

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS  
CÂMPUS DE BOTUCATU

**UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS AGRONÔMICOS DA MANDIOCA PARA  
FABRICAÇÃO DE PAPÉIS ESPECIAIS COMO RECURSO  
ALTERNATIVO PARA A COMUNICAÇÃO VISUAL**

**SOLANGE MARIA LEÃO GONÇALVES**

Tese apresentada à Faculdade de Ciências  
Agronômicas da Unesp - Campus de Botucatu,  
para obtenção do título de Doutor em  
Agronomia (Energia na Agricultura)

BOTUCATU-SP  
Dezembro- 2007

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS  
CÂMPUS DE BOTUCATU

**“UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS AGRONÔMICOS DA MANDIOCA  
PARA FABRICAÇÃO DE PAPÉIS ESPECIAIS COMO  
RECURSO ALTERNATIVO PARA A COMUNICAÇÃO  
VISUAL”**

**SOLANGE MARIA LEÃO GONÇALVES**

Orientador: Prof. Dr Cláudio Cabello

Co-Orientador: Profª Drª Marizilda dos Santos Menezes

Tese apresentada à Faculdade de Ciências  
Agronômicas da Unesp - Campus de Botucatu,  
para obtenção do título de Doutor em  
Agronomia (Energia na Agricultura)

BOTUCATU - SP  
Dezembro – 2007

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - SERVIÇO TÉCNICO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

G635u      Gonçalves, Solange Maria Leão, 1950-  
Utilização de resíduos agrônômicos da mandioca para fabricação de papéis especiais como recurso alternativo para a comunicação visual / Solange Maria Leão Gonçalves. - Botucatu : [s.n.], 2007.  
xiv, 130 f. : il. color., tabs.

Tese (Doutorado) -Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2007

Orientador: Cláudio Cabello

Co-orientador: Marizilda dos Santos Menezes

Inclui bibliografia.

1. Resíduos agrícolas. 2. Mandioca. 3. Comunicação visual.
4. Papel - Confeção - Equipamentos e acessórios. I. Cabello, Cláudio. II. Menezes, Marizilda dos Santos. III. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônômicas.
- IV. Título.

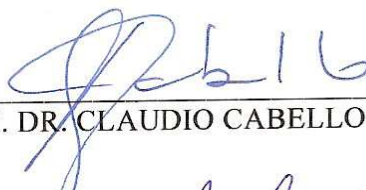
UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS  
CAMPUS DE BOTUCATU  
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS AGRONÔMICOS DA MANDIOCA PARA  
FABRICAÇÃO DE PAPÉIS ESPECIAIS COMO RECURSO ALTERNA-  
TIVO PARA A COMUNICAÇÃO VISUAL.

ALUNA: SOLANGE MARIA LEÃO GONÇALVES


ORIENTADOR: PROF. DR. CLAUDIO CABELLO

Aprovado pela Comissão Examinadora

  
\_\_\_\_\_  
PROF. DR. CLAUDIO CABELLO

  
\_\_\_\_\_  
PROF. DR. CLAUDIO ÂNGELI SANSIGOLO

  
\_\_\_\_\_  
PROF. DR. ROBERTO ALCARRIA DO NASCIMENTO

  
\_\_\_\_\_  
PROFA. DRA. SIMONE DAMASCENO

  
\_\_\_\_\_  
PROF. DR. JOSÉ CARLOS PLÁCIDO DA SILVA

Data da Realização: 10 de dezembro de 2007.

## AGRADECIMENTOS

A Deus pela saúde, força e conquistas de cada dia.

À minha família pelo carinho e compreensão.

Ao Prof. Dr. Cláudio Cabello, Diretor do CERAT, pela orientação, paciência e constante apoio ao longo de todo o trabalho.

A Profa. Dra. Marizilda dos Santos Menezes pela co-orientação e contribuição constante na etapa dos procedimentos aplicativos na Comunicação Visual.

Ao Prof. Dr. Cláudio A. Sansigolo, do Departamento de Recursos Florestais, pela colaboração e disponibilidade em etapas da pesquisa.

A Universidade Estadual Paulista – Campus de Botucatu pela oportunidade do curso de doutorado.

Ao Departamento de Artes e Representação Gráfica pelo apoio e estímulo no processo de doutoramento.

Aos funcionários do CERAT e Laboratório de Celulose e Papel, que de forma direta colaboraram nos atendimentos das solicitações.

Aos amigos da Pós-graduação, em especial a Irene Miuki Saito pela amizade e apoio durante os experimentos em laboratório.

A Profa. Dra. Cleide Santos Costa Biancardi e seu marido Ismael Biancardi pela ajuda e incentivo para a realização deste trabalho.

A Profa. Dra. Maria Antonia Benutti pelas importantes contribuições e sugestões.

Aos alunos do Curso de Educação Artística da FAAC/UNESP campus de Bauru pela presteza e colaboração na realização dos procedimentos aplicativos desse trabalho.

## SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS .....	IX
LISTA DE TABELAS .....	XII
LISTA DE QUADROS .....	XIII
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURA .....	XIV
RESUMO .....	01
ABSTRACT .....	03
1. INTRODUÇÃO.....	05
2. REVISÃO DE LITERATURA .....	08
2.1 Dados históricos.....	08
2.1.1 Caracterização.....	12
2.1.2 Classificação .....	18
2.2 Celulose e papel .....	20
2.3 Classificação das fibras.....	21
2.3.1.Fibras animais.....	22
2.3.2 Fibras minerais.....	22
2.3.3 Fibras não-naturais.....	24
2.3.4 Fibras não-madeiras.....	26
2.3.5 Fibras vegetais – folhas.....	29
2.3.6 Fibras vegetais – sementes.....	31
2.3.7 Fibras vegetais – frutos.....	32

## SUMÁRIO

2.3.8 Fibras vegetais–caules.....	34
2.4 Caracterização da mandioca .....	34
2.4.1 Características gerais.....	34
2.4.2 Tipos de tratamento dos resíduos.....	39
2.4.3 Teoria do aproveitamento dos resíduos.....	40
2.5 Classificação dos processos de polpação.....	42
2.5.1 Processo mecânico de polpação.....	43
2.5.2 Processo químico de polpação.....	43
2.5.3 Polpação sulfito.....	44
2.5.4 Polpação kraft .....	45
2.5.5 Polpação semi-química.....	46
2.6 Determinação do número Kappa .....	47
2.7 Utilização do papel como mídia .....	49
2.8 Técnicas artísticas de impressão.....	53
2.8.1 Xilogravura.....	53
2.8.2 Gravura em metal .....	54
2.8.3 Litografia .....	54
2.8.4 Serigrafia .....	54
2.9 Técnicas de pintura e desenho .....	55
2.9.1 Aquarela .....	55
2.9.2 Nanquim .....	56



## SUMÁRIO

2.9.3 Carvão.....	56
2.9.4 Giz pastel .....	56
2.9.5 Guache.....	57
2.9.6 Giz de cera .....	57
2.9.7 Lápis de cor .....	57
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	59
3.1 Matéria prima vegetal .....	59
3.1.1 Caracterização do resíduo .....	61
3.1.2 Tratamento químico-mecânico do material celulósico .....	62
3.1.3 Planejamento experimental .....	63
3.1.4 Condução dos ensaios. ....	66
3.1.5 Produção da pasta celulósica e amostras.....	68
3.1.6 Determinação do número kappa.....	69
3.1.7 Análise da fibra .....	70
3.1.8 Determinação de lignina via permanganato de potássio .....	71
3.1.9 Determinação da celulose.....	71
3.1.10 Determinação de hemiceluloses .....	72
3.1.11 Formação das folhas de papel .....	72
3.2 Análises físico-mecânicas nos corpos de prova .....	79
3.2.1 Permeância ao ar.....	79
3.2.2 Gramatura .....	79
3.2.3 Espessura .....	80

## SUMÁRIO

3.2.4 Resistência e índice de tração .....	81
3.2.5 Resistência e índice de rasgo .....	82
3.2.6 Resistência ao arrebentamento e índice de arrebentamento .....	83
3.3 Tratamentos de superfície .....	83
3.3.1 Aplicação prática do papel especial .....	84
3.3.2 Técnicas artísticas de impressão .....	84
3.3.2.1 Impressões Xilográficas .....	84
3.3.2.2 Impressões Fotográficas por transferência .....	85
3.3.2.3 Impressões serigráficas .....	86
3.3.3 Técnicas de pintura e desenho .....	86
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	87
4.1 Análise do resíduo .....	87
4.1.1 Produção da pasta celulósica .....	88
4.2 Análise da determinação das fibras em FDN e FDA .....	90
4.2.1 Avaliação das análises físico-químicas do resíduo .....	90
4.3 Testes físico-mecânicos nos corpos de prova .....	94
4.4 Fase executiva .....	96
4.4.1 Técnicas artísticas de impressão .....	98
4.4.1.1 Impressões xilográficas .....	98
4.4.1.2. Impressão fotográfica por transferência .....	101
4.4.1.3 Impressão serigráfica .....	103
4.4.1.4 Impressão com jato de tinta .....	104

**SUMÁRIO**

4.4.2 Técnicas de Desenho e pintura .....	104
4.4.2.1 Pinturas com tinta aquarela.....	104
4.4.2.2 Pinturas desenhos e com tinta nanquim .....	105
4.4.2.3 Pinturas com giz pastel seco e oleoso.....	109
4.4.2.4 Desenho e pintura com carvão .....	112
4.4.2.5 Pintura com giz de cera .....	116
4.4.2.6 Pintura com tinta guache .....	117
4.4.3 Superfícies tridimensionais .....	118
5. CONCLUSÕES .....	120
6. REFERÊNCIAS .....	122

## LISTA DE FIGURAS

		Página
Figura 1-	Esquema da subdivisão normal de uma folhaA0.....	15
Figura 2 -	Classificação das Fibras.....	22
Figura 3 -	Cultivo de sisal híbrido para produção de fibra.....	30
Figura 4 -	Plantação da mandioca.....	35
Figura 5 -	Detalhes da planta da mandioca.....	35
Figura 6 -	Derivados e forma de utilização da mandioca .....	38
Figura 7 -	Balanço de massa utilizando dados observados numa agroindústria extratora de fécula de mandioca.....	40
Figura 8 -	Detalhe de um caule típico da mandioca .....	60
Figura 9 -	Cavacos do caule da mandioca .....	61
Figura 10 -	Amostra dos cavacos caule mandioca .....	62
Figura 11 -	Reator de aço inox .....	63
Figura 12 -	Esquemas das condições de tempo, agitação e temperatura.....	67
Figura 13 -	Polpa celulósica seca em estufa .....	73
Figura 14 -	Moinho Jokro Mühle .....	74
Figura 15 -	Panela de bronze do moinho Jokro Mühle.....	74
Figura 16 -	Desintegrador de polpa .....	75
Figura 17 -	Desfibrador de polpa.....	76
Figura 18 -	Schopper-Riegler aparelho para medir grau de refino.....	77
Figura 19 -	Equipamento formador de folhas de papel .....	78

Figura 20 -	Esquema do corte das folhas de papel para os testes físicos-mecânico .....	80
Figura 21 -	Prensa de rosca.....	85
Figura 22 -	Micrografia da fibra da celulose .....	92
Figura 23 -	Micrografia de feixes de fibra da celulose.....	93
Figura 24 -	Micrografia de aglomerados de fibras da celulose .....	93
Figura 25 -	Micrografia de feixes de fibras da celulose .....	94
Figura 26 -	Corpo de prova.....	97
Figura 27 -	Papéis manufacturados artesanalmente .....	98
Figura 28 -	Xilogravura com tinta a base de óleo .....	99
Figura 29 -	Xilogravura com tinta a base de água.....	100
Figura 30 -	Matriz fotográfica para transferência.....	101
Figura 31 -	Impressão fotográfica utilizando <i>transfer's</i> .....	102
Figura 32 -	Impressão serigráfica .....	103
Figura 33 -	Desenho e pintura com lápis aquarelável .....	105
Figura 34 -	Pintura com aguada de tinta nanquim.....	106
Figura 35 -	Pintura com aguada de tinta nanquim com pincel .....	107
Figura 36 -	Desenho e pintura com tinta nanquim, caneta e pincel.....	108
Figura 37 -	Pintura com giz pastel oleoso .....	109
Figura 38 -	Pintura com giz pastel seco e oleoso .....	110
Figura 39 -	Pintura com giz pastel seco.....	111
Figura 40 -	Desenho com carvão.....	112
Figura 41 -	Desenho com carvão.....	113

Figura 42 -	Desenho e pintura com carvão.....	114
Figura 43 -	Pintura com carvão .....	115
Figura 44 -	Pintura com giz de cera.....	116
Figura 45 -	Pintura com tinta guache.....	117
Figura 46 -	Objetos tridimensionais .....	118

**LISTA DE TABELAS**

	Página
Tabela 1 - Derivados dos formatos adotados no Brasil: AA; BB; AM .....	15
Tabela 2 - Dimensões características das fibras de algumas espécies vegetais .....	28
Tabela 3 - Distribuição percentual das diferentes porções da parte aérea Mandioca .....	41
Tabela 4 - Valores das variáveis independentes de álcalis ativos, sulfidez e temperatura em três níveis para realização dos ensaios .....	64
Tabela 5 - Ensaio com as variáveis codificadas e valores reais das variáveis.....	65
Tabela 6 - Seqüência dos ensaios com variáveis codificadas e os valores reais das variáveis codificadas .....	66
Tabela 7 - Características morfológicas do caule da mandioca .....	87
Tabela 8 - Resultados de ensaios da polpação kraft do caule da mandioca .....	89
Tabela 9 - Resultados de ensaios da polpação kraft do caule da mandioca Com aumento de concentração dos sais .....	90
Tabela 10 - Resultados das análises físico-químicas das fibras antes e após a polpação.....	91
Tabela 11 - Composição centesimal do caule da mandioca.....	92
Tabela 12 - Valores médios dos testes físico-mecânicos aplicados em folhas de papel obtido da polpa do caule da mandioca.....	95

**LISTA DE QUADROS**

	Página
Quadro 1 - Quantificação de resíduos na industrialização da mandioca no sudeste brasileiro .....	37
Quadro 2 – Massas dos reagentes adicionados em cada batelada para as diferentes condições de sulfidez e álcalis ativos .....	67



**LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS**

ABTCP	Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABTG	Associação Brasileira de Tecnologia Gráfica
ANFPC	Associação Nacional dos Fabricantes de Papel e Celulose
AOAC	Association of Official Analysis Chemists
ASTM	American Standard Test Methods
CMC	Carboximetilcelulose
DIN	Deutsche Industrie Normen
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FDA	Fibra detergente ácido
FDN	Fibra detergente neutro
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Ácido sulfúrico
ISO	International Standardization Organization
KI1N	Iodeto de potássio
KMnO <sub>4</sub>	Permanganato de potássio
MNT	Manual de Normas Técnicas
NaOH	Hidróxido de sódio
Na <sub>2</sub> S	Sulfeto de sódio
SENAI	Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial
TAPPI	Technical Association of the Pulp and Paper Industry

## RESUMO

A parte aérea da planta da mandioca é considerada um resíduo agronômico com grande volume gerado no Brasil, o segundo maior produtor mundial dessa cultura. O caule e ramificações representam 81% da parte aérea em plantas adultas e por sua alta disponibilidade e também por apresentarem grande concentração de fibras, em torno de 30,18% em peso seco, é um resíduo que apresenta possibilidades de utilização como matéria-prima não madeira na produção de polpa celulósica. Nesse sentido, a literatura apresenta estudos comprovando um menor teor de lignina nas matérias-primas não madeira, quando comparado com as madeiras e conseqüentemente proporciona maior facilidade nos processos de polpação. Sob tais considerações, o presente trabalho abordou aspectos de obtenção de polpa celulósica deste resíduo agronômico da mandioca para fabricação de papéis especiais, com posterior avaliação de sua aplicação nas artes visuais. No Laboratório do CERAT (Centro de Estudos de Raízes e Amidos Tropicais), da Faculdade de Ciências Agrônomicas da UNESP, campus de Botucatu desenvolveu-se estudos para a produção das polpas celulósicas utilizando o processo Kraft que é uma mistura dos sais  $\text{Na}_2\text{S}$  (sulfeto de sódio) e  $\text{NaOH}$  (hidróxido de sódio) em água e aquecidos a temperatura de 160 a 180°C por aproximadamente 60 minutos, para a retirada da lignina e extrativos. Foram testadas as variáveis  $\text{Na}_2\text{S}$ ,  $\text{NaOH}$  e temperatura nos processos de polpação. No Laboratório de Celulose e Papel do Departamento de

Recursos Florestais da Faculdade de Ciências Agrônomicas da Unesp, campus de Botucatu – SP procedeu-se à formação das folhas de papel e os testes físico-mecânicos nos corpos de prova. As folhas de papel obtidas nos ensaios passaram por um processo de experimentação. Neste sentido foram realizados estudos relacionados às características do papel para avaliação de sua aplicação na comunicação visual, utilizando técnicas de impressão como xilogravura, serigrafia, impressões fotográficas, entre outros processos gráficos. Os estudos de possibilidades de aplicação desse papel nas artes foram realizados nos laboratórios da Faculdade de Arquitetura Artes e Comunicação da UNESP, campus de Bauru.

Os resultados dos estudos permitiram concluir a viabilidade de utilização destes materiais em comunicação gráfica, adicionando um conteúdo simbólico marcante proporcionado pelo uso da matéria-prima mandioca tão presente na cultura brasileira.

Palavras-chaves: Resíduos agronômicos, mandioca, comunicação visual, papel especial.

THE USE OF THE CASSAVA AGRONOMICAL RESIDUES TO THE PRODUCTION OF SPECIAL PAPERS AS AN ALTERNATIVE RESOURCE IN THE VISUAL COMMUNICATION. Botucatu, 2007.

Thesis

Doctoral Thesis in Agronomy / Energy in Agriculture – Faculdade de Ciências Agronômicas, UNESP – São Paulo State University.

Author: SOLANGE MARIA LEÃO GONÇALVES

Adviser: CLÁUDIO CABELLO

## **ABSTRACT**

The air part of the cassava plant is considered an agronomical residue due to the great volume produced in Brazil, the second biggest world producer of this plant. It is a residue which presents possibilities of being used as a non-wooden raw material in the production of pulp due to the fact that its stem and ramification stand for 81 % of the adult plants air part, besides having high availability and presenting a high concentration of fibers, which accounts for 30.18 % in dry weight. In that sense, the literature presents studies which prove a lower level of lignin in the non-wooden raw material when compared to the wood, which consequently provides a higher easiness in the pulping process. Under such considerations, this paper dealt with the aspects of the pulp obtaining process of this cassava agronomical residue for the production of special papers, with further assessment of its use in the visual communication. Studies were developed at the CERAT Laboratory (Centro de Estudos de Raízes e Amidos Tropicais – Tropical Roots and starch Study Center) of the UNESP Faculdade de Ciências Agronômicas in the campus of Botucatu, with the purpose of producing the pulps through the kraft process, which is a mix of the Na<sub>2</sub>S (sodium sulfide) and the NaOH (sodium hydroxide) in water heated up to the temperature of 160 to 180° C for about 90 minutes to the extracion of lignin and extratives. The paper sheets development and

the physical-mechanical tests in the trial bodies were performed at the Laboratório de Celulose e Papel do Departamento de Recursos Florestais da Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP (Pulp and Paper Laboratory) in the Campus of Botucatu. The paper sheets obtained in the practices went through an experimenting process. In that sense, studies related to the paper characteristics were accomplished in order to assess its use in the visual communication through printing techniques, such as woodcut, silk screen, picture engravings among other graphical processes. The studies on this paper use possibilities in arts was done in the laboratories of the UNESP Faculdade de Arquitetura Artes e Comunicação in the campus of Bauru-SP. The research results are able to conclude the utilization viability of this material in graphics communication, including a symbolical contents proportioned by the use of this raw material, manivas, so present in the brasilian culture.

Key words: agronomical residue, maniva, visual communication, special paper.

## 1 INTRODUÇÃO

Uma das linhas do grupo de pesquisas em tecnologias e agroindústrias de amidos e raízes tropicais do CERAT (Centro de Estudos de Raízes e Amidos Tropicais) da Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP, campus de Botucatu é o tratamento e aproveitamento de resíduos da agroindustrialização de raízes tropicais que tem como objetivo principal o tratamento e aproveitamento de resíduos, no sentido de atender à problemática da poluição ambiental visando a racionalização e a economia do processo agroindustrial. Várias pesquisas vêm sendo desenvolvidas a partir desses resíduos e algumas apoiadas por órgãos de fomento à pesquisa científica.

O presente trabalho se insere nesta linha de pesquisa desenvolvida no CERAT, realizando estudos relativos à avaliação do potencial de utilização da parte aérea da mandioca como matéria-prima na produção de polpa celulósica para fabricação de papéis especiais.

O Brasil é o segundo maior produtor de mandioca do mundo e a parte mais importante desta planta são as raízes ricas em fécula utilizadas na alimentação humana e animal e serve como matéria prima para diversas indústrias. Entretanto, a grande diversidade de derivados e formas de utilização da mandioca gera resíduos poluentes sólidos e líquidos em quantidade significativa que se

despejados indevidamente no meio ambiente pode causar sérios problemas ambientais.

A problemática do descarte de resíduos agronômicos é uma das preocupações presentes em nosso planeta. Nesse contexto, estudou-se a possibilidade de utilização da parte aérea da planta da mandioca considerada um resíduo gerado em abundância em grandes plantações. O aproveitamento do caule da mandioca (*Manihot esculenta Crantz*) pode representar uma alternativa em potencial na produção de polpa celulósica por tratar-se de um resíduo rico em fibras, podendo ser classificado como matéria prima não madeira e dessa forma valorizar um resíduo, transformando-o em subproduto, polpa celulósica, contribuindo para a minimização de impactos ambientais.

Considerando a matéria-prima e os aspectos físicos-mecânicos, em especial, os relacionados ao tratamento de superfície, os papéis produzidos com os resíduos agronômicos da mandioca e desenvolvidos especificamente para a comunicação visual, podem trazer consigo valores intrínsecos, determinados pelo fato desse produto estar intimamente ligado à cultura de nosso povo.

O papel está presente na vida do ser humano e é um dos componentes principais de sua cultura. Historicamente o mercado do papel registra mudanças freqüentes e significativas determinadas por aspectos econômicos, sociais, filosóficos ou até mesmo políticos/ideológicos que acabaram por delinear a sua trajetória.

Por constituir-se num elemento que estabelece a comunicação, seja ela escrita ou como suporte para as artes plásticas, este papel poderá protagonizar novos valores, trazendo a tona suas potencialidades, bem como características próprias em termos de tecnologia, aparência e aplicações. Neste trabalho a intenção é considerar a própria superfície do papel, seja ele na sua forma original e plana (bidimensional), ou em forma de objetos (tridimensional) produzidos a partir de uma proposta, como um elemento plástico que poderá servir de suporte para a inserção de elementos gráficos, como desenhos, cores e texturas.

Neste trabalho, o processo de polpação utilizado foi o Kraft, por representar menor comprometimento ecológico; por apresentar grande flexibilidade

com relação às espécies de madeira; pela possibilidade de recuperação do licor utilizado ser economicamente viável e também por resultar numa boa qualidade de celulose.

Os testes físico-mecânicos foram desenvolvidos no laboratório de celulose e papel do Departamento de Recursos Florestais da Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP, campus de Botucatu, e envolveram procedimentos de acordo com a TAPPI (Technical Association of Pulp and Paper Industry)



## **2 REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 Dados Históricos**

A invenção do papel foi um processo desenvolvido ao longo dos tempos em diferentes regiões geográficas. Contudo, antes de sua invenção o papiro e o pergaminho, foram largamente utilizados pelo homem como suporte da expressão escrita (CAURIO, 1985). A autora descreve papiro como sendo a nomenclatura de uma planta aquática, cujos colmos chegam a atingir até quatro metros de altura. O papiro é uma planta da família das ciperáceas encontradas em abundância nas margens do rio Nilo, sua origem data de 3000 a.C. e seu uso seguiu até o século IX da Era Cristã.

De seu caule extraem-se fibras para a produção de tecidos, que os antigos povos mediterrâneos empregavam como panos de velas de navio, mantas e roupas. Além disso, os egípcios descobriram que esses colmos eram excelentes produtos para a fabricação de um laminado que serviria de suporte para a mensagem escrita. Outro precursor do papel é o pergaminho, de origem animal, seu uso rudimentar data de 2000 a.C. e surgiu na Ásia Menor. Tratado através de métodos de redução de espessura da pele do carneiro resultou num suporte para a escrita utilizado até o século XV. Com a invenção da imprensa por Gutenberg, em 1440, os livros, até

então manuscritos, tornavam-se acessíveis ao público o que aumentava a demanda de papel e com isso uma busca incessante por novos materiais que pudessem ser transformados em papel.

Embora haja vestígios de papel feito de seda na China por volta do século IV a.C. a invenção do papel é atribuída a Ts'ai Lun (105 d. C) pela maioria dos historiadores. Seus papéis eram produzidos pelo método da polpação de redes de pesca e de trapos.

Mais tarde, também na China, foram utilizadas fibras vegetais como a camada interna da casca da amoreira e o cânhamo. Estes materiais eram fervidos em alta temperatura, batidos e esmagados até transformarem-se em uma substância pastosa que era colocada em água para a dispersão das fibras e recolhidas por uma espécie de peneira, formava-se então uma folha celulósica que em seguida era seca sobre um material poroso ou pendurada ao ar (RIBEIRO, 1998).

O processo oriental, também denominado Nagashizuhi ou “Kozo”, utilizava como principal matéria-prima uma planta da família da amoreira, que cortados seus ramos e dispostos em feixes, eram colocados para cozinhar em vapor para amolecer suas fibras e assim facilitar a separação da casca para se chegar à parte interna onde se encontra a celulose. Além da China, a Coreia, o Japão e o Nepal eram outros países que produziam esse tipo de papel, sendo que o Japão era considerado um centro avançado de produção de papel artesanal e produz há 1500 anos papel de grande qualidade. O “Washi”, como é conhecido o papel artesanal no Japão, era um produto amplamente utilizado nos vários setores da vida diária desse povo (CAURIO, 1985).

O processo Tamezuki, conhecido como Processo Ocidental, foi introduzido na Europa, no século VIII pelos árabes, que tendo conseguido o segredo da fabricação do papel de seus prisioneiros chineses, romperam o monopólio chinês da manufatura do papel. A produção do papel pelo processo Tamezuki utilizava inicialmente as fibras dos trapos de linho que era uma matéria-prima fartamente disponibilizada nos países europeus na forma de sucata têxtil, que mais tarde foram substituídos pelos trapos de algodão.

Quando os Árabes descobriram seu segredo iniciaram a produção de papel em Bagdá no ano de 795 d.C. Com isso, a difusão do conhecimento da manufatura artesanal do papel se expandiu por todo norte da África, Ásia e Europa juntamente com a expansão muçulmana. Assim, surgiram as primeiras fábricas de papel na Europa, mais precisamente em Toledo e Córdoba, na Espanha (HELLER, 1997).

Da Espanha e Itália, a fabricação do papel se espalhou por toda a Europa. A França estabelece seu primeiro moinho de papel em 1338, em La Pielle. Os holandeses, em 1670, diante da falta de força hidráulica em seu país, conseguiram um progresso muito importante para a tecnologia de fabricação do papel, utilizando moinhos acionados pela força dos ventos. A Holanda foi se impondo, complementando com os moinhos de martelo, que preparava a semipasta para a pasta refinada, mais tarde conhecida como “Pila Holandesa Desfibradora” (LIMA, RODES e PHILIPP, 1988).

Até o século XVII a atividade de fabricação do papel era bastante artesanal e quase não alterava a estabilidade e o ecossistema natural. Contudo, as pesquisas sobre novas matérias-primas não cessavam. Em 1719, um estudioso das ciências naturais, o francês René Antoine de Réaumur sugeriu o uso da madeira como matéria-prima para a produção do papel. Após observar que as vespas roíam lascas de madeira, com o que produzia uma substância semelhante ao papel, levou-o a concluir que material semelhante poderia ser obtido de alguns vegetais, o que somente foi considerado um século mais tarde (HELLER, 1997).

Lima, Rodes e Philipp (1988) citam Jacob Christian Schaffer, botânico alemão que, publicava no ano de 1765 suas experiências sobre papéis produzidos a partir de diversos tipos de vegetais, como musgo, urtigas, serragem de madeira, resíduos agrícolas, entre muitos outros. Schaffer editou em seis volumes os “Ensaio e demonstrações para se fazer papel sem trapos ou uma pequena adição dos mesmos”, onde mostrava a possibilidade de fabricar mais de 600 espécies diferentes de papel. Com isso comprovava a existência de muitas fontes alternativas para a obtenção de papel. Conforme os autores, também na busca para substituir os trapos, Mathias Koops edita um livro por volta de 1800, impresso em papel de palha. No

início do século XIX Koops patenteava o processo da polpação da palha, branqueamento e reciclagem do papel velho para a manufatura do papel novo.

Lima, Rodes e Philipp (1988) mencionam que Friedrich Keller, em 1884, fabricava pasta de fibras utilizando madeira pelo processo de desfibramento, mas ainda adicionava os trapos à mistura. Contudo, conforme os estudos iam evoluindo, descobriu-se que a pasta assim obtida era formada por fibras de celulose impregnadas por outras substâncias da madeira como a lignina. Procurando separar as fibras de celulose da lignina, acabou por descobrirem-se outros processos igualmente importantes para a fabricação do papel como: processo de pasta mecânica, processo com soda, processo com sulfito, processo kraft, entre outros.

As novas semipastas foram importante passo na eclosão de novos processos tecnológicos na fabricação do papel, e a revolução industrial muito contribuiu para as pesquisas deste produto, desenvolvendo um ritmo acelerado para sua produção. Os descobrimentos científicos e os avanços tecnológicos, bem como as necessidades de expansão cultural fizeram com que o papel de fibra vegetal se tornasse cada vez mais indispensável para o homem, e assim as pesquisas se intensificaram na Europa, tornando viável uma infinidade de fibras (HELLER, 1997).

No ano de 1798 foi criado pelo francês Nicolas Louis Robert um equipamento capaz de fabricar papel em máquina de folha contínua. A manufatura de papel utilizando esse tipo de maquinário onde havia a necessidade de remover a folha ainda úmida de papel para a secagem perdurou até o ano de 1821. Em seguida, lançaram-se no mercado, outros tipos de máquinas como a máquina cilíndrica e a máquina de partida automática que possuíam sessões de prensagem e secagem da folha contra cilindros aquecidos a vapor. Esse processo é utilizado até os dias de hoje (LIMA, RODES e PHILIPP, 1988).

A descoberta de branqueadores nos finais do século XVIII foi um grande avanço para a indústria papeleira e a produção do alvejante ampliou a utilização de fibras que até então tinham sido dispensadas. Entretanto, são produtos altamente tóxicos que são liberados ao meio se constituindo uma das maiores fontes de contaminação ambiental. São diversas as pressões ambientais voltadas aos efluentes gerados nas indústrias de celulose e papel e por isso foi necessário investir

no estudo da utilização de tecnologias alternativas de branqueamento para reduzir a utilização de compostos clorados (RUZENE, 2005).

Segundo Cáurio (1988), o Brasil não possui tradição papeleira, não passou como outros países por uma etapa de produção artesanal antes do surto industrial, porque durante todo o período colonial, teve sua produção interdita pela Coroa. Por esse motivo o papel só veio a ser fabricado industrialmente no Brasil no ano de 1889.

Com a descoberta da América verificou-se que povos como os Maias e os Astecas produziam um papel semelhante ao papiro, obtido das cascas de árvores prensadas, conhecido como Amatl e que eram produtos utilizados para registrarem seus dados astrológicos. Esse papel continua sendo fabricado na cidade de San Pablito, México, e constitui fonte de renda para seu povo (CAURIO, 1988).

Ainda hoje o papel artesanal é produzido de forma rudimentar em alguns países como Índia, Paquistão, Nepal, Tibet, Japão entre outros.

### **2.1.1 Caracterização**

Segundo Holanda (1999) o papel é uma pasta de matéria fibrosa de origem vegetal, refinada e, quando necessário, branqueada, contém cola, carga e, às vezes corantes, a qual se reduz, manual ou mecanicamente, a folhas secas finas e flexíveis, bobinadas ou resmadas, utilizadas para escrever, imprimir, desenhar, embrulhar, limpar e construir.

Baer (2001) caracterizou o papel como sendo um material em folhas, com uma estrutura porosa e uma espessura regular e constituída de uma trama de fibras entrelaçadas, quase sempre de natureza vegetal com comprimento máximo de poucos milímetros.

A Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel, ABTCP (2005), define papel como o nome dado a uma folha formada sobre tela, a partir de uma suspensão aquosa de fibras naturais (minerais, vegetais e/ou animais) com ou sem adição de outras substâncias.

Carramillo (1996) descreve o papel como uma substância constituída por elementos fibrosos da madeira e cola que, reduzidos a pasta, se faz secar sob forma de folhas a serem utilizadas para a escrita, desenho, impressão e outros fins. O autor afirma que existem vários processos para a obtenção do papel, que as características do produto estão diretamente relacionadas a eles e suas propriedades variam de acordo com a matéria-prima utilizada.

Webster, citado por Heller (1997) define papel como sendo uma substância feita na forma de folhas finas de trapos, palha, madeira ou outro material fibroso para vários usos. Também o papel pode ser feito de pó, ralado ou de tiras de material celulósico, incluindo linho ou trapos de algodão, madeira e quase todos os tipos de vegetais.

De acordo com Ribeiro (1998) papel é um composto de pastas celulósicas originárias das fibras de vegetais que podem ser fabricados a mão ou a máquina. Sua fabricação consiste em dividir as fibras já selecionadas e maceradas em água, formando uma calda, que pode ser colhida com uma tela ou espalhada em uma camada fina sobre uma superfície filtrante onde a água escorre e pela pressão ou pela secagem o papel é obtido no estado de folhas ou de bobinas. Conforme o autor, dependendo da origem da pasta, pura ou misturada, os papéis podem apresentar qualidades diversas o que também determina sua espécie e seu emprego. O autor afirma que além da pasta utilizada, outros fatores determinam a qualidade do papel: a colagem, a superfície, a cor e os formatos. A colagem influi diretamente na qualidade do papel, dando-lhe mais firmeza, melhor suporte para impressão e conseqüentemente absorve menos tinta. A superfície do papel pode ser determinada durante a prensagem.

A coloração dos papéis pode variar: desde os que conservam seu tom natural, aos mais diversos tons e cores. Existem variados processos para obter papéis de cor, seja submergindo-os em solução corante, aplicando o corante por meio de rolos, ou ainda misturando com a pasta, soluções químicas ou cores de anilina.

Baer (2001) observa que formato é o termo pelo qual são indicadas as dimensões de uma folha de papel. Essas dimensões são expressas em centímetros (ou polegadas, conforme o caso), enunciando primeiramente a largura e

depois a altura da folha, considerada retângulo vertical. Quando a largura é maior do que a altura, é sinal de que o retângulo da folha está deitado.

Segundo Baer (2001), a Associação de Engenheiros Alemães, visando à economia do papel, criou em 1911 um formato padrão conhecido como “Formato Internacional” ou DIN (Deutsche Industrie Normen – normas da indústria alemã), baseado no sistema métrico que consiste no estabelecimento de uma série harmônica de modelos. O tamanho padronizado foi calculado para que a folha tenha sempre a mesma proporção, independente do número de vezes que a folha seja dobrada.

O formato base (A0) é uma folha retangular de papel com uma área de  $1\text{m}^2$  (841x1.189 mm). A proporção entre seu lado maior (a diagonal de um quadrado) é igual a  $1,414 = \sqrt{2}$ .

Dividindo o A0 em duas metades e continuando essa divisão, sempre pelo lado maior de cada retângulo sucessivo, obtém-se uma série de formatos derivados em que a proporção entre seus lados continua sendo a  $\sqrt{2}$ .

Essa é a série A que vai do A0 ao A12. Os números indicam as vezes em que o formato base A0 foi dobrado para se obter cada um dos demais formatos resultantes.

À principal série juntam-se as séries complementares B e C. A série C é reservada para a confecção de artigos, principalmente envelopes, destinados a conter os papéis de série A. A série B é aproveitada para a confecção de pastas e classificadores que contenham os produtos da série C.

De cada um dos três formatos principais pode-se obter formatos oblongos, dividindo o lado menor da folha ou multiplicando o lado menor um número necessário de vezes.

No Brasil adotaram-se para melhor adaptação nas impressoras existentes, os padrões AA (que se lê 2 A) – 76 x 112 cm; BB (que se lê 2 B) – 66 x 96 cm; AM – 87 x 114 cm; cujos derivados Baer (2001) elenca na Tabela 1.

Tabela 1 – Derivados dos formatos de uma folha fé papel adotados no Brasil: AA; BB e AM.

Formato AA		Formato BB		Formato AM	
AA	76 x 112	BB	66 x 96	AM	87 x 114
1/2	56 x 76	1/2	48 x 66	1/2	57 x 87
1/4	38 x 56	1/4	33 x 48	1/4	43,5 x 57
1/8	28 x 38	1/8	24 x 33	1/8	28,5 x 43,5
1/16	19 x 28	1/16	6,5 x 24	1/16	21,7 x 28,5
1/32	14 x 19	1/32	12 x 16,5	1/32	14,2 x 21,7

Fonte: Baer (2001)

Na Figura 1 está representado um esquema da subdivisão normal de uma folha A0 na razão  $1:\sqrt{2}$ .

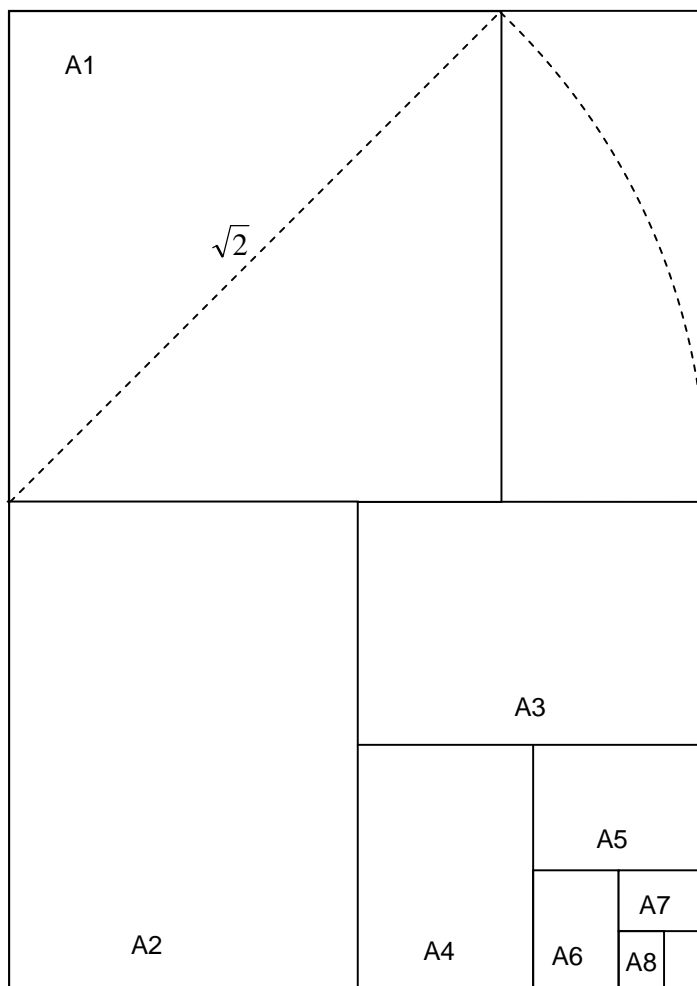


Figura 1 – Esquema da subdivisão normal de uma folha A0 na razão  $1:\sqrt{2}$ .



Craig (1987) observa que todos os papéis possuem características comuns e que quando bem compreendidas, podem ajudar o planejador a escolher o papel correto para o trabalho e que existem seis características básicas do papel: sentido da fibra, peso, corpo, opacidade, cor e acabamento. O autor define sentido da fibra, como sendo a direção na qual as fibras se alinham quando o papel é feito e é nessa direção que o papel se rasga com maior facilidade. É uma consideração de grande importância porque afeta a capacidade de dobra e de impressão. Se o sentido da fibra ocorre longitudinalmente à folha, é chamado “sentido de fibra longo”; se ocorre transversalmente, é chamado “sentido de fibra curto”. Para o termo peso, o autor esclarece-o como um sistema para a comparação da substância papel, que é a gramatura, recomendado pela ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). A gramatura baseia-se no peso em gramas de uma folha de superfície igual a 1 m<sup>2</sup>. A fórmula para o cálculo do peso em um determinado formato é: quantidade de folhas x formato em metro x gramatura.

Corpo é o termo usado para descrever o volume específico do papel. O autor esclarece que de um modo geral, quanto mais áspero o papel, maior é sua espessura, seu corpo, e cita duas formas para medir o corpo do papel. A primeira consiste em medir quatro folhas (oito páginas) com um micrometro (equipamento que possui dois discos planos e paralelos, entre os quais se coloca os corpos de prova). Chamada calibre de quatro folhas, é dada em milésimos de milímetro e referida como micro. Outro método, comum na área de produção de livros, é cotar o número de páginas por centímetros.

O autor descreve opacidade como a capacidade de um papel receber tinta sem que seja visto do outro lado, quando se vira a folha. O que interfere na opacidade é o peso e o corpo do papel e, portanto, quanto mais pesado e volumoso, maior é o número de fibras a retardar a passagem da luz, então maior é sua opacidade.

Existem papéis com ampla série de cores e também grandes variedade de brancos. O que controla a “brancura” do papel é a adição de alvejantes, tinturas fluorescentes, pigmentos e outros aditivos. Pode ir de um branco cremoso a um branco azulado e inclui qualquer branco imaginável entre eles.

Ainda de acordo com Craig (1987) acabamento é o termo que designa a maneira pela qual a superfície do papel foi tratada. A diversificação de tratamento de acabamento do papel resulta numa gama de opções. Os acabamentos especiais como o granulado (pebble), o encrespado (ripple) e o estucado (stucco) são feitos fora da máquina de papel em cilindros de gravação. Também existem os papéis com acabamentos durante a prensagem e os acabados na calandragem, sendo que os papéis revestidos são acabados tanto na máquina de papel como fora dela.

Baer (2001) especifica as características físicas do papel. A gramatura que é o peso do papel expresso em  $\text{gramas/m}^2$ , referente a uma amostra com um metro quadrado de superfície, sua medição se realiza, em corpos-de-prova. A pesagem é efetuada em condições-padrão de 50% de umidade relativa e a uma temperatura ambiente de 23°C. Por afetar a maioria das propriedades do papel é costume referir algumas propriedades à gramatura, por exemplo, o índice de tração que é o quociente entre a resistência à tração e a gramatura. A rigidez da folha (ou resistência à flexão estática), a resistência oferecida por uma folha ao ser curvada, grau de absorção da folha, o grau de colagem (a colagem tem como finalidade evitar que a tinta se expanda sobre o papel e que as fibras absorvam água), a aspereza superficial (característica importante em relação a alguns sistemas de impressão), a porosidade da folha (característica importante nos papéis para impressão) e o acabamento (indica o conjunto de características superficiais do papel, ligadas a seu aspecto visual e tátil).

Como característica mecânica Baer (2001) se refere à resistência do papel à tração; resistência ao estouro (arrebentamento) medida em  $(\text{Kgf/cm}^2)$  ou KPa, resistência ao rasgo expressa em g/f e resistência a dobras duplas, ou a repetição de dobras pela necessidade em produtos para embalagem, por exemplo. Para as características de superfície o autor destaca o revestimento aplicado sobre a superfície da folha de papel. Com a finalidade de torná-la mais uniforme e menos áspera entre outros benefícios que este revestimento resulta. O autor esclarece que nas características químicas os valores do pH exprimem a atividade ácida ou alcalina de uma solução aquosa, ou seja, da água absorvida pelas fibras do papel e é o seu

controle que vai oferecer condições adequadas para a diversidade de utilização do papel.

As características funcionais são determinadas pela: a) capacidade de absorção de tinta, o que Craig (1987) chamou de opacidade; b) imprimibilidade; c) arrancamento ou arrepelamento superficial (“pick”), característica importante na impressão tipográfica e em offset. O autor esclarece que para evitar o arrancamento, (remoção de pedaços da superfície do papel durante a impressão, quando a força de arranque ou pega da tinta, é maior do que a resistência da superfície do papel), estes devem ser adequadamente colados para resistir à umidade sempre presente neste tipo de impressão. Além de a tinta offset ser mais pegajosa do que as usadas na tipografia e rotogravura; d) pulverulência superficial (fluff) pó resultante de defeitos de corte ou de fabricação; e) resistência à água de umedecimento e f) estabilidade dimensional que Baer (2001) esclarece ser pelo fato da estrutura higroscópica das fibras, (o papel pode se encolher ou se expandir com a variação do teor de umidade).

### **2.1.2 Classificação**

Holanda (1999) classifica o papel segundo:

- a) processo de produção (papel de forma e papel de máquina);
- b) natureza das fibras empregadas (papel de trapos, papel de linho, papel de palha, etc.);
- c) acabamento dado à folha (papel apergaminhado, acetinado, papel couchê, etc.);
- d) a destinação do papel (papel de escrever, papel de impressão, papel de embrulho, etc.);
- e) certas procedências que indicam qualidade ou especialização (papel da China, papel da Holanda, papel de Oxford, etc.) e,
- f) os papéis podem ser ainda transformados para empregos específicos (papel betumado, papel carbono, papel fotográfico, etc.).

CRAIG (1987) classifica em 5 grandes categorias os papéis utilizados no Brasil e utiliza os nomes genéricos para descrever os principais:

a) imprensa e livros que se dividem em: acetinado, bíblia, bouffant, cuchê, ilustração, imprensa, jornal e offset;

b) papéis para escrever; os tipos mais comuns são: apergaminhado ou sulfite, correspondência aérea, flor-post, registro ou Ledger e super bond;

c) papéis para embalagem: embalagem H. D.; kraft; manilha, monolúcido, para caixas e forros, seda e strong;

d) papéis industriais: cigarros, desenho, higiênico e mata-borrão;

e) cartões: duplex, triplex e cartão de primeira.

Baer (2001) acrescenta a estes os papéis sintéticos e afirma que são dotados de ótimas características de resistência à umidade e ao rasgo superficial, é de grande durabilidade e pulverulência superficial inexistente. O autor destaca que para esses papéis é necessária a utilização de tintas especiais e a manutenção da temperatura e da umidade estáveis durante a impressão, como também, mais tempo para a limpeza das máquinas e a secagem dos impressos.

Quanto ao processo de produção de pastas celulósicas para a fabricação de papel, Craig (1987) cita dois métodos básicos: o processo mecânico e o processo químico. Segundo o autor, o processo mecânico é o método mais simples e econômico de transformar árvores em pasta, contudo, pela moagem das toras o tamanho da fibra é reduzido e resulta num papel pouco resistente. Já no processo químico a tora de madeira não é moída e sim transformada em pequenos cavacos que passam por uma ação química (sulfito, kraft ou soda), em um digestor, onde são cozidos e transformados em uma pasta de fibras individuais pela dissolução da lignina, (elemento que mantém as fibras agregadas). O resultado é um papel mais forte, mais brilhante e de maior durabilidade do que o papel resultante da pasta mecânica.

Craig (1987) afirma que a escolha das fibras é responsável, em grande parte pelas características básicas do papel e que a massa feita de árvores de

madeira mole tem fibras longas, que dão resistência ao papel e a massa feita de árvores de madeira dura tem fibras curtas, que dão ao papel opacidade e corpo.

Conforme a *Technical Association of Pulp and Paper Industry* – (TAPPI T 203 om-88) a composição química da madeira varia de espécie para espécie, mas, em geral a madeira contém muitas substâncias diferentes, as quais podem ser divididas em quatro componentes: 1) celulose; 2) hemiceluloses; 3) lignina e 4) extrativos. A composição química e as propriedades desses componentes é que fazem a diferença no processo de polpação sendo que deve ser retido o máximo possível de celulose e de hemicelulose, enquanto a lignina e os extrativos são componentes que devem ser removidos das fibras da madeira durante o processo de polpação.

## 2.2 Celulose e papel

Basicamente os materiais lignocelulósicos são compostos por celulose, hemiceluloses, lignina e constituintes menores. D’Almeida (1988) esclarece em seu estudo sobre composição química dos materiais lignocelulósicos, que a celulose é o principal componente da parede celular de uma fibra. É um polissacarídeo linear, constituído por um único tipo de unidade de açúcar e difere da hemicelulose, que também é um polissacarídeo, por esta ser constituída por vários tipos de unidades de açúcares, além de serem polímeros ramificados e de cadeia mais curta. A lignina é um polímero amorfo, de composição química complexa, que dá firmeza e rigidez ao conjunto de fibras de celulose. Os constituintes menores, também denominados extrativos, são os compostos orgânicos de diversas funções químicas e ainda, em menor quantidade, os inorgânicos que são solúveis em água, em solventes orgânicos ou em ambos.

De acordo com a (TAPPI T 203 om-88), quimicamente a celulose é definida como um polímero de carboidrato complexo, classificado como polissacarídeo, cujo monômero glicose é ligada numa longa cadeia de moléculas idênticas (monossacarídeos) unidas através de ligação do tipo  $\beta$  por meio dos carbonos 1 e 4. A unidade molecular na celulose é a glicose, a qual é um açúcar. Sua

fórmula química é  $(C_6 H_{10} O_5)_n$ , onde  $n$  é o número de repetição da unidade de glicose e é também chamado de grau de polimerização (D P). O valor do  $n$  varia com as diferentes fontes de celulose. Durante a polpação num digestor, o grau de polimerização decrescerá até determinado ponto. É importante não decrescer muito para que não resulte em uma polpa debilitada (fraca).

Atchison (1987) observa que a celulose na madeira tem um grau médio de polimerização por volta de 3.500, enquanto celulose em polpa tem um grau de polimerização em torno de 600 a 1.500.

Dentre os materiais lignocelulósicos, depois da celulose, a lignina é a macromolécula orgânica mais abundante na estrutura de um vegetal. Essa substância é incorporada ao vegetal durante seu crescimento e é composta basicamente de unidades de fenilpropano, formando uma macromolécula tridimensional e amorfa e representa de 20 a 30% da massa total do material lignocelulósico.

As hemiceluloses, ou polioses, são compostas por diferentes unidades de açúcares formando cadeias ramificadas e estão intimamente associadas à celulose na parede da célula vegetal (FENGEL, WEGENER 1989).

### **2.3 Classificação das fibras**

Koga (1988) classifica as fibras utilizadas na fabricação de pastas celulósicas e papel, destacando que as mais utilizadas para este fim são as de origem vegetal, sendo que as de maior importância são as fibras da madeira, do grupo das dicotiledôneas arbóreas (Angiospermae) e das coníferas (Gymnospermae). Segundo a autora, além da parte lenhosa, proveniente dos troncos das árvores, as fibras podem vir de folhas (sisal) e de sementes (algodão). Acrescenta que isoladamente ou em conjunto com as fibras de origem vegetal podem ser utilizadas as fibras de origem animal, mineral e sintética. (Figura 1)

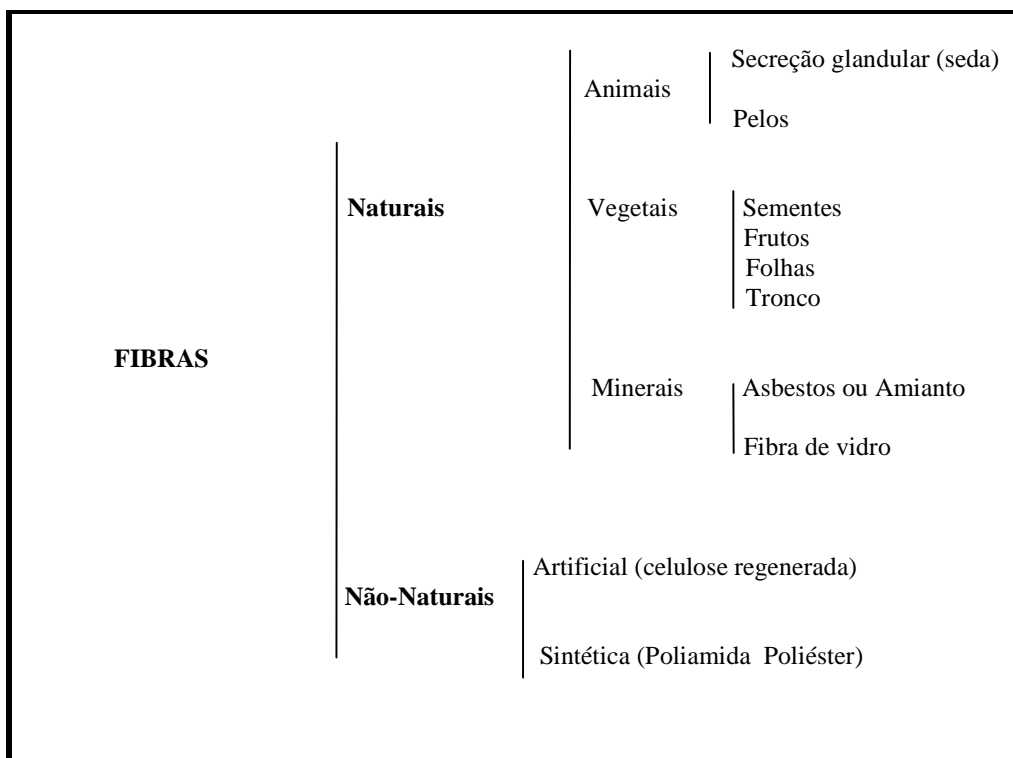


Figura 2 - Classificação das Fibras. Fonte: Koga - 1988

### 2.3.1 Fibras animais

De acordo com Araújo e Castro (1988) as fibras de origem animal são as constituídas por pêlos e as produzidas por secreção glandular de alguns insetos. As fibras constituídas por pelos provêm dos bulbos pilosos de animais como a ovelha, a alpaca, a vicunha, a lhama entre muitos outros que produzem a lã. As fibras obtidas pela secreção glandular, a seda, provêm das glândulas sericígenas, sob a forma de filamentos de fibroína, ligados por sericina, de insetos como o *Bombix mori*, *Antheraea mylita* e *Antheraea perni*.

### 2.3.2 Fibras minerais

O asbesto (do grego, significa indestrutível, imortal, inextinguível) é também conhecido como amianto. São fibras provenientes de rochas

com estrutura fibrosa; constituídas essencialmente por silicatos se dividem em dois grupos: as serpentinitas e os anfibólios. No grupo das serpentinitas a principal variedade é a crisotila ou amianto branco, apresentando as fibras mais curvas e maleáveis, enquanto que o grupo dos anfibólios são compostos por fibras duras, retas e pontiagudas, agrupando-se em cinco variedades principais: amosita (amianto marrom), crocitolita (amianto azul), antofilita, tremolita e actinolita. Nos processos de extração existem proporções variáveis dos tipos das fibras.

Comercialmente os mais importantes comercialmente são o amianto marrom e o amianto azul, sendo que são também os mais prejudiciais à saúde e por isso vêm sendo proibidos em vários países, como Alemanha, França, e Itália.

A extração do amianto era feita por via seca até 1980, o que propiciava a pulverização de pequenas fibras que eram inaladas ocasionando danos à saúde dos trabalhadores. Depois de 1980, o processo de extração foi se modificando e passou-se a extrair o minério por via úmida, ou seja, através de jatos direcionados de água, que diminui o número de partículas inaláveis presentes no ambiente da mina.

O amianto crisótila é o que se utiliza na indústria têxtil e papelreira, por ter suas fibras maleáveis e curvas. Uma das principais características da fibra é sua alta resistência mecânica, (comparável à do aço), incombustibilidade, baixa condutividade térmica, boa capacidade de isolamento elétrico, acústico e de filtragem, apresentando ainda grande resistência a produtos químicos, ao desgaste e à abrasão. Todas essas qualidades permitem que o produto seja utilizado na fabricação de uma lista diversificada de itens. Daí sua aplicação na confecção de mantas para isolamento térmico de caldeiras, motores e equipamentos diversos utilizados nas indústrias química e petrolífera, na produção de roupas especiais (macacões, aventais e luvas) e biombos de proteção contra fogo.

A produção de laminados de papel ou papelão obtidos das fibras de amianto crisótila, que, agregados a uma matriz revestidas ou fixadas por substâncias como resina e grafite, permitem sua utilização no isolamento térmico de fornos, caldeiras, estufas e tubulações de transporte marítimo.

A indústria automotiva, onde a resistência térmica é tão importante quanto a resistência à ação de agentes químicos e biológicos, se beneficia



dos tecidos e papelões de amianto crisótila que são utilizados na produção de juntas de revestimento e vedação e para guarnições diversas.

A crisótila é encontrada na forma de veios compactos de fibras no interior da rocha serpentinito. As fibras geralmente estão dispostas perpendicularmente às paredes dos veios e seu comprimento é de 1 a 25 mm.

Embora o amianto esteja proibido em muitos países desde a década de 90, o Brasil está entre os cinco maiores produtores do mundo, sendo também um grande consumidor, o empregando em milhares de produtos principalmente na construção civil.

### **2.3.3 Fibras não-naturais**

Durante séculos, apenas se usaram as fibras naturais para a fabricação de papéis e têxteis e em meados do século XVII começa a especulação sobre a possibilidade de se produzir as fibras quimicamente. Mas foi no século XX que as fibras químicas passaram a representar uma alternativa para as necessidades industriais. Graças às excelentes qualidades, as fibras químicas tiveram expandida sua gama de utilização. Contudo foi um processo longo de tentativas e erros. Iniciou-se no século XVIII, pelos franceses, alemães e ingleses, mas somente no ano de 1921, na Inglaterra, desenvolveu-se a produção de viscose, conhecida como a primeira fibra artificial (ARAUJO e CASTRO, 1988).

Segundo Araujo e Castro (1988), as fibras produzidas pela indústria química podem ser divididas em artificiais e sintéticas. As fibras artificiais, também conhecidas como fibras regeneradas são fibras reconstituídas a partir de elementos naturais modificados por reações químicas, como a celulose, substância fibrosa encontrada na pasta de madeira ou no linter do algodão (fibra curta restante na semente do algodão após o descaroçamento).

As fibras sintéticas são as obtidas artificialmente por síntese química. Diferente das fibras artificiais que partem de um elemento natural, as fibras sintéticas surgem da combinação de substâncias artificiais que se combinam por reação química, resultando daí uma macromolécula de cadeia comprida.

Os filamentos fundidos passam por uma câmara de solidificação sob uma corrente de ar frio. Segue-se a estiragem, multiplicando o comprimento do fio até trinta vezes. Desde 1940 quando o nylon foi descoberto, sucessivos experimentos vêm sendo realizados. Pode-se dizer que as fibras sintéticas revolucionaram toda a indústria têxtil com o poliéster, o acrílico, o polipropileno e a lycra entre muitos outros.

De um modo geral as fibras, tanto as artificiais como as sintéticas, tomam sua forma final através de estiramento, realizado por meio de dois processos básicos: no primeiro, as fibras são estiradas durante o processo de solidificação; no segundo, o estiramento é feito após estarem solidificadas, contudo, nos dois casos o diâmetro da fibra é reduzido e sua resistência à tração é aumentada.

Estas fibras podem ser apresentadas em três formas: monofilamentos, multifilamentos e fibra cortada. O primeiro é um único filamento contínuo. O multifilamento é a união de dois ou mais monofilamentos contínuos, unidos paralelamente por torção. A fibra cortada é resultante do seccionamento, em tamanhos determinados, de um grande feixe de filamentos contínuos.

A fibra cortada pode ser utilizada nos mesmos equipamentos para processar o algodão e se utilizam numa mistura íntima com as fibras naturais. Resultam numa mescla de características de resistência e durabilidade das fibras químicas e do toque e conforto das fibras naturais. Formam fios mais volumosos do que os demais, o que possibilita seu uso na produção de têxteis com superfícies texturizadas naturalmente, embora as fibras químicas contínuas, dependendo de seu processamento, possam adquirir certas características, inclusive de textura.

A introdução na indústria têxtil e papelreira, como também no consumo de seus produtos, as novas fibras não naturais vieram proporcionar a melhoria de muitos produtos, no que se refere à durabilidade, conservação e comportamento durante o uso, principalmente quando misturadas com fibras naturais como lã e algodão. Mas também novas exigências se criaram impulsionando a investigação para a produção de novas fibras, desde produtos para o vestuário, produtos domésticos, até as variações impostas para produtos de segurança e para viagens espaciais.

Atualmente, com a procura de maior desempenho, as indústrias de papéis para filtros têm desenvolvido papéis formados de uma mistura de diferentes tipos de celulose adicionados a diferentes tipos de fibras sintéticas. Essas combinações podem determinar melhores características de filtragem como resistência à umidade, ao calor e alta resistência aos solventes.

### **2.3.4 Fibras vegetais não-madeiras**

Para Alban (2005) o consumo de papel derivado da indústria madeireira é uma das causas de desflorestamento no mundo, justificando assim a preocupação para encontrar alternativas para a fabricação do papel.

Visperas et al (1984) apontam para a importância do uso de resíduos agrícolas em processos de polpação com álcool etílico, como sendo uma alternativa para fábricas de pequena escala de produção, apresentando inúmeras vantagens: alto rendimento, recuperação da lignina, redução da poluição e de compostos malcheirosos, além de ter sua implantação com custo reduzido.

Rojas (1996), em seus estudos sobre a viabilidade técnica para obtenção de pasta celulósica utilizando fibras da ráquis da bananeira, oriunda de resíduos agro-industriais, obteve resultados positivos, que indicam sua aplicação.

Atchison (1989) menciona que a tecnologia industrial desenvolvida para o beneficiamento e produção de celulose para bagaço de cana de açúcar e bambu demonstra ser aplicável com êxito a qualquer fibra anual. Equipamentos foram desenvolvidos e continuamente aperfeiçoados para o beneficiamento desses tipos de materiais, objetivando basicamente a separar os grandes feixes e fibras expondo a medula por fricção ou por ruptura mecânica afrouxando-a das fibras, separando-se duas frações numa só operação.

Os equipamentos empregam um rotor munido de martelos móveis, que circundam completamente os pratos de malhas perfuradas, através dos quais passa a fração de medula podendo ser coletada separadamente da fração das fibras.

A produção de polpas a partir de resíduos vegetais pode ser economicamente viável dependendo do tratamento aplicado ao material. Processos químicos requerem cuidados no descarte dos resíduos do processo de produção, mas é necessário em maior ou menor intensidade nos outros processos para deslignificação do material celulósico.

Embora a utilização das diversas fibras na produção de pastas celulósicas possa ser relatada, sejam elas utilizadas isoladamente ou em mistura com as fibras vegetais, as de maior importância econômica são as fibras da madeira conforme relata Koga (1988). Do grupo das dicotiledôneas arbóreas (Angiospermae) e das coníferas Gymnospermae que são também conhecidas por folhosas e resinosas.

A importância de pastas provenientes de fibras de plantas anuais, ou seja, que não apresentam características arbóreas e, portanto, não formam madeira é relatada por LOPEZ *et al* (2000) e representam entre 5 e 7% do total de polpa produzida no mundo. São em grande parte, fibras provenientes de resíduos agro-industriais que, por sua abundância e também por suas propriedades especiais, produzem pastas de qualidade para a fabricação de papel.

Do ponto de vista papeleiro as fibras geralmente são classificadas em fibras longas com comprimento médio de 2 a 5 mm e fibras curtas variando em média de 0,5 a 1,5mm. Na Tabela 2 apresentam-se alguns exemplos de dimensões e suas origens.

Tabela 2 – Dimensões características das fibras de algumas espécies vegetais.

Nome botânico	Nome comum	Comprimento fibra (mm)	Largura da fibra $\mu\text{m}$
<i>Musa textilis</i>	Abacá	3,0 a 12,0	16 a 32
<i>Ananás comosus</i>	Abacaxi	2,5 a 10,0	4 a 8
<i>Gossypium sp.</i>	Algodão	12,0 a 33,0	16 a 22
<i>Avena sativa</i>	Aveia	0,8 a 2,8	12 a 16
<i>Bambusa sp.</i>	Bambu	0,9 a 6,5	7 a 50
<i>Cannabis sativa</i>	Cânhamo de Maurício	5,0 a 55,0	16 a 50
<i>Juncus sp.</i>	Junco	1,0 a 1,8	10 a 20
<i>Corchorus sp.</i>	Juta	1,5 a 5,0	20 a 25
<i>Linum sp.</i>	Linho	6,0 a 60,0	25 a 35
<i>Boehmeria sp.</i>	Rami	60,0 a 250,0	10 a 80
<i>Agave sisalana</i>	Sisal	1,5 a 4,0	20 a 32
<i>Typha latifolia</i>	Taboa	10,0 a 25,0	15

Fonte: Koga, (1996).

KOGA (1988) apresenta características de algumas das fibras provenientes de vegetais, que não formam madeira e que são utilizadas na fabricação do papel:

Bambu, planta lenhosa da família das bambusaceas ou das gramíneas. Do ponto de vista papeleiro, as principais espécies são: *Phyllos-tachys spp*, *Bambusa tuldoides*, *Bambusa vulgaris* e *Dendrocalamus spp*.

Bagaço de cana (*Saccharum officinarum*), matéria-prima de origem agrícola de muita importância para a produção de celulose e uma das mais promissoras fontes de fibras para a indústria papeleira. Esse tipo de celulose é usado para quase todos os tipos de papéis: embalagem, impressão, escrita, fins sanitários, impermeável, miolo de papelão ondulado, capa de corrugado, papelões branqueados, periódicos e papel jornal.

Linter de algodão (*Gossypium sp*), as fibras que acompanham a semente do algodão variam consideravelmente em comprimento. As fibras longas, são destinadas à indústria têxtil e as fibras curtas são utilizadas para a fabricação de algodão hidrofílico, indústria de fibras sintéticas (raion e acetato de celulose), papel moeda, etc. O comprimento das fibras varia entre 10 a 40 mm e sua largura está entre 12 a 38  $\mu\text{m}$ .

Linho (*Linum usitatissimum*), além de ser muito utilizado na indústria têxtil constitui-se como fonte de fibras para a indústria de papéis especiais (mapas, cigarros, carbonos).

Rami (*Boehmeria nivea*), fibras longas e muito resistentes. Possuem alto teor de celulose (86%).

Crotalaria (*Crotalaria juncea*), é uma planta da família da leguminosa de crescimento rápido e de ciclo anual, sendo que as fibras interessantes são as da casca. O comprimento médio de suas fibras é de 7,5 mm e a largura 30  $\mu\text{m}$ . No Brasil é utilizada na manufatura do papel de cigarro.

Kenaf (*Hibiscus cannabinus*), vegetal de ciclo anual. Planta fibrosa de grande potencial para a indústria papeleira. Comprimento médio da fibra é de 6 mm e a largura, 24  $\mu\text{m}$ .

Abacá (*Musa textilis*), espécie de bananeira nativa das Filipinas e Indonésia. As fibras de suas folhas fornecem papel resistente de alta densidade.

Sisal (*Agave sisalana*), é uma das principais fibras duras do mundo. A utilização do sisal para produção de papéis de alta resistência é prática comum no nordeste brasileiro.

Fórmio (*Phormium sp*), produzem pastas celulósicas de alta resistência. São fibras longas (7 mm) e estreitas (15 $\mu\text{m}$ ).

Palhas de cereais (trigo, aveia, centeio, cevada, arroz e milho) são obtidas de vegetais pertencentes à família das Gramíneas. Caules e folhas são utilizados como matéria-prima para a produção de celulose. A celulose obtida geralmente pelo processo soda, é usada na forma branqueada para a fabricação de papéis e papelões.

### **2.3.5 Fibras vegetais – folhas**

Silva (1999) esclarece que estas fibras provêm das folhas de certas plantas e são constituídas essencialmente por celulose e proteínas. O agave é um exemplo desses tipos de fibras. Popularmente chamado de sisal é uma fibra típica de países tropicais. Seu nome científico é *Agave sisalana*, suas fibras possuem

qualidade e resistência superior às outras fibras naturais. É antialérgico, acústico e não propaga fogo. No Brasil, o Agave tem sua produção concentrada na região nordeste do país, Bahia e Paraíba. É utilizado na fabricação de cordas, tapetes, carpetes, cordoaria em geral, estoparia e na fabricação de papéis de alta resistência. O caldo resultante de seu processamento pode ser empregado na obtenção de melaço, álcool industrial, cera, gás e biofertilizantes. A planta tem sua estrutura principal no caule, dando origem e sustentação às folhas, podendo ser observado na Figura 3. A altura de seu caule chega a atingir até 1,20 m com diâmetro de 0,20 cm. Suas folhas são duras, de cor verde escuro e sua forma é linear lanceolada com comprimento que varia entre 120 e 160 cm, com superfície côncava.



Figura 3 – Cultivo de sisal híbrido para produção de fibra. Fonte: EMBRAPA - 2006

Durante seu ciclo, uma planta de agave produz entre 200 a 250 folhas que chega a pesar 700 gramas cada uma. Por ser uma planta monocárpica (floresce apenas uma vez) no final de seu ciclo vegetativo, se caracteriza pela produção de folhas curtas, estreitas e ponteagudas localizadas ao redor do ponto apical. É nessa fase que emerge do ápice de seu caule um pendúculo floral de 6 a 8 metros de altura apresentando ramos de grupos de flores de cor branca ou ligeiramente esverdeada.

Silva (1999) comenta que para o processo de obtenção das fibras é necessário o desfibramento, as folhas são separadas por tamanho em função da melhora do rendimento e da qualidade. A seguir, as mesmas passam por uma máquina que ao golpeá-las elimina a polpa que envolve as fibras. Após o desfibramento estende-se as fibras para secagem em espaldadeiras de arame, ao sol. Para secarem e alvejarem, apenas dois dias de sol são necessários. São armazenadas em feixes de 15 a 30 kg, bem esticados em local arejado. Assim, as fibras estão prontas para serem processadas.

### **2.3.6 Fibras vegetais – sementes**

As fibras obtidas da semente provêm das células epidérmicas da semente de certas plantas, têm estrutura unicelular e, em sua maioria, são constituídas inteiramente por celulose, como exemplo o algodão (ARAUJO E CASTRO, 1988).

Segundo os autores, o algodão é uma fibra esbranquiçada que constitui o revestimento piloso do fruto do algodoeiro (*Gossypium*). A utilização da fibra do algodão data de 7000 anos, o que é comprovado por achados arqueológicos na China, Paquistão, Índia e Egito de produtos dessa fibra, alguns datando de 5800 anos antes de Cristo. Assim conclui-se que o algodão está ligado à origem mais remota do têxtil e que teve grande importância cultural e econômica no mundo antigo. No mundo moderno, a cultura do algodão continua sendo de grande importância e foi muito aperfeiçoada na América do Norte à partir do século XVIII. Os maiores produtores mundiais atualmente são os Estados Unidos, a China, Índia e o México,



com produções consideráveis no Egito, Turquia e Moçambique. No Brasil os estados produtores são o Paraná, São Paulo, Goiás, Mato Grosso e Bahia.

Segundo Araújo e Castro (1988), a estrutura das fibras do algodão é monocelular e o ciclo de desenvolvimento das fibras inicia-se três dias após a floração, levando até um mês para estar completo. A qualidade do algodão varia de acordo com o algodoeiro, algumas espécies fornecem fibras mais compridas que outras. Sua utilização mais relevante é na indústria têxtil. Conforme os autores, a composição química da fibra do algodão é pura celulose, com pequena porcentagem de impurezas como ceras, gomas, proteínas, pectinas, óleos e materiais corantes, que são removidas por lavagens e branqueamento. A celulose é constituída por moléculas unidas pelo grupo OH. São longas cadeias dispostas nas fibras paralelamente, formando uma espiral. Esta estrutura espiralada é que confere grande resistência à tração e à estabilidade dimensional, considerando que o algodão tem em sua composição 85,5% de celulose.

Algumas operações se fazem necessárias para a utilização das fibras do algodão como: processos de colheita; separação das fibras; lavagem e cardação. Segundo os autores, o processamento será específico para o fim que se planeja.

Carramillo (1997) comenta que a fibra do algodão foi bastante utilizada na forma de trapos até o século XVIII para a produção de papéis.

### **2.3.7 Fibras vegetais – frutos**

Vidal (1999) cita que são fibras provenientes do fruto de algumas plantas e se constituem essencialmente por celulose, com substâncias incrustantes e intercelulares formadas por hemicelulose e lignina. O coco é um exemplo, da família botânica Palmae, conhecido como coco da Bahia, seu nome científico é *Cocos nucífera*. É uma palmeira de até 30 metros de altura e suas folhas chegam até 3 metros de comprimento, floresce o ano todo, sendo que no verão sua floração é mais abundante.

O autor descreve o fruto como sendo de forma ovóide, com 25 cm de comprimento e 15 cm de diâmetro, seu fruto tem a casca lisa e coloração esverdeada, tornando-se castanho quando maduro. Existem algumas variedades dessa planta que basicamente se cultiva em regiões de clima quente de terrenos arenosos, a partir de cocos-sementes provenientes das plantas matrizes.

Murray (2001) afirma ser esta uma planta de grande longevidade, podendo viver até além dos 150 anos. Inicia a produção dos frutos dos seis aos nove anos de idade, estabilizando-se aos doze anos, alcançando em média 70 cocos por planta ao ano.

Conforme pesquisa desenvolvida na Universidade del Valle, em Cali, Colômbia, no curso de engenharia química, pelo engenheiro Fred Albán, a celulose presente na casca do coco verde é ao redor de 35% (dentro dos padrões industriais, a porcentagem mínima de celulose para a produção de papel é de 33%).

A principal fibra do coco verde é denominada *Ananás erectifolius* e é bastante curta, motivo pelo qual não pode ser utilizada como matéria-prima única para a fabricação de papel. Entretanto, podem ser misturadas a outro tipo de polpa com fibras longas que dão as qualidades necessárias como resistência e flexibilidade ao papel, podendo concluir que dessa forma, ou seja, associada a outros materiais, pode-se obter grande variedade de papéis, com diferentes aspectos, texturas e cores.

A obtenção da fibra do coco é realizada somente do mesocarpo (porção do fruto, a qual, quando estes são carnosos constitui a polpa) e é um processo completamente artesanal e consiste em primeiramente separar a casca do fruto, utilizando uma cunha que fará a retirada da polpa. Na indústria esse processo é realizado em autoclave. As cascas devem ser maceradas facilitando assim o desfibramento, separando a parte celulósica da semi-celulósica. As fibras são lavadas em água corrente para a retirada parcial da lignina, a seguir procede-se à secagem que pode ser realizada em estufas ou até mesmo ao sol. Como é uma fibra que pode ser utilizada em diferentes produtos, a partir da etapa de secagem, os procedimentos podem variar conforme o fim que se planeja.

### **2.3.8 Fibras vegetais – caule**

Segundo Araujo e Castro (1987), as fibras obtidas do caule provêm do líber (tecido condutor da seiva elaborada ou orgânica nos vegetais) de certas plantas e são constituídas essencialmente por celulose, formada por substâncias pécicas e proteínas. Como exemplo pode-se citar o linho, a juta e o rami. Para o autor é da planta *Linum usitatissimum* comumente chamada Linho que se obtém uma fibra longa, podendo alcançar 60 mm e, por isso, é muito utilizada na fabricação de tecidos. Têm-se registros de seu uso desde tempos pré-históricos. Seu plantio ocorre em terrenos sílico-argilosos e a duração de seu ciclo é de um ano. A colheita pode ser manual ou mecânica e a planta é arrancada com a raiz, com a finalidade do aproveitamento de todo o comprimento dos caules. A planta do linho chega a atingir um metro de altura e é composta de uma substância fibrosa, da qual se extraem as fibras longas para o uso têxtil e papeleiro.

Outro exemplo de fibra de caule é da parte aérea da mandioca que pela sua alta disponibilidade e concentração de fibras, em torno de 30,18% em peso seco representam potencialidades de aproveitamento (HILARIO, 2005).

## **2.4 Caracterização da mandioca**

### **2.4.1 Características gerais**

A mandioca é uma planta fibrosa, perene, arbustiva, classificada na família das Euforbiáceas, de nome científico *Manihot utilíssima*, ou *Manihot esculenta* Crantz, Figuras 4 e 5. Cultivada em países entre as latitudes 30° N e 30° S em relação à linha do Equador. Sua cultura é encontrada em abundância no Brasil, o segundo maior produtor mundial desse produto. A parte mais importante da planta são as raízes tuberosas, ricas em fécula, utilizadas no setor alimentício (IROLIVEA *et al*, 1998).



Figura 4 - Plantação de mandioca.  
Fonte: Agriannual – 2000.



Figura 5 - Detalhes da planta da mandioca.  
Fonte: Agriannual – 2000.

Arbusto originário dos Andes peruanos, a mandioca, maniveira ou maniva, foi cultivada por várias nações indígenas da América Latina que consumiam suas raízes; no Brasil o hábito de cultivo e consumo continua com a raiz.

Segundo Cereda (2001), a mandioca é uma cultura disseminada por todo território nacional, desde plantações de fundo de quintal até áreas extensivas, mais comuns no sudeste e nordeste do país.

O Brasil é um dos maiores produtores de mandioca do mundo e possui uma das maiores áreas cultivadas com um dos melhores rendimentos por unidade de área. A região Nordeste é responsável pela maior produção brasileira de mandioca seguida pela região Sul, Norte, Sudeste e Centro-Oeste. Na região Sudeste, o Estado de Minas Gerais é líder na produção de mandioca (860 mil toneladas), seguido pelo Estado de São Paulo (563 mil toneladas). A produção brasileira de mandioca foi estimada pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) em cerca de 27 milhões de toneladas, em uma área de 1,55 milhões de hectares.

A planta da mandioca é um arbusto de cerca de 2 metros de altura. A parte mais importante da planta são as raízes tuberosas, ricas em fécula, utilizadas na alimentação humana e animal, ou como matéria-prima para diversas indústrias.

Lorenzi (2003) esclarece que a planta da mandioca é de multiplicação vegetativa e que para o êxito da cultura a seleção das ramas é fundamental para evitar problemas posteriores. As ramas devem ser provenientes de lavouras sadias, com ótimo estado fitossanitário e ter idades entre 8 e 12 meses, quando se apresentam desenvolvidas, maduras e com bom diâmetro. As melhores manivas (pequenos segmentos do caule) provêm do terço médio da planta.

Roca *et al.* (1988 apud Viana *et al* 2002) pondera que na seleção de ramas deve-se considerar a densidade (relação entre o peso e o volume das manivas, características que determinam a capacidade de brotação); outro item importante é a idade da planta e o diâmetro da haste. Ramas maduras e bem desenvolvidas, com idade entre 8 e 18 meses fornecem material de plantio de boa qualidade.

Lozano *et al.* (1982 apud Viana *et al* 2002) afirma que plantas mais jovens de mandioca, por apresentarem grande proporção de tecidos verdes e tenros, e plantas mais velhas pela intensa lignificação, não são ideais para o fornecimento de ramas para plantio.

A raiz tuberosa, rica em amido, é a parte mais importante da planta e é utilizada principalmente na alimentação humana e animal. Por ser considerada uma grande fonte de carboidratos é também utilizada como matéria-prima em indústrias de amido e farinha, além de outros produtos.

Conforme Cereda (2001) a utilização da mandioca é feita em duas opções: o consumo culinário doméstico e o uso industrial, pelo qual se processa a farinha de mandioca procedendo à extração da fécula e sua transformação em polvilho azedo. A utilização culinária, pela pequena quantidade processada, não gera resíduo significativo, entretanto, na utilização industrial, por ter processamento maior, os subprodutos podem apresentar problemas na deposição de seus resíduos, causando sérios danos ambientais além do desperdício de rendimentos para os produtos, considerando as quantidades geradas e a composição dos subprodutos.

Os subprodutos são gerados em função do processo tecnológico adotado. Fatores como cultivo, idade da planta, tempo após a colheita, tipo e regulagem do equipamento industrial é que determinarão a qualidade e a quantidade

dos subprodutos. Nos principais tipos de processamento das raízes da mandioca no Brasil (fabricação da farinha e extração da fécula), os subprodutos gerados podem ser sólidos ou líquidos. Dentre os subprodutos sólidos estão a casca marrom, entrecasca, descarte ou calcanhar, crueira, folhas, caule ou maniva, cepa, bagaço e varredura. Dos subprodutos líquidos estão a manipueira ou água vegetal, água na extração da fécula e a água de lavagem das raízes que (CEREDA, 2001) representa no Quadro 1.

Quadro 1 - Quantificação de resíduos na industrialização da mandioca no sudeste brasileiro.

<b>Resíduo/tonelada de raiz:</b>	<b>Matéria úmida</b>	<b>Umidade</b>	<b>Matéria seca</b>
<b>Líquidos:</b>			
Água de lavagem das raízes Lavador contínuo	2 600 L	-	-
Água de lavagem das raízes Lavador descontínuo	800 L	98%	16,0 Kg
Água na extração da fécula	3 700 L	98%	74,0 Kg
Manipueira de farinha	150 a 400 L	97%	22,5 a 20,0 Kg
Manipueira de fecularia	1 100 L	85 a 95%	55 Kg
<b>Sólidos</b>			
Ramas (maniva)	1 t ou 20 t/ha	60%	400 Kg ou 8 t/ha
Cepa	410 Kg	60%	136 Kg
Descarte ou calcanhar	75 kg	60%	30 Kg
Cascas	45 kg	80%	9 Kg
Farelo	930 kg	85%	140 Kg
Folhas	2,5 t/ha	60%	900 Kg/ha
Crueira	42 Kg	60%	17 Kg

Fonte: Cereda (2001)

De acordo com Lorenzi (2003), o principal derivado da mandioca no Brasil é a farinha que é consumida por todo o país. Contudo o derivado considerado mais nobre é a fécula que é usada na forma bruta ou modificada (química, física ou biologicamente) com tendência de crescimento como insumo industrial de setores estratégicos, como a indústria alimentícia, química, têxtil, farmacêutica, entre outros. Na Figura 6 estão representados os diferentes derivados e formas de utilização da mandioca.

Partes Aéreas	Folhas	Alimentação humana Alimentação animal		
	Hastes	Material de plantio (1/5) Alimentação animal (silagem, feno e <i>in natura</i> )		
Raízs	Alimentação Humana	Cozidas, fritas, farinhas, bolos, biscoitos, pães, tortas, sopas, mingaus, beijus, suflês, empadas, Cuscuz, roscas, cremes, pudins, nhoques, etc.		
	Alimentação Animal	Cruas	Farinhas, raspas e pellets	
		Desidratadas		
	Amido	Cozidas	Uso alimentício	Glucose Maltose Fermentos Gelatinas Féculas Dextrina
		Amido	Uso industrial	Adesivos Cervejarias Têxtil Papelerias Lavanderias Explosivos Sapatarias
			Amido fermentado	Perfuração de poços de petróleo
				Confeitarias culinárias
	Indústria	Farinhas	Alimentação humana de mesa e panificável Alimentação animal Alimentos balanceados	
		Raspas	Alimentação animal	Alimentação humana Alimentação animal Gomas para uso
		Farinhas		
industrial	Álcool etílico	Combustível Desinfetante Bebidas Perfumaria		
	Acetona	Solvente Fotografia		

Figura 6 - Derivados e formas de utilização da mandioca. Fonte: Lorenzi, (2003)

#### 2.4.2 Tipos de tratamento dos resíduos

Apesar da grande diversidade de derivados e formas de utilização da mandioca, o sistema produtivo da cadeia da mandioca gera resíduo, por exemplo, no processo de extração da fécula da mandioca resulta um farelo, resíduo composto de 2% do material fibroso e parte do amido que não foi extraído. De elevado poder de absorção de água, a cada tonelada de raiz processada são gerados cerca de 930 kg desse farelo com aproximadamente 85% de umidade. Abaixando o teor de umidade a 10%, apresenta 15% de fibras e 75% de amido residual (CEREDA, 1996).

Considerando que as fecularias no Brasil processam entre 200 e 600 toneladas de mandioca por dia (CEREDA, 1996b), estes farelos representam um elevado custo em sua remoção e destinação, devido aos volumes mássicos e carga de matéria orgânica que contém, necessitando de um tratamento que agregue valores e o transforme num subproduto.

No diagrama da Figura 7 é possível verificar os resíduos do processo de uma fecularia média que processa 250 t de raízes/dia em quantidades que justificam uma intervenção, buscando novas tecnologias para otimização deste processo industrial. (LEBOURG, 1996)

A destinação dada a estes resíduos, em geral, se faz por deposição no meio ambiente, onde a carga poluidora causa grande impacto e, portanto, é fiscalizada rigorosamente por agências de proteção ambiental, obrigando a indústria a se onerar com os custos do seu manejo.



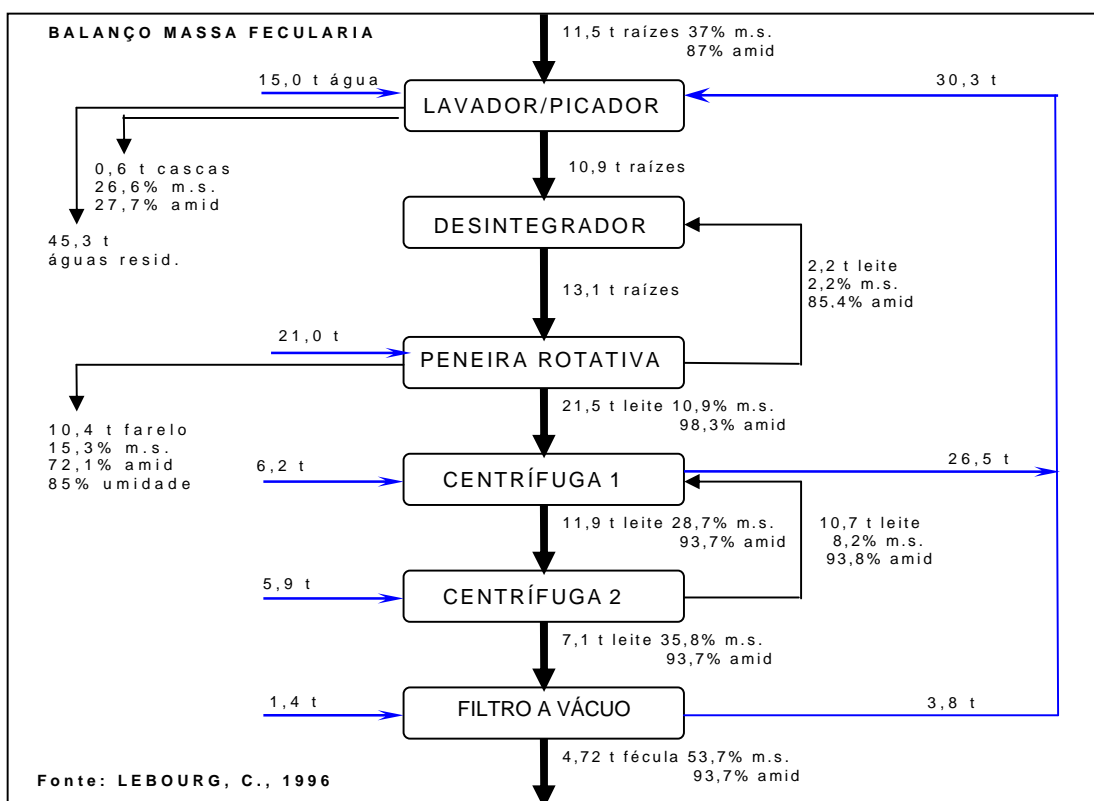


Figura 7 - Balanço de massa utilizando dados observados numa agroindústria extratora de fécula de mandioca.

### 2.4.3 Teoria do aproveitamento dos resíduos

Embora seu terço superior (parte enfolhada) apresente alto teor de proteínas, em torno de 20% em base seca, não encontra aproveitamento significativo, considerando que no Brasil, apenas na região norte são consumidas como hotaliça (CEREDA, 2001).

Segundo Carvalho et al (1985) outra vantagem da parte aérea seria o armazenamento em forma de feno, silagem que torna viável seu aproveitamento em período seco, proporcionando aumento da disponibilidade de alimentos de alto valor nutritivo.

Montaldo (1977), por meio da avaliação de onze amostras de mandioca, apresenta a distribuição percentual das diferentes porções da parte aérea das plantas jovens (4 meses) e adultas (12 meses) conforme se apresenta na Tabela 3.

Tabela 3 – Distribuição percentual das diferentes porções da parte aérea da mandioca.

Parte da planta	Idade da planta	
	4 meses %	12 meses %
Caules + ramificações	42	81
Lâminas foliares	36	7
Hastes + pecíolos	22	12

Fonte: Montaldo, 1977

Quanto à disponibilidade deste resíduo Carvalho et al (1985), estudaram rendimento de 10 variedades em 5 épocas de colheita da parte aérea e obtiveram produtividade média de 14,77 t/ha. sendo que 9,7 t/ha. foram devidas aos 2/3 inferiores e 5,0 t/ha. ao terço superior da parte aérea. Estes valores são representativos e próximos ou superiores à produtividade média brasileira de raízes de mandioca, ou seja, 13,1 t/h. (AGRIANUAL, 2000). Com destaque observa-se que nas plantas adultas, o caule e ramificações respondem por 81% e este resíduo apresenta potencialidade de utilização devido a sua alta disponibilidade e concentração de fibras em torno de 30,18% em peso seco (CARVALHO et al, 1985).

A mandioca tem uma importância econômica que a torna mais explorada comercialmente e com maior quantidade de estudos e investigações em relação às outras raízes tropicais de utilização em pequenas áreas por fatores culturais. Supõe-se que os processos de industrialização destas e de outras raízes tropicais apresentarão semelhante balanço de massa.

A produção de pastas industriais produzidas a partir de resíduos agro-industriais como de bagaço de cana, bambu, palhas, bananeiras e outras espécies vegetais são obtidas pelos seguintes processos: a) mecânicos (pasta mecânica); b) mecânicos auxiliados com químicos; c) químicos auxiliados com mecânicos (pastas semi-químicas). Estas pastas obtidas atingem um alto rendimento, entre 65-96% com

custos e C. E. E. (Consumo Específico de Energia) baixos, sem comprometimento da qualidade e são denominadas de PAR (Pasta de Alto Rendimento) (GALAT, 1990).

Atchinson (1987) menciona que a tecnologia industrial desenvolvida para o beneficiamento e produção de celulose para bagaço de cana de açúcar e bambu demonstra ser aplicável com êxito a qualquer fibra anual. Equipamentos foram desenvolvidos e continuamente aperfeiçoados para o beneficiamento desses tipos de materiais, objetivando basicamente a separar os grandes feixes e fibras expondo a medula, por fricção ou por ruptura mecânica, afrouxando-a das fibras, separando-se duas frações numa só operação. Os equipamentos empregam um rotor munido de martelos móveis, que circundam completamente os pratos de malhas perfuradas, através dos quais passa a fração de medula, podendo ser coletada separadamente da fração das fibras.

## **2.5 Classificação dos processos de polpação**

Kuan (1988) destaca que a produção de pastas celulósicas a partir de matérias-primas fibrosas passa por processos de fabricação que basicamente consiste em dois: Processo Químico e Semi-Químico. A pasta química obtida de matérias-primas de origem vegetal passa por tratamento químico para eliminar componentes não-celulósicos, como lignina e extrativos. A pasta semi-química, também obtida de matérias-primas de origem vegetal, passa por tratamento químico que elimina parcialmente os componentes não-celulósicos para a separação das fibras. Após esse processo faz-se necessário um posterior tratamento mecânico. Segundo o autor, no Brasil é utilizado sulfato, sulfito, soda e cal para o processo de polpação. A utilização de produtos químicos para o branqueamento da pasta pode se fazer necessário, então utiliza-se hipoclorito em conjunto com ácido mineral para a obtenção do cloro.

Para Foelkel e Barrichelo, (1976) a obtenção da polpa celulósica constitui a primeira etapa da produção de papel. Do ponto de vista técnico, o termo “polpa celulósica” compreende o resíduo fibroso resultante da deslignificação total ou parcial da matéria-prima vegetal utilizada.

Assumpção *et al* (1988), definem processo de polpação como sendo o processo de separação das fibras da madeira mediante a utilização de energia química e/ou mecânica e classifica os processos de polpação de acordo com seu rendimento em polpa ou de acordo com o pH utilizado.

Conforme os autores, o principal objetivo da polpação é a obtenção da celulose para a fabricação de papel. É uma técnica muito importante que consiste na conversão dos materiais lignocelulósicos e, para a utilização eficiente desses materiais, faz-se necessário a separação de seus componentes macromoleculares.

### **2.5.1 Processo mecânico de polpação**

O processo mecânico caracteriza-se como o resultante da aplicação de intensas forças de corte às madeiras, geralmente em toras, para o rompimento das ligações entre as fibras. Conserva boa parte da lignina na polpa e conseqüentemente resulta em um rendimento elevado. A pasta obtida é composta de fibras intactas, feixes de fibras e fibras danificadas. Esse processo de polpação requer grande consumo de energia elétrica, porque a polpa é resultado do atrito da madeira contra uma superfície abrasiva que produz o desfibramento desse material (SMOOK, 1999).

### **2.5.2 Processo químico de polpação**

Na polpação química, boa parte da lignina é removida durante o processo de cozimento e como a lignina é quimicamente ligada às hemiceluloses, conseqüentemente ocorre uma degradação parcial das hemiceluloses e da celulose, bem como de outros componentes menores, contudo mantém as propriedades adequadas a sua posterior utilização. A polpa celulósica obtida apresenta boa qualidade e pode ser branqueada posteriormente. Os processos químicos de polpação oferecem um rendimento médio entre 40% e 50% por ter grande parte da lignina removida. (SMOOK, 1999).

### 2.5.3 Polpação sulfito

A polpação sulfito é um método de polpação ácido e utiliza como agente deslignificante soluções de ácido sulfuroso e/ou sais que geram íons sulfito ( $\text{H}_2\text{SO}_3$ ) ou bissulfito ( $\text{HSO}_3$ ), durante o processo de cozimento para desfibramento e amaciamento de substâncias vegetais, sendo que a primeira versão desse processo data de 1867 e foi apresentada pelo químico americano Benjamin Tilghman. A solução que continha sulfito de cálcio ( $\text{CaSO}_3$ ) e  $\text{SO}_2$  foi o método dominante até 1960 (SMOOK, 1999).

Com o reconhecimento da necessidade de proteção ao meio ambiente por volta de 1960, as indústrias se viram obrigadas a tratar o efluente, ou seja, realizar um sistema de recuperação química do licor residual de cozimento, o que encarecia o processo. A expansão da produção de pastas químicas passa a ser realizada então pelo processo kraft, pela disponibilidade satisfatória de recuperação de reagentes químicos (SMOOK, 1999)

Assumpção *et al.* (1988) esclarece que as reações da lignina, com os reagentes químicos dos processos sulfito foram, intensamente estudadas durante várias décadas e esses estudos visavam melhorar o processo sulfito e encontrar possibilidades para o aproveitamento do licor residual como também esclarecer alguns aspectos da estrutura da lignina. Bases como cálcio, magnésio, amônia ou sódio diminui as condições de acidez e são apropriados para os diversos estágios do processo.

As principais vantagens do processo de polpação sulfito são as polpas obtidas mais alvas, resultando em maior facilidade para o branqueamento, menor consumo de energia e o rendimento da polpa pode ser maior que o do processo kraft. A grande desvantagem do processo sulfito é sua limitação quanto às espécies de madeira, pois as que apresentam grandes quantidades de resinas e extrativos são de difícil deslignificação (BIERMANN, 1996).

#### 2.5.4 Polpação Kraft

O processo químico de polpação mais utilizado é o sulfato ou kraft, que corresponde a aproximadamente 60% da produção mundial de polpa celulósica. É um processo de polpação alcalina. Assumpção et al. (1988) esclarecem que o termo polpação alcalina se refere à produção de pasta celulósica, utilizando soluções alcalinas aquosas para tratamento dos vegetais contendo fibras de celulose. Os principais processos alcalinos na produção de pastas químicas são dois: o processo soda e o processo kraft ou sulfato, sendo que no processo soda o principal reagente é o hidróxido de sódio, enquanto no processo sulfato usa-se, além do hidróxido de sódio, o sulfeto de sódio.

No processo Kraft o sulfeto de sódio ( $\text{Na}_2\text{S}$ ) é utilizado para acelerar a deslignificação. Os cavacos de madeira são expostos ao calor por um determinado tempo e depois no hidróxido de sódio ( $\text{NaOH}$ ). Com esse processo é possível produzir uma polpa de grande flexibilidade e mais clara, sendo mais conveniente do que o processo de polpação soda que resulta num produto menos flexível e mais escuro, embora seja um processo de menor custo. (TAPPI, 1996).

Silva (1994) afirma que uma das características mais importantes do processo Kraft é a alta qualidade de celulose obtida, que é avaliada basicamente pelo teor de lignina residual (número kappa), grau de degradação dos carboidratos (viscosidade) e propriedades físico-mecânicas. Entretanto, algumas variáveis desse processo podem alterar essas características como carga alcalina, tempo e temperatura de deslignificação, entre outros.

Assumpção et al. (1988) enumeram as principais vantagens do processo kraft sobre os demais como grande flexibilidade com relação às espécies de madeira (qualquer madeira pode ser utilizada); ciclos de cozimento mais curtos que processos sulfito ácidos; branqueamento das pastas a altos níveis de alvura; madeiras resinosas podem ser utilizadas; produção de pastas de alta resistência; no caso de madeiras resinosas, a produção de valiosos subprodutos como “tall-oil” e terebintina; recuperação do licor utilizado é economicamente viável. Segundo o autor, as principais desvantagens são: alto custo de investimento na construção da fábrica;

problemas de odor dos gases produzidos; baixa alvura da pasta não-branqueada comparada com pastas sulfito; baixo rendimento de polpação e alto custo de branqueamento.

Clayton (1996) descreve o processo de polpação kraft, utilizado na polpação da madeira para fabricação de papéis, como sendo basicamente uma mistura dos sais sulfeto de sódio e hidróxido de sódio em água, que tem como propósito a remoção da lignina e conseqüentemente a separação das fibras umas das outras para que possa ser efetuada a polpação. Conforme o autor, uma mistura de cavacos juntamente com a solução de água e os sais é aquecida em um digestor em temperatura entre 170 a 173° C por aproximadamente 90 minutos. Durante o processo de cozimento no digestor ocorre uma reação com os constituintes da madeira e o licor de cozimento. Alguns dos componentes da madeira, principalmente os polissacarídeos dissolvem-se no licor de cozimento. Outros componentes da madeira, como a lignina, insolúvel em sua forma original, é degradada pelo licor de cozimento. A celulose é mais resistente ao ataque do licor de cozimento do que os outros componentes da madeira, portanto sua composição é pouco alterada.

### **2.5.5 Polpação semi-química**

No processo semi-químico, Kuan *et al* (1988) afirmam que é a pasta obtida de madeira ou outras matérias-primas de origem vegetal, resultante de tratamento químico que elimina parcialmente os componentes não celulósicos e que para a separação das fibras faz-se necessário tratamento mecânico posterior. Os processos de polpação semi-química utilizados no Brasil são o sulfato, soda, sulfito neutro e cal.

Kuan *et al.* (1988) comentam que as propriedades das fibras podem ser influenciadas durante o processo de refinação e também pelos diversos materiais não fibrosos, incorporados durante a preparação da massa e fabricação do papel. Os tratamentos e aditivos modificam as propriedades do produto final

## **2.6 Determinação do número kappa, análise das fibras e método de análise aplicado a papéis.**

O número Kappa, é utilizado na determinação do grau de deslignificação da polpa e também como parâmetro para a quantificação da carga de reagentes químicos a ser aplicada no branqueamento.

Para encontrar essa meta, a deslignificação é amplamente monitorada, utilizando métodos padrão para a determinação do número kappa. O número Kappa fornece uma indicação do teor de lignina residual e é determinado pela oxidação da lignina com solução de  $\text{KMnO}_4$ . Nessas condições, a solução de permanganato oxida seletivamente a lignina a compostos solúveis em água, dentro do tempo pré-determinado (10 min) de reação, não reagindo com polissacarídeos (TAPPI T 230 om-85).

O material desintegrado e denominado fibra, pela metodologia da AOAC (1980) (Association of Oficial Analytical Chemists) é fracionado através dos métodos de Van Soest (1963) e Van Soest & Wine (1967) apud Saito (2005) em: FDA (fibra detergente ácido), FDN (fibra detergente neutro). Este método consiste em determinar a fibra, separando a celulose da lignina, das hemiceluloses e da sílica pela adição em tubo de ensaio de solução de detergente neutro e solução de detergente ácido separadamente que, depois de cumpridas as etapas, as fibras são lavadas, secas em dessecador e pesadas para obtenção dos resultados.

Barrotti e Bergman (1988) apresentam metodologia para análises de propriedades físico-mecânicas para a fabricação de papéis que consiste em submeter as amostras a testes para sua avaliação. Os testes se resumem em medições de características dimensionais, de resistência, de propriedades óticas, de superfície além de outras características do produto. Os autores afirmam que para a realização dos ensaios é necessário que as amostras do material a ser testado sejam adequadas conforme os procedimentos descritos nas normas da ABNT, (Associação Brasileira de Normas Técnicas).

Baseado na nomenclatura da ANFPC (Associação Nacional dos Fabricantes de Papel e Celulose) Craig (1987) classifica os papéis em: papéis para



impressão, bíblia, *bouffant*, *couché*, imprensa, jornal, mimeógrafo, monolúcido, *offset*; papéis para escrever, correspondência aérea, segundas via (*flor post*); papéis para embalagens, papéis para embalagens pesadas; papéis para fins sanitários; cartões e cartolinas, papelão e papéis especiais como carbono, cigarro e mata borrão.

De acordo com Craig (1987), os papéis para impressão são os do grupo dos acetinados que passaram por supercalandra onde receberam tratamento com brilho nas duas faces. Este grupo se divide em vários subgrupos: acetinado de 1ª que é um papel fabricado essencialmente com pasta branqueada, com baixa carga mineral, até 10%, geralmente usado para impressão; o acetinado de 2ª é semelhante ao acetinado de 1ª, e em sua composição entram aparas ou pasta mecânica e é utilizado unicamente para impressão.

O acetinado em cores é semelhante ao acetinado de 2ª, mas em cores, geralmente na gramatura de 40g/m<sup>2</sup>, utilizado em impressões para fins comerciais. O ilustração que é um papel acetinado fabricado com pastas branqueadas e carga mineral superior a 10%, o que contribui para uma absorção de tinta maior que a do acetinado de 1ª, é utilizado para impressão de revistas e afins especialmente em rotogravura.

Existem ainda os papéis especiais, os quais podem ser considerados como parte integral da mensagem. São os papéis produzidos por alguns artistas plásticos, que se utilizam da produção especial do papel para se expressarem.

Para esse tipo de papel, Oliveira (2001) aborda a questão do papel enquanto linguagem, bi ou tridimensional e também como suporte para seus estudos de texturas.

As características físicas dos produtos podem ser planejadas e controladas durante seu processamento permitindo àquele que produz o papel criar de acordo com os seus interesses e necessidades. O tratamento da superfície influencia no aspecto final do papel. Considerando como exemplo as obras dos artistas plásticos americanos Howell Douglas e Darrel Ross e dos artistas plásticos brasileiros Otavio Roth e Diva Buss, que utilizando apenas texturas e cores do papel criaram obras de arte relevantes. Em função da forma de produção e do material utilizado pode-se

obter uma gama muito variada de aspectos a serem explorados na sua individualidade (GONÇALVES, MENEZES e CABELLO, 2006).

Nas obras desses artistas observa-se algumas formas de tratamento da superfície do papel, procurando evidenciar as técnicas, mas, sobretudo o efeito gráfico que delas resultam. Buss (1992) desenvolve ampla abordagem sobre o tipo de tratamento de superfície na confecção de papéis especiais.

## **2.7 Utilização do papel como mídia**

O papel é uma necessidade vital para a comunicação de informações e para a diversidade de documentos necessários sejam eles verbais ou não verbais como no caso das artes, e o mercado disponibiliza variedades de qualidades específicas destinada a cada uso.

Numa obra de composição gráfica, a boa aparência e o peso do papel têm que estar perfeitamente entrosados com o tipo de impressão e qualidade da tinta a ser utilizada para que a obra seja funcional e agrade o leitor. Do papel depende em grande parte o aspecto final de todo impresso que tanto pode valorizar como pode prejudicá-lo (CRAIG, 1987).

O autor afirma que a intenção de qualquer planejador gráfico é a de obter a mais alta qualidade possível no seu trabalho impresso e esclarece que muitas das dificuldades nos variados tipos de impressão são normalmente causados pelo papel, pela impressora, pela chapa de impressão ou pela tinta e cita os mais comuns: arrancamento, atravessamento, baixa aceitação da tinta, baixa resistência à abrasão, baixa resistência ao atrito, blocagem, cristalização, decalque, deposição, deposição tinta, dublagem, emulsificação, esmagamento, espalhamento, fantasma, fora de cor, formação de casca, halos, impurezas, tinta papel, manchas, moiré (efeito óptico indesejável produzido pela superposição de retículas), não fechamento, papel enrugado, registro falho, secagem lenta, tinta na água, transparência e velatura.

Os tipos de impressão variam, bem como os tipos de tintas. Cada processo de impressão solicita uma tinta com características diferentes, que também é determinada pela impressora e pela superfície a ser impressa. Craig (1987)

descreve algumas tintas utilizadas para os processos mais comuns de impressão e as suas propriedades específicas.

As tintas para tipografia são elaboradas para imprimir com superfícies em relevo e devem ser pegajosas, com viscosidade suficiente para agarrar à superfície da chapa até ser impressa. As impressoras de platina usam uma tinta que é muito pegajosa e não flui livremente. Já as tintas para as impressoras rotativas são menos pegajosas e podem ser líquidas conforme a velocidade operada, quanto mais alta a velocidade, mais líquida deve ser a tinta. As secagens dessas tintas para tipografia ocorrem por absorção, evaporação ou oxidação/polimerização.

Rotogravura utiliza tintas para imprimir com superfícies em baixo-relevo que devem ser bem fluídas para que possam preencher os pequenos buracos e ao mesmo tempo ter corpo e adesão suficientes para serem tiradas das cavidades e transferidas para o papel. As tintas devem ser totalmente isentas de partículas duras para que não arranhem o cilindro gravado ou a chapa e sua consistência deve ser mantida para permitir que a faca ou a racla limpem adequadamente a chapa e assegure a correta transferência da imagem para o papel. Esse tipo de tinta é de secagem rápida e secam por evaporação, embora possam secar também por absorção ou oxidação.

Na impressão denominada “Offset” as tintas são projetadas para imprimir com superfície plana e são normalmente mais pastosas e mais viscosas, tendo corpo mais pesado do que as tintas para tipografia. Essas tintas devem ser resistentes à ação da umidade da água usada na impressão offset. A película de tinta depositada na superfície do papel tem a metade da espessura da tinta utilizada na tipografia, portanto deve ter cor mais forte para compensar. Para a tinta ser apropriada para offset é necessário considerar se a utilização será em impressoras de uma cor, duas ou de quatro cores, como também a ordem que serão impressas. A secagem das tintas para offset ocorre normalmente por evaporação, oxidação/polimerização ou penetração.

As tintas para serigrafia são projetadas para serem forçadas através de uma retícula de malhas sobre uma larga variedade de superfícies, como papel, cartão, metal, cerâmica e vidro. Essas tintas são pastosas e amanteigadas e para

que ocorra boa adesão o aglutinador deve ser trocado para ajustar-se à superfície a ser impressa. A espessura da película da tinta é controlada pelo tamanho da malha.

Flexografia é outra forma de impressão tipográfica que utiliza uma grade flexível, ao invés de rígida para poder imprimir em superfícies curvas, nessa grade é colocado tipos também flexíveis podendo assim imprimir materiais flexíveis ou de formato não plano. As tintas são de secagem rápida, baseadas em água ou solvente sintético podendo ser aditivadas para obter diferentes texturas, maior brilho e maior aderência. Esse tipo de impressão é largamente utilizado na indústria de embalagens. As cores das tintas são brilhantes, fortes e podem ser resistentes à luz e à abrasão. São tintas muito fluídas e de rápida secagem. Algumas dessas tintas têm uma base de álcool e secam por evaporação, outras com base de água secam por absorção ou evaporação.

As tintas para letterset (impressão que combina tipografias e offset), também combinam as necessidades do offset às da tipografia. São transferidas da chapa de impressão para o cilindro e para o papel em uma impressora offset especial que não requer a utilização de uma fonte de água. As tintas para letterset secam da mesma forma que as tintas para tipografia e offset.

Além dessas tintas utilizadas para os processos mais comuns de impressão, existem as tintas especiais que são o resultado da crescente demanda por cores mais brilhantes, velocidades mais altas e novas técnicas de impressão. São elas: cold set, fluorescente, heat set, alto brilho, magnética e metálica, entre outras.

As tintas cold set, diferente das outras tintas, são sólidas à temperatura ambiente, mas se fundem à temperatura de 65 a 93° C. A chapa de impressão e a impressora devem ser pré-aquecidas para que a tinta se funda. Essas tintas promovem resultados de impressão com boa nitidez, embora necessitem de um complicado sistema de aquecimento e resfriamento.

As tintas fluorescentes são limitadas a poucos tons de vermelho, azul, amarelo e verde e são utilizadas principalmente para impressão de sinais em serigrafia.

As tintas heat set são de secagem rápida e por isso permite grandes tiragens com alta velocidade e boa qualidade. Para a utilização dessa tinta a

impressora deve estar equipada com uma unidade de aquecimento. Conforme a folha passa sobre a unidade de aquecimento, o solvente se evapora restando apenas a película de tinta, que tem sua secagem quase que imediata. É uma tinta utilizada para impressão em quase todos os tipos de trabalho que envolve grandes tiragens.

As tintas alto brilho estão disponibilizadas tanto para tipografia quanto para offset, são tintas que produzem brilho máximo com uma penetração mínima na superfície do papel. O papel deve ser tratado com uma superfície resistente à penetração do veículo da tinta.

As tintas magnéticas são elaboradas com pigmentos especiais que podem ser magnetizados após a impressão. Os caracteres impressos podem ser reconhecidos por um equipamento eletrônico de leitura. É necessário que a impressão tenha boa qualidade para ajustar-se aos requisitos do equipamento.

As tintas metálicas são encontradas em pós como o bronze, ouro, alumínio e cobre que são utilizados com um aglutinador. Essas tintas podem ser encontradas já em pastas prontas para o uso.

O tratamento dado à superfície do papel é que vai determinar o sucesso do resultado pretendido. Para o tratamento de superfície, algumas máquinas dispõem de prensa de colagem, que é um equipamento destinado a impregnação superficial do papel com produtos para as variadas finalidades a serem propostas. Como exemplo: em papel offset na prensa de colagem é aplicada uma solução de amido cozido, dando a esse papel melhores qualidades de impressão, mais resistência na superfície e uniformidade na absorção da tinta (SENAI, 2001).

Existem outros dois tratamentos efetuados na superfície do papel para melhorar seu desempenho. Uma é a aplicação de monolúcido (papel monolúcido) que tem como característica uma das faces brilhantes e a outra face áspera e é produzido a partir do contato e pressão da folha, a 65% de secagem, contra um cilindro de ferro, polido e de grande diâmetro.

Outro tratamento é a aplicação de couché (papel couché) em uma ou nas duas faces do papel. A solução couché é uma dispersão de pigmentos como o caulim, dióxido de titânio, carbonato de cálcio entre outros com ligantes sintéticos como emulsão de estireno-butadieno, emulsão de acrilatos, álcool

polivinílico e acetato de polivinila e naturais como amido, caseína, proteína de soja e gelatina animal. Usando também aditivos como soda, dispersantes, corantes de matização, insolubilizantes, antiespumantes e lubrificantes que irão conferir características especiais à solução e também ao papel revestido. (SENAI, 2001)

## **2.8 Técnicas artísticas de impressão**

A gravura é uma forma de expressão que ocupa grande destaque na produção artística por possuir características sem igual em outras formas de expressão. Segundo Einchenberg (1976), os processos de gravura são diversos e os mais utilizados atualmente são: xilogravura, litografia, gravura em metal e serigrafia.

### **2.8.1 Xilogravura**

Para Martins (1987), a xilogravura é a mais antiga das técnicas de impressão, teve seu início no Oriente, no século VIII onde se mantém como forma de expressão tradicional até os dias de hoje, principalmente no Japão onde alcançou seu apogeu. Nos séculos XV e XVI foi introduzida na Europa e de lá difundida em muitos outros países. No Brasil a xilogravura foi introduzida por artistas como Lívio Abramo, Axel LesKoschec e Oswaldo Goeldi.

A técnica da xilogravura é bastante simples e consiste em desenhar sobre uma superfície de madeira com o auxílio de goivas e formões (ferramentas apropriadas) fazendo-se sulcos na madeira que passa a ser uma matriz. A essa matriz a tinta é distribuída uniformemente com o auxílio de um rolo de borracha sobre a superfície da madeira de forma que onde estão feitos os sulcos a tinta não penetre. Os sulcos correspondem às áreas claras na gravura e a parte lisa da madeira, corresponde às cores de tintas utilizadas. Nessa matriz, após o entintamento é colocado o papel que é levado a uma prensa para a transferência da tinta (da madeira para o papel). São realizadas quantas cópias se deseja e estas são numeradas de acordo com a tiragem realizada COSTELLA, (2006).

### **2.8.2 Gravura em metal**

Na gravura em metal, a imagem é gravada na matriz e a tinta penetra nos sulcos gravados, a superfície lisa do metal é limpa com um pano e a impressão é realizada de modo que a tinta impregnada nas ranhuras do metal é transferida para o papel com o auxílio de uma prensa que exige considerável pressão mecânica. Nesse processo ocorre o contrário da xilogravura, ou seja, os sulcos ou ranhuras correspondem às áreas escuras e a superfície lisa do metal corresponde às áreas claras.

### **2.8.3 Litografia**

A litografia consiste no isolamento de áreas da matriz (pedra), nesse caso a pedra matriz não é gravada e sim sensibilizada por um processo químico para receber a tinta (rejeição de água pela gordura e vice-versa), o ácido nítrico reage com a graxa (ácido oléico). A imagem é fixada na matriz e a impressão é plana, sem entalhes. A prensa para litografia é diferente da prensa para xilogravura e para gravura em metal, pois enquanto a impressão nesses dois últimos processos é realizada entre duas pranchas, na litografia a pedra sobre a mesa, com o papel para a impressão, desliza sob a pressão de uma trave chamada “ratora”, aplicando de 2500 a 2700 Psi ao papel. (Psi = medida de pressão, Pound-force per square inch ou libra por polegada quadrada)

### **2.8.4 Serigrafia**

A serigrafia foi utilizada por muitos séculos por chineses e japoneses basicamente na pintura têxtil. Como na litografia, a serigrafia não recorre ao entalhamento e sim ao isolamento de áreas da matriz, que nesse caso é a seda ou nylon. As primeiras aplicações gráficas foram americanas, no início do século XX, tendo como princípio básico a utilização da tela de seda como matriz, estendida sobre um chassi de madeira. Entretanto com o desenvolvimento de materiais sintéticos,

como o nylon, a qualidade gráfica teve um grande avanço. Das técnicas de impressão, a serigrafia é a mais utilizada industrialmente. O processo consiste em imprimir a imagem por um processo de fotosensibilidade, onde a tela preparada com uma emulsão fotosensível é colocada sobre um fotolito e posteriormente sobre uma mesa de luz. Esta tela fica sensibilizada nas áreas onde está a imagem, permitindo a passagem da tinta pela trama do tecido para o papel ou qualquer outro suporte. As outras áreas são impermeabilizadas pelo endurecimento da emulsão fotosensível que esteve exposta à luz, não permitindo a passagem da tinta pela trama do tecido. (DAWSON, 1982)

## **2.9 Técnicas de pintura e de desenho**

São inúmeros os processos de pintura e Bontcé (1967), comenta sobre alguns processos que serão utilizados nessa pesquisa, como a aquarela, nanquim, tinta guache, carvão, giz pastel, giz de cera e lápis de cor.

### **2.9.1 Aquarela**

Aquarela é a denominação de uma tinta bastante delicada. É a mistura de pigmentos coloridos com aglutinante e utiliza-se grande quantidade de água para diluir e aplicar a tinta ao papel. Quando a água evapora, a tinta perde a metade de seu colorido, resultando num efeito de transparência que é sua principal característica. Por isso, a tinta requer como suporte uma superfície bastante clara, de preferência branca para realçar a luminosidade, pois a luz se reflete por meio da transparência da tinta.

A aquarela teve seu início na China a mais de dois mil anos. No Ocidente a utilização desta tinta vem desde a Idade Média, muito embora, somente no século XVIII passou a ser mais considerada e difundida em toda a Europa. É uma pintura na qual os pigmentos são aglutinados por uma goma vegetal e depois dissolvidos em água para sua aplicação, podendo ser definida por suas qualidades intrínsecas como as de transparência e luminosidade. Os suportes utilizados na



aquarela são bastante variados como o couro, o plástico, tecido, madeira e tela, embora o papel, principalmente com elevada gramatura, seja o mais comum deles.

O papel não deve ser muito fino porque tende a se enrugam quando molhado, portanto a gramatura é de extrema importância para um trabalho com aquarela.

### **2.9.2 Nanquim**

Nanquim é uma tinta muito fluída e sem espessura. O suporte mais utilizado é o papel e essa tinta tem a tendência de não permanecer sobre o papel, tende a se infiltrar na polpa. Foi desenvolvida pelos chineses há mais de 2000 anos e é constituída de nanopartículas de carvão suspensas em uma solução aquosa com goma vegetal para sua estabilização. É uma tinta utilizada para escrever, desenhar e pintar. Por ser aguada tem a tendência de ondular o papel, que deve ser corrigido fazendo uma planificação sobre ele depois de seco.

### **2.9.3 Carvão**

O carvão usado para desenhos e pinturas é um dos materiais mais antigos do mundo, frequentemente encontrado nas pinturas rupestres, atravessou sem grandes mudanças vários séculos de História da Arte. Atualmente é processado pela queima completa do caule de plantas como o salgueiro ou plantas de frutas cítricas. É bastante utilizado para esboços, mas também é utilizado para pinturas que podem ser realizadas com traços lineares como também por manchas e um não exclui o outro. O suporte mais adequado é o papel que deve ser poroso e de espessura média.

### **2.9.4 Giz pastel**

A técnica do pastel tem sua invenção atribuída ao pintor alemão Johan Thiele no século XV e é uma técnica muito utilizada do passado ao presente, e reconhecida como uma das principais técnicas de pintura e desenho existentes.

O suporte mais indicado para sua utilização é o papel, que deve oferecer condições de aderência aos pigmentos em pó e deve ter elevada gramatura e uma superfície aveludada ou até mesmo áspera para que haja uma fixação apropriada. No mercado existem os papéis do tipo Arches, de alta gramatura e são os mais adequados para esse tipo de pintura. Os pigmentos são aplicados em bastões diretamente ao papel e a mistura de tons é obtida esfregando-se os próprios dedos sobre a pintura.

### **2.9.5 Tinta Guache**

A tinta guache é uma mistura de pigmento branco, água e um aglutinante que pode ser a goma arábica. Resulta numa tinta opaca com grande poder de cobertura de áreas por levar o pigmento branco em sua composição. É aí que se difere da aquarela, pois não tem a transparência desta. Seu suporte mais comum é o papel ou cartão, desde que tenham certo corpo para não enrugarem. É uma tinta que se dilui na água e é usada para pintar áreas de cor uniforme. É usada desde a Idade Média nas Iluminuras e hoje em ilustrações e pinturas.

### **2.9.6 Giz de cera**

O giz de cera é outra técnica utilizada para pintura e desenho. É um material que leva em sua composição pigmentos coloridos e um material gorduroso e resistente tornando suas cores espessas e compactas e de efeito luminoso. Pode ser usado principalmente em madeiras, telas e papel, sendo que um papel com pouca textura é mais recomendado para produzir melhor efeito.

### **2.9.7 Lápis de cor**

O lápis de cor foi bastante utilizado por artistas do século XIX, é uma técnica intermediária entre o desenho e a pintura e pode-se com eles realizar trabalhos de grande precisão. As cores devem ser aplicadas de modo

progressivo por meio de atrito leve e constante do lápis sobre o papel, que é o seu suporte mais adequado.

O tipo de papel tem uma importância decisiva para a obtenção de bons resultados. Tanto os de superfície granulosa, como os menos granulados são adequados para o trabalho com lápis de cor. Para resultados de tons mais uniformes os papéis mais granulados são os mais adequados enquanto os papéis menos granulados, são os mais adequados para trabalhos com traços.

### **3 MATERIAL E MÉTODOS**

O desenvolvimento da pesquisa ocorreu em duas fases: a primeira, no Laboratório de Processamento de Matérias Primas do Centro de Estudos de Raízes e Amidos Tropicais CERAT – Unesp/Botucatu e no Laboratório de Celulose e Papel do Departamento de Recursos Florestais da Faculdade de Ciências Agrônômicas – Unesp/Botucatu. A segunda fase foi realizada na Faculdade de Arquitetura Artes e Comunicação da Unesp/Bauru – nos Laboratórios de Gravura e Pintura e Laboratório de Tecelagem.

#### **3.1 Matéria prima vegetal**

Nesta etapa foi pesquisada a matéria-prima vegetal de amostras dos resíduos agrônômicos da planta da mandioca, mais especificamente o caule da planta variedade Fécula Branca, originários da colheita nos canteiros experimentais, seguido do processamento executado no Laboratório de Processamento de Matérias Primas do CERAT/UNESP.

As hastes das plantas da mandioca (variedade Fécula Branca), representadas na Figura 8, foram coletadas com antecedência de 120 dias, tiveram suas folhas e partes verdes removidas e foram cortadas em cavacos de 3 a 5 cm para a caracterização físico-química do resíduo. Na seqüência foram passadas em moenda e

colocadas para secar ao tempo como mostra a Figura 9. Antes do processamento no digestor, este material foi umedecido por submersão durante 12 horas, a seguir foram passados em moinho de martelo sem tela e após a secagem ao tempo e tiveram suas cascas removidas.



Figura 8 – Detalhe de um caule típico da mandioca recém colhido.



Figura 9 – Cavacos do caule da mandioca após primeiro processamento.

### 3.1.1 Caracterização do resíduo

O caule da mandioca *Manihot esculenta Crantz* é um resíduo agronômico de forma cilíndrica alongada. O comprimento médio do caule de uma planta com idade de 11 a 14 meses é de aproximadamente 1,33 m, variando de 1,20 a 1,36m. A média para os diâmetros da base do caule é de 3,5cm e no topo do caule 1,15, variando entre 1,0 a 3,5cm. O peso médio do caule foi de 1,15kg, com variação entre 0,30kg à 1,45 kg.

### 3.1.2 Tratamento químico-mecânico do material celulósico

As amostras, após serem coletadas nos canteiros experimentais, descascadas e ainda úmidas, foram parcialmente desintegradas em moenda utilizada para cana de açúcar. A seguir as amostras foram beneficiadas num moinho tipo martelo, trituradas em pequenos pedaços e recuperadas diretamente da boca do moinho para um saco plástico (Figura 10). Esse material desintegrado, com alto teor de umidade seguiu para secagem ao tempo. Após dois a três dias seguiram para tratamento de deslignificação pelo processo Kraft em reator de aço inox (Figura 11).



Figura 10 – Amostras dos cavacos em sacos plásticos, recém saídas do moinho que foram utilizadas para o processo Kraft de polpação.



Figura 11 - Reator com agitador e controle de temperatura utilizado no processo de polpação.

### 3.1.3 Planejamento experimental

Foram realizados ensaios prospectivos para verificação dos melhores parâmetros para o processo de produção das fibras adequadas à fabricação do papel pelo processo Kraft. O planejamento experimental foi do tipo  $3^3$  incompleto, considerando as variáveis independentes, álcalis ativos (AA), sulfidez (S) e temperatura (T), como apresentado na Tabela 4.

A variável dependente é o número Kappa que indica o grau de deslignificação do material tratado e deste modo quanto menor estes valores, mais disponíveis estarão as fibras para produzir as folhas de papel.



Tabela 4 – Valores das variáveis independentes álcalis ativos, sulfidez e temperatura em três níveis, para realização dos ensaios.

Variáveis	Código	-1	0	+1
Álcalis ativos	AA	7,8%	10,9%	14%
Sulfidez	S	20,5%	25,5%	30,5%
Temperatura	T	160°	170°	180° C

Álcalis Ativos – são representados pelos compostos químicos  $\text{Na}_2\text{S}$  e  $\text{NaOH}$  que são expressos em termos de  $\text{Na}_2\text{O}$ .

Sulfidez – indicativo da concentração de  $\text{Na}_2\text{S}$  em relação à soma das concentrações de  $\text{NaOH}$  mais  $\text{Na}_2\text{S}$ .

Os ensaios com as variáveis codificadas e os valores reais das variáveis estão representados na Tabela 5.

Tabela 5 – Ensaios com as variáveis codificadas e os valores reais das variáveis.

ENSAIO	Variáveis codificadas			Valores reais das variáveis		
	AA	S	T	AA (%)	S (%)	T (°C)
1	-1	0	0	7,8	25,5	170
2	-1	-1	1	7,8	20,5	180
3	-1	-1	-1	7,8	20,5	160
4	-1	0	1	7,8	25,5	180
5	1	1	-1	10,9	30,5	160
6	0	-1	1	10,9	20,5	180
7	0	0	-1	10,9	25,5	160
8	0	1	1	10,9	30,5	160
9	0	1	0	10,9	30,5	170
10	1	-1	-1	14	20,5	160
11	1	-1	1	14	20,5	180
12	1	0	1	14	25,5	180
13	1	1	1	14	30,5	180
14	0	0	0	10,9	25,5	170
15	0	0	0	10,9	25,5	170
16	-1	1	0	7,8	30,5	170
17	1	1	-1	14	30,5	160
18	-1	1	-1	7,8	30,5	160

O tempo de processo após atingir a temperatura fixada para o ensaio, foi de 1:00 h e agitação de 100 rpm.

Foi realizado um segundo ensaio considerando a manutenção da concentração sulfidez em valor de 25,5% e aumentado a concentração de álcalis ativos para 40,5%. O objetivo foi a manutenção das taxas de sulfidez constantes considerando que as não madeiras são mais sensíveis à deslignificação pela ação dos álcalis ativos. A Tabela 6 indica as condições do ensaio.

Tabela 6 – Seqüência dos ensaios com as variáveis codificadas e os valores reais das variáveis.

ENSAIO	Valores reais das variáveis		
	AA%	S%	T (° C)
19	40,5	25,5	160
20	40,5	25,5	180

O tempo de processo após atingir a temperatura fixada para o ensaio, foi de 1:00 h e

### 3.1.4 Condução dos ensaios

Cada ensaio foi realizado em reator fabricado em aço inox com capacidade de 20 litros, com pá de agitação do tipo âncora, acionada por motor elétrico de ½ CV e controle eletrônico de velocidade e de temperatura conforme Figura 11. As bateladas de 270g de material seco foram suspensas em 4 litros de água potável, mais os sais dissolvidos, para produzir a alcalinidade e sulfidez, nas quantidades indicadas no Quadro 2.

Quadro 2 – Massas dos reagentes adicionados em cada batelada para as diferentes condições de sulfidez e álcalis ativos.

	Sulfidez (S)		
	20,5%	25,5%	30,5%
Álcalis ativos (AA) 7,8%			
Na <sub>2</sub> S(g)	5,0	6,25	7,5
NaOH (g)	20,0	18,75	17,5
Álcalis ativos (AA) 10,9%			
Na <sub>2</sub> S (g)	7,0	8,75	10,5
NaOH (g)	28,0	26,25	24,5
Álcalis ativos (AA) 14%			
Na <sub>2</sub> S (g)	9,0	11,25	13,5
NaOH (g)	36,0	33,75	31,5

Na Figura 12 está representado um esquema do tempo para atingir a temperatura e tempo de agitação no processo de hidrólise do caule da mandioca.

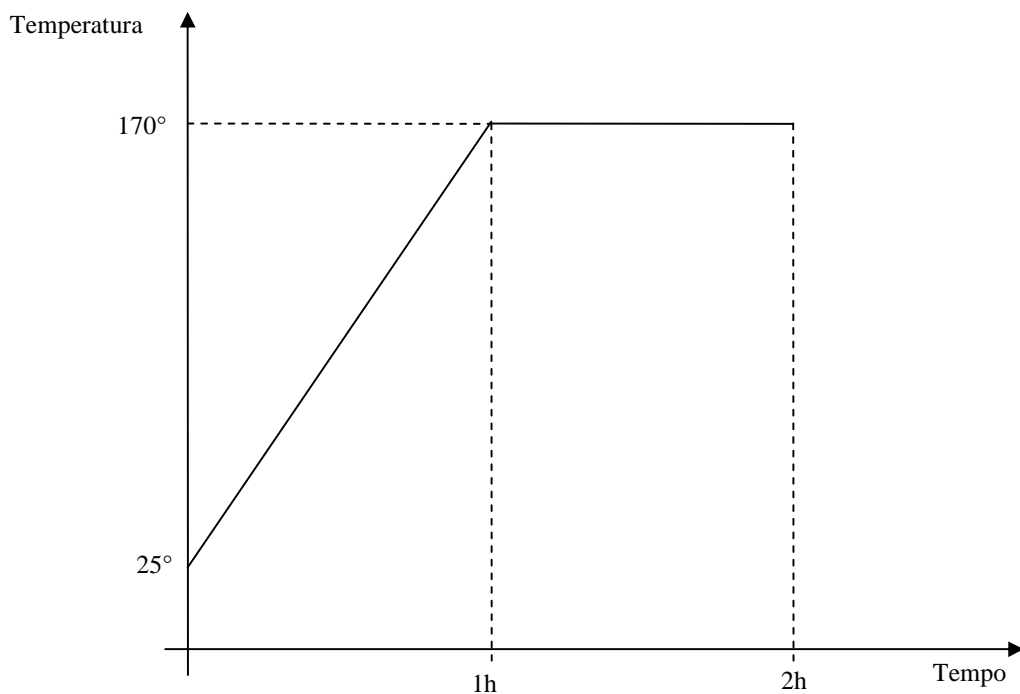


Figura 12 - Esquema das condições de tempo, agitação e temperatura.

### 3.1.5 Produção da pasta celulósica e amostras

Para produção da pasta celulósica foi utilizado o processo Kraft. Esse processo consistiu-se basicamente da mistura de soluções alcalinas aquosas de hidróxido de sódio (NaOH) e sulfeto de sódio (Na<sub>2</sub>S), que tem como propósito a remoção da lignina, extrativos e conseqüentemente a separação das fibras umas das outras para que possa ser efetuada a polpação (TAPPI T 460 om-96).

Como o caule da mandioca possui em sua composição química grande quantidade de extrativos, que são incompatíveis na produção de polpa celulósica, o processo de hidrólise do material realiza a eliminação destes componentes. Os ensaios prospectivos para a verificação de melhores parâmetros para o processo de produção das fibras foram realizados na forma de planejamento experimental do tipo 3<sup>3</sup> incompleto, considerando-se as variáveis independentes, álcalis ativos (AA), sulfidez (S) e temperatura (T).

Os cavacos foram fracionados para viabilizar sua acomodação nos digestores, e evitar espaços vazios, adicionou-se a água com os sais e programou-se o digestor para alcançar a temperatura de 170° C. Após alcançar a temperatura programada, manteve-se por uma hora em agitação. No processo de cozimento, alguns dos componentes da madeira, principalmente os polissacarídeos dissolveram-se no licor de cozimento; a lignina, insolúvel em sua forma original, foi degradada pelo licor de cozimento. A celulose é mais resistente ao ataque do licor de cozimento do que outro componente da madeira, portanto sua composição foi pouco alterada.

O material, depois de atingida a temperatura em °C, mantido por uma hora e resfriado naturalmente a cada ensaio foi retirado do digestor e desintegrado por agitação rápida e vigorosa num liquidificador industrial, com o objetivo de desestruturar e dispersar as fibras. Na seqüência, o material foi colocado em peneiras e enxaguado abundantemente em água corrente, daí colocado em bandejas e posto a secar por vinte e quatro horas em estufa a 60°C. Após secagem o material foi identificado e estocado para análises posteriores.

### 3.1.6 Determinação do número Kappa

O teor de lignina residual da polpa é determinado pelo número Kappa e quanto maior for o teor de lignina maior será o número Kappa. Seguindo metodologia da (TAPPI T 230 om-82), a determinação do número Kappa nessa pesquisa foi realizada com uma solução de  $\text{KMnO}_4$  (permanganato de potássio) e  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (ácido sulfúrico). O número Kappa é definido como mililitros de  $\text{KMnO}_4$  0,1000 N que são consumidos por 1 grama absolutamente seca de celulose, sob condições padronizadas. Os resultados são corrigidos para dar um consumo de 50% de  $\text{KMnO}_4$  em contato com a celulose.

Para os ensaios pesaram-se amostras de 2g (gramas) da celulose em balança de precisão 0,01g, transferidas para serem desintegradas em liquidificador com 500 ml de água destilada e colocadas em béquer de 2 litros. Em seguida, as amostras foram suspensas em ½ L de água destilada, (a temperatura foi ajustada para 25° C). Na seqüência foram levadas a um agitador magnético da marca FANEM – Modelo 257, pipetadas com uma mistura de 100ml de  $\text{KMnO}_4$  0,1 N e 100ml de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  4N (proveta) para um béquer de 250 ml, levando esta mistura a 25° C onde foi adicionada rapidamente à polpa desintegrada e simultaneamente foi disparado o cronômetro. O béquer foi lavado com 100 ml de água destilada. Após 10 minutos oi adicionado da (proveta) 20 ml de KI 1N (iodeto de potássio). O iodo liberado foi titulado com  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  0,2 N, usando amido como indicador. Foi anotado o volume em ml de  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  consumidos no ensaio. Cada ensaio foi realizado em triplicata.

O número Kappa foi calculado pela Equação I:

$$NK = \frac{pxf}{w} \qquad p = \frac{(VB - VE) \cdot Ni}{N_2}$$

(Equação I)

Onde:

$f$  = fator de correção do consumo de  $\text{KMnO}_4$  a 50%, dependendo do valor de  $p$ .

$w$  = peso em gramas de celulose seca ao ar;

$p$  = ml de  $\text{KMnO}_4$  0,1N consumido pela polpa;

$\text{VB}$  = ml de  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  consumido na prova em branco;

$\text{VE}$  = ml de  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  consumido no ensaio;

$\text{N1}$  = normalidade do tiosulfato

$\text{N2}$  = normalidade do  $\text{KMnO}_4$

### 3.1.7 Análise da fibra

As análises para determinação da fibra em detergente neutro (FDN) e fibra em detergente ácido (FDA) foram realizadas de acordo com os métodos de Van Soest (1963) e Van Soest & Wine (1968) apud Saito, (2005). O material seco foi fracionado, pesados 0,35 gramas e adicionados em tubo de ensaio com 35ml de solução de detergente neutro (solução preparada com 30 g de sulfato láurico sódio, 18,61 g de EDTA, 6,81 g de borato de sódio hidratado e 4,56 g de fosfato ácido de sódio anidro para análise de FDN) e, solução de detergente ácido (20 g Brometo de Cetil Trimetilamônio diluído em 1 litro de ácido sulfúrico a 1 N para análise de FDA). Os tubos foram colocados em banho-maria a 100° C por 60 minutos, na seqüência os conteúdos foram filtrados em cadinhos de vidro número 2 e lavados diversas vezes com água quente. Após a lavagem final com acetona, os cadinhos contendo as fibras foram secos em estufa a 105° C por 8 horas, a seguir foram esfriados em dessecador e pesados. Após a pesagem os cadinhos contendo as fibras foram incinerados em mufla a 550° C por 4 horas, esfriados em dessecador e pesados. O resultado foi calculado conforme Equação II.

$$\% \text{FDN ou } \% \text{FDA} = \frac{100 \times (\text{cadinho} + \text{fibra}) - (\text{cadinho} + \text{cinzas})}{\text{peso da amostra}}$$

(Equação II)

### 3.1.8 Determinação de lignina via permanganato de potássio

Para a determinação da lignina via permanganato de potássio a amostra previamente utilizada na determinação de FDA foi colocada em placa de petri contendo água destilada (2 cm de altura) e adicionada 2 mL de uma solução C (mistura de 50 g de permanganato de potássio diluído em 1 litro de água destilada) em seguida foi adicionada a solução tampão previamente preparado com 6 g de nitrato férrico hidratado; 15 g de nitrato de prata dissolvido em 100 mL de água destilada mais 500 mL de ácido acético glacial; 5 g de acetato de potássio e 400 mL de álcool butílico terciário), foi agitado por 15 minutos. O material foi filtrado e adicionado 30 mL de solução C por mais 90 minutos e filtrado novamente.

Na seqüência foi colocada a solução desmineralizante previamente preparada com 50g de ácido oxálico em 700 ml de etanol adicionado de 50 ml de HCl 12N e 250 ml de água destilada. Os cadinhos foram lavados 2 vezes com etanol 80% e filtrados a vácuo e da mesma forma com acetona (30 a 40 mL). O material foi colocado para secagem à 100°C, a seguir foi esfriado em dessecador por uma noite e no final foi pesado. O resultado foi calculado conforme Equação III.

$$\frac{(\text{pesodocadinho} + \text{celulose} + \text{sílica}) - (\text{pesodocadinho} + \text{celulose depois da estufa})}{\text{pesoda amostra}} \times 100$$

(Equação III)

### 3.1.9 Determinação da celulose

Para a determinação da celulose as mesmas amostras utilizadas para a análise da lignina foram incineradas por 2 horas a 500° C, esfriadas em dessecador e pesadas. O resultado foi calculado conforme Equação IV.

$$\frac{(\text{pesodocadinho} + \text{celulose} + \text{sílica}) - (\text{pesodocadinho} + \text{cinzas} + \text{sílica})}{\text{pesoda amostra}}$$

(Equação IV)



### 3.1.10 Determinação de hemiceluloses

Conforme descreve a autora, o método de determinação de FDN e FDA via permanganato de potássio de Van Soest & Wine (1968), é a diferença entre a determinação das fibras FDN e FDA que resultam na quantidade de hemiceluloses existente no material representado pela Equação V.

$$\% \text{hemicelulose} = FDN - FDA$$

(Equação V)

### 3.1.11 Formação das folhas de papel

No laboratório de tecelagem da FAAC foram manufaturadas artesanalmente, parte da celulose processada no laboratório do CERAT, para a obtenção de folhas de papel maiores e mais espessas do que as dos corpos de prova que foram obtidas de acordo com as normas da (TAPPI 402 om-93), para serem utilizados na confecção de objetos tridimensionais.

No laboratório de celulose e papel do Departamento de Recursos Florestais foram realizados os procedimentos necessários para a formação das folhas de papel, de acordo com as normas da (TAPPI T 402 om-93).

Na primeira etapa a polpa celulósica exibida na Figura 13 foi refinada em moinho Jokro Mühle marca Regmed mod. MJ-K6 a 150 rpm que aparece na Figura 14. Para o procedimento de refino as seis panelas de bronze que compõem o moinho foram preenchidas com 16 g de celulose seca e acertada a consistência para 6% com água destilada em cada uma. O tempo de permanência de cada panela (Figura 15) no moinho varia de 15 a 75 minutos. A cada quinze minutos o moinho é desligado e dele retirado uma das panelas. Assim, cada panela permaneceu no moinho por tempo distinto. A primeira panela permaneceu por 15 minutos; a segunda por 30 minutos; a terceira por 45 minutos; a quarta por 60 minutos e a quinta por 75

minutos, sendo que a sexta panela serviu somente para o balanceamento das outras no moinho durante o procedimento.

Assim, a polpa de cada panela foi refinada em tempos diferentes, resultando em material para seis diferentes corpos de prova para as análises físico-mecânicas. Após o refinamento foi medido o grau de refino Schopper-Riegler de cada panela. Para os ensaios nas artes optou-se para o refinamento de 30 minutos por ter resultado num corpo de prova com gramatura, espessura e textura bastante significativas para receberem os pigmentos coloridos das tintas.



Figura 13 - Polpa celulósica seca em estufa após tratamento deslignificante e desintegração.



Figura 14 – Moinho tipo Jokro Mühle para refinamento de Polpas celulósicas.



Figura 15 – Uma das seis painéis de bronze do moinho Jokro Mühle

A seguir a polpa celulósica já refinada foi transferida para um desintegrador da marca Regmed mostrado na Figura 16, a 3000 revoluções.



Figura 16 - Desintegrador de polpa

A mistura, polpa e água, após passar pelo desintegrador foi transferida para um desfibrador, também da marca Regmed, (Figura 17) em 8 L de água, permanecendo em agitação para homogeneização das fibras antes de serem transferidas para o equipamento formador de folhas.



Figura 17 - Desfibrador de polpa

Em cada ensaio foi retirado 1 litro do material do desfibrador para medir o grau de refino - Schopper-Riegler, permanecendo por 30 minutos, num aparelho Regmed modelo SR-A, mostrado na Figura 18.



Figura 18 – Aparelho Schopper Riegler para medir grau de refino.

Em equipamento formador de folhas, do tipo Köthen Rapid da marca Regmed mostrado na Figura 19, foram formadas 7 folhas de papel em cada ensaio, que foram secas em estufa durante 10 minutos, em temperatura de 60° C e acondicionadas em ambiente climatizado, nas condições de  $50 \pm 2\%$  de umidade relativa e temperatura de  $23 \pm 2^\circ\text{C}$  (TAPPI T 402 om-93).



Figura 19 - Equipamento Regmed formador de folhas de papel com 20 cm de diâmetro.

## **3.2 Análises físico-mecânicas nos corpos de prova**

Os corpos de prova na forma de folhas foram, segundo metodologia exposta por Barrotti e Bergman (1988), utilizados para as análises físico-mecânicas onde as cinco melhores folhas foram selecionadas, excluindo-se aquelas que apresentaram linhas ou marcas de água, dobras ou outras anomalias visíveis. Foram realizadas análises de permeância ao ar, gramatura, espessura, volume específico, resistência e índice de tração, resistência e índice de rasgo e resistência ao arrebentamento.

### **3.2.1 Permeância ao ar**

Denomina-se permeância ao ar a facilidade com que um determinado volume de gás ou vapor passa por uma folha de papel, sob uma diferença de pressão e o resultado depende do número, tamanho, forma e distribuição dos poros no material.

A permeância ao ar das folhas formadas foram medidas em equipamento Gurley marca Regmed modelo PGH-T onde se mede o tempo em segundos necessário para que um volume de 300 cm<sup>3</sup> de ar passe por uma determinada área do papel. (TAPPI 460 om-96).

Neste ensaio foram utilizadas as três folhas de papel e realizadas duas medidas em cada uma.

### **3.2.2 Gramatura**

A gramatura é determinada através da relação entre massa de uma amostra de papel e sua área. A unidade de expressão é dada em grama/centímetro quadrado. A medição foi realizada em 5 corpos de prova, em uma balança onde é



possível ler diretamente a massa em gramas por metro quadrado, quando se pesa uma folha de área determinada.

Por afetar a maioria das propriedades do papel, é costume referir algumas propriedades à gramatura, como o índice de tração que é o quociente entre a resistência à tração e a gramatura.

### 3.2.3 Espessura

A espessura média de cada folha de papel foi determinada por um micrometro padronizado que possui dois discos planos e paralelos, entre os quais se coloca 5 folhas de papel a uma pressão constante e realizou-se 10 leituras em pontos selecionados casualmente por um medidor de espessuras automático, da marca Regmed modelo ME 1000 (TAPPI T 220 sp-96).

Para realizar os testes de resistência ao rasgo, arrebatamento e tração, as folhas foram cortadas como mostra a Figura 20.

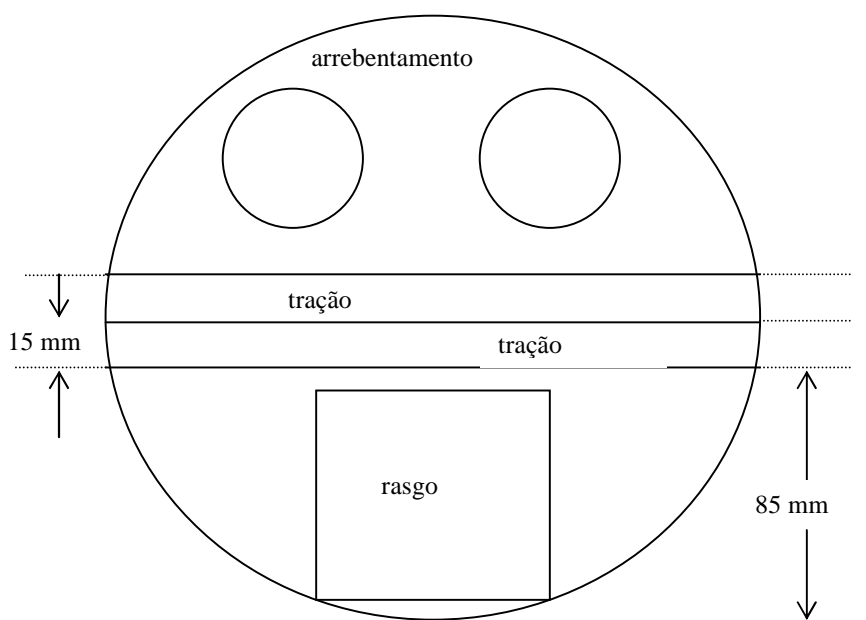


Figura 20 - Esquema do corte das folhas de papel para os testes físicos-mecânicos.

Fonte: (Horimoto - 2006)

Conforme o esquema da Figura 20, as folhas de papel com diâmetro de 20 cm foram dobradas ao meio e com guilhotina específica foram cortadas duas tiras de 15 mm de largura para o teste de tração. Na seqüência, a metade de cada folha foi cortada em formato quadrangular, também em guilhotina específica, para a realização do teste de rasgo e a outra metade da folha foi utilizada para o teste de arrebentamento ou estouro.

### 3.2.4 Resistência e índice de tração

Para a determinação da resistência a tração, os corpos de prova foram submetidos a um esforço de tração uniforme e crescente até sua ruptura. O equipamento utilizado foi um dinamômetro automático de marca Regmed modelo DI-500. A resistência a tração foi calculada pela média das 10 tiras de papel extraídas das 5 folhas e os valores obtidos foram reportados em kN/m e foi calculado segundo a Equação VI (TAPPI T 494 om-96).

$$RT = \frac{FM}{L} \quad (\text{Equação VI})$$

RT = resistência à tração, kN/m

FM = força máxima, N

L = largura da tira, mm

O índice de tração foi calculado segundo a Equação VII.

$$IT = \frac{RT \times 1000}{G} \quad (\text{Equação VII})$$

IT = índice de tração, N.m/g

RT = resistência à tração, kN/m

G = gramatura, g/m<sup>2</sup>

### 3.2.5 Resistência e índice de rasgo

A resistência ao rasgo foi medida em um aparelho tipo pêndulo Elmendorf da marca Regmed, modelo ED-1600, que mediu o trabalho necessário para que as folhas de papel se rasgassem, a uma distância fixa, depois de o rasgo ter sido iniciado por uma faca adaptada ao aparelho, o pêndulo foi solto, completando o rasgo. O trabalho despendido nesta operação foi marcado em escala graduada de 0 a 100, fixada no próprio aparelho.

A força média necessária para rasgar uma só folha com a distância fixada foi expressa segundo a Equação VIII e o índice de rasgo foi determinado conforme a Equação IX (TAPPI T 414 om-98).

$$RR = \frac{16 \times L}{n} \times 9,81 \quad (\text{Equação VIII})$$

onde:

RR = resistência ao rasgo em mN;

L = média das leituras, gf;

n = número de folhas ensaiadas em conjunto.

$$IR = \frac{RR}{G}$$

(Equação IX)

onde:

IR = índice de rasgo, mN.m<sup>2</sup>/g

RR = resistência ao rasgo, mN

G = gramatura, g/m<sup>2</sup>

### 3.2.6 Resistência ao arrebentamento e índice de arrebentamento

Para a determinação da resistência ao arrebentamento foi utilizado o aparelho Mullentester marca Regmed, modelo MTA – 1000P, onde o corpo de prova submetido ao ensaio foi preso rigidamente entre dois anéis concêntricos e a ele foi aplicada uma pressão uniforme e crescente, transmitida por um diafragma elástico de área circular. A pressão limite no momento da ruptura é chamada de resistência ao arrebentamento e é expressa em kPa. O índice de arrebentamento foi determinado pela Equação X (TAPPI T 403 om-97).

$$IA = \frac{P}{G} \quad (\text{Equação X})$$

onde:

IA = índice de arrebentamento, kPa.m<sup>2</sup>/g

P = pressão média, kPa;

G = gramatura, g/m<sup>2</sup>

### 3.3 Tratamento de superfície

Na superfície dos corpos de prova dos papéis foram aplicados tratamentos de tintas com pigmentos em solvente aquoso; tintas com pigmentos em solventes orgânicos voláteis; impressão em alto relevo; impressão em baixo relevo; impressão xilográfica; gravação com lápis tipo grafite e giz pastel. Para outros processos do tipo aquarela, por exemplo, poderão ser aplicados modificadores na superfície, para torná-los apropriados à recepção das tintas.

Análises de desempenho foram efetuadas observando outros valores de referência na literatura.

### **3.3.1 Aplicação prática ao papel especial**

Como papel especial neste trabalho a intenção foi considerar a própria superfície e cor natural do papel como um elemento plástico, não somente para a inserção de elementos gráficos, com cores e texturas, mas, também como sendo o produto papel o próprio objeto. Existem outros aspectos a serem analisados, pensados e solucionados, de forma a explorar sua potencialidade buscando novas possibilidades, trabalhando efetivamente desde o desenvolvimento do produto para que as experimentações sejam incorporadas ao próprio design da superfície do papel.

Lembrando que se pode considerar as superfícies bidimensionais e as superfícies tridimensionais. Para ambas, o acabamento tem influência preponderante no resultado, permitindo variações no design do papel.

### **3.3.2 Técnicas artísticas de impressão**

#### **3.3.2.1 Impressões xilográficas**

No Laboratório de Gravura e Pintura da Faculdade de Arquitetura Artes e Comunicação, UNESP/Bauru foram realizados os experimentos para avaliação do comportamento do papel nas impressões xilográficas, utilizando tintas a base de água da marca Speedball e tintas a base de óleo com solventes da marca Speedball. Foi utilizada prensa de rosca (Figura 21) para obtenção das cópias.



Figura 21 – Prensa de rosca

### 3.3.2.2 Impressões fotográficas por transferência

As impressões fotográficas utilizando papel especial para transferência, *transfer*, foram realizadas no Laboratório de Tecelagem da Faculdade de Arquitetura Artes e Comunicação da UNESP/Bauru. Consistiu na elaboração de uma fotografia que foi impressa no papel *transfer* em uma impressora HP 830 e na seqüência transferida para o papel do caule de mandioca por meio do calor de um ferro de passar roupas.

### **3.3.2.3 Impressão serigráfica**

As impressões serigráficas foram realizadas no Laboratório de Tecelagem, utilizando uma tela de nylon preparada com uma emulsão fotosensível onde a imagem foi sensibilizada pela exposição à luz em seguida esta imagem foi impressa no papel com tinta especial para serigrafia, auxiliado por um rodo de borracha.

### **3.3.3 Técnicas de pintura e de desenho**

Foram realizados experimentos com variadas técnicas de pintura e desenho no Laboratório de Gravura e Pintura da Faculdade de Arquitetura Artes e Comunicação, UNESP/Bauru, utilizando lápis aquarelável da marca Classicolor Caran D'Ache; tinta nanquim da marca Rotring; caneta nanquim da marca Faber-Castell; giz de cera da marca Faber-Castell; giz pastel seco e oleoso; carvão e tinta guache (esses últimos materiais foram produzidos em sala de aula na disciplina de Análise e Exercícios das Técnicas de Materiais Expressivos do Curso de Educação Artística). Vale ressaltar que os papéis não tiveram nenhum preparo em sua superfície para o recebimento das tintas.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Análise do resíduo

Para os resultados da caracterização morfológica do caule da mandioca foram determinados: comprimento, diâmetro e peso, conforme mostra a Tabela 7.

Tabela 7 - Características morfológicas do caule da mandioca (*Manihot esculenta* Crantz)

Parâmetros	Mínimo	Máximo	Médio
Umidade (%)	-----	-----	94,10
Peso Úmido (kg)	0,70	1,45	1,10
Comprimento (m)	1,20	1,36	1,28
Diâmetro (m)			
Base	0,25	0,35	0,30
Centro	0,18	0,26	0,22
Topo	0,10	0,15	0,13

De acordo com os resultados da Tabela 7 é possível observar que uma planta de mandioca contendo 3 a 4 hastes tem capacidade de produzir de 3,3



a 4,4 kg deste material. Considerando que o espaçamento adotado para esta cultura seja de 0,8 x 0,8 m, em 1 hectare gera-se de 12 500 a 15 000 plantas que significam no mínimo 41,2 t de hastes. Uma parte deste material, geralmente 30%, tem utilização como material de propagação no plantio da futura cultura e o restante é descartado. Um resíduo agrícola com significativo volume mássico que deve ser retirado do campo a cada ciclo da cultura poderia encontrar utilidade de maior valia do que simplesmente descarte ou servir para queima.

#### **4.1.1 Produção da pasta celulósica**

Os resultados dos ensaios estão dispostos na Tabela 8, onde se pode observar que o valor do número Kappa está muito alto indicando grande concentração de lignina. A presença de lignina unindo fibras celulósicas indica deficiência no processo de polpação.

Tabela 8 - Resultados de ensaios da polpação Kraft do caule da mandioca. (Na<sub>2</sub>S: Sulfeto de sódio; NaOH: Hidróxido de sódio; T: temperatura).

Ensaio	Carga do reator kg	Na <sub>2</sub> S (g)	NaOH (g)	T °C	H <sub>2</sub> O L	Número Kappa
1	0,270	6,25	18,75	170	4	90,50
2	0,270	5,0	20,0	180	4	91,90
3	0,270	5,0	20,0	160	4	91,75
4	0,270	6,25	18,75	180	4	87,50
5	0,270	10,5	24,5	160	4	85,30
6	0,270	7,0	28,0	180	4	92,10
7	0,270	8,75	26,25	160	4	91,30
8	0,270	10,5	24,5	180	4	87,50
9	0,270	10,5	24,5	170	4	87,30
10	0,270	9,0	36,0	160	4	90,75
11	0,270	9,0	36,0	180	4	90,10
12	0,270	11,25	33,75	180	4	87,50
13	0,270	13,25	31,5	180	4	89,10
14	0,270	8,75	26,25	170	4	91,00
15	0,270	8,75	26,25	180	4	91,50
16	0,270	7,5	17,5	180	4	85,50
17	0,270	13,5	31,5	160	4	87,75
18	0,270	13,5	17,5	160	4	93,50

Analisando os valores dos números Kappa concluiu-se que não são influenciados pelas variáveis independentes. Após ensaios experimentais prospectivos houve indicativo de que um aumento na concentração dos sais e pela redução da quantidade de água resultaram numa eficiente remoção de ligninas para a obtenção dos papéis especiais. A Tabela 9 mostra os ensaios realizados.

Tabela 9 - Resultados de ensaios de polpação Kraft do caule da mandioca com aumento de concentração dos sais.

Ensaio	Carga reator (Kg)	Na <sub>2</sub> S (g)	NaOH (g)	H <sub>2</sub> O L	T °C	Número Kappa
19	0,270	35,0	105,0	1	160	61,90
20	0,270	35,0	105,0	1	180	61,75

#### 4.2 Análise da determinação das fibras em FDN e FDA

As análises de FDN e FDA, para determinação da proporção de fibras nas hastas das plantas da mandioca, de lignina e de celulose verificadas neste trabalho, foram realizadas de acordo com os métodos de Van Soest (1963) e Van Soest & Wine (1967) apud Saito (2005).

Pelos resultados obtidos, expressos na Tabela 10, pode-se observar que a quantidade de fibras antes da polpação era menor resultando em 45,07% e após a polpação o resultado foi de 57,50%.

##### 4.2.1 Avaliação das análises físico-químicas do resíduo

A avaliação físico-química do caule da mandioca, para que este seja considerado matéria-prima para a produção de polpa celulósica foi realizada com as fibras antes do processamento de polpação kraft (cavacos) e depois do processamento (fibras). As análises foram realizadas em triplicata e os resultados estão expressos na Tabela 10.

Tabela 10 - Resultados das análises físico-químicas das fibras antes e após a polpação

TRATAMENTO	RESULTADOS DAS FIBRAS								
	FDN	FDA	FT	LI	CE	HE	MM	MS	NK
Cavacos	77,05	60,38	45,07	28,47	40,06	16,67	3,29	89,85	-----
Fibras	87,89	74,95	57,50	45,55	52,65	12,94	1,66	90,55	61,75

Legenda: FDN= % fibra em detergente neutro

FDA: % fibra em detergente ácido

FT: % fibras totais

LI\*: % lignina (usado para comparação com o número kappa)

CE: % celulose

HE: % hemicelulose

MM: % matéria mineral

MS: % matéria seca

NK: número kappa.

Sendo a fibra o elemento mais importante para a polpação e se relacionando diretamente com a qualidade e o rendimento da polpa celulósica, que foi de 52,65% após a polpação, observou-se que a proporção de fibras indica que a polpação com o caule da mandioca pode ser suficiente, embora tenha sido observada elevada quantidade de extrativos, conforme Tabela 11. Esse inconveniente pode implicar em maior consumo de reagentes no processo de polpação o que pode resultar em baixo rendimento do processo e da qualidade da celulose. Para a madeira do Eucalipto *Eucalyptus gradis*, matéria-prima tradicionalmente utilizada para polpação o rendimento bruto de polpa celulósica está em torno de 55% e o número Kappa, em torno de 16 (WHER e BARRICHELLO, 1992).

Tabela 11 - Composição centesimal média do caule da mandioca

Umidade	Proteína	Amido	Carboidrato	Material graxa	Cinzas	Fibras
65,0	2,19	-	11,17	0,62	2,15	18,39

As Figuras 22, 23, 24 e 25 mostram a micrografia da fibra da celulose do caule da mandioca, de feixes e de aglomerados em vista longitudinal em 40 ampliações.



Figura 22 – Micrografia da fibra da celulose – vista longitudinal - 40 ampliações



Figura 23- Micrografia de feixes de fibra da celulose – vista longitudinal – 40 ampliações



Figura 24 – Micrografia de aglomerados de fibras da celulose - 40 ampliações

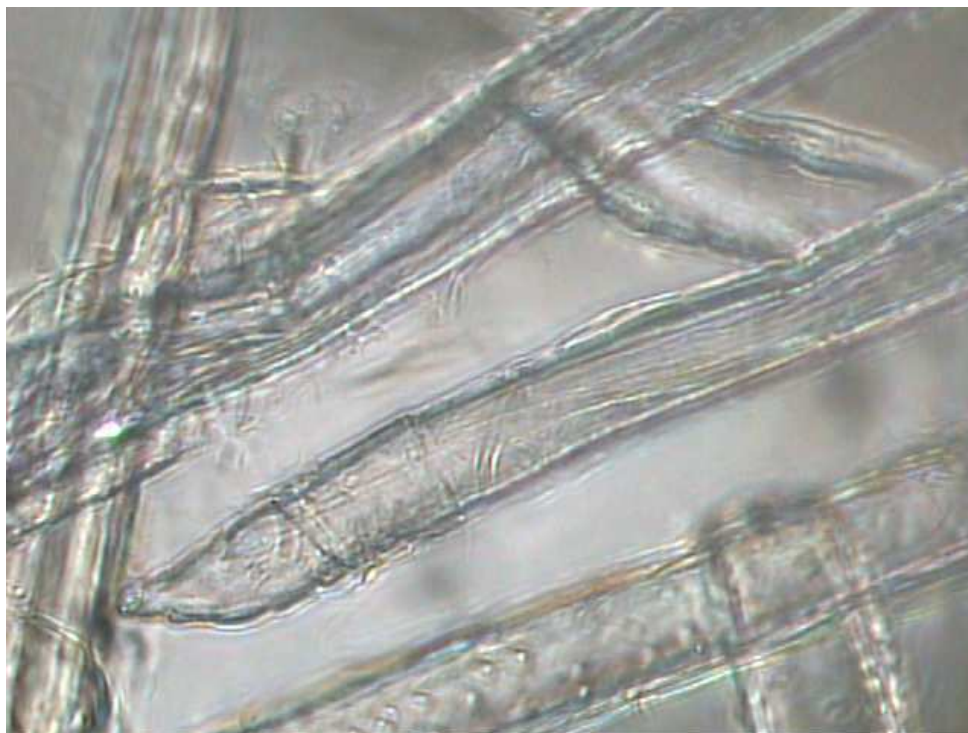


Figura 25 – Micrografia dos feixes da fibra da celulose – 40 ampliações.

### 4.3 Testes físico-mecânicos nos corpos de prova

Conforme metodologia exposta por Barroti e Bergman (1988) foram realizadas as análises físico-mecânicas, onde as 5 melhores folhas de cada ensaio foram selecionadas, excluindo-se aquelas que apresentaram marcas, dobras ou outras anomalias. Para os ensaios foram utilizadas 5 amostras com tempos diferentes de moagem. Não foi possível obter a amostra 0, portanto as amostras iniciam-se pela de número 1 com 15 minutos no moinho; amostra 2 com 30 minutos; amostra 3 com 45 minutos; amostra 4 com 60 minutos. A amostra 5 com 75 minutos não resultou adequada para o ensaio. A cada moagem foi medido o grau de refino Schopper-Riegler resultando em 32 para amostra 1; 51 para amostra 2; 64 para amostra 3; 76 para amostra 4 e 81 para a amostra 5. Os resultados das análises físico-mecânicas estão expressos na Tabela 12.

Tabela 12 - Valores médios dos testes físico-mecânicos aplicados em folhas de papel obtidos da polpa do caule da mandioca.

Amostra	gramatura (g/m <sup>2</sup> )	espessura (μm)	permeância ao ar (s/300cm <sup>3</sup> )	PEA (g/cm <sup>3</sup> )	IR (mN.m <sup>2</sup> /g)	IT (Nm/g)	IA (kPa.m <sup>2</sup> /g)
1	51,72	147,0	27,9	0,147	8,84	35,38	1,59
2	50,05	109,4	24,72	0,109	9,13	59,10	2,67
3	49,91	95,6	65,14	0,095	9,16	80,54	2,62
4	49,44	78,4	-	0,078	9,25	88,10	3,48

Legenda: PEA: peso específico aparente

IR: índice de rasgo

IT: índice de tração

IA: índice de arrebatamento

Nos ensaios foi possível observar que a gramatura, bem como a espessura, diminui conforme o tempo de moagem. Os ensaios realizados com as amostras de 15 e de 30 minutos de moagem são os que apresentam melhores resultados para os experimentos, pois os papéis não ficaram tão finos como nos ensaios de 45 e de 60 minutos. Observa-se que os testes de permeância ao ar apresentam resultados variados entre 27,9 e 65,14, o que indica que nos ensaios realizados com as amostras de número 1 e 2 as fibras estavam mais próximas e conseqüentemente mais resistentes. O PEA (peso específico aparente) diminui conforme o tempo de moagem o que indica que os melhores tempos estão nos ensaios das amostras de número 1 e 2.

Nos testes de arrebatamento e rasgo não houve diferenças significativas entre as amostras. Já nos testes de tração as diferenças são marcantes, variando entre 35,38 e 88,10 Nm/g.

O tratamento de superfície neste trabalho foi em função da utilização bi e tridimensional do produto papel obtido em sua origem, sem a utilização de agentes modificadores.



#### **4.4 Fase executiva**

Após os testes de laboratório foram desenvolvidos experimentos em sala de aula com alunos do curso de Educação Artística da FAAC/UNESP/Bauru. Utilizaram-se corpos de prova com o grau de refino de 30 minutos, obtidos no laboratório de celulose e papel conforme mostra a Figura 26. Também foram manufaturadas parte da celulose já processada em laboratório do CERAT para obtenção de folhas de papéis maiores e mais espessas conforme Figura 27. Nos corpos de prova foram realizados experimentos com impressões xilográficas, serigráficas, fotográficas por transferência, além de impressão em jato de tinta. Foram ainda aplicados, com sucesso, nos corpos de prova, diversificados processos de pintura e desenho como experimentos com lápis de cor aquarelável, tinta nanquim, giz pastel, tinta guache, carvão e giz de cera. Os papéis obtidos artesanalmente foram utilizados para trabalhos tridimensionais.



Figura 26 - Corpo de prova



Figura 27 - Papéis manufacturados

#### **4.4.1 Técnicas artísticas de impressão**

##### **4.4.1.1 Impressões xilográficas**

As impressões xilográficas foram realizadas com tinta à base de óleo (Figura 28) e tinta à base de água (Figura 29), com bastante cautela. No entanto, o papel se mostrou apto a receber os dois tipos de tintas a que foram expostos. Não houve atravessamento da tinta no verso do papel e nem espalhamento para os lados durante a prensagem. A impressão resultou satisfatória demonstrando que o papel do caule da mandioca é uma alternativa para impressões xilográficas.



Figura 28 - Xilogravura com tinta a base de óleo.



Figura 29 - Xilogravura com tinta à base de água.

#### 4.4.1.2 Impressões fotográficas por transferência

Na impressão fotográfica realizada por *transfer* (Figuras 30 e 31) não houve dificuldade. O papel se mostrou receptivo, contudo houve modificação nas cores e as nuances propostas na matriz foram modificadas. Isto se deve ao fato do material utilizado ser uma película transparente fazendo com que a cor do papel prevaleça. A textura do papel foi favorável à aderência do *transfer*.



Figura 30 – Matriz para transferência



Figura 31 - Impressão fotográfica utilizando *transfer*.

Nesta técnica foi possível observar que a cor do papel não foi adequada porque interferiu na qualidade das cores propostas.

#### 4.4.1.3 Impressão serigráfica

O papel do caule da mandioca recebeu muito bem a técnica da serigrafia. Não houve vazamento e nem atravessamento da tinta no papel. Pode-se afirmar que este papel é uma alternativa para esse tipo de impressão conforme se pode observar na Figura 32.

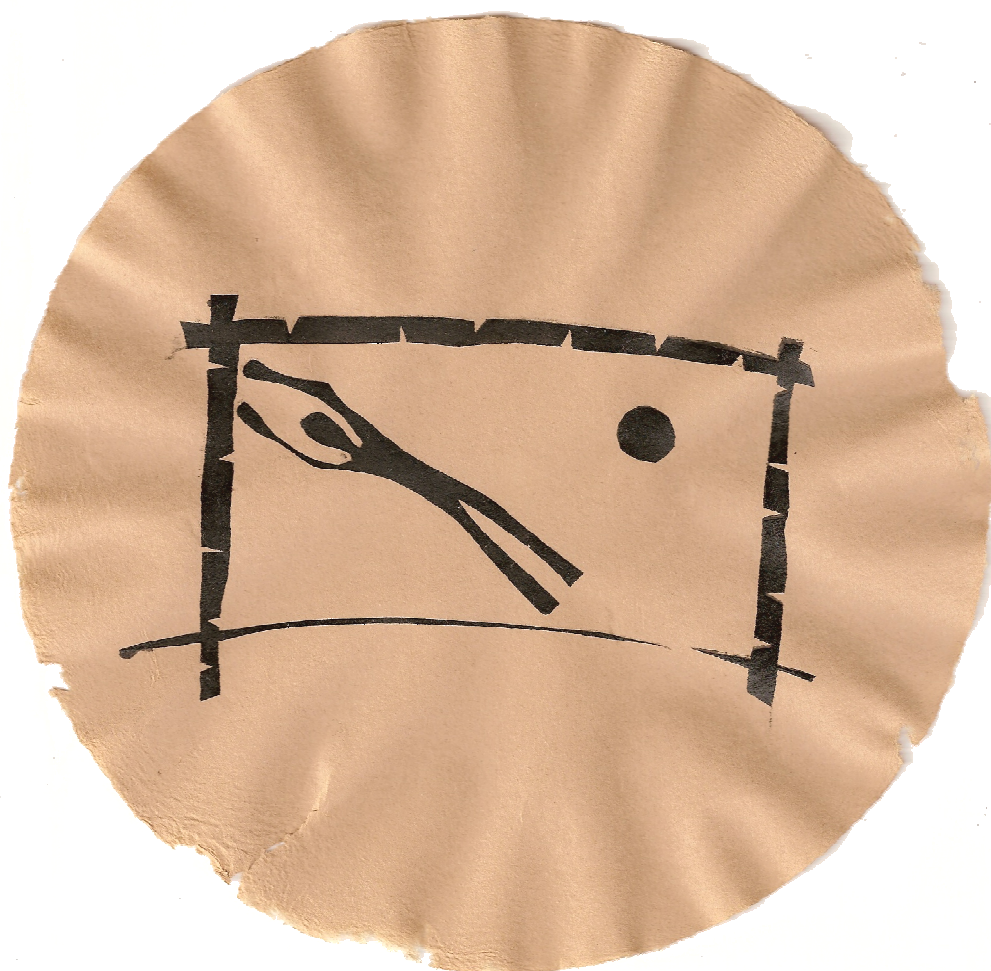


Figura 32 – Impressão serigráfica.



#### **4.4.1.4 Impressões com jato de tinta**

Na impressão com jato de tinta, em impressora jet set 1300, houve grande dificuldade no sentido do formato do papel para ser puxado pela impressora, contudo a impressão resultou dentro da normalidade.

#### **4.4.2 Técnicas de desenho e pintura**

##### **4.4.2.1 Pinturas com tinta aquarela**

A aplicação da tinta aquarela nos papéis do caule da mandioca não foi satisfatória, pois a luminosidade característica da técnica, em função de sua transparência, necessita de um suporte bem claro, senão branco, portanto o papel do caule da mandioca sem um prévio clareamento, não se mostrou adequado. Entretanto, os desenhos com lápis de cor aquarelável foram bem aceitos pelo suporte, não houve enrugamento do papel, não somente quando utilizados em forma de traços, como também quando utilizados em forma de aguada, conforme observado na Figura 33.



Figura 33 - Desenho e pintura com lápis de cor aquarelável.

#### **4.4.2.2 Pinturas e desenhos com tinta nanquim**

A tinta nanquim, que se assemelha à aquarela por ser aguada, teve um comportamento satisfatório sobre o papel do caule da mandioca. Foram realizados desenhos com caneta, pena e pincel e a cor escolhida foi a preta para realçar o contraste com a cor do papel. O resultado pode ser observado nas Figuras 34, 35 e 36.



Figura 34 - Pintura com aguada de tinta nanquim.

É possível observar nesta composição que foi possível trabalhar o degradê sem que houvesse o enrugamento do papel.

Nas pinturas com a tinta aguada (Figuras 35 e 36) aplicadas com pincel ocorreu atravessamento da tinta, contudo, não a ponto de danificar o papel nem o resultado do trabalho.



Figura 35 - Pintura aguada de nanquim com pincel.



Figura 36 - Desenho e pintura com caneta e aguada com tinta nanquim.

Os ensaios com caneta e pouca água com aguada se mostraram bastante satisfatórios, pois os traços com caneta foram muito bem recebidos pelo papel e a aguada não danificou o papel. Na Figura 34 é possível observar que os traços estão nítidos e sem espalhamento da tinta.

#### 4.4.2.3 Pinturas com giz pastel seco e oleoso

O giz pastel, por sua alta concentração de pigmentos, resulta em pinturas com grande variação de tons. A receptividade deste papel ao giz pastel foi positiva revelando-se um suporte adequado. Ainda que este papel não possua alta gramatura, sua superfície é bem porosa e resultou numa textura valiosa para a aderência dos pigmentos do giz pastel. Sobre os desenhos e pinturas foi aplicada uma camada de fixador a base de benzina e resina âmbar. (Figuras 37, 38 e 39)



Figura 37 - Pintura com giz pastel oleoso.



Figura 38 – Pintura com giz pastel seco e oleoso.

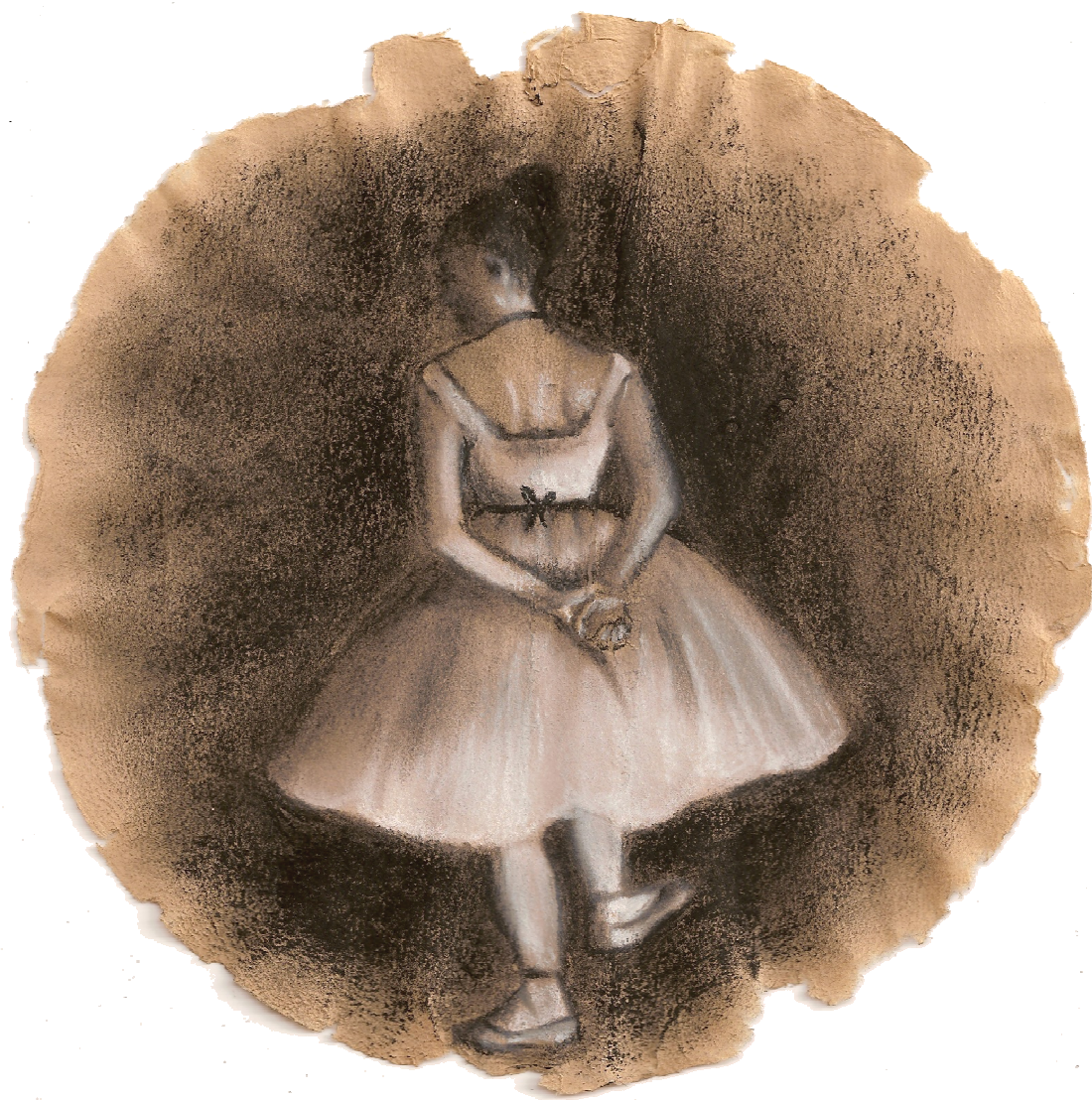


Figura 39 – Pintura com giz pastel seco



#### 4.4.2.4 Desenhos e pinturas com carvão

Os desenhos e pinturas com carvão surpreenderam pela forma com que o papel do caule da mandioca recebeu os traços, mostrando-se adequado, tanto para o desenho quanto para a pintura. Nos desenhos e pinturas a carvão foi aplicado fixador à base de álcool e resina âmbar, e o papel recebeu muito bem este produto. Os trabalhos com carvão podem ser observados nas Figuras 40, 41, 42, 43.



Figura 40 - Desenho com carvão



Figura 41 - Desenho com carvão



Figura 42 - Desenho e pintura com carvão.



Figura 43 - Pintura com carvão.

#### 4.4.2.5 Pinturas com giz de cera

O giz de cera foi outro material que surpreendeu sobre o papel do caule da mandioca. Este giz requer uma superfície especial na aderência da cera com o pigmento para que não haja acúmulos indesejáveis e este papel recebeu bem o giz de cera e possibilitou a mistura das cores entre si podendo ser observado o resultado na Figura 44.



Figura 44 - Pintura com giz de cera.

#### 4.4.2.6 Pinturas com tinta guache

A tinta guache sobre a superfície do papel do caule da mandioca foi muito bem aceita, não ocasionou enrugamento do papel e também não houve atravessamento no verso do papel, embora a tinta guache tenha grande quantidade de água em sua composição. As cores aderiram com facilidade e não se espalharam para os lados. O resultado pode ser observado na Figura 45.



Figura 45 - Pintura com tinta guache

### 4.4.3 Superfícies tridimensionais

Para as superfícies tridimensionais a intenção foi aproveitar o efeito resultante dos aglomeramentos ocasionais de fibras existentes na polpa, sem passar pelo processo de moagem. O resultado das folhas de papel foi observado no peso, na gramatura, na textura e também na superfície das folhas conforme exposto na Figura 46. Além do efeito visual, um fator importante foi a espessura do papel que permitiu realizar as dobras e obter objetos mais firmes, contudo bastante delicados.

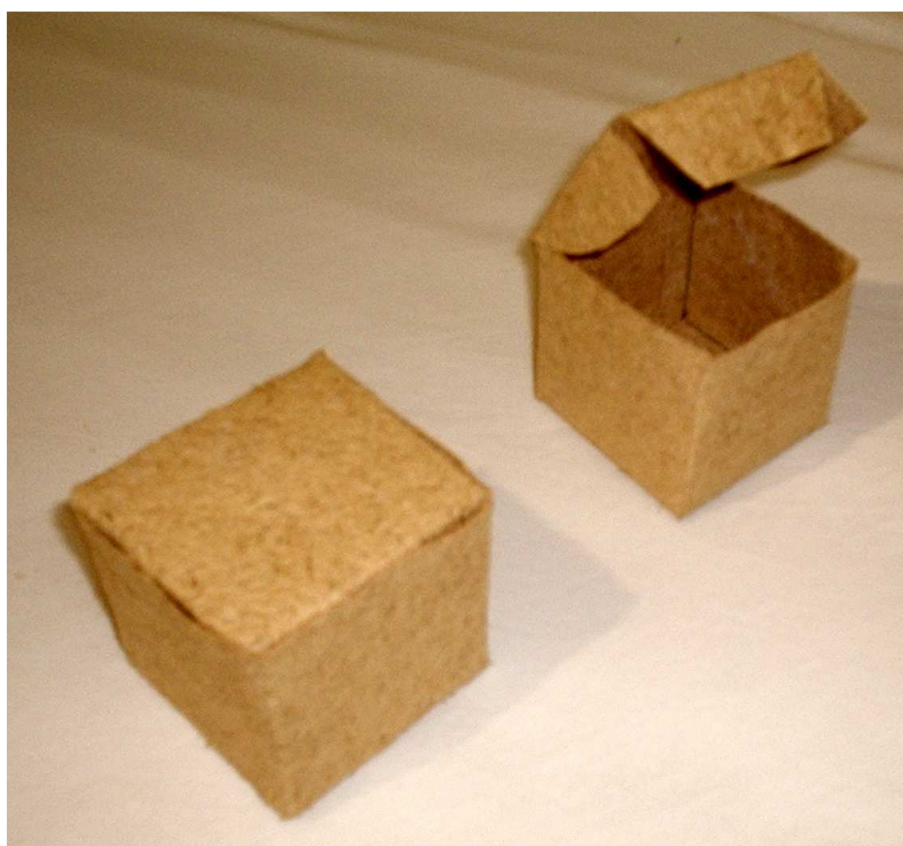


Figura 46 – Objetos tridimensionais

Nesta pesquisa foi possível observar que o papel do caule da mandioca serviu como um suporte adequado para os diversos procedimentos experimentados nas artes, podendo em algumas situações sofrer algum tipo de tratamento em sua superfície para torná-la menos porosa na recepção de determinados tipos de impressão ou tintas que requeiram uma superfície mais uniforme.

Determinados tratamentos para tornar sua superfície mais porosa e áspera para processos que assim o requeiram é outra alternativa para estes papéis.

A cor natural do papel do caule da mandioca teve importância preponderante nos resultados artísticos. Essa cor morena que remete a valores da origem do povo brasileiro, correspondentes ao tropicalismo do Sul do Equador, tornou-se uma alternativa com potencial positivo para o contexto das artes.



## 5 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos nesta pesquisa permitem concluir que a metodologia adotada e as condições experimentais foram adequadas, viabilizando tecnicamente a utilização do resíduo agrônômico do caule da mandioca como matéria-prima na produção de polpa celulósica pelo processo Kraft de polpação para a fabricação de papéis especiais para as artes.

Os rendimentos determinados em polpa bruta e polpa depurada, a partir do método de polpação Kraft do caule da mandioca, resultou satisfatoriamente com um índice de 52,65% de celulose.

A utilização do caule da mandioca para a produção de polpa e papel, em função dos teores de celulose e de lignina apresentados, demonstrou ser viável. Embora o alto teor de lignina (61,75%) número Kappa, não seja o mais adequado, existe a possibilidade de melhorar esse processo.

A prática da fabricação de papéis especiais a partir desse resíduo pode ser considerada uma alternativa como perspectiva de sustentabilidade em locais onde haja grandes plantações desta cultura.

As aplicações gráficas nos papéis foram satisfatórias, entretanto observou-se que para algumas das técnicas de desenho e pintura utilizadas, seria mais conveniente se as superfícies das folhas fossem mais porosas para agarrarem melhor os pigmentos como nos trabalhos com giz. Em outras ocasiões seria mais adequado se

houvesse um preparo na superfície do papel para impermeabilizá-lo como é o caso das técnicas de pinturas aguadas como o nanquim e o guache, para não ocorrer o atravessamento da tinta no papel. Nas pinturas com tintas aquarelas, que são transparentes e necessitam do branco de fundo para a iluminação das cores, característica da pintura com aquarela, o ideal seria um papel clareado. Para tanto, novos estudos poderão ser realizados de tratamento de superfície para a utilização efetiva desses papéis no sentido de atender as exigências individuais das inúmeras técnicas existentes nas artes.

## REFERÊNCIAS

AGRIANUAL. **Anuário da produção agrícola no Brasil**. São Paulo, 2000, v.1, p. 150.

ALBAN, F. **Cadeia industrial do coco verde**. Maringá: UEM, 2004. Disponível em: <<http://www.uem.br/~urutagua/ed001html-37k>>. Acesso em: 22 Set. 2007.

ARAÚJO, M.; CASTRO, M. M. **Manual de engenharia têxtil**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian. 1988. 1643p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA TÉCNICA DE CELULOSE E PAPEL. **Números do setor**, São Paulo, 2004. Disponível em: <<http://www.bracelpa.org.br/br/index.htm>>. Acesso em 20 Nov. 2005.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALITICAL CHEMISTS. **Official methods of analysis**. 13.ed. Washington D. C.: s.n., 1980. 109p.

ASSUNPÇÃO, R. M. V.; PINHO, M. R. R. ; CAHEN R.; PHILIPP, P. P. Polpação química. In: PHILIPP, P. & D'ALMEIDA, M.L.O. **Celulose e papel: tecnologia de fabricação da pasta celulósica**. 1988, São Paulo: SENAI/IPT, p. 169.

ATCHINSON, J. E. New developments in non-wood plant fiber pulping: a global perspective. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON WOOD AND PULPING CHEMISTRY, **Raleigh**. Atlanta: TAPPI, 1989. 457p.

ATCHINSON, J. E., McGOVERN, J. N. History of paper and the importance of non-wood plant fibers. In: PULP AND PAPER MANUFACTURE: SECONDARY FIBERS AND NON-WOOD PULPING, Montreal: 1987. CPPA/TAPPI. p. 1. 13.

BAER, L. **Produção gráfica**. 2. ed. São Paulo: SENAC, 1999. 420p.

BAER, L. **Produção gráfica**. 3. ed. São Paulo: SENAC, 2001.280p.

BARROTI, S. L. B.,; BERGMAN, S. Propriedades do papel e ensaios sua avaliação. In: D'Almeida M. L. O. (Coord.) **Celulose e papel: tecnologia de fabricação do papel**. 2 ed. São Paulo: IPT. 1988.

BIERMANN, C. J. **Handbook of pulping and papermaking**, 2 ed. San Diego: Academic Press, 1996.

BONTCÉ, J. **Técnicas y secretos de la pintura**. L.E.D.A. 6 ed. Barcelona: LAS Ediciones de Arte, 1967.

BUSS, D. E. **Papel artesanal: veículo criativo na arte e na sociedade**. 1992. 177 p. Dissertação (Mestrado em Artes) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 1992.

CARRAMILLO NETO, M. **Produção Gráfica II: papel, tinta, impressão e acabamento**. São Paulo: Global, 1997. 120 p.

CARVALHO, V. D.; PAULA, M. B.; JUSTE JR, E. S. G. Efeito da época de colheita no rendimento e composição química de fenos da parte aérea de dez cultivares de

mandioca. **Brazilian Archives of Biology and Tecnology**, Curitiba, v. 46, n. 2, p. 59, 1985.

CAURIO, R. **Arte têxtil no Brasil: Viagem pelo mundo da tapeçaria**. Rio de Janeiro: Primor, 1985. 304 p.

CEREDA, M. P. Caracterização dos resíduos da industrialização da mandioca. In: CEREDA, M. P. **Industrialização da mandioca no Brasil**. Botucatu: Paulicéia, 1995, pp. 11-50.

CEREDA, M. P. **Caracterização, uso e tratamento de resíduos da industrialização da mandioca**. Botucatu: Centro de Raízes e Amidos Tropicais, 1996, 56p.

CEREDA **Manejo, uso e tratamento de subprodutos da industrialização da mandioca**. Série: Culturas amiláceas latinoamericanas. São Paulo: Fundação Cargill, 2001.

CLAYTON, D. Chemistry of alkaline pulping. In: Pulp and paper manufacture. **Alkaline pulping**. Canada: Canadian Cataloguing in Publication Data, 1996. p. 5-33.

COSTELLA, Antonio F. **Introdução à gravura e a sua história**. Campos do Jordão, SP: Mantiqueira, 2006.142p.

CRAIG, J. **Produção gráfica**. São Paulo: Nobel, 1987. 207p.

D'ALMEIDA, M. L. O. **Tecnologia de fabricação da pasta celulósica**. 2 ed. V.1, São Paulo: SENAI/IPT, 1988.

DAWSON, John. **Guia Completo del grabado**. Madrid: H. Blume Ediciones. 1982. 198p

EICHENBERG, Fritz. **The art of the print** – masterpieces, history and techniques. New York: Harry N. Abrams, Inc. Publishers, 1976.120p

FENGEL, D.; WEGENER, G. **Wood chemistry**. Ultrastruture, reactions. Berlin: Walter de Gruyter, 1989. 613 p.

FOELKEL, C.E.B.; BARRICHELO, L.E.G. **Tecnología de celulose e papel**. 1976. 207 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agronomia “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, 1976.

FOELKEL, C.E.B. **Madeira de eucalipto: da floresta ao digestor**. Piracicaba: ESALQ/USP, 1976. 25p.

FOELKEL, C. E. B. **Rendimento em celulose sulfato de eucalyptus spp. Em função do grau de deslignificação e da densidade da madeira**. Piracicaba: ESALQ/USP, IPEF, (9), 61-67, 1974.

GALAT, W. **Pasta de alto rendimento**. Arapoti: Impacel, 1990, 41 p.

GONÇALVES, S. M. L.; MENEZES, M. S.; CABELLO, C. The role of the paper in the graphics: from supporting to main actor. In: 12<sup>th</sup> INTERNATIONAL CONFERENCE ON GEOMETRY AND GRAPHICS AND JAPAN SOCIETY FOR GRAPHIC SCIENCE. 12., Salvador, 2006. **Anais**. Salvador: Poli, USP, 2006.

HELLER, Jules. **Paper making**. New York: Watson-Guption Publications, Inc., 1997. 216 p.

HILARIO, K.; CABELLO, C. Caracterização de resíduos de mandioca para utilização na fabricação de papéis especiais. In: II SEMINÁRIO DE INTEGRAÇÃO DE PESQUISAS DO CERAT, 2., 2005, Botucatu. **Anais**. Botucatu: UNESP, 2005. p.49-51.

HOLANDA, A. B. **O dicionário da língua portuguesa: Século XXI**. Rio de Janeiro: Ed. Nova Fronteira S. A., 1999.

HORIMOTO, L.K. **Modificação química em amidos de tuberosas tropicais para utilização em processo de fabricação de papéis**. 2006. Dissertação de Mestrado - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2006.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Sistema IBGE de recuperação automática SIDRA. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/agric/>>. Acesso em: 18 dez. 2007.

IROLIVEA *et al.* Efeito do espaçamento entre plantas e da arquitetura varietal no comportamento vegetativo e produtivo da mandioca. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE RAÍZES TROPICAIS E NO IX CONGRESSO BRASILEIRO DE MANDIOCA, 5., Piracicaba, 1998. **Scientia Agrícola**. Piracicaba, 1998. p. 3-5.

KOGA, M.E.T. Matérias-primas fibrosas. In: PHILIPP, P. & D'ALMEIDA, M.L.O. **Celulose e papel: tecnologia de fabricação da pasta celulósica**. 1988, São Paulo: SENA/IPT, 1988. p.15-44.

KUAN, G.S. S.; BENAZZI, R.C.; BERGMAN, S. Matérias-primas fibrosas. In: **CELULOSE E PAPEL: Matérias primas**. São Paulo: SENAI/ IPT, 1988. 561-581.

LEBOURG, C. *et all.* Balanço de massa em uma feccularia de mandioca. I: Avaliação geral. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE RAÍZES TROPICAIS I e CONGRESSO BRASILEIRO DE MANDIOCA, IX, 1996, São Pedro: **Anais...** São Pedro, Editora CERAT, p. 58.

LIMA, A., RODES, L., PHILIPP, P. Alguns dados sobre a história do papel. In: CELULOSE E PAPEL. **Tecnologia de fabricação de pasta celulósica**. 2 ed. São Paulo: Editora SENAI-IPT, 1988, v. 1, p. 1-13.

LÓPEZ, F.; ARIZA, J.; PÉRES, I.; JIMENEZ, L. **Comparative study of paper sheets from olive tree wood pulp obtained by soda, sulphite or kraft pulping**. Bioresouse Technology, n. 71, p. 83 – 86, 2000.

LÓPEZ, F.; ARIZA, J.; PÉRES, I.; JIMENEZ, L. **Influence of the operating on the properties of paper sheets obtained by kraft pulping of olive tree wood**. Bioresouse Technology, n. 72, p. 147 – 151, 2000.

LORENZI, J.O. Mandioca. Boletim técnico. 1ed, Campinas: Cati Edições, 2003.116 p.

MARTINS Itajay. Gravura: arte e técnica. São Paulo: Laserprint, Fundação Nestlé de Cultura, 1987. 238p.

MIRANDA, C. R. ; BARRICHELO, L. E. G. . Celulose de madeira de E. citriodora: influência do tamanho de cavacos. O Papel, v. 52, n. 12, p. 119-139, 1991.

MONTALDO, A.. Whole plant utilization of cassava animal feed. In: NESTEL &GRAHAN EDS. **Cassava and animal feed**. Ottawa, International Development Research Center, 1977, p. 95-107.

MURRAY, N. P. **Caracterización y evaluación agronómica del residuo de fibra de coco: un nuevo material para el cultivo en sustrato**. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia, 2001.



OLIVEIRA, R. Mandioca é alternativa para combustíveis. **Paraná online** jan. 2007. Disponível em: <<http://www.abam.com.br/not.php?id=257>>. Acesso em: 15 out. 2007.

OLIVEIRA , C. M. **Xori! Xori! Os homens estão chegando!!! Interferências gráficas e poéticas**. 2001. 123p. Dissertação (Mestrado em Artes) - **Instituto de Artes**, Universidade Estadual Paulista, São Paulo, 2001

RIBEIRO, M. **Planejamento visual gráfico**. Brasília: Linha Gráfica Editora,1998. 500 p.

ROJAS, M. L. B. **Beneficiamento e polpação da ráquis da bananeira “nanição”** (Musa Grupo AAA, Giant Cavendish). Piracicaba: ESALQ/USP, 1996, 150 p.

RUZENE, D. S.. **Obtenção de polpas de dissolução por processos organosolv a partir de palha ou bagaço de cana-de-açúcar**. 2005, 186p. Tese (Doutorado em Agronomia) Faculdade de Engenharia Química, Lorena, 2005.

SAITO, I. M. **Produção de hidrolisados a partir de resíduo da industrialização da mandioca submetido a pré-tratamento hidrotérmico**. 2005. 96p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2005.

SENAI-SP. **Notas de aula sobre a fabricação de celulose, papel e cartões**. São Paulo: SENAI “Theobaldo Nigris”, 2001. 56 p.

SILVA, F. G. **Conversão do processo kraft em soda – DDA (sal disódio de 1,4-dihidro-9-10-dihidroxi-antraceno) para madeira de eucalipto**. Piracicaba: ESALQ/USP, 1994. 172 p..

SILVA, O.R.R.F. da; CARVALHO, O.S.; RAMOS, E.S.B. Cultivo do sisal no Nordeste. In: SILVA, O.R.R.R.F. da; BELTRAO, N.E. de M. **O agrônomo do sisal no Brasil**. Brasília: EMBRAPA-SPI; Campina Grande: EMBRAPA-CNPA, 1999. p.53-92.

SMOOK, A. Gary. **Handbook for pulp & paper technologists**. Vancouver. Angus Wilde Publications Inc., 1999. 83p.

TAPPI – Technical Association of Pulp and Paper Industry. TAPPI Standard Methods. T 230 om-82. 1982

TAPPI – Technical Association of Pulp and Paper Industry. TAPPI Standard Methods. T 230 om-85. 1985

TAPPI – Technical Association of the Pulp and Paper Industry. TAPPI Standard Methods. T 230 om-88. 1991

TAPPI - Technical Association of the Pulp and Paper Industry.T 460 om-96. **Air resistance of paper (Gurley method)**, 6p. 1996.

TAPPI – Technical Association of Pulp and Paper Industry. TAPPI Standard Methods. T 230 om-82. 1982.

TAPPI - Technical Association of the Pulp and Paper Industry. Official Test Methods, Provisional Test Methods, and Useful Test Methods - Fibrous Materials and Pulp Testing. Atlanta, USA, 1979.

VAN SOEST, P. J. Use of detergents in the analysis of fibrous feeds II: a rapid method the determination of fiber and lignin. **Journal of the association Of official Analytical Chemistry**. Washigton V. 46, n.9, p. 829-835. 1963.

VAN SOEST, P. J., WINE, R. H. Use of detergents in the analysis of fibrous feeds IV: determination of plant cell wall constituents. **Journal of Association of Official Analytical Chemistry**, Washigton v. 50, n. 3, p. 50-55, 1967.

VAN SOEST, P. J., WINE, R. H. The determination of lignin and cellulose in acid-detergent fibre with permanganate. **Journal of the association Of official Analytical Chemistry**. Washigton, v. 52, p. 780, 1968.

VIANA, A.E.S. *et al.* **Estimativas de tamanho de parcela em experimentos com mandioca**. Revista Horticultura Brasileira, Print ISSN 0102-0536. Brasília, Março/2002.

VIDAL, J. A. V. “**La estopa de coco**: Nueva materia prima para la industria papelera”. **AUPEC**. Colombia: Univalle, s.d.1999

VISPERAS, R. V.; ESTRELLADO, A. R.; LASMARIAS, V. B.; PAMPLONA, B. S. **A preliminary study on ethanol pulping of abaca fibers**. FPRDI J. Laguna, v. 13, n.2, p.20-24, 1984.

WHER, T. R.; BARRICHELO, L. E. G. . Cozimento kraft com madeira de Eucalyptus grandis de diferentes densidades básicas e dimensões de cavacos. In: CONGRESSO ANUAL DE CELULOSE E PAPEL DA ABTCP. São Paulo v. 25, 1992

# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)