com solução de NaOH 1%, além dos constituintes solúveis em água, também incluem-se alguns extrativos, produtos de degradação por fungos e carboidratos de baixo peso molecular. Nas Musaceae, esse extrato também contém outras substâncias, como alguns compostos minerais, substâncias pécnicas, taninos e gomas (GUHA, 1960; FERNANDES et al., 1981).

O tratamento com etanol/tolueno, que solubiliza ceras, ácidos graxos, resinas, polifenóis e alguns compostos solúveis em água, demonstrou que o pseudocaule possui altos teores de solúveis nesta mistura de solventes. Tais índices podem estar relacionados aos elevados teores de polifenóis ou de taninos que são solubilizados pelo etanol.

Os extrativos da bananeira influenciam negativamente o uso desta planta para produção de celulose, por reduzirem o percentual de fibras e o rendimento em celulose e por dificultarem a polpação, uma vez que consomem álcali, dificultando o processo de polpação. Além disto, os extrativos podem aumentar a viscosidade do licor negro, dificultando sua recuperação.

As frações fibrosas obtidas pelos processos de pré-hidrólise apresentaram teores de cinzas e de substâncias solúveis muito inferiores aos do pseudocaule original, mas ainda assim permaneceram com teores muito superiores aos das madeiras de *Eucalyptus* e de *Pinus*. Os materiais mucilaginosos obtidos da pré-hidrólise apresentaram teores ainda maiores de cinzas e de extrativos, o que pode ser explicado por essa fração ser constituída por células de parênquima, que são

ricas em extrativos e em elementos minerais, uma vez que possuem funções fisiológicas de armazenar nutrientes necessários ao desenvolvimento do vegetal.

O pseudocaule apresentou 40,9% de substâncias solúveis em hidróxido de sódio a 1%, o que evidencia sua baixa estabilidade em soluções alcalinas. Conseqüentemente, na produção de polpa celulósica, o rendimento da deslignificação dessa matéria-prima deverá apresentar baixo rendimento, muito inferior ao de madeiras de coníferas e de folhosas.

A remoção das substâncias solúveis em álcool/tolueno pela pré-hidrólise reduziu consideravelmente o teor desses extrativos nas fibras e nos materiais mucilaginosos, deixando-os com teores mais próximos aos das matérias-primas convencionais, empregadas na produção de celulose, conforme pode ser verificado no Quadro 12.

Contrastando com os elevados índices de extrativos do pseudocaule, as frações fibrosas obtidas pelo processo de pré-hidrólise apresentaram, para todos os processos, teores semelhantes e significativamente menores de extrativos, o que demonstra a eficiência desse pré-tratamento na remoção de extrativos.

No tecido vegetal, a lignina é a substância responsável pela união das fibras de celulose. Na produção de polpas químicas, o objetivo é a sua remoção, sendo desejáveis baixos teores de lignina na matéria-prima fibrosa. O pseudocaule de bananeira, conforme mostrado no Quadro 12, apresentou baixo teor de lignina, bem inferior ao de madeiras de *Eucalyptus* e *Pinus*. As operações de pré-hidrólise não apresentaram efeito estatisticamente significativo na redução do teor de lignina nas frações fibrosas e mucilaginosas, tendo esse efeito sido significativo apenas para a fração mucilaginosa obtida pela pré-hidrólise ácida.

As pentosanas são parte dos carboidratos não-celulósicos dos materiais lignocelulósicos. Nas polpas para papéis, a retenção das pentosanas é desejável, por aumentar o rendimento em polpa, diminuir a energia requerida na refinação e reduzir a densidade das folhas, aumentando algumas propriedades de resistência da polpa. O pseudocaule da bananeira e as fibras obtidas da pré-hidrólise apresentaram maiores teores de pentosanas que os lenhos dos vegetais convencionais (Quadro 12).

Os resultados apresentados no Quadro 12 demonstram, ainda, que nos tratamentos de pré-hidrólise com H₂SO₄ e nas frações mucilaginosas obtidas de todos os processos não houve efeito estatisticamente significativo no teor de pentosanas.

DARKWA (1978) mencionou que o pseudocaule de *Musa paradisiaca L.* possui como constituintes da sua fração de carboidratos 2,96% de arabinose, 8,10% de xilose, 2,30% de manose, 1,23% de galactose e 43,3% de glucose. MALCON (1970), estudando fibras de “hemp”, verificou a presença de ácido urônico nesse vegetal. Considerando que o pseudocaule de bananeira utilizado neste estudo é semelhante ao das espécies citadas anteriormente, pode-se esperar que a principal hemicelulose da bananeira aqui utilizada seja a 4-O-metilglucuronoxilana, como ocorre com o *Eucalyptus*.

A holocelulose é a fração de carboidratos dos materiais lignocelulósicos, constituída por celulose e hemiceluloses. Nos processos de obtenção de polpa para fabricação de papel, esses são os produtos de interesse e devem ser preservados. O teor de 57,3% de holocelulose determinado no pseudocaule da bananeira foi inferior aos encontrados nas madeiras de *Eucalyptus* e *Pinus*. Esse baixo teor está relacionado com o elevado teor de extrativos e de substâncias minerais nas bananeiras. O baixo teor de holocelulose do pseudocaule prejudica seu uso na produção de polpa celulósica, pois o rendimento do processo de polpação será muito inferior aos índices obtidos com madeiras. Os tratamentos de pré-hidrólise causaram a remoção de grande parte dos extrativos e, conseqüentemente, aumentaram o teor de holocelulose nas frações fibrosas resultantes. Não foi detectada diferença significativa no teor de holocelulose das frações fibrosas resultantes dos diferentes processos de pré-hidrólise utilizados. O maior teor de holocelulose das frações fibrosas obtidas da pré-hidrólise e seus teores mais baixos de constituintes indesejáveis, como cinzas, extrativos e substâncias solúveis, apresentaram qualidade muito superior à do pseudocaule, para produção de polpa celulósica. O abacá, muito semelhante à bananeira, é usado para produção de celulose de excelentes características de resistência, utilizando apenas a fração fibrosa extraída do pseudocaule.

4.1.6. Elementos minerais do pseudocaule e das frações fibrosas de bananeira

FENGEL e WEGNER (1989) mencionaram que nas madeiras de coníferas e de folhosas os principais constituintes inorgânicos são o potássio, o cálcio e o magnésio e em algumas madeiras tropicais, o silício. A influência de metais na qualidade do papel produzido com celulose de coníferas e de folhosas não é muito estudada, provavelmente por causa dos baixos teores desses elementos nas madeiras, geralmente menos de 0,5%. Neste estudo, foi realizada uma minuciosa caracterização dos elementos minerais presentes, uma vez que eles ocorrem em quantidades relativamente elevadas. No Quadro 13, pode-se verificar que o potássio, o cloro, o magnésio, o silício, o cálcio e o sódio são os principais constituintes inorgânicos do pseudocaule e das frações fibrosas da bananeira. Nesse quadro, o teor de cinzas é expresso em percentagem do peso do material seco e os elementos minerais estão expressos em percentagem do peso de cinzas. O potássio e o silício presentes na bananeira constituem uma desvantagem extra, uma vez que são elementos bastante abrasivos. A maioria dos constituintes minerais existentes nas bananeiras está relacionada aos aspectos fisiológicos do vegetal, pois esses elementos são importantes para o crescimento e desenvolvimento da planta. No entanto, na polpa celulósica, esses constituintes são indesejáveis, por reduzirem sua qualidade, dificultarem o branqueamento e causarem desgaste dos equipamentos utilizados na indústria.

Os valores do Quadro 13 demonstram que o elevado teor de cinzas do pseudocaule diminui muito quando é realizada a pré-hidrólise, principalmente quando o reagente utilizado é ácido.

PATEL et al. (1985) relataram que o teor de cinzas nas matérias-primas fibrosas não afeta diretamente o processo de polpação. No entanto, os metais podem influenciar a qualidade do papel, reduzindo suas propriedades mecânicas e desfavorecendo a utilização para algumas finalidades. JEYASINGAM (1986) relatou as influências negativas dos elevados teores desses constituintes nos sistemas de preparação do licor, de lavagem, de depuração, de recuperação do licor negro e de caustificação na redução da durabilidade de facas e no aumento da corrosão de equipamentos.

Quadro 13 - Composição mineral das cinzas do pseudocaule e das frações fibrosas de bananeira*

Elementos Minerais	Pseudocaule, %	Fração Fibrosa de Pré-Hidrólise, %		
		H ₂ SO ₄	NaOH	H ₂ O
Cinzas	15,5	3,93	4,32	4,41
Al	0,10	0,06	0,11	0,04
Ba	-	0,4	0,5	0,4
Ca	2,84	21,2	31,3	22,7
Cl	16,3	-	0,5	-
Co	0,03	0,04	0,07	0,04
Cr	0,02	0,01	0,03	-
F	0,4	1,3	2,3	1,5
Fe	0,23	0,68	0,35	0,41
K	20,3	1,4	2,01	2,93
Mg	5,51	7,48	24,8	10,3
Mo	-	-	0,2	-
Mn	0,2	0,01	1,1	0,9
Na	1,28	0,83	2,13	0,91
P	0,57	0,34	0,82	0,40
S	1,2	0,8	1,1	0,8
Si	4,08	10,1	10,9	7,7
Sr	-	0,2	0,3	0,2
Ti	0,04	-	0,06	0,04

* Cinzas expressas como % do peso seco do pseudocaule e das fibras e os elementos minerais, em % de cinzas.

De modo geral, os teores de metais de transição, como ferro, cromo,

cobalto e manganês, foram pouco menores nas frações fibrosas produzidas pelos tratamentos de pré-hidrólise com ácido e água. Esses metais influenciam negativamente os estádios de branqueamento com compostos oxigenados, causando a decomposição homolítica dos compostos oxigenados e gerando espécies que não são eficazes no branqueamento.

4.2. Polpação kraft

Para produção de polpa celulósica, foi utilizado o processo kraft. As matérias-primas empregadas nos cozimentos foram o pseudocaule integral, após secagem ao ar, e as frações fibrosas obtidas pelos tratamentos de pré-hidrólise com NaOH, H₂SO₄ e H₂O. Para maior facilidade de discussão dos resultados obtidos, essas frações fibrosas serão denominadas, respectivamente, F-NaOH, F-H₂SO₄ e F-H₂O. Foram realizados vários cozimentos, com diferentes cargas de álcali ativo, tendo sido analisados a deslignificação, os rendimentos total e depurado, o teor de rejeitos, a viscosidade e as características do licor residual.

4.2.1. Deslignificação

Os pseudocaules integrais de bananeira empregados neste estudo apresentaram grande dificuldade de deslignificação, e mesmo utilizando elevadas cargas de álcali ativo, de até 30%, o número kappa mais baixo obtido foi de 34, conforme mostrado na Figura 6. O aumento da carga de álcali de 10 até 17,5% resultou em decréscimo do número kappa de 67,0 para 33,9. Entretanto, aumentos adicionais da carga de álcali, até 30%, não causaram nenhuma deslignificação adicional. Essa grande dificuldade de deslignificação do pseudocaule de bananeira utilizado não foi verificada por outros autores, que empregaram matérias-primas semelhantes (MAC CALLUM, 1923; GUHA, 1960; DARKWA, 1978; FERNANDES et al., 1981). A secagem prolongada ao ar livre (mais de dois meses), com exposição direta aos raios solares, dos pseudocaules

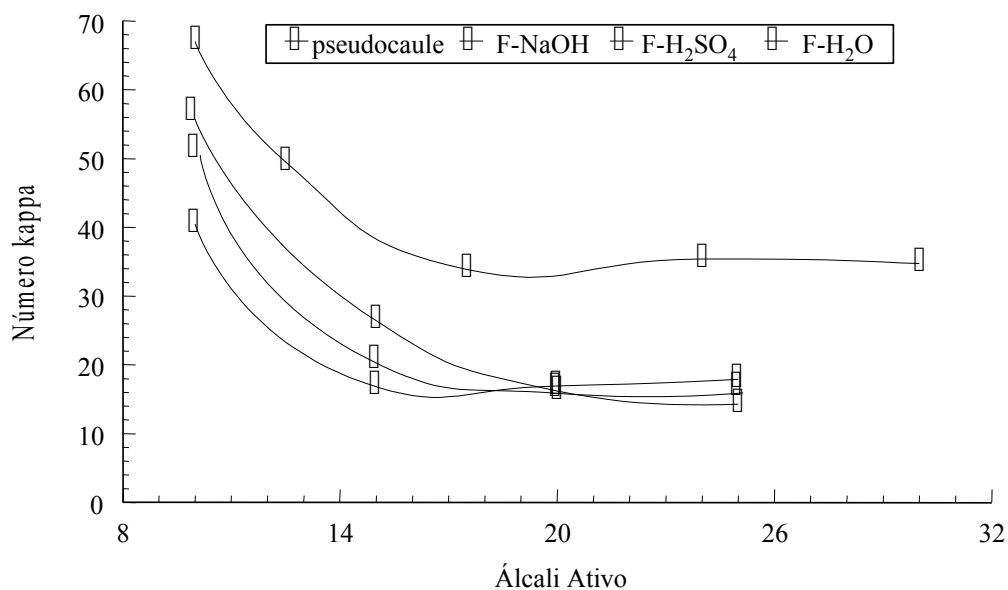


Figura 6 - Deslignificação kraft do pseudocaule integral e das frações fibrosas de bananeira.

utilizados neste estudo talvez tenha causado modificações na estrutura química da lignina ou reações entre a lignina e os extrativos, dificultando as reações de degradação e a remoção da lignina nas operações de polpação. Outra possibilidade para explicar a dificuldade de deslignificação dessa bananeira é que a planta foi modificada geneticamente para aumentar a resistência do pseudocaule ao peso dos frutos e à ação de ventos.

As frações fibrosas obtidas pela pré-hidrólise do pseudocaule com H₂SO₄, NaOH e H₂O apresentaram facilidade de deslignificação bem maior que as do pseudocaule integral, possibilitando a obtenção de polpas celulósicas com números kappa cerca de 16, quando foi utilizada uma carga de álcali ativo de 20%. Em cargas de álcali ativo mais baixas, até 18-20%, a fração fibrosa obtida com NaOH (F-NaOH) foi a que apresentou a maior facilidade de deslignificação, seguida pela obtida com água (F-H₂O), e a que apresentou maior dificuldade de deslignificação foi a obtida com H₂SO₄ (F-H₂SO₄), como ilustra a Figura 6. A utilização de cargas de álcali ativo acima de 20% não resultou em maior deslignificação dessas frações fibrosas. A maior facilidade de deslignificação da fração fibrosa F-NaOH pode ser explicada pela eliminação, durante a pré-

hidrólise alcalina, de constituintes que consomem álcalis do licor de cozimento. A acidez da fração fibrosa F-H₂SO₄ pode ser a explicação para a menor eficiência de deslignificação dessa fração na polpação kraft.

Numa comparação generalizada com madeiras de *Eucalyptus* e *Pinus*, pode-se afirmar que o pseudocaule integral foi muito mais difícil de deslignificar que essas madeiras. As frações fibrosas obtidas com tratamentos de pré-hidrólise apresentaram facilidade de deslignificação similar à da madeira de *Eucalyptus*, mas foram mais fáceis de deslignificar que a madeira de *Pinus*.

Por causa da grande dificuldade de deslignificação do pseudocaule integral, apenas as polpas celulósicas obtidas com as frações fibrosas com número kappa cerca de 16 é que foram utilizadas nos estudos de branqueamento.

4.2.2. Rendimentos

Os elevados teores de minerais e de substâncias solúveis e os baixos teores de holocelulose do pseudocaule de bananeira, mostrados no Quadro 12, indicam que essa matéria-prima, na sua forma original, possui características muito desvantajosas e deverá resultar em baixos rendimentos na produção de polpa celulósica.

Para melhorar o rendimento e a qualidade da polpa celulósica, uma das técnicas utilizadas é a pré-hidrólise, para remoção desses constituintes indesejáveis. MISRA (1980) relatou que os rendimentos da polpação da fração fibrosa de várias matérias-primas denominadas de “hemp”, como a *Agave sisalana*, a *Musa textiles* e a *Canabis sativa*, são da ordem de 50%, valor caracteristicamente obtido para madeiras de coníferas e folhosas.

Neste estudo, foram realizados cozimentos kraft tanto do pseudocaule integral como das frações fibrosas obtidas de pré-hidrólise. Nos Quadros de 6A a 9A, são apresentadas as características de todos os cozimentos realizados e dos licores residuais. Nas Figuras de 7 a 9 estão apresentados os rendimentos total e depurado e os teores de rejeitos dos cozimentos kraft, respectivamente, obtidos com as diferentes cargas de álcali ativo utilizadas.

Na Figura 7 é mostrado que a polpação kraft do pseudocaule integral da

bananeira resultou em baixos rendimentos totais, mesmo em altos níveis de número kappa. As razões para esses baixos rendimentos são os elevados teores de cinzas e de extrativos no pseudocaule e, conseqüentemente, o baixo teor de holocelulose, como apresentado no Quadro 12. As frações fibrosas apresentaram rendimentos muito mais elevados que o do pseudocaule e rendimentos semelhantes ou pouco superiores aos valores característicos para madeira de *Eucalyptus*. Em níveis de número kappa indicados para branqueamento (kappa 15-20), todas as frações fibrosas apresentaram rendimentos semelhantes.

Os rendimentos depurados da polpação kraft apresentaram a mesma tendência dos rendimentos totais, com valores muito mais elevados para as frações fibrosas, em relação ao pseudocaule integral, conforme ilustrado na Figura 8.

Na Figura 9, são mostrados os teores de rejeitos obtidos na polpação kraft do pseudocaule e das frações fibrosas da bananeira. As frações fibrosas apresentaram teores de rejeitos mais elevados que o do pseudocaule, para um mesmo nível de número kappa, o que pode ser explicado como tendo sido ocasionado pelo elevado teor de finos na polpa de pseudocaule, resultando em menor teor percentual de rejeitos. A fração fibrosa F-NaOH foi a que apresentou os resultados mais favoráveis, com os menores teores de rejeitos para o mesmo número kappa.

4.2.3. Viscosidade

Na caracterização de polpas celulósicas, a viscosidade é um dos parâmetros rotineiramente empregados, por fornecer informações sobre a degradação dos carboidratos e pela facilidade de determinação em laboratório.

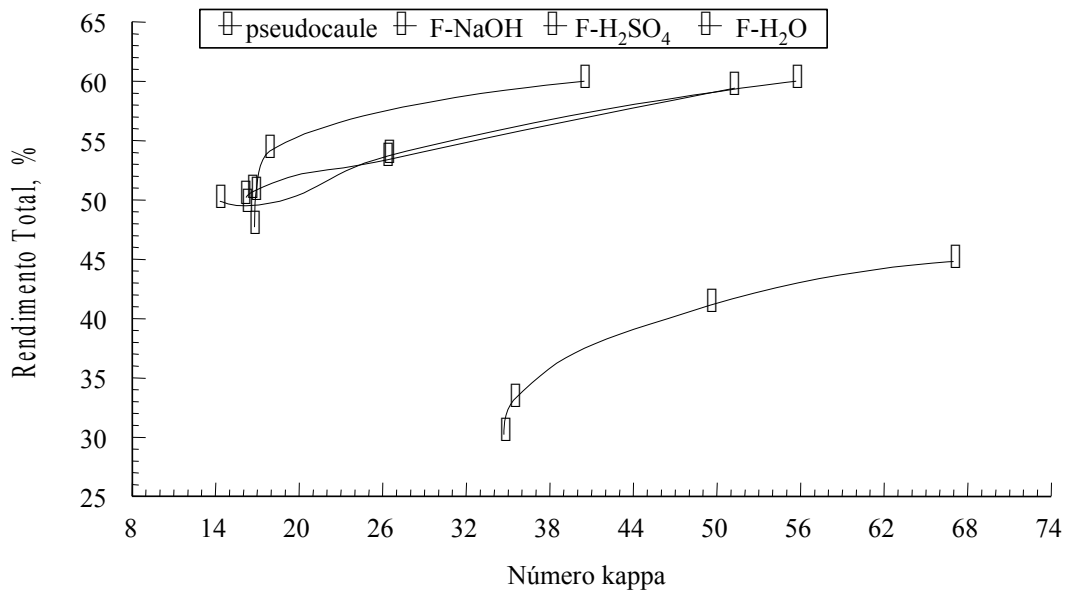


Figura 7 - Rendimentos totais da deslignificação kraft do pseudocaulis integral e das frações fibrosas de bananeira.

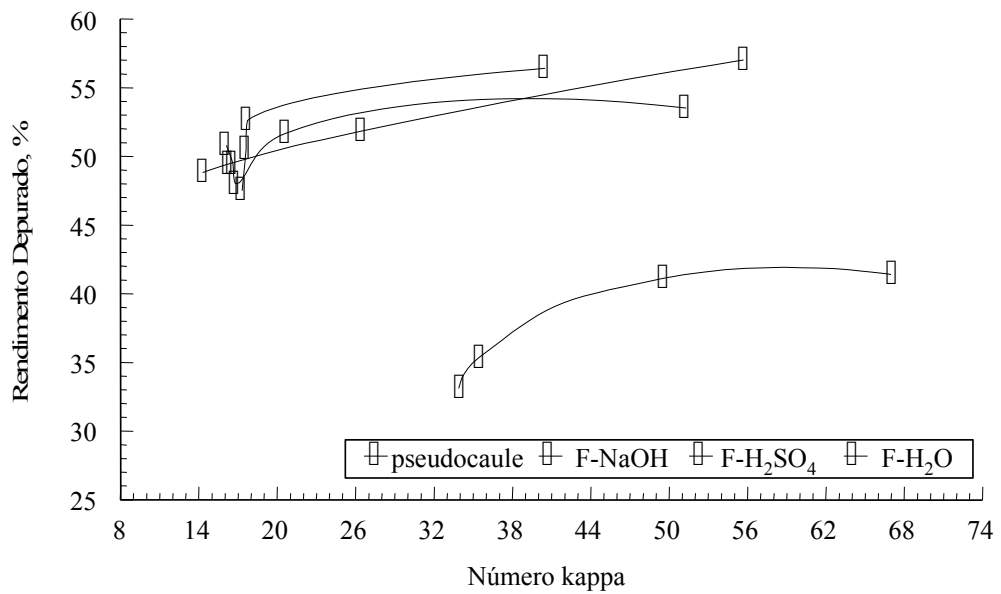


Figura 8 - Rendimentos depurados da polpação kraft do pseudocaulis integral e das frações fibrosas de bananeira.

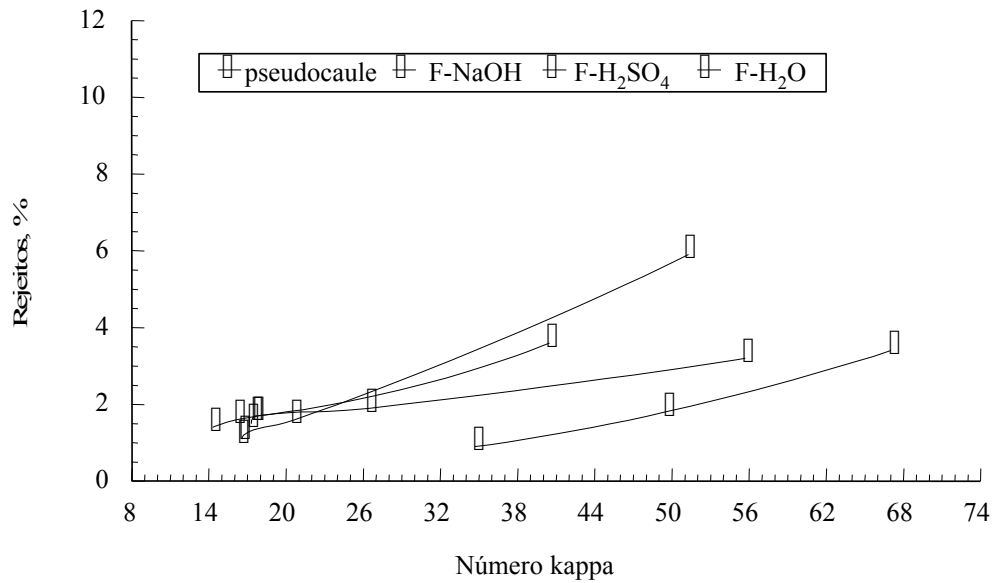


Figura 9 - Teores de rejeitos da polpação kraft do pseudocaule integral e das frações fibrosas de bananeira.

As viscosidades das polpas kraft do pseudocaule integral foram determinadas, mas os valores obtidos apresentaram níveis de variabilidade, de repetibilidade e de reprodutibilidade inaceitáveis e, portanto, foram considerados incorretos. Essa irregularidade das viscosidades do pseudocaule possivelmente pode ser explicada pela presença irregular e elevada de células de parênquima, que são constituídas por carboidratos de baixo peso molecular. Talvez por esses mesmos motivos os estudos realizados por GUHA (1960) e HEIKAL (1976) não mencionam as viscosidades das polpas de pseudocauces. FERNANDES et al. (1981), nos seus experimentos com polpas de bananeiras obtidas de fibras tratadas com HCl por metodologias similares às utilizadas neste estudo, descreveram a viscosidade apenas após o branqueamento, quando o teor de impurezas na polpa é reduzido.

Na Figura 10 são apresentadas as características de viscosidade das polpas celulósicas kraft produzidas com as frações fibrosas da bananeira.

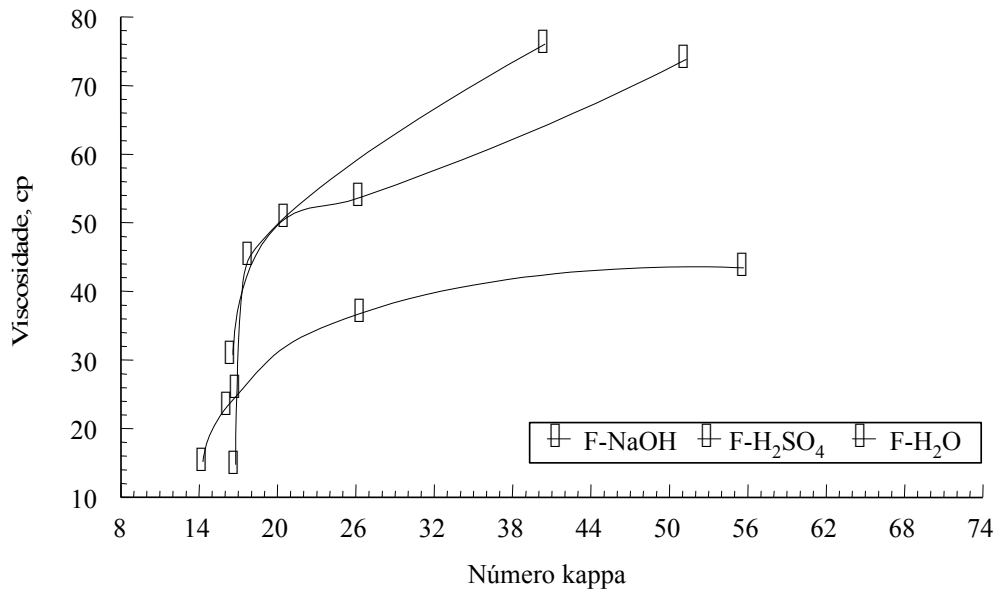


Figura 10 - Viscosidades das polpas kraft das frações fibrosas de bananeira.

Em baixos níveis de número kappa, entre 14,5 e 18,0, as viscosidades das polpas das diferentes frações fibrosas, por causa da grande variabilidade, não apresentaram uma diferenciação definida. Em níveis mais altos de número kappa, as polpas da fração F-NaOH apresentaram ligeira superioridade sobre a fração F-H₂O, e as viscosidades dessas duas polpas foram muito superiores à da fração fibrosa F-H₂SO₄. As viscosidades mais baixas das polpas F-H₂SO₄ podem ser explicadas pela degradação dos carboidratos, causada por reações de hidrólise ácida durante o estágio de pré-hidrólise com H₂SO₄.

4.2.4. Características do licor residual

No Quadro 14 estão apresentadas as características dos licores residuais obtidos da polpação kraft do pseudocaule integral e das frações fibrosas da bananeira. Nesse quadro foram incluídos apenas os cozimentos que produziram as polpas que foram branqueadas e utilizadas para testes físico-mecânicos. A polpa produzida com o pseudocaule integral não foi branqueada, por não ter apresentado qualidade suficiente para branqueamento (elevada dificuldade de deslignificação e rendimento muito baixo), mas foi incluída na análise de licores

para aumentar os conhecimentos sobre o pseudocaule.

A análise do Quadro 14 demonstra que as características dos licores residuais obtidos, de modo geral, estão dentro dos limites normais de licores negros kraft, com exceção do teor de sólidos. O teor de sólidos do licor é muito influenciado pelo volume de licor utilizado no cozimento. Para madeiras, a relação licor/madeira é, geralmente, de 4/1, em escala laboratorial. Por causa da baixa densidade das matérias-primas fibrosas utilizadas, foi necessário aumentar o volume de licor, tendo sido utilizada uma relação de 5/1. O maior volume de licor nos cozimentos resultou em teores de sólidos de apenas cerca de 12%, quando os teores em torno de 16% é que são normalmente obtidos com madeiras. O baixo teor de sólidos no licor residual é desvantajoso, uma vez que irá requerer evaporação de maior volume de água, onerando o processo de recuperação.

Quadro 14 - Características das polpas celulósicas e dos licores residuais obtidos pela polpação kraft de bananeira

Matéria-Prima	Álcali Ativo, %	Número Kappa	Licor Residual				Álcali Consumido, %
			pH	Sólidos, %	Orgânicos, %	Inorgânicos, %	
Pseudocaule	17,5	33,9	12,3	13,9	60,4	39,6	13,4
F-NaOH	15,0	16,8	12,0	9,9	65,1	34,9	12,1
F-H ₂ O	20,0	16,6	12,6	11,5	58,8	41,2	16,4
F-H ₂ SO ₄	20,0	16,2	12,3	11,4	58,1	41,9	16,9

Não foram determinadas as concentrações de metais nos licores residuais, mas a alta concentração de elementos minerais presentes no pseudocaule e nas frações fibrosas obtidas pelas pré-hidrólises (Quadro 12) permite concluir que os licores negros residuais da polpação da bananeira devem também possuir altas concentrações de elementos minerais.

Por causa da importância da presença no licor negro de altos teores de alguns minerais existentes na bananeira, é importante que sejam feitas algumas

considerações sobre os problemas que podem ser esperados na recuperação desse tipo de licor. HUÉRCANO (1982) mencionou que os licores residuais do cozimento kraft de não-madeiras possuem algumas características adversas. Como esses vegetais possuem baixos teores de lignina e de holocelulose e altos teores de minerais, os licores negros residuais da deslignificação desses vegetais geralmente possuem baixo poder calorífico. Os altos teores de substâncias minerais, em particular a sílica, prejudicam sua recuperação. MISRA (1980) relatou que as fibras de não-madeiras possuem elevados teores de sílica, baixos níveis de lignina e são ricas em pentosanas, comparadas com as madeiras, tornando o licor mais viscoso nas concentrações entre 60 e 65% de sólidos.

Na recuperação dos reagentes químicos pela calcinação do licor negro, o elevado teor de sílica nas não-madeiras é prejudicial, causando depósitos no interior das paredes dos tubos evaporadores e resultando em consumo de mais vapor para evaporação (JEYASINGAM, 1986). Segundo MURALI et al. (1980), a presença de altas quantidades de sílica no licor negro causa uma calcinação incompleta e desuniforme.

4.3. Deslignificação com oxigênio

O oxigênio é normalmente utilizado como uma etapa complementar de deslignificação após o cozimento (deslignificação com oxigênio), ou numa etapa intermediária de extração de uma seqüência de branqueamento (extração oxidativa). As vantagens de utilização de oxigênio são a diminuição do número kappa da polpa antes do branqueamento, a possibilidade de queimar a solução residual desse estágio junto com o licor negro da polpação e a redução da cor e toxidez do efluente do branqueamento.

Quando são utilizadas seqüências de branqueamento sem cloro molecular, como a selecionada para este estudo, o uso da deslignificação com oxigênio apresenta, ainda, a vantagem adicional de proporcionar significativa economia de dióxido de cloro.

As características das polpas utilizadas neste estudo de deslignificação com oxigênio estão descritas no Quadro 15, no qual são apresentadas, também, as

características das polpas após a deslignificação com oxigênio. As polpas marrons, logo após produzidas, possuíam número kappa $16 \pm 0,5$, mas após armazenadas em refrigerador por mais de 30 dias e nova diluição em hidrapulper a 0,2% de consistência e desaguamento apresentaram redução do número kappa aos valores mostrados no Quadro 15. Essa redução do número kappa ocorreu principalmente com a polpa da fração fibrosa obtida após pré-hidrólise com ácido sulfúrico.

A deslignificação com oxigênio apresentou baixa eficiência para a polpa F-H₂SO₄, com queda de apenas 15,8% no número kappa, e eficiências mais elevadas de, respectivamente, 36,9 e 28,3% para as polpas F-H₂O e F-NaOH. A presença em concentrações relativamente altas de certos metais nas fibras, principalmente cobalto, manganês e ferro (Quadro 16), possivelmente prejudicou o desempenho do oxigênio na deslignificação.

Quadro 15 - Características das polpas kraft de bananeira antes e após a deslignificação com oxigênio

Características		Polpas Celulósicas		
		F-H ₂ O	F-NaOH	F-H ₂ SO ₄
Polpa Marrom	Alvura, % ISO	22,3	23,3	25,4
	Número kappa	16,0	15,9	13,9
	Viscosidade, cP	33,0	44,5	26,8
	Cinzas*, %	4,1	4,8	3,6
	Sílica*, %	0,02	0,01	0,02
Deslignificação com Oxigênio	Alvura, % ISO	30,9	26,8	27,0
	Número kappa	10,1	11,4	11,7
	Viscosidade, cP	23,0	35,8	24,4
	Rendimento, %	95,0	94,3	94,5

* Teor de cinzas base peso fibras e teor de metais base peso de cinzas.

Quadro 16 - Concentração de metais nas polpas kraft de bananeira utilizadas para deslignificação com oxigênio

Elementos Minerais*	F-H ₂ O	F-H ₂ SO ₄	F-NaOH
Cinzas, %	4,3	3,9	4,4
Sílica, ppm	237	181	113
Magnésio, ppm	400	188	97

Cobalto, ppm	24	7	14
Ferro, ppm	171	18	5
Manganês, ppm	204	181	290
Cromo, ppm	16	-	-
Cobre, ppm	163	-	-

* Teor de cinzas base peso fibras e teor de metais base peso de cinzas.

Não foi encontrada uma explicação satisfatória para a baixa eficiência do oxigênio na polpa F-H₂SO₄, uma vez que as fibras acidificadas pela pré-hidrólise foram posteriormente deslignificadas pelo licor alcalino kraft e a concentração de metais deletérios era mais baixa que nas outras polpas.

O oxigênio apresentou uma ação de degradação nos carboidratos, diminuindo a viscosidade das polpas, principalmente das polpas F-H₂O e F-NaOH (Quadro 15). A polpa F-H₂SO₄ apresentou diminuição de apenas 9,0% na viscosidade, o que pode ter sido influenciado pela menor viscosidade inicial desta polpa. A diminuição da viscosidade da polpa F-NaOH foi, também, relativamente baixa, da ordem de 19,6%.

Os rendimentos obtidos para as deslignificações com oxigênio variaram entre 94,3 e 95,0%, inferiores aos obtidos normalmente para polpas de madeira. Os “finos” presentes nas polpas de bananeira podem ter favorecido esses baixos rendimentos.

4.4. Branqueamento das polpas kraft-O₂

O branqueamento pode ser definido como um tratamento físico-químico da polpa, com objetivo de melhorar suas propriedades, entre elas a alvura, a limpeza e a pureza química. A planta de branqueamento tem sido considerada uma das principais fontes de poluição de uma fábrica de celulose kraft, e para minimizar estes aspectos negativos, várias modificações tecnológicas têm sido realizadas nessa etapa do processo (PAIVA, 1992). Dentre essas modificações, destacam-se a deslignificação com oxigênio e o desenvolvimento de processos de branqueamento total ou parcialmente isentos de compostos de cloro, as seqüências de branqueamento denominadas TCF (Total Chlorine Free) e ECF (Elemental Chlorine Free). Outra tendência moderna é a utilização de seqüências

curtas de branqueamento, que, entretanto, apresentam o inconveniente de maior dificuldade para realizar correções durante o processamento. Na utilização de seqüências curtas de branqueamento ECF e TCF, é fundamental o emprego da deslignificação com oxigênio. Essas seqüências possibilitam a eliminação do cloro molecular, resultando em efluentes com menos toxidez, com menor teor de compostos orgânicos clorados, como as dibenzodioxinas (PCDDs) e os dibenzofuranos (PCDFs), e com menor carga de DBO, DQO e AOX (MOUTEER et al., 1992).

As polpas de bananeira utilizadas para os estudos de branqueamento apresentavam, como característica de destaque, uma coloração marron muito escura, com alvura variando entre 22,3 e 25,4% ISO. Essa coloração das polpas é, sem dúvida, uma desvantagem para a utilização da polpa sem branqueamento.

Para o branqueamento das polpas celulósicas da bananeira, foi selecionada a seqüência DE_pD, que é uma técnica curta ECF, pelas vantagens, que apresenta. Os resultados experimentais do branqueamento da polpas kraft-O₂ de bananeira estão detalhados no Quadro 11A, e no Quadro 17 são mostradas as médias dos valores determinados.

DARKWA (1978) e FERNANDES et al. (1981), em estudos de branqueamento de Musaceae pelas seqüências CEH, CED, CEH e CEHEH, obtiveram alvuras similares ou inferiores às obtidas no presente estudo. A seqüência de branqueamento ODE_pD utilizada neste estudo proporcionou alvuras mais próximas à alvura de 81% ISSO, obtida por MADDERN e FRENCH (1995) para celulose de abacá, utilizada na Austrália.

Quadro 17 - Características das polpas de bananeira branqueadas pela seqüências ODE_pD

Características	Polpas Celulósicas		
	F-H ₂ O	F-NaOH	F-H ₂ SO ₄
Alvura Final, % ISO	77,8	76,8	79,1
Alvura envelhecida, % ISO	74,3	73,1	75,8
Viscosidade, cP	20,1	26,2	15,2
Pentosanas, %	10,4	9,9	9,7
Cinzas, %	0,32	0,33	0,38

Sílica, %	0,02	0,03	0,04
-----------	------	------	------

A polpa F-NaOH apresentou alvura inferior à das polpas F-H₂SO₄ e F-H₂O.

As viscosidades das polpas branqueadas foram muito superiores à viscosidade de 8 cP obtida por FERNANDES et al. (1981), para polpas de *Musa cavendish* branqueadas pela seqüência CEH.

A baixa branqueabilidade da celulose de bananeira pode ser conseqüência de condensação da sua lignina, formada principalmente por grupos p-hidroxi-fenil-propano, que possuem as posições equatoriais (3 e 5) do anel aromático disponíveis para reação; assim, na polpação, essas posições podem reagir com os fragmentos do polímero, aumentando seu peso molecular e dificultando sua remoção no branqueamento.

As polpas de bananeira branqueadas pela seqüência ODE_pD apresentaram boa estabilidade de alvura, como demonstrado pelas alvuras envelhecidas apresentadas no Quadro 17.

Uma conclusão de grande importância é que as alvuras obtidas neste estudo para as polpas de bananeira foram superiores à do papel japonês (70,8% ISO), normalmente encontrado no mercado para restauração de documentos. A maior alvura da polpa celulósica de bananeira possibilita a realização de um trabalho de melhor qualidade na recuperação de documentos.

4.5. Refino e propriedades físico-mecânicas

As polpas celulósicas kraft branqueadas, produzidas com as frações fibrosas obtidas pela pré-hidrólise com H₂O, NaOH e H₂SO₄ do pseudocaulo da bananeira (codificadas como F-H₂O, F-NaOH e F-H₂SO₄), foram utilizadas para estudos das propriedades físico-mecânicas. As características químicas e ópticas dessas polpas são as apresentadas no Quadro 17.

Nesse quadro, pode ser observado que, mesmo após as operações de pré-hidrólise, cozimento kraft, deslignificação com oxigênio e branqueamento, as polpas celulósicas de bananeira ainda apresentavam teores relativamente elevados de elementos minerais. A literatura menciona que uma das dificuldades

em utilizar fibras de não-madeiras na produção de papéis refere-se aos seus elevados teores de minerais, que podem reduzir a durabilidade de equipamentos, por causa de corrosão, causar entupimento de telas e feltros e aumentar a aspereza da superfície do papel.

4.5.1. Refino e formação de folhas de celulose de bananeira

Antes da formação da folha de papel, a polpa celulósica é normalmente refinada para desenvolvimento de suas propriedades de resistência. O refino da polpa reduz a sua drenabilidade e, conseqüentemente, dificulta a formação e secagem da folha de papel. Nos testes preliminares de formação de folhas com as fibras de bananeira, foi detectada uma grande dificuldade de drenagem da água na máquina formadora. Tal dificuldade foi, muito provavelmente, ocasionada pela presença de alto teor de células de parênquima, que formam a denominada “fração mucilaginosa”, que juntamente com a “fração fibras” formam o pseudocaule da bananeira. A dificuldade de drenagem de água da polpa celulósica de bananeira inviabilizava a utilização dos procedimentos-padrão de formação de folha, por causa do longo tempo necessário para drenagem da água. Para minimizar esse inconveniente, a altura da coluna de água no formador de folhas foi reduzida dos 32 cm, estabelecida em normas (norma TAPPI), para apenas 15cm. Mesmo com essa redução, após a drenagem da água, permanecia uma fina camada de água na superfície da folha formada, o que dificultava a retirada da folha do formador e requeria a utilização de um número maior de folhas absorventes, para auxiliar sua remoção.

O refino das fibras de bananeiras para desenvolvimento das propriedades de resistência foi realizado em moinho Jockro, tendo sido utilizados tempos de refino muito inferiores aos normalmente utilizados para a madeira de *Eucalyptus*, uma vez que o desenvolvimento do grau de refino era mais rápido. A presença de altos teores de finos na polpa celulósica de bananeira afetou a medição do grau de refino e, determinado pelo grau Schopper Riegler, possivelmente o valor mensurado não representava o grau de refino das fibras, mas sim a dificuldade de drenagem da água, causada pela presença de altos teores de células de parênquima. No Quadro 18, estão os tempos de drenagem da água na máquina

formadora de folhas.

Quadro 18 - Drenabilidade das folhas de celulose das polpas branqueadas de bananeira

Tempo de Refino (min)	Drenabilidade, s		
	F- H ₂ O	F-H ₂ SO ₄	F-NaOH
Sem Refino	11	6	7
2,5	21	12	15
5,0	22	13	16
7,5	26	13	16
10,0	28	13	17

Essas características da polpa de bananeira são confirmadas por outros estudos realizados com matérias-primas semelhantes. Assim, MISRA (1975) mencionou que as polpas de materiais fibrosos respondem facilmente à ação de refino, e, segundo GUHA (1960), a formação da folhas de fibras de pseudocaule de bananeira é pobre e irregular, sendo a drenagem na máquina de papel industrial muito lenta. Apesar dessas desvantagens, FRANCO et al. (1982) relataram que nas Filipinas são produzidas, anualmente, cerca de 16 mil toneladas de celulose de abacá (*Musa textile*), em três fábricas, e que cerca de 5 mil toneladas são exportadas. MADDERN e FRENCH (1995) citaram que naquele país existem seis fábricas de celulose deste vegetal. PERALTA (1996) verificou que este tipo de polpa celulósica é utilizado por diversos países desenvolvidos, como Alemanha, Estados Unidos, Holanda etc., para produção de papéis especiais. Segundo MISRA (1975), as indústrias de papéis que utilizam polpas de materiais fibrosos como produto principal necessitam de área de secagem na máquina de papel 20-30% maior que as utilizadas para secagem de papéis produzidos com materiais convencionais. A produtividade dessas indústrias também é afetada pelas baixas velocidades das máquinas de papel, por causa da menor drenabilidade (ASSUMPCÃO, 1991).

Essas dificuldades podem ser uma das razões da falta de interesse dos industriais brasileiros em produzir celulose de materiais fibrosos, apesar da

diversidade botânica do País.

4.5.2. Propriedades físico-mecânicas e ópticas

As determinações em laboratório das propriedades físico-mecânicas e ópticas das polpas celulósicas kraft branqueadas das frações fibrosas do pseudocaule da bananeira estão apresentadas nos Quadros de 12A a 14A. A média das determinações dessas propriedades foi utilizada na elaboração das Figuras de 11 a 15. Os finos existentes nas polpas de celulose de bananeira, por serem constituídos por pequenas células de parênquima com paredes celulares delgadas de menor resistência intrínseca que as fibras, podem reduzir as propriedades de resistência. MISRA (1980) mencionou que nas polpas de fibras de hemp existem de 15 a 20% de células de parênquimas e outros constituintes menores. Mesmo assim, de modo generalizado, pode-se dizer que as polpas de bananeira apresentaram resistências mecânicas superiores às da celulose de coníferas e folhosas.

4.5.2.1. Alongamento

O alongamento é a deformação ocorrida na folha de papel submetida à tração (BRISTOW e KOLSETH, 1986). As polpas branqueadas de bananeira apresentaram elevados índices de alongamento, como pode ser observado na Figura 11. As polpas F-H₂O e F-H₂SO₄ atingiram o máximo de alongamento em torno de 91-97 N.m/g de resistência à tração, mas a polpa F-NaOH ainda continuava desenvolvendo alongamento nesse nível de resistência à tração.

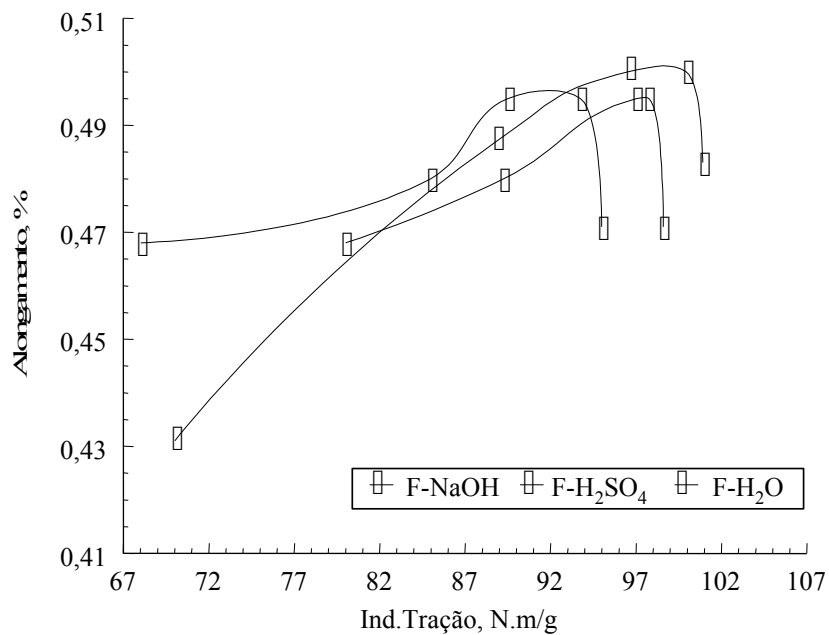


Figura 11 - Índice de alongamento de polpas branqueadas de bananeira.

Para comparação com polpas de *Eucalyptus*, foi calculado o alongamento para o nível de 80 N.m/g de índice de tração. Os alongamentos determinados para as polpas ECF de bananeira foram cerca de 0,47%, enquanto para polpas ECF de *Eucalyptus* os alongamentos citados em literatura são da ordem de 0,30-0,37% (SILVA, 1996).

4.5.2.2. Índice de arrebatamento

Os fatores responsáveis pela resistência ao arrebatamento são o comprimento das fibras e as ligações interfibrilares (BRANDON, 1981). As fibras de celulose de bananeira, por possuírem dimensões superiores às de *Eucalyptus*, apresentam maiores índices de arrebatamento. Na Figura 12 são apresentadas as resistências ao arrebatamento das polpas de bananeiras, em relação aos índices de tração.

A valores de índice de tração entre 68 e 85 N.m/g, as polpas F-NaOH apresentaram resistência ao arrebatamento superiores à das polpas F-H₂SO₄ e F-H₂O. A valores de índice de tração entre 85 e 91 N.m/g, as polpas F-NaOH apresentaram valores intermediários aos das demais amostras. Entre os índices de

tração de 100 N.m/g, essa polpa apresentou valor inferior. Em produtos que requerem elevados índices de resistência à tração, deve-se empregar a polpa F- NaOH, por ela ainda ter desenvolvido propriedades acima de 100 N.m/g.

Em nível de 80 N.m/g de índice de tração, os valores de 5,6-5,9 Kpa.m²/g de índices de arrebentamento descritos por SILVA (1996), para polpas celulósicas de *Eucalyptus* branqueadas por seqüências ECF, são inferiores aos índices de 6,9-7,9 obtidos para as polpas celulósicas de bananeira, branqueadas por seqüência similar.

4.5.2.3. Índice de rasgo

Nas folhas de papel, a resistência intrínseca das fibras, o número de fibras participantes das ligações interfibras e a resistência destas ligações são os três principais fatores que influenciam a resistência ao rasgo. Na Figura 13, é mostrado o comportamento do índice de rasgos das polpas branqueadas de bananeira.

Como é característico das fibras longas, o refino promoveu o aumento da resistência à tração, mas causou pronunciado decréscimo da resistência ao rasgo das polpas celulósicas de bananeira, como mostrado na Figura 13.

Em torno de 80 N.m/g, os três tipos de polpas apresentaram diferenças em torno de 10% de resistência ao rasgo, mas a polpa produzida com a fração fibrosa F-H₂O apresentou ligeira superioridade.

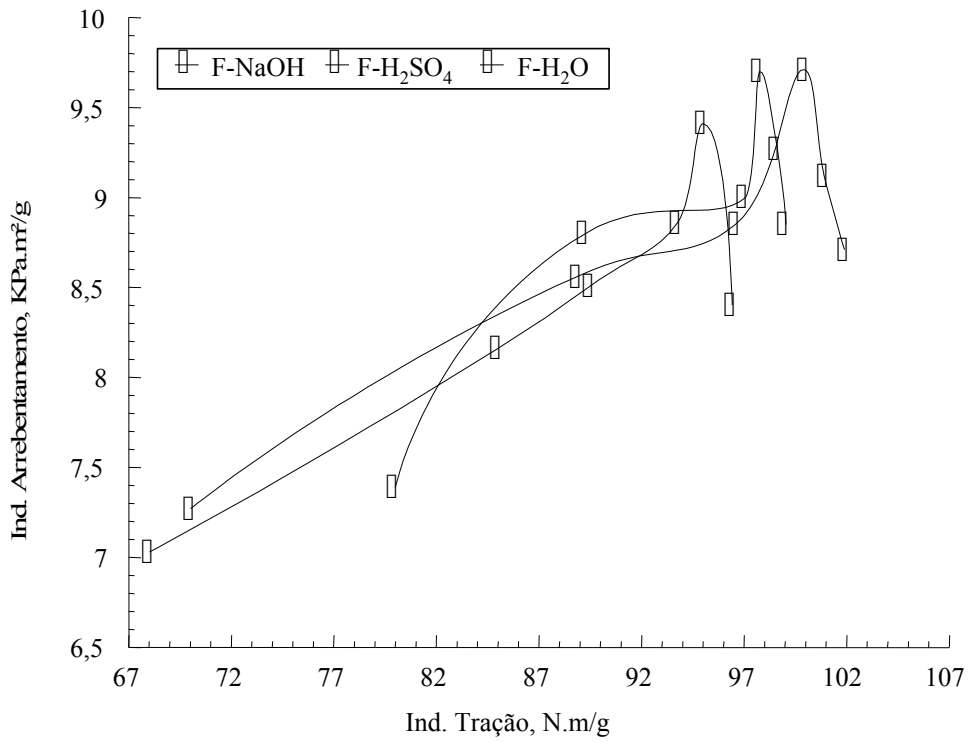


Figura 12 – Índice de arrebitamento das polpas branqueadas de bananeira.

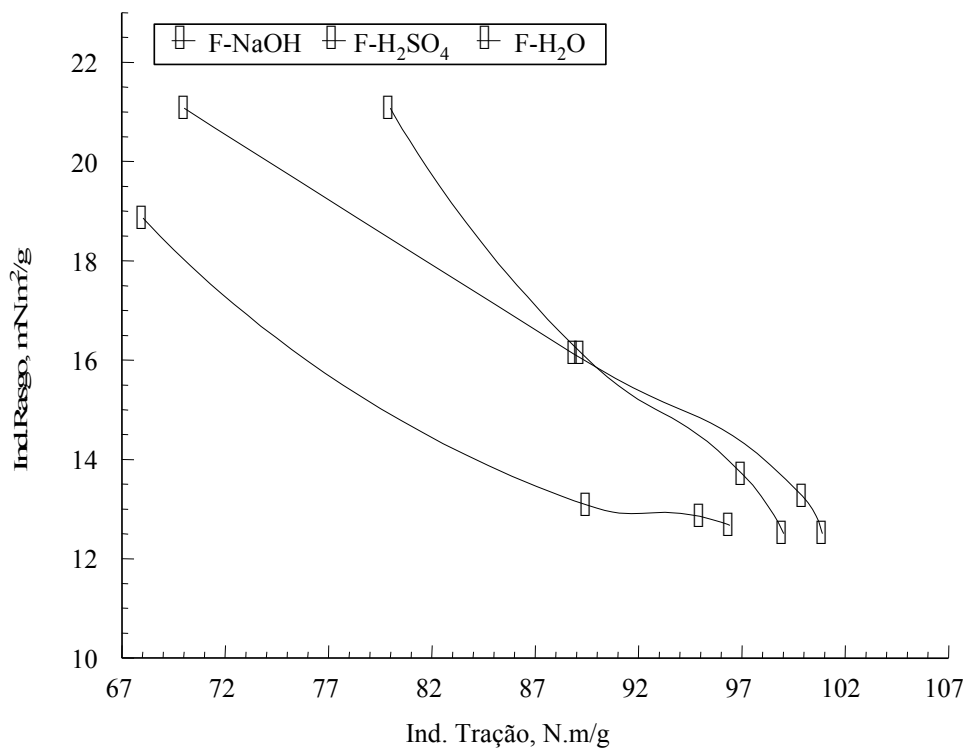


Figura 13 - Índice de rasgo das polpas branqueadas de bananeira.

A 80 N.m/g de índice de tração, as resistências ao rasgo de polpas celulósicas ECF de *Eucalyptus*, determinadas por SILVA (1996) como sendo 11,2-12,4 m.N.m²/g, são inferiores às resistências de 17,8-18,7 m.N.m²/g das polpas celulósicas de bananeira.

4.5.2.4. Módulo de elasticidade

O módulo de elasticidade geralmente não é utilizado pelos papeleiros como uma característica rotineira, possivelmente por não ser de fácil determinação e requerer equipamentos computadorizados de elevado custo. Entretanto, é uma propriedade que fornece importantes informações sobre a resistência do papel.

Os módulos de elasticidade das polpas celulósicas de bananeira encontram-se na Figura 14. As polpas F-H₂O e F-H₂SO₄ apresentaram módulos de elasticidade similares e pouco superiores (3-5%) aos da polpa F-NaOH.

No índice de tração de 80 N.m/g, os módulos de elasticidade de 6,5-6,8 MN.m/kg determinados para as polpas de bananeira foram inferiores aos módulos determinados por SILVA (1996), para polpa ECF de *Eucalyptus* (6,9-7,7 MN.m/kg). Os menores valores obtidos para as polpas de bananeira podem ser conseqüência dos finos, que podem facilitar a deformação da estrutura da folha em maior intensidade, contribuindo para perda de rigidez da folha.

4.5.2.5. Opacidade

Uma baixa opacidade é característica de grande importância dos papéis utilizados para recuperação de documentos, uma vez que estes papéis são empregados como uma cobertura para reforçar a estrutura geralmente frágil do documento (Figura 15). Uma estrutura mais heterogênea do papel favorece a absorção e a dispersão de luz e resulta, conseqüentemente, em opacidade mais elevada, por reduzir a transmissão de luz. O refino é uma operação que favorece a redução de opacidade das fibras, aumentando a área fibrilar e, conseqüentemente reduzindo a dispersão e a absorção de luz.

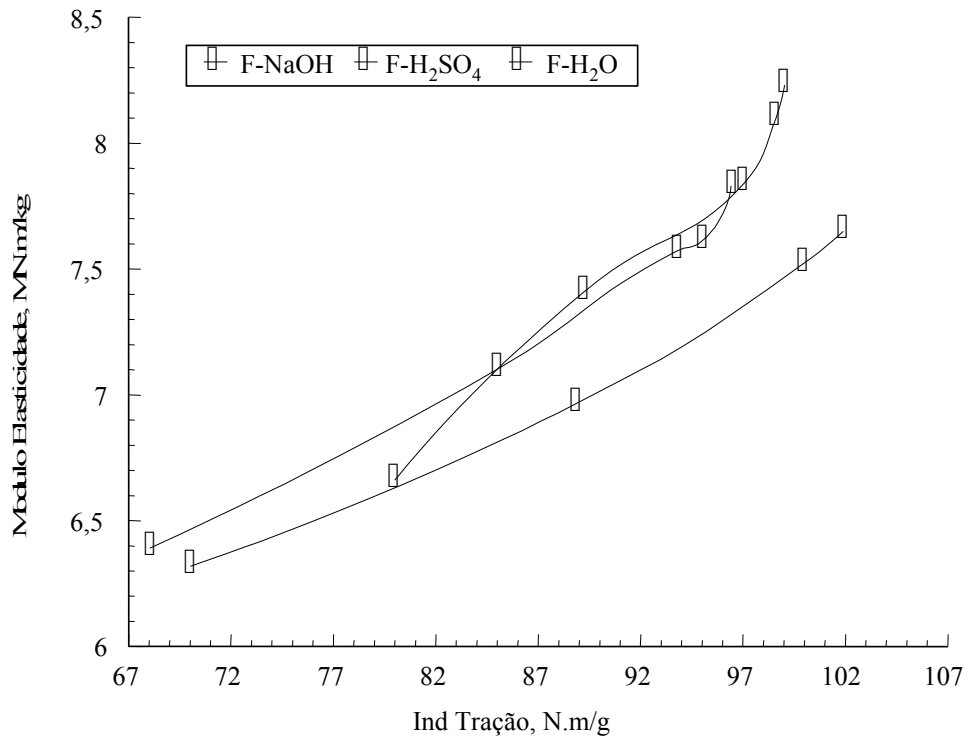


Figura 14 - Módulos de elasticidade das polpas branqueadas de bananeira.

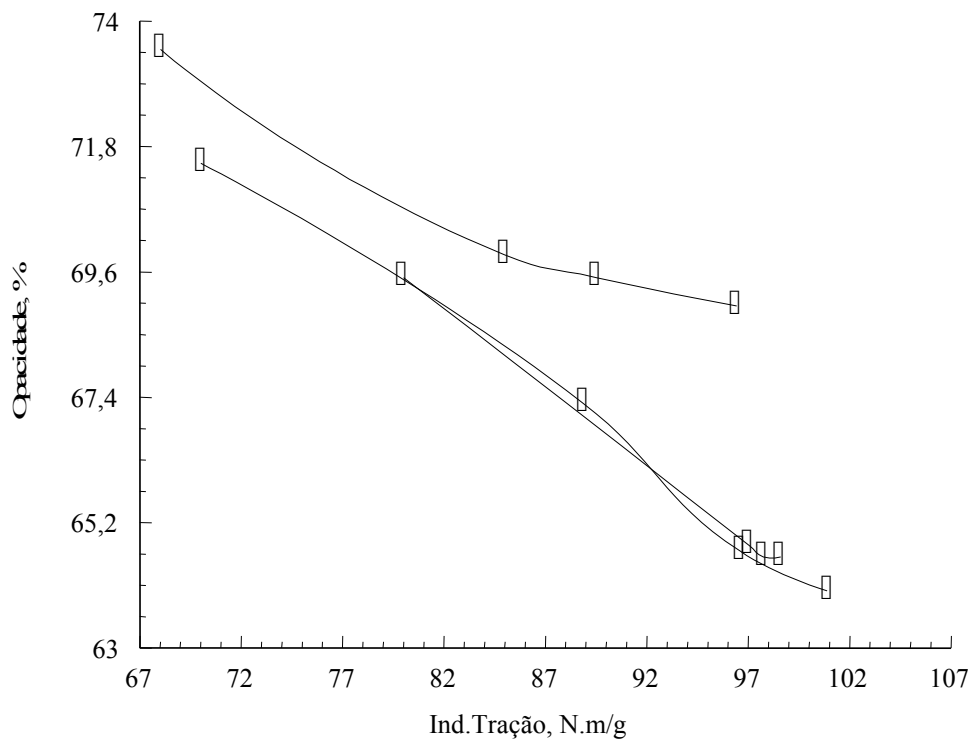


Figura 15 - Opacidade de polpas branqueadas de bananeira.
No índice de tração de 80 N.m/g, as polpas celulósicas de bananeira

apresentaram opacidade de aproximadamente 70%, valor intermediário às opacidades citadas por SILVA (1996), da ordem de 68-73%, para polpas ECF de *Eucalyptus*. As opacidades das polpas de bananeira foram inferiores às determinadas em amostras de papel japonês (76,8%), o que constitui uma vantagem para as polpas de bananeira, na confecção de folhas para recuperação de documentos.

5. CONCLUSÕES

Os resultados deste estudo possibilitaram as seguintes conclusões:

1. O isolamento de fibras do pseudocaule de bananeiras possibilita a utilização deste resíduo para produção de polpa celulósica com boas características para produção de papéis.
2. O emprego de polpas celulósicas produzidas com o pseudocaule integral não é recomendado, por causa dos elevados teores de substâncias inorgânicas e extrativos e da grande dificuldade para formação de folhas.
3. As bananeiras podem ser classificadas como matéria-prima constituída por fibras longas e parede celular delgada.
4. Os pseudocaules de bananeiras utilizadas neste estudo apresentaram pronunciada dificuldade de deslignificação pelo processo kraft convencional, dificultando muito sua utilização integral.
5. A utilização de tratamentos de pré-hidrólise viabilizou tecnicamente a produção de polpa celulósica kraft com a fração fibrosa do pseudocaule.
6. Os tratamentos de pré-hidrólise reduziram substancialmente os teores de metais e de substâncias solúveis da fração fibrosa de bananeira.
7. Os tratamentos de pré-hidrólise com H₂O, NaOH e H₂SO₄ não apresentaram diferenças significantes na polpação kraft subsequente.

8. As características das polpas kraft branqueadas de bananeira permitiram a confecção de folhas de papel com características similares às do papel japonês, para utilização em trabalhos de restauração de documentos degradados.

6. SUGESTÕES PARA ESTUDOS FUTUROS

Os resultados obtidos neste estudo possibilitaram uma grande ampliação dos conhecimentos sobre a utilização do pseudocaule da bananeira para produção de polpa celulósica, mas estudos adicionais ainda são necessários para esclarecimentos complementares sobre essa matéria-prima. As seguintes sugestões são feitas para estudos futuros:

1. Estudos detalhados dos teores e das estruturas químicas das ligninas de bananeira.
2. Estudos de otimização de diversas seqüências de branqueamento para polpas celulósicas de bananeiras, visando níveis de alvura mais elevados, similares aos utilizados para polpas de madeiras.
3. Estudos de caracterização detalhada da fração de finos presente no pseudocaule de bananeira e na fração fibrosa obtida com tratamento de pré-hidrólise.
4. Estudos de melhoria da formação de folhas manuais de bananeira.
5. Estudos dos efeitos de aditivos na deslignificação de bananeira.
6. Estudo da deslignificação das fibras do pseudocaule, descorticadas mecanicamente.
7. Estudo de espécie de bananeira com potencial para produção de celulose.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALCAIDE, L.J., BALVOVÍN, F.L., HERRANZ, J.L.F. Evaluation of agricultural residues for paper manufacture. **Tappi Journal**, Atlanta, v.76, n.3, p.169-173, 1993.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CELULOSE E PAPEL - ABTCP. **Normas técnicas**. São Paulo, 1977. não paginado.
- ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE PAPEL E CELULOSE - ANFPAC. **Anuário estatístico**. São Paulo, 1996. não paginado.
- ASSUMPÇÃO, R.M.V. Non-wood fibre utilization in pulping and papermaking - UNIDO'S activities. In: **NONWOOD plant fiber pulping**. Atlanta : TAPPI, 1991. p.191-201. (Progress report,20).
- ATCHINSON, Joseph E. Present status and future potential for utilization of non-wood plant fibers - a worldwide review. In: **NON-WOOD plant fiber pulping**. Atlanta: TAPPI, 1973. p.69-87. (Progress report,4).
- _____. World wide capacities for non-wood plant fiber pulping - increasing faster than wood pulping capacities. In: PULPING CONFERENCE, 1988, New Orleans. **Proceedings**.... Atlanta: Tappi 1988. p.25- 45.
- _____. Nonwood fiber could play major role in future U.S. papermaking furnishes. **Pulp & Paper**, Atlanta, v.69, n.7, p.125-131, 1995.
- BARDI, P.M. **A madeira desde o Pau -Brasil até a celulose**. São Paulo: Banco Sudameris, 1982. p.88, 92, 94.
- BRANDON, C.E. Properties of paper. In: CASEY, J. P. **Pulp and paper chemistry and chemical technology**. 3.ed. Bisbane: Wiley-Intercience, 1981. v.3. p.1715-1972.

- BRASIL. Ministério da Justiça. Arquivo Nacional. **Registro de patentes** [S.l., s.n.] 1879. não paginado.
- BRISTOW, A.J., KOLSETH, P. **Paper structure and properties**. New York: Marcel Dekker, 1986. 385p. (International Fiber Science Technology series, 8).
- BROWING, B.L. The isolation and determination of cellulose. In: _____. **Methods of wood chemistry**. New York: John Wiley, 1967, v.2. p.387-414.
- CAMPOS, G.M. **Banicultura nos perímetros irrigados**. Fortaleza: Departamento Nacional de Obras Contra as Secas, 1982. 61p.
- CANADIAN PULP AND PAPER ASSOCIATION - CPPA. **Standard methods**. Montreal, 1986. não paginado.
- CARNEIRO, C.J.G. **Características tecnológicas das madeiras e das polpas kraft de espécies de *Pinus***. Viçosa, MG: UFV, 1988. 55p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, 1988.
- COLODETTE, J.L, GOMIDE, J.L., SALLES, D.V.C. et al. Fatores que afetam a branqueabilidade de polpas kraft com oxidantes derivados do oxigênio. In: CONGRESSO ANUAL DE CELULOSE E PAPEL, 28, 1995, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABTCP, 1995. p.49-67.
- DANILAS, R.M. Branqueamento de pastas celulósicas. In: ALMEIDA, M.L.O. (Coord.). **Celulose e papel: tecnologia de fabricação da pasta celulósica**. 2.ed. São Paulo: SENAI/IPT, 1988., v.1, p.427-512.
- DARKWA, N.A. **Pulping characteristics of plantain (*Musa paradisiaca* L.) pseudostems**. North Carolina: North Carolina University, 1978. 138p. Thesis (Philosophy Doctor) - North Carolina State University, 1978.
- EFFIO, M. Manufactura de pulpa y papel a base de fibras de banano. In: REUNIÓN DE LA ASOCIACIÓN PARA LA COOPERACIÓN EN LA INVESTIGACIÓN DEL BANANO EN EL CARIBE Y LA AMÉRICA TROPICAL - A.C.O.R.B.A.T., 4, 1979, Panamá. **Memórias...** Panamá: UPEB, 1979. p.357-364.
- EL EBIARY, M.A., HACKL, J.H. Desilication of black liquors. In: **NONWOOD plant fiber pulping**. Atlanta: TAPPI, 1982. p.69-73. (Progress report, 13).
- ESCOLANO, E.U., FRANCA, P.C., SEMANA, J. A. Proximate chemical composition of some commercial grades of abaca (*Musa textilis* Nees) fibers. **The Philippine J. of Science**, Manila, v.100, n.2, p.107-114, 1971.
- FERNANDES, J.D., UNKALKAR, V.G., MESHARAMKAR, P.M. Pulping and papermaking of banana (*Musa cavendish*) plants. In: **NONWOOD plant fiber pulping**. Atlanta: TAPPI, 1981. p.73-89. (Progress report, 11).

- FENGEL, D. WEGNER, G. **Wood chemistry**. Berlin: Walter de Gessyter, 1989. 217-220p.
- FOELKEL, C.E.B., BARRICHELO, L.E.G. Madeiras de coníferas e folhosas na fabricação de celulose kraft no Brasil e nos Estados Unidos da América um estudo comparativo. In: CONVENÇÃO ANUAL DA ABTCP, 8, 1975, São Paulo. **Anais...**São Paulo: ABTCP, 1975. p.15-19.
- _____. **Estrutura da madeira:**teoria. Belo Oriente: CENIBRA, 1977a. 83p.
- _____. **Química dos processos de produção de celulose** : teoria. Belo Oriente: CENIBRA/UFV, 1977b. paginação irregular.
- _____. **Qualidade da madeira:** Belo Oriente. CENIBRA/UFV, 1977c. paginação irregular.
- FRANCO, P.T.,CRUZ, O.J., TABORA JUNIOR, P.C. Abaca pulp and paper industry in the Philippines. In: **NONWOOD plant fiber pulping**. Atlanta: TAPPI, 1982. p.47-56. (Progress report, 12).
- FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA-IBGE. **Anuário Estatístico do Brasil**. Rio de Janeiro, 1993. v.48. paginação irregular.
- GOMES, F.P., GARCIA, C.H. A determinação de equações volumétricas na engenharia florestal. **SérieTécnica IPEF**, Piracicaba, v.9, n.26, p.1-36, 1993.
- GOLDSCHIMID, O. Ultraviolet spectra. In: SARKANEN, K.V., LUDWIG, C.H. **Lignins**. New York: Wiley Interscience, 1971. p.241-266.
- GOMIDE, J.L., DEMUNER, B.J. Determinação do teor de lignina em material lenhoso: método Klasson modificado. **O Papel**, São Paulo, v.47, n.8, p.36-38, 1986.
- GONÇALES, J.C. **Estudos tecnológicos da madeira de brotação de *Eucaliptus grandis* w. Hill ex Maiden para produção de celulose kraft**. Viçosa, MG: UFV, 1983. 47p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, 1983.
- GRACE, T.M., LEOPOLD, B., MALCON, E.W. et al. Alkaline Pulping. In: GRACE, T. M. et al. (Eds). **Pulp and paper manufacture**. 3.ed. Atlanta: Tappi Press, 1989. v.5. 676p.
- GUHA, S.R.D. Kraft papers from banana stems. **Indian pulp and paper**, Calcuta, v.17, p.311-315, 1960.
- GUPTA, P.R. Effect of variables in beating and refining of hemp/jute pulps on paper characteristics. In: **NON-WOOD plant fiber pulping**. Atlanta: TAPPI, 1981. p.17-24. (Progress report, 11).

- HEIKAL, S.O. Nitric acid paper pulps from banana stems. **Indian pulp and paper**, Calcuta, v.31, n.3, p.5-7, 1976.
- HEYSE, W.T. Cleaning, cooking, washing and screening of abaca and other *Musa* species for papermaking. In: **NON-WOOD fiber pulping**. Atlanta: TAPPI, 1973. p.33-36. (Progress report, 4).
- HUÉRCANO, J. Black liquors system for non-wood small pulp mills. In: **NONWOOD plant fiber pulping**. Atlanta: TAPPI, 1982. p.129-133. (Progress report, 13).
- HURTER, A.M. Some economic considerations in the implementations of a non-wood pulp and paper project. In: PULPING CONFERENCE, 1989, Seattle. **Proceeding** ... Atlanta: Tappi Press, 1989. p.677-690.
- INFORMATIVO ANAVE. São Paulo, n. 9, 1996.
- IYENGAR, R.S. experiences in refining bagasse and other nonwood fibers. In: **NONWOOD plant fiber pulping**. Atlanta: TAPPI, 1982. p.17-25. (Progress report, 12).
- JARMAN, C.G., MYKOLUK, S., KENNEDY, L. et al. Banana fibre: a review of its properties and small-scale extraction and processing. **Tropical Science**, London, v.19, n.4, p.173-185, 1977.
- JEYASINGAM, J.T. Problems facing non wood pulp and paper mills due to the presence of silica: from raw material preparation to the finishing of paper. In: **NONWOOD plant fiber pulping**. Atlanta: TAPPI, 1986. p.9-11. (Progress report, 16).
- _____. Mill experience in the application of non wood fiber for paper making. In: **NONWOOD plant fiber pulping**. Atlanta: TAPPI, 1991. p.39-44. (Progress report, 20).
- JUDT, M. Research problems in developing countries using non-wood fibres, as seen by UNIDO. In: **NON-WOOD plant fiber pulping**. Atlanta: TAPPI, 1985. p.57-62. (Progress report, 15).
- JUDT, M.F. The science of non-wood fibre pulp and paper - making. In: PULPING CONFERENCE, 1988, New Orleans. **Proceedings**... Atlanta: Tappi Press, 1988. p.451-459.
- KALDOR, A.F. Kenaf - a competitive fiber to plantation *Eucalypt* - based on recent investigations in Thailand. In: **NON-WOOD plant fiber pulping**. Atlanta: TAPPI, 1991. p.77-82. (Progress report, 20).
- KAPPEL, J., BRÄUER, P., FRESCH, F. Washing and dewartering of non-wood fiber pulp. In: PULPING CONFERENCE, 1989, Seattle. **Proceedings**... Atlanta: Tappi, 1989. p.155-159.

- KILPINEN, O. Quality and shipping requirements for purchased nonwood raw fibers. In: PULPING CONFERENCE, 1991, Orlando. **Proceedings...** Atlanta, Tappi, 1991. p.61-71.
- KINSTREY, R.B. An of strategies for reducing the environmental impact of bleach-plant effluentes. **Tappi Journal**, Atlanta, v.76, n.3, p.105-113, 1993.
- KRAFT, F. Bleaching of the pulps. In: MAC DONALD, R.G. (Ed.) **Pulp and paper manufacture**. 3.ed. New York:Mc Graw-Hill, 1967. v.1, p.628-725.
- KUAN, G.S.S., BERNAZZI, R.C., BERGMAN, S. Matérias- primas. In: D'ALMEIDA, M.L.O. (Coord.). **Celulose e papel: tecnologia de fabricação do papel**. 2.ed. São Paulo: SENAI/IPT, 1988. p.561-581.
- KULKARNI, A.Y., PRAKASH, P.M. Appropriate technologies for pulping and paper making of unconvetional raw material in India. In: **NONW-OOD plant fiber pulping**. Atlanta: TAPPI, 1991. p.31-38. (Progress report, 20).
- MAC CALLUM, D.A. **Improvements in the manufacture of cellulose pulp intended for paper making**. Int. CI.5723/22. 27 Feb.1922.Es 194527. 27 nov.1922. 15 mar, 1923.
- MADDERN, K.N., FRENCH, J. The potential application of non- wood fibre in papermaking: an Austalian perspective. **Appita Journal**, Carton, v.48, n.3, p.191-196, 217,1995.
- MALCON, E.W.W. Abaca fiber in paper making. In: **NON-WOOD plant fiber pulping**. Atlanta: TAPPI, 1970. p.93-95. (Progress report, 1).
- MARCUS, A. Chemicals become greener, brighter and less expensive. **Pulp & Paper International**, Brussels, v.36, n.6, p.39-40, 1994.
- McGOVERN, J.N., COFFELT, D.E., HURTER, A.M. et al. Other fibers. In:HAMILTON, F., LEOLPOLD, B., KOCUREK, M.J. et al. (Eds.). **Secondary fibres and non-wood pulping**. 3.ed. Atlanta/Montreal: TAPPI/CCPA, 1987. v.3. p.110-121.
- MENA, L. A photo- paper which may help to save our enviroment. **Biomass User Network**, San Jose, v.6, n.2, p.3-4, 1992.
- MIGLIORRINI, A. J.**Variação da densidade básica da madeira de *E. grandis Hill* ex maiden em função de diferentes níveis de produtividade da floresta**. Piracicaba: ESALQ, 1986. 80p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiróz, 1986.
- MINCHOLA ROBLES, Y. A.**Utilização de antraquinona e polissulfetos, como aditivos do processo kraft, para produção de celulose de *Eucalyptus***. Viçosa,MG: UFV, 1996. 112p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, 1996.

- MISRA, D.K. Industrial experiences e problems involved in stock preparation e paper making utilizing non-wood fibrous materials. In: **Non-wood plant fiber pulping**. Atlanta: TAPPI, 1975. p.7-22. (Progress report, 6).
- _____. Pulping and Bleaching of nonwood fibers: In :CASSEY J. P. (Ed) **Pulp and paper chemistry and chemical technology**. 3.ed. New York: John Wiley, 1980. v.1. p.504-569.
- _____. Bleaching of nonwood fiber pulps. In : SING, Rudra P. (Ed.) **Bleaching of pulp**. 3.ed. Atlanta: TAPPI, 1991. p.327 -335.
- MOREIRA, R.S. **Banana**: teoria e prática de cultivo. Campinas: Fundação Cargil, 1987. p.1.
- MOUTEER, A.H., COLODETTE, J.L., GOMIDE J.L. et al. Alternativas para branqueamento sem cloro molecular. **O Papel**, São Paulo, v.53, n.4, p.25-35, 1992.
- MURALI, P.S., KRISHNAMURTHY, A., VEERAMANI, A. Desilication of bamboo kraft green liquor during causticization. In: **NONWOOD plant fiber pulping**. Atlanta: TAPPI, 1980. p. 43-52. (Progress report, 10).
- NASCE em Pernambuco, o papel de bananeira. **Globo Ciência**, Rio de Janeiro, v.2, n.23, p.75, 1993.
- OLIVEIRA, R.C. **Produção de celulose kraft a partir de misturas de madeiras de *Pinus strobus* var. *chiapensis* e *Eucalyptus urophylla* de origem híbrida**. Viçosa, MG : UFV, 1979. 177p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, 1979.
- PAIVA, G.A. **Branqueamento de polpa kraft de eucalipto em seqüências curtas com oxigênio**. Viçosa, MG: UFV, 1992. 90p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, 1992.
- PATEL, R.J., ANGADIYAVAR, C.S., RAO, Y.S. Nonwood fiber plants for paper making - a review. In: **NONWOOD plant fiber pulping**. Atlanta: TAPPI, 1985. p.77-90. (Progress report,15).
- PERALTA, A.G. Pulp produced from decorticated abaca fiber. **Tappi Journal**, Atlanta, v.79, n.3, p.263-265, 1996.
- PURSEGLOVE, J.W. Musaceae. In: _____. **Tropical crops: monocotiledons**. London: Logman, 1975. p.343-384.
- RAMALHO, R.S. **O uso de macerado no estudo anatômico de madeiras**. Viçosa, MG: [s. n.], 1987. não paginado. (Apostila).

- REBOUÇAS, J.T. MARTINS, M.A.L. Efeito da ação do refino nas propriedades físico- mecânicas da polpa de sisal e outras não-madeiras. In: CONGRESSO ANUAL DE CELULOSE E PAPEL,18, 1985, São Paulo. **Anais...**São Paulo: ABTCP, 1985. p.149-167.
- SANTOS, C. Prejuízo para o país no setor de papel e celulose a partir de 98 no mercado de papel. **Folha de São Paulo**,São Paulo, 6 out. 1996. Caderno. dinheiro, p.13.
- SCHLESINGER, H. **Enciclopédia da indústria brasileira**. São Paulo: Brasiliense 1959. v.2. p.214-220.
- SHIMOYAMA, V.R.S., BARRICHELO, L.E.G. Influências de características anatômicas e químicas sobre a densidade básica de madeira de *Eucalyptus* spp. In: CONGRESSO ANUAL DE CELULOSE E PAPEL,24, 1991, São Paulo. **Anais...**São Paulo: ABTCP, 1991. p.23-35.
- SILANDER, R., NIEMI, T. Future developments in bleach plant design. **World pulp & paper technology**, London, p.105-106, 1992.
- SILVA, D.J. **Impacto da qualidade da madeira na deslignificação, no branqueamento e nas propriedades físico-mecânicas da polpa kraft de eucalipto**. Viçosa, MG: UFV, 1996. 103p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, 1996.
- SILVA, J.A.A., PAULA NETO, F. **Princípios básicos de dendrometria**. Recife, UFRPE: 1979. 185p.
- SILVA JUNIOR, C.E. Efeito da moagem nas propriedade das fibras. **O Papel**, São Paulo, v.44, n.11. p.97-119, 1983.
- TAMAS, F. **Fibras vegetales para uso industriales** Santo Domingos: Alfa Y Omega, 1980. 74p.
- TECHINICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY - TAPPI. **Test methods 1994-1995**. Atlanta: 1994. não paginado.
- UNIÓN DEL PAÍSES EXPORTADORES DE BANANO-UPEB. Proyectos 3.1. Aprovechamiento de los desechos fibrosos del cultivo del banano para producir pulpa y papeles blanqueados y sin blanquear, a nivel de planta piloto de flujo contínuo y su viabilidad. In: _____. **Programa coordinado de investigaciones**; Proyectos. Panamá: UPEB, 1979. p.146-154.
- VALLADARES, J., PORRES, C., ROLZ, C. Obtención de papel y productos afines del tallo del banano. In: REUNIÓN TÉCNICA, PLANEAMIENTO Y ORGANIZACIÓN DEL PROGRAMA CORDINADO DE INVESTIGACIONES, 1, 1978, Palmira. **Memórias...** Palmira: UPEB, 1978. p.184-191.

- VON LOESECKE, H. **Bananas**; chemistry, physiology, technology. 2.ed. NewYork: Intercience, 1950. 189p.
- WEIDLING, L. Manila hemp cultivation. In: _____. **Long vegetable fibers, manila, sisal, jute, flax and related fiber of comerce**. New York: Columbia University, 1947. 38-53p.
- WONG, A. Technical and economic obstacles affecting the early commercialization of kenaf pulp manufacture in developed countries. In: **NONWOOD plant fiber pulping**. Atlanta: TAPPI, 1991. p.203-210. (Progress report, 20).

APÊNDICE

Quadro 1A: Teores de Umidade no Pseudocaule de *Musa* Sp, %

Posição		0 %			50 %			100 %			Vegetal inteiro		
Amostras	Repetição	Exterior ¹	Interior ¹	Total ²	Exterior ¹	Interior ¹	Total ²	Exterior ¹	Interior ¹	Total ²	Exterior ¹	Interior ¹	Total ²
	1	96,4	92,7	95,5	96,9	98,3	97,0	96,0	97,2	96,1	96,4	93,5	96,0
A	2	96,3	92,9	95,3	96,8	98,0	96,9	95,9	97,4	96,0	96,3	93,8	95,9
	Média	96,3	92,8	95,4	96,8	98,1	96,9	95,9	97,3	96,0	96,3	93,6	95,9
	1	95,6	89,3	92,7	96,0	97,4	96,1	94,7	97,6	95,1	95,5	90,9	94,0
B	2	96,1	89,1	92,2	95,8	97,6	96,1	94,5	97,2	94,9	95,6	90,1	93,6
	Média	95,8	89,2	92,4	95,9	97,5	96,1	94,6	97,4	95,0	95,5	90,5	93,8
	1	95,1	86,9	90,8	95,2	97,3	95,5	94,2	97,4	94,8	94,8	88,5	92,5
C	2	95,0	86,5	90,2	94,9	97,5	95,3	94,3	97,3	94,9	94,8	87,9	91,9
	Média	95,0	86,7	90,5	95,0	97,4	95,4	94,2	97,3	94,8	94,8	88,2	92,2

Legenda: 1 - Exterior e interior referem-se as regiões externas e internas do pseudocaule,
 2 - Total - refere-se ao pseudocaule inteiro.

Quadro 2A: Densidade básica do pseudocaule de musa paradisíaca sp, (kg/m³)

Amostratras	Posição		0 %			50 %			100 %			Vegetal inteiro		
	Altura útil, m	repetição	Exterior ²	Interior ²	Total ³	Exterior	Interior	Total ³	Exterior	Interior	Total ³	Exterior ²	Interior ³	Total ³
		1	33,4	70,1	41,7	25,4	18,5	25,1	33,8	27,4	33,4	31,1	62,7	35,7
A	2,4	2	37,6	69,0	46,7	26,1	21,4	25,8	31,9	25,1	31,4	32,4	60,1	36,9
		Média	35,5	69,6	44,2	25,7	19,9	25,4	32,8	26,2	32,4	31,7	61,4	36,3
		1	34,0	100,9	60,9	29,5	21,6	29,3	41,7	26,2	39,3	34,3	87,9	48,8
B	2,6	2	38,0	102,3	70,6	32,0	26,5	31,2	37,9	30,8	37,6	36,2	95,1	53,7
		Média	36,0	101,6	65,7	30,7	24,0	30,2	39,8	28,2	38,4	35,2	91,5	51,2
		1	42,6	126,0	84,1	35,1	30,8	34,7	46,9	30,7	44,7	40,9	114	65,9
C	2,8	2	41,8	130,0	88,6	38,3	28,6	37,8	47,8	33,3	45,7	41,8	119	71,3
		Média	42,2	128,0	86,3	37,0	29,7	36,2	47,3	32,0	45,2	41,3	116	68,6

Legenda: 1 - Altura útil : região entre o nível do solo e 10 cm abaixo do engate foliar,
 2 - Interior e exterior referem-se as regiões externas e internas do pseudocaule,
 3 - Total - refere-se ao pseudocaule inteiro.

Quadro 3 A: Características morfológicas das fibras de *Musa s.p.* de *E. grandis* e *P. eliottii*. e estudo estatístico.

Amostra	Dimensões	Comp, mm	Diâmetro da fibra, μm	Diâmetr de lúmen, μm	Espessura de parede, μm
pseudocaulle inteiro	Min,	1,10	11,66	4,16	1,25
	Max	7,62	38,31	30,82	7,08
	Med	2,90	20,91	14,12	3,44
	C,V, %	33,13	23,98	35,28	28,68
Região externa	Min,	1,25	12,49	4,16	2,08
	Max	7,08	38,32	32,49	7,08
	Med	3,44	20,92	13,82	3,55
	C,V,, %	28,68	19,84	28,81	27,51
Região Interna	Min,	1,25	12,50	9,99	1,25
	Max	4,75	49,17	43,33	5,83
	Med	2,78	24,61	19,81	2,39
	C,V,, %	28,15	26,29	30,60	29,41
<i>E. grandis</i>¹	Min,	0.74	11.90	4.40	2.20
	Max	1.57	26.70	20.70	3.00
	Med	1.11	17.40	11.70	2.60
	C,V,, %	15.31	17.24	22.22	20.80
<i>P. eliottii</i>²	Min,	2.34	38.5	28.0	1.75
	Max	5.24	70.0	57.7	7.88
	Med	3.45	49.8	39.8	5.01
	C,V,, %	15.2	12.2	13.4	24.8

1- GONÇALES(1983), 2- CARNEIRO (1988).

Quado 4A: Rendimento da pré-hidrólise do pseudoceule de *Musa sp.*

PRÉ-HIDRÓLISE	REPETIÇÃO	RENDIMENTO			Características do licor, pH	
		Fibras	Finos	Total	Inicial	Final
H ₂ O	A	51,4	21,1	72,5	7,40	5,80
	B	50,1	21,8	71,9	7,45	5,85
	Média	50,7	21,4	72,1	7,42	5,82
NaOH, 2,0%*	A	45,4	24,2	69,6	13,6	7,07
	B	46,0	25,6	71,6	13,3	7,18
	Média	45,7	24,9	70,6	13,4	7,12
H ₂ SO ₄ , 2,0%*	A	40,3	30,3	70,6	1,61	3,50
	B	39,1	30,3	69,4	1,63	3,65
	Média	39,7	30,3	70,0	1,62	3,57

* Teores base material seco. Condições: Temperatura máxima: 120 °C, Relação licor/pseudocaule: 6:1, Tempo a temperatura 60 minutos.

Quadro:5A: Características químicas do pseudocaule, fibras e finos de *Musa* sp.

Amostras	Repeti ção	Cinzas, %	Solubilidade,%			Lignina Klason,%			Pentosa - nas, %	Holoce- lulose,* %
			H2O quente	NaOH 1,0%	EtOH/to- lueno ¹	Insolúvel	Solúvel	Total		
pseudocaule	A	15,3	21,9	40,5	8,90	14,9	2,6	17,5	16,4	58,3
	B	15,7	23,4	41,3	9,82	15,6	2,5	18,1	16,5	56,8
	Média	15,5	22,2	40,9	9,36	15,2	2,5	17,8	16,4	57,3
Fibra H₂O	A	4,30	4,39	24,0	2,04	12,9	2,6	15,5	17,6	78,2
	B	4,34	4,71	25,6	2,06	14,8	2,6	17,4	17,7	76,2
	Média	4,32	4,55	24,8	2,05	13,8	2,6	16,4	17,6	77,2
Fibra NaOH	A	4,26	5,04	21,0	2,01	13,9	2,6	16,5	17,8	77,2
	B	4,56	4,98	23,6	2,25	13,7	2,6	16,3	17,9	76,9
	Média	4,41	5,01	22,3	2,13	13,8	2,6	16,4	17,8	77,1
Fibra H₂SO₄	A	3,93	5,56	28,6	2,05	18,4	2,7	21,1	16,3	72,9
	B	3,94	5,27	28,2	1,90	17,3	2,7	20,0	16,9	74,2
	Média	3,93	5,41	28,4	1,97	17,8	2,7	20,5	16,6	73,6
Finos H₂O	A	6,77	8,02	20,2	1,77	12,9	2,3	15,2	14,5	76,6
	B	6,46	7,79	21,6	2,02	13,5	2,4	15,9	14,9	75,3
	Média	6,61	7,90	20,9	1,89	13,2	2,3	15,5	14,7	76,0
Finos NaOH	A	8,17	10,4	31,1	1,99	12,0	2,0	14,0	15,2	75,8
	B	7,99	11,8	34,1	2,18	12,0	2,0	14,0	15,1	75,8
	Média	8,08	11,1	32,6	2,08	12,0	2,0	14,0	15,1	75,8
Finos H₂SO₄	A	7,69	13,6	39,9	2,86	17,3	2,8	20,1	15,5	69,4
	B	7,82	13,0	39,8	2,47	16,6	2,8	19,4	15,7	70,3
	Média	7,76	13,3	39,8	2,66	16,4	2,8	19,7	15,6	69,9

Teores base material seco, * Holocelulose = 100 - cinzas - extrativos - lignina, 1 - EtOH/ tolueno - Etanol/tolueno 1:2.

Quadro 6A :Características das polpas e do licor de residual kraft do pseudocaule de *Musa* sp.

Repetição	Álcali ativo %	Rendimento			Característica da polpa N, Kappa	Característica do licor residual						Álcali consumido* %
		Total, %	Depurado %	Rejeito %		pH	Teor de sólidos, %			Álcali, NaOH g/l		
							Inorg,	Organ,	Totais	NaOH	Na2S	
K2	10,0	43,7	40,6	3,1	64,8	9,1	35,2	64,8	11,0	0,80	-	9,6
K3	10,0	46,0	42,2	3,8	69,3	9,5	38,0	62,0	11,0	1,00	-	9,8
	Média	44,8	41,4	3,4	67,0	9,3	36,6	63,4	11,0	0,90	-	9,7
K2	12,5	43,2	41,6	1,6	46,6	9,6	37,4	62,6	11,9	1,50	0,40	11,6
K4	12,5	42,7	40,7	2,0	52,5	10,1	34,8	65,2	11,9	1,55	0,20	11,6
	Média	42,9	41,1	1,8	49,5	9,8	36,1	63,9	11,9	1,52	0,30	11,6
K2	17,5	35,8	34,2	1,6	34,0	11,8	40,3	59,7	13,9	3,70	3,71	13,9
K4	17,5	38,3	36,4	1,9	33,8	12,9	38,8	61,2	13,9	3,64	3,21	13,0
	Média	37,0	35,3	1,7	33,9	12,3	39,5	60,4	13,9	3,67	3,46	13,4
K3	24,0	32,5	31,5	1,0	33,6	13,7	46,8	53,2	14,0	6,84	4,41	18,4
K4	24,0	35,6	34,7	0,9	37,3	13,9	45,1	54,9	15,2	7,47	5,11	17,7
	Média	34,0	33,1	1,0	35,4	13,8	45,9	54,1	14,6	7,15	4,76	18,0
K3	30,0	30,9	30,0	0,9	34,9	14,0	51,1	48,9	20,1	12,48	7,52	20,4
K4	30,0	31,3	30,4	0,9	34,6,	14,1	50,2	49,8	16,9	14,79	8,42	18,2
	Média	31,1	30,2	0,9	34,7	14,0	50,7	49,3	18,5	13,63	7,97	19,3

Temperatura máxima: 170 °C Sulfidez: 25 %, Tempo até temperatura: 90 min, Tempo a temperatura: 60 min, Relação licor/pseudocaule: 5/1, * Álcali consumido base material seco,

Quadro 7A: Características das polpas e do licor de residual kraft das fibras F. NaOH.
de *Musa* sp.

Amostra	Repetição	Álcali ativo %	Rendimento, %			Características das polpas		Característica do licor residual					Álcali cons* %	
			Total,	Dep	Rejeito	Kappa	Visc. cp	pH	Teor de sólidos, %			Álcali, NaOH g/l		
									Inorg,	Organ,	Totais	NaOH	Na2S	
	K7	10,0	60,5	57,3	3,2	39,8	75,7	9,8	27,2	72,1	7,9	1,59	-	9,2
Fibra NaOH	K10	10,0	59,6	55,6	4,0	41,3	76,4	9,9	28,8	71,2	8,5	1,49	-	9,2
	Média		60,0	56,4	3,6	40,5	76,0	9,8	28,3	71,7	8,2	1,54	-	9,2
	K7	15,0	54,0	52,7	1,3	16,0	46,3	12,0	35,2	64,8	10,1	3,09	1,29	12,8
Fibra NaOH	K10	15,0	54,3	52,5	1,8	17,7	43,9	12,1	34,7	65,3	9,7	3,38	1,59	11,4
	Média		54,1	52,6	1,5	16,8	45,1	12,0	34,9	65,1	9,9	3,23	1,44	12,1
	K7	20,0	53,1	51,2	1,9	16,2	26,1	12,7	42,6	57,4	11,2	6,72	2,89	15,2
Fibra NaOH	K10	20,0	51,4	49,9	1,5	17,6	25,3	12,8	42,8	57,2	11,0	7,37	2,29	15,8
	Média		52,2	50,5	1,7	16,9	25,7	12,7	42,7	57,3	11,1	7,04	2,59	15,5
	K7	25,0	48,9	47,0	1,9	17,3	14,2	12,9	48,6	51,4	12,2	11,1	5,57	16,7
Fibra NaOH	K10	25,0	50,1	48,5	1,6	18,6	15,2	13,0	47,9	52,1	11,9	12,4	4,18	16,7
	Média		49,5	47,7	1,7	17,9	14,7	12,9	48,2	51,8	12,0	11,7	4,87	16,7

Temperatura máxima: 170 °C
Tempo até temperatura: 90 min,
Tempo a temperatura: 60 min,

Sulfidez: 25 %,
Relação licor/pseudocaule: 5/1,
* Álcali consumido base material seco,

Quadro 8A: Características das polpas e do licor de residual kraft das fibras F. H2O de *Musa* sp.

Amostra	Repetição	Álcali ativo %	Rendimento			Característica das polpas		Característica do licor residual					Álcali consumido* %	
			Total, %	Depurado, %	Rejeito, %	N, Kappa	Viscosidade, cp	pH	Teor de sólidos, %			Álcali, NaOH g/l		
									Inorg,	Organ,	Totais	NaOH		Na2S
Fibra H ₂ O	K6	10,0	59,8	53,1	6,7	52,8	75,0	9,4	30,4	69,6	7,9	1,49	-	9,2
	K9	10,0	59,1	54,0	5,1	49,9	72,6	9,6	28,1	71,9	8,5	1,59	-	9,2
	Média		59,4	53,5	5,9	51,3	73,8	9,5	29,2	70,7	8,2	1,54	-	9,2
Fibra H ₂ O	K6	15,0	52,9	51,2	1,7	21,2	49,6	11,2	34,8	65,2	10,5	2,59	0,90	13,3
	K9	15,0	53,9	52,3	1,6	20,2	51,8	11,3	34,9	65,1	10,2	2,29	1,93	13,1
	Média		53,4	51,7	1,6	20,7	50,7	11,2	34,8	65,1	10,3	2,44	1,14	13,2
Fibra H ₂ O	K6	20,0	49,9	48,7	1,2	15,8	31,6	12,6	40,9	59,1	11,9	4,58	1,99	16,7
	K9	20,0	51,6	50,2	1,4	17,5	29,8	12,6	41,5	58,5	11,1	5,28	2,39	16,2
	Média		50,7	49,4	1,3	16,6	30,7	12,6	41,2	58,8	11,5	4,93	2,19	16,4
Fibra H ₂ O	K6	25,0	48,1	47,3	0,8	17,0	15,3	13,0	45,5	54,5	12,5	8,07	4,18	18,9
	K9	25,0	50,2	48,7	1,5	16,5	16,9	13,0	48,4	51,6	12,0	8,71	3,68	18,8
	Média		49,1	48,0	1,1	16,7	16,1	13,0	46,9	53,0	12,2	8,39	3,93	18,8

Temperatura máxima: 170 °C
 Tempo até temperatura: 90 min,
 Tempo a temperatura: 60 min,

Sulfidez: 25 %,

Relação licor/pseudocaule: 5/1,

* Álcali consumido base material seco,

Quadro 9A: Características das polpas e do licor de residual kraft das fibras F H₂SO₄, de *Musa* sp.

Amostra	Repet	Álcali ativo %	Rendimento, %			Características das polpas		Característica do licor residual						Álcali consumido*
			Total	Dep	Rejeito	Kappa	Visc.cp	pH	Teor de sólidos, %			Álcali, NaOH g/l		%
									Inorg,	Organ,	Totais	NaOH	Na ₂ S	
Fibra H ₂ SO ₄	K8	10,0	59,6	56,6	3,3	55,3	44,8	9,2	30,1	69,9	8,2	1,29	-	9,3
	K11	10,0	60,5	57,4	3,1	56,1	42,0	9,1	30,5	69,5	8,0	1,19	-	9,4
	Média		60,0	57,0	3,2	55,7	43,4	9,1	30,3	69,7	8,1	1,24	-	9,3
Fibra H ₂ SO ₄	K8	15,0	53,2	51,6	1,6	26,1	37,9	10,5	35,6	64,4	10,3	0,90	14,49	13,8
	K11	15,0	54,3	52,1	2,2	26,8	35,8	10,5	36,8	63,2	9,8	0,50	1,79	13,9
	Média		53,7	51,8	1,9	26,4	36,8	10,5	36,2	63,8	10,0	0,70	1,64	13,8
Fibra H ₂ SO ₄	K8	20,0	49,5	47,9	1,6	16,2	24,2	12,4	42,5	57,5	11,6	4,18	2,79	16,5
	K11	20,0	49,3	47,7	1,6	16,2	22,4	12,3	41,2	58,8	11,2	3,48	1,99	17,3
	Média		49,4	47,8	1,6	16,2	23,3	12,3	41,9	58,1	11,4	3,83	2,39	16,9
Fibra H ₂ SO ₄	K8	25,0	50,3	48,9	1,4	14,1	15,7	12,8	48,5	51,5	12,3	8,37	3,88	19,9
	K11	25,0	49,5	48,1	1,4	14,5	14,5	12,9	48,9	51,1	11,6	7,87	4,78	18,7
	Média		49,9	48,5	1,4	14,3	15,1	12,8	48,7	51,3	11,9	8,12	4,33	19,3

Temperatura máxima: 170 °C
 Tempo até temperatura: 90 min,
 Tempo a temperatura: 60 min,

Sulfidez: 25 %,
 Relação licor/pseudocaule: 5/1,
 * Álcali consumido base material seco,

Quadro 10 A: Resultados da deslignificação com oxigênio das polpas kraft de fibras de *Musa sp.*

Amostra	Repetição	F. NaOH	F. H₂S₀₄	F. H₂O
Alvura, % ISO	1	27,0	27,2	31,1
	2	26,7	26,9	30,8
	Média	26,8	27,0	30,9
Δ Alvura, %	1	15,9	22,4	22,4
	2	14,6	20,6	21,2
	Média	15,1	21,5	21,8
Viscosidad e, cp	1	36,2	23,9	22,9
	2	35,4	25,0	23,1
	Média	35,8	24,4	23,0
Δ Viscosidad e, %	1	22,9	27,6	14,5
	2	20,5	24,2	13,8
	Média	21,7	25,9	14,1
N. Kappa	1	11,6	11,6	10,0
	2	11,2	11,8	10,2
	Média	11,4	11,7	10,1
pH final	1	12,8	12,8	12,7
	2	12,7	12,7	12,6
	Média	12,7	12,7	12,6
Rendiment o, %	1	94,8	94,3	95,2
	2	93,8	94,8	95,0
	Média	94,3	94,5	95,0

Condições: Temperatura 100 °C, tempo 60 min., 10% consistência, 2,0% NaOH, 0,5% MgSO₄, 1,0% O₂.

Quadro 11 A: Resultados do Branqueamento e consumo de químicos com polpas kraft-O₂ de *Musa sp.*, pela sequência D₀EpD.

Amostra	Repetição	Fibra H ₂ O				F. H ₂ SO ₄				F. NaOH			
		Do	Ep	D1	D2	Do	Ep	D1	D2	Do	Ep	D1	D2
Alvura	1	43,9	59,8	78,2	78,1	45,6	61,8	79,8	80,1	41,4	56,6	77,5	76,3
.a.d.	2	41,6	58,4	77,4	77,1	46,2	62,9	78,4	79,7	40,8	55,8	76,1	75,6
% ISO	Média	42,7	59,1	77,8	77,6	45,9	62,3	79,1	79,9	41,1	56,2	76,8	75,9
Δ	1	61,4	36,2	30,8	30,6	46,6	35,5	29,1	29,6	53,3	36,7	36,9	34,8
Alvura,	2	54,6	40,4	32,5	32,0	50,0	36,1	24,6	26,7	52,8	30,8	36,4	35,5
%	Média	58,0	38,3	31,6	31,3	48,3	35,8	26,8	28,1	53,0	33,7	36,6	35,1
Alvura	1	-	-	74,5	73,7	-	-	75,9	75,1	-	-	72,9	73,0
o.d.	2	-	-	74,1	73,3	-	-	75,7	75,3	-	-	73,4	73,6
% ISO	Média	-	-	74,3	73,5	-	-	75,8	75,2	-	-	73,1	73,3
Viscosi.,	1	23,1	20,6	19,5	17,4	18,6	17,2	15,0	12,8	33,5	30,8	27,1	22,6
cp	2	24,0	21,8	20,7	17,8	19,2	17,8	15,5	13,0	33,8	29,6	25,3	22,1
	Média	23,5	21,2	20,1	17,6	18,9	17,5	15,2	12,9	33,6	30,2	26,2	22,3
Δ Visc.,	1	33,5	10,8	53,4	15,5	19,1	75,3	12,8	25,6	73,8	14,9	12,0	26,6
%	2	40,0	9,2	50,4	18,3	16,5	72,9	12,9	27,0	45,2	16,4	14,5	25,3
	Média	36,7	10,0	51,9	16,9	17,8	74,1	12,8	26,3	59,5	15,6	13,2	25,9
N.	1	-	3,25	-	-	-	2,16	-	-	-	2,06	-	-
kappa	2	-	3,30	-	-	-	2,17	-	-	-	2,00	-	-
	Média	-	3,27	-	-	-	2,16	-	-	-	2,03	-	-
Δ N.	1	-	72,0	-	-	-	78,4	-	-	-	82,2	-	-
Kappa	2	-	72,0	-	-	-	78,7	-	-	-	82,1	-	-
%	Média	-	72,	-	-	-	78,	-	-	-	82,	-	-

Amostra	Repetição	Fibra H ₂ O				F. H ₂ SO ₄				F. NaOH			
		a	0			5				1			
	1	2,50	12,3	3,20	3,00	3,30	12,5	3,20	2,90	2,70	12,4	3,40	2,80
pH final	2	2,80	12,2	3,90	2,90	3,40	12,3	3,80	2,80	3,00	12,2	4,30	3,20
	Média	2,65	12,2	3,55	2,90	3,30	12,4	3,50	2,80	2,80	12,3	3,80	3,00
	1	0,010	0,051	0,032	0,010	0,001	0,002	0,014	0,011	0,010	0,034	0,028	0,0035
Residual	2	0,010	0,034	0,003	0,001	0,025	0,003	0,007	0,012	0,080	0,017	0,014	0,0035
g/l	Média	0,010	0,042	0,018	0,005	0,001	0,001	0,010	0,011	0,040	0,025	0,021	0,0035
Consum	1	99,97	98,98	98,94	99,71	99,96	99,66	99,54	99,67	99,97	99,32	99,05	98,98
%	2	99,97	99,32	98,88	99,68	99,33	99,93	99,76	99,63	99,71	99,66	99,55	98,98
	Média	99,97	99,15	98,91	99,70	99,64	99,79	99,65	99,65	99,84	99,49	99,30	98,98
Consum	1	30,28	4,94	29,68	34,90	25,98	4,98	29,94	34,88	30,41	4,97	29,72	34,64
.Kg/T	2	33,27	4,97	29,96	34,89	26,34	5,00	29,92	34,87	31,10	4,98	29,86	34,64
a.s.	Média	31,77	4,95	29,82	34,89	26,16	4,99	29,93	34,87	30,75	4,97	29,79	34,64

Condições: Do - 70 °C, 60 min, 10% CST, fator kappa 0,26.

Ep - 70 °C, 60 min, 10% CST, 0,5% H₂O₂, 0,5% MgSO₄, 0,2% NaOH.

D¹ - 70 °C, 180 min, 10% CST, 3,0% ClO₂ como Cl₂.

D² - 70 °C, 180 min, 10% CST, 3,5% ClO₂ como Cl₂.

Quadros 12 A: Valores médios e coeficientes de variação das propriedades físico-mecânicas e ópticas de *Musa* sp. Amostra F. NaOH

Propriedades	Tempo de refino					
	NT	0	2,5	5,0	7,5	10
°SR	39	50,5	62,5	65,25	69,5	70
Gramatura, g/m ²	65,00	64,26	64,17	64,06	63,61	63,07
C V, %	0,93	1,30	1,65	1,45	0,88	1,48
Espesura, mm	98,8	92,50	86,34	86,80	85,96	85,14
C V, %	0,98	4,15	4,24	1,20	1,55	2,86
Opacidade, %	71,5	67,3	64,7	64,3	64,1	64
C V, %	2,24	2,96	0,81	3,25	3,02	2,16
Ind. Rasgo, mNm ² /g	21,07	16,13	13,70	13,26	13,07	12,50
C V, %	4,73	8,85	2,57	6,11	6,41	4,30
Ind. Arrebetamento, Kpa m ² /g	7,27	8,56	8,85	9,71	9,12	8,71
C V %	8,95	4,76	8,16	8,91	9,47	4,82
M O E, MN.m / kg	6,32	6,96	7,50	7,52	7,54	7,65
C V, %	4,35	5,92	3,37	3,33	2,73	5,10
Ind. Tração, N.m/g	70,02	88,85	96,59	99,93	101,9	100,9
C V, %	4,42	3,45	5,06	5,34	2,76	5,76
Alongamento %	0,431	0,487	0,493	0,497	0,506	0,483
C V%	2,6	1,95	4,98	3,79	1,71	6,07

Quadro 13A : Valores médios e coeficientes de variação das propriedades físico-mecânicas e óptica de *Musa* sp. Amostra F. H2O

Propiedades	Tempo de refino
--------------------	------------------------

	NT	0	2,5	5,0	7,5	10
°SR	50,5	60	67,5	70	73,75	78,5
Gramatura, g/m²	66,37	64,54	64,49	64,43	64,35	63,96
C V, %	2,09	1,11	0,97	0,44	0,41	1,42
Espesura, mm	95,00	86,90	84,52	84,37	84,29	83,66
C V %	2,20	1,80	1,19	1,96	1,43	2,12
Opacidade, %	69,5	65,7	64,8	64,6	64,6	64,1
C V, %	3,11	2,46	3,05	1,82	2,85	3,64
Ind. Rasgo, mNm²/g	21,07	16,13	13,70	13,26	13,07	12,50
C V %	6,47	5,74	3,19	2,59	5,96	5,67
Ind. Arrebatamento, Kpa m²/g	7,39	8,8	9,0	9,7	9,26	8,85
C V %	7,28	9,46	7,53	8,28	5,16	7,06
M O E, MN.m/ kg	6,66	7,41	7,84	7,99	8,10	8,23
C V %	2,84	3,53	3,93	2,82	2,82	3,89
Ind. Tração, N.m/g	80	89,26	97,05	97,76	98,61	99,04
C V %	6,38	4,61	5,92	7,60	6,03	2,71
Alongamento, %	0,468	0,480	0,495	0,495	0,471	0,465
C V,%	4,22	1,26	3,68	5,49	2,16	2,44

Quadros 14A: Valores médios e coeficientes de variação das propriedades físico-mecânicas e óptica de *Musa sp.* Amostra F. H2SO4

propriedades	Tempo de refino					
	NT	0	2,5	5,0	7,5	10
°SR	37,5	53,5	59	60	62	65,5
Gramatura, g/m ²	64,80	64,74	64,72	64,16	64,08	63,91
C V, %	1,26	1,72	0,95	0,93	1,32	0,54
Espesura, mm	97,91	88,26	87,47	87,10	86,76	85,14
C V, %	0,92	4,27	0,77	1,08	0,85	2,10
Opacidade, %	73,5	69,9	69,5	69,5	69,4	69,0
C V, %	1,73	2,14	0,67	0,36	2,25	1,95
Ind. Rasgo, mNm ² /g	18,86	16,62	13,08	12,87	12,85	12,67
C V, %	6,9	8,02	8,38	9,24	9,25	8,28
Ind. Arrebetamento, Kpa. m ² /g	7,03	8,16	8,51	8,86	9,41	8,4
C V, %	7,28	9,46	7,53	8,28	5,16	7,06
M O E, MN.m / kg	6,39	7,10	7,45	7,57	7,61	7,41
C V, %	2,86	4,52	3,09	2,97	2,97	2,07
Ind. Tração, N.m/g	68,03	84,99	89,52	93,76	95,00	96,43
C V, %	4,23	5,07	7,24	5,76	8,87	2,98
Alongamento, %	0,468	0,480	0,495	0,495	0,471	0,465
C V, %	4,84	3,57	3,13	5,05	3,77	2,79