



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA
CURSO DE DOUTORADO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: AGROECOSSISTEMAS DA AMAZÔNIA

**INFLUÊNCIA DA RADIAÇÃO FOTOSSINTETICAMENTE ATIVA (RFA) NAS
PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS DAS FIBRAS E NA ANATOMIA FOLIAR DE
Ananas comosus var. *erectifolius* (L. B. Smith) Coppens & Leal (CURAUÁ) EM SISTEMAS
AGROFLORESTAIS**

ELAINE CRISTINA PACHECO DE OLIVEIRA
Doutoranda

Tese apresentada a Universidade Federal Rural
da Amazônia, como parte das exigências do
Curso de Pós-graduação em Ciências Agrárias
para obtenção do Título de Doutor.

Orientador: Dr. Osmar Alves Lameira

Belém
2007

OLIVEIRA, Elaine Cristina Pacheco de

Influência da radiação fotossinteticamente ativa (rfa) nas propriedades físico-mecânicas das fibras e na anatomia foliar de *Ananas Comosus* var. *erectifolius* (L. B. Smith) Coppens & Leal (curauá) em sistemas agroflorestais./ Elaine Cristina Pacheco de Oliveira. – Belém, PA, 2007.

75fls.: il.

Tese (Doutorado) – Universidade Federal Rural da Amazônia. Curso de Pós-Graduação em Ciências Agrárias.

Orientador: Dr. Osmar Alves Lameira

1. Curauá. 2. Fibra vegetal. I. Título

CDD: 633.5

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA

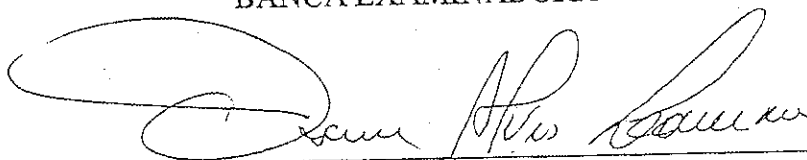
INFLUÊNCIA DA RADIAÇÃO FOTOSSINTETICAMENTE ATIVA (RFA) NAS
PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS DAS FIBRAS E NA ANATOMIA FOLIAR DE
Ananas comosus var. *erectifolius* (L. B. Smith) Coppens & Leal (CURAUÁ) EM SISTEMAS
AGROFLORESTAIS

ELAINE CRISTINA PACHECO DE OLIVEIRA.

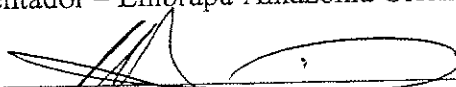
Tese apresentada a Universidade Federal Rural
da Amazônia, como parte das exigências do
Curso de Pós-graduação em Ciências Agrárias
para obtenção do Título de Doutor.

Aprovada em 29 de Junho de 2007.

BANCA EXAMINADORA



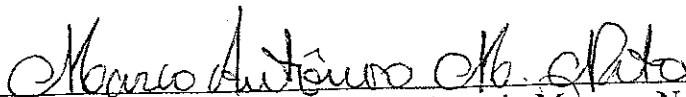
Dr. Osmar Alves Lameira
Orientador – Embrapa Amazônia Oriental



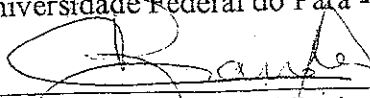
Prof. Dr. Marco-Aurelio De Paoli
Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP



Dra. Fernanda Ilkiu Borges de Souza
Embrapa Amazônia Oriental



Prof. Dr. Marco Antonio Menezes Neto
Universidade Federal do Pará - UFPA



Prof. Dr. Alcir Tadeu de Oliveira Brandão
Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA

A DEUS E A NOSSA SENHORA

Ofereço

Aos meus pais, **SILVIO** e **IDALINA**, pelo eterno apoio e confiança.

Aos meus irmãos, **LISSANDRA** e **SILVIO ROBERTO**, pelo carinho e amizade.

Ao meu noivo **MARCELO**, pela dedicação, companheirismo e amor.

Aos meus avós, **SEBASTIÃO** e **MARIA**, **ANTÔNIO** e **FLÁVIA** (*in memoriam*).

Que compreenderam todos os momentos de ausência e pelo amor incondicional.

DEDICO

“Além da mente humana e como um impulso livre, cria-se a ciência. Esta se renova, assim como as gerações, frente a uma atividade que constitui o melhor jogo do *homo ludens*: a ciência é no mais estrito e melhor dos sentidos, uma gloriosa diversão”.

(Jacques Barzun).

AGRADECIMENTOS

A DEUS, pelo dom da vida e por guiar todos os meus passos me livrando de todo mal e me fortalecendo de coragem e determinação nos momentos mais difíceis.

Aos meus pais, Silvio e Idalina, por serem meu alicerce, por toda confiança depositada em todos esses anos de estudos e pelo amor incondicional.

Aos meus irmãos, Lissandra e Silvio Roberto pelo carinho, amizade e credibilidade que sempre demonstraram, nos momentos mais adversos.

Ao meu noivo Marcelo, que desde o primeiro instante mostrou-se companheiro, compreensivo e dedicado, o que foi fundamental para eu agüentar firme esta árdua caminhada.

Aos meus familiares e amigos de modo geral, que de alguma forma colaboraram por este passo decisivo em minha vida profissional e pessoal.

Ao pesquisador, orientador e amigo, Dr. Osmar Alves Lameira pela compreensão, paciência, apoio e incansável orientação transmitida.

Ao Dr. Marco-Aurélio De Paoli pela contribuição nos ensaios físico-mecânicos e por sua disponibilidade em compor à banca examinadora.

A Dra. Fernanda Ilkiu pelas sugestões, orientações e suportes técnicos, o que foi de suma importância para a realização deste trabalho.

A amiga Iracema Cordeiro por suas colaborações, sugestões e incansável apoio em todos os momentos.

Aos meus colegas de doutorado da Universidade Federal Rural da Amazônia da turma de 2005, e todos aqueles que tive a oportunidade de cursar algumas disciplinas do curso.

A minha grande amiga, que tive o prazer de conviver e formar um laço forte de amizade no decorrer deste curso, Gladys Martinez, por toda a sua paciência em me ouvir nos momentos de puro desespero, por seus conselhos, sua parceria na realização de alguns trabalhos e por ser uma amiga que pude e posso contar a qualquer momento.

As estagiárias do Laboratório de Botânica da Embrapa, Lorena e Társsi pela ajuda nos ensaios anatômicos.

Ao Cnpq, pela bolsa concedida a qual foi fundamental para a realização da pesquisa.

Aos professores do corpo docente da Universidade Federal Rural da Amazônia, pela transmissão de conhecimentos.

À Embrapa Amazônia Oriental, por ter me acolhido e em especial a todos os colegas do Laboratório de Biotecnologia.

À Empresa Tramontina S. A., por permitir a realização da pesquisa em seu espaço físico.

Ao Sr. Gerson da Embrapa Amazônia Oriental, por ter ajudado nas coletas de campo.

À secretária do Curso de doutorado Shirley Barros, por toda paciência e amizade no decorrer no curso.

Ao amigo Rolf Júnior, do Museu Paraense Emílio Goeldi, o qual foi fundamental na realização do MEV.

Ao amigo Ismael Matos, por sua importante ajuda nas análises estatísticas e pela amizade formada no decorrer do curso.

Às Bibliotecárias da Embrapa Isanira Vaz e Célia Pereira pela revisão das referências bibliográficas.

Aos Professores Marco Antônio da UFPA e Alcir Brandão da UFRA, pela troca de conhecimentos.

A todos que colaboraram de alguma forma na concretização deste trabalho.

A todos vocês meu muito obrigado!

Elaine Cristina

SUMÁRIO

	DEDICATÓRIA.....	i
	EPÍGRAFE.....	ii
	DECIMENTOS.....	iii
	SUMÁRIO.....	v
	LISTA DE QUADROS.....	vii
	LISTA DE TABELAS.....	viii
	LISTA DE FIGURAS.....	ix
	RESUMO.....	11
1	INTRODUÇÃO.....	14
1.2	OBJETIVOS.....	17
2.	REVISÃO DE LITERATURA.....	18
2.1	Radiação solar e seus efeitos sobre os vegetais	18
2.2	Fibras vegetais	20
2.3	Propriedades mecânicas	27
2.4	Características gerais e utilização da espécie em estudo	28
2.5	Sistemas Agroflorestais – SAFs	35
2.6	Aspectos botânicos da família Bromeliaceae	36
3	CARACTERIZAÇÃO GERAL DA ÁREA EXPERIMENTAL.....	38
3.1	Localização do campo experimental	38
3.2	Condução do experimento no campo	40
4.	MATERIAL E MÉTODOS.....	41
4.1	Delineamento experimental	41
4.2	Coleta do material vegetal	42
4.3	Análise de dados	44
4.3.1	Propriedades físico-mecânicas de fibras de curauá	44
4.3.1.1	Densidade das fibras de curauá	44
4.3.1.2	Teor de umidade nas fibras de curauá	45
4.3.1.3	Resistência à tração das fibras de curauá	46

4.3.2	Caracterização da anatomia foliar de curauá.....	46
4.3.2.1	Dissociação da epiderme foliar.....	47
4.3.2.2	Números de estômatos por mm ²	47
4.3.2.3	Cortes histológicos.....	47
4.3.2.4	Caracterização das fibras.....	47
4.3.2.5	Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV).....	48
4.4	Análise estatística.....	48
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	49
5.1	Peso de folhas verdes, rendimento de fibras, comprimento de folhas e fibras de curauá.....	49
5.1.2	Propriedades físico-mecânicas das fibras de curauá.....	51
5.1.3	Correlação das variáveis envolvidas no estudo.....	53
5.2	Caracterização da anatomia foliar de curauá.....	55
6	CONCLUSÕES.....	65
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	66
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	67

LISTA DE QUADROS

Quadro 1.	Propriedades mecânicas e características de fibras vegetais e fibras convencionais de reforço.....	22
Quadro 2.	Composição química provável de algumas fibras vegetais (% em peso).....	23
Quadro 3.	Composição das fibras de curauá.....	25

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.	Distribuição temporal das espécies utilizadas nos sistemas de cultivo.....	40
Tabela 2.	Tratamentos e médias de RFA.....	41
Tabela 3.	Teste de médias da influência da RFA sobre o peso de folhas, rendimento de fibras, comprimento de folhas e fibras de curauá.....	49
Tabela 4.	Teste de médias da influência da RFA sobre as propriedades físico-mecânicas das fibras de curauá.....	51
Tabela 5.	Correlação múltipla das variáveis, produção de folhas (kg), rendimento de fibras (kg), comprimento de folhas e fibras (cm) com as variáveis das propriedades físico-mecânicas das fibras de curauá.....	54
Tabela 6.	Caracterização das fibras quanto ao número de feixes de fibra por folhas e fibras por feixe de curauá.....	63
Tabela 7.	Médias biométricas das fibras foliares de curauá.....	64

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Constituição estrutural de uma fibra vegetal.....	24
Figura 2.	Fruto do curauá.....	29
Figura 3.	Inflorescência do curauá.....	30
Figura 4.	Curauá branco.....	30
Figura 5.	Curauá roxo.....	30
Figura 6.	Aspecto de plantio de curauá solteiro.....	31
Figura 7.	Aspecto de plantio de curauá consorciado.....	32
Figura 8.	Comparação de resistência (nominal e específica) entre fibras vegetais e de vidro.....	33
Figura 9.	Capacete para ciclista de PU puro e PU (p/p) de curauá.....	34
Figura 10.	Localização da área e croqui de acesso do campo experimental, no Município de Aurora do Pará (PA).....	39
Figura 11.	Lavagem de folhas de curauá.....	42
Figura 12.	Máquina desfibradora “Periquita”.....	43
Figura 13.	Fibras de curauá.....	43
Figura 14.	Região apical a 100% de RFA.....	56
Figura 15.	Região apical a 54% de RFA.....	56
Figura 16.	Região mediana a 100% de RFA.....	56
Figura 17.	Região mediana a 54% de RFA.....	56
Figura 18.	Região basal a 100% de RFA.....	56
Figura 19.	Região basal a 54% de RFA.....	56
Figura 20.	Superfície detalhando estômato paracítico.....	59
Figura 21.	Visão geral do mesofilo.....	59
Figura 22.	Detalhe de feixe fibroso.....	59
Figura 23.	Detalhe de feixe vascular colateral.....	59
Figura 24.	Parênquima lacunoso detalhando células braciiformes.....	60
Figura 25.	Detalhe de grãos de amido no mesofilo.....	60
Figura 26.	Detalhe de ráfides no mesofilo.....	60
Figura 27.	Detalhe de células buliformes.....	60

Figura 28. Região apical. Mesofilo a 100% de RFA.....	62
Figura 29. Região apical. Mesofilo a 54% de RFA.....	62
Figura 30. Região mediana. Mesofilo a 100% de RFA.....	62
Figura 31. Região mediana. Mesofilo a 54% de RFA.....	62
Figura 32. Região basal. Mesofilo a 100% de RFA.....	62
Figura 33. Região basal. Mesofilo a 54% de RFA.....	62

RESUMO

Nos últimos anos a procura pelos produtos naturais vem crescendo em todo mundo. A preocupação ecológica das indústrias em substituir os produtos não biodegradáveis é o principal motivo dessa busca incessante. Na Amazônia se encontram inúmeras espécies vegetais úteis para o homem. Atualmente, a grande tendência da indústria mundial é a utilização de fibras vegetais, com destaque para o setor automobilístico, em substituição às fibras sintéticas, resultando em uma alternativa ecológica e economicamente viável. Dentre as espécies da região amazônica com potencial para produção de fibras, destaca-se o curauá (*Ananas comosus* var. *erectifolius* (L. B. Smith) Coppens & Leal). Submetida a freqüentes pesquisas no Brasil e no exterior, a fibra de curauá vem apresentando resultados significativos que a credenciam ser considerada a fibra mais promissora entre as produzidas na Amazônia brasileira. Pesquisas realizadas pela UFPA, através de convênio com a Daimler Benz empresa alemã de automotivos, indica que as fibras de curauá apresentam excelentes propriedades mecânicas para a utilização como reforço de materiais poliméricos. No entanto, é de fundamental importância o desenvolvimento de ações de pesquisa que tragam respostas a algumas indagações que envolvam estudos sobre métodos de cultivos, consórcios agroflorestais, aproveitamento dos subprodutos, beneficiamento, bem como estudos referentes à qualidade das fibras. Em sistemas agroflorestais plantas em condições sombreadas, por exemplo, apresentam diferentes respostas que podem variar de acordo com a identidade e maturidade das espécies e com os impactos causados por outros fatores. As variações nas características morfológicas e anatômicas em folhas de plantas desenvolvidas em diferentes níveis de radiação têm sido relatadas para muitas espécies e, relacionadas principalmente, à quantidade de radiação solar ou disponibilidade hídrica. Sendo assim, visando estudar a qualidade das fibras de plantas de curauá, introduzidas em um sistema agroflorestal, o presente trabalho avaliou as propriedades físico-mecânicas dessas fibras, bem como, aspectos anatômicos de suas folhas, quando submetidas a diferentes níveis de Radiação Fotossinteticamente Ativa – RFA. O experimento foi conduzido no campo experimental da empresa Tramontina Belém, S.A, localizada no município de Aurora do Pará, na mesoregião do nordeste paraense. Foram estabelecidos quatro tratamentos, dispostos em um delineamento completamente ao acaso com quatro repetições, perfazendo dezesseis parcelas. Os tratamentos foram constituídos de plantas de paricá, freijó, mogno e curauá, quais sejam: curauá solteiro; curauá e paricá simultâneos; plantio de curauá após dois anos do plantio do paricá, freijó e mogno e plantio de curauá após um ano do plantio de paricá e freijó. A partir dos sistemas de cultivo estabelecidos no campo foi medida a radiação fotossinteticamente ativa, estabelecendo os níveis médios de luz recebidos pelas plantas de curauá, os quais originaram os tratamentos de intensidade de luz, quais sejam: 54%, 63%, 71% e 100% de RFA, para a realização de dois estudos. Estudo I - Influência da radiação fotossinteticamente ativa (RFA) nas propriedades físico-mecânicas das fibras de *Ananas comosus* var. *erectifolius* (L. B. Smith) Coppens & Leal e Estudo II – Influência da radiação fotossinteticamente ativa (RFA) na anatomia foliar de *Ananas comosus* var. *erectifolius* (L. B. Smith) Coppens & Leal. As plantas de curauá foram coletadas, pesadas, desfibradas, medidos o comprimento de folhas e fibras. A RFA influenciou diretamente na produção e comprimento de folhas, rendimento e comprimento de fibras. Quanto às propriedades físico-mecânicas, os diferentes níveis de radiação não influenciaram de forma linear nos resultados obtidos, as diferenças foram pontuais. Na caracterização anatômica, nas folhas de plantas a 100% de radiação, houve um ligeiro aumento de espessura cuticular. Foi observado o mesofilo do tipo dorsiventral. Ocorreram diferenças quanto ao número de camadas e altura do parênquima paliádico, a presença e quantidade de feixes fibrosos no parênquima, das folhas submetidas aos dois

níveis de radiação. O número de fibras por feixe indicou que as mesmas mantiveram um padrão de quantidade independente do nível de radiação em que estas estavam submetidas, e o número de feixes por folha, foi maior no nível mais sombreado. Os diferentes níveis de radiação, não influenciaram nos valores referentes ao diâmetro tangencial, espessura da parede e abertura do lúmen. Dessa forma o curauá pode ser cultivado tanto a pleno sol como em condições sombreadas, pois o padrão de qualidade de suas fibras mantém-se constantes.

Palavras-chave: Fibras vegetais; Curauá; Radiação fotossinteticamente ativa; Propriedades físico-mecânicas; Anatomia foliar.

ABSTRACT

In the last years the search for the natural products comes growing in everyway. The ecological concern of the industries in substituting the not biodegradable products is the main reason of this incessant search. In the Amazon if they find innumerable useful vegetal species for the man. Currently, the great trend of the world-wide industry is the vegetable staple fiber use, with prominence for the automobile sector, in substitution to synthetic staple fibers, resulting in an ecological and economically viable alternative. Between the species of the Amazon region with potential for staple fiber production, curaua is distinguished (*Ananas comosus* var. *erectifolius* (L. B. Smith) Coppens & Leal). Submitted the frequent research in Brazil and the abroad, the fiber of curaua comes presenting resulted significant that made it to be considered the fiber most promising enters the produced ones in the Brazilian Amazon. Research carried through for the UFPA, through accord with the Daimler Benz German company of automotive, indicates that the staple fibers of curaua present excellent mechanical properties for the use as reinforcement of polymers materials. However, it is of basic importance the development of actions of research that bring answers to some investigations that involve studies on methods of cultivation, agroforestry systems, exploitation of by-products, improvement, as well as referring studies to the quality of staple fibers. In agroforestry systems plants in shaded conditions, for example, present different answers that can vary of agreement with the identity and maturity of species and with the impacts caused for other factors. The variations in the morphologic and anatomical characteristics in leaves of plants developed in different levels of radiation have been told for many species and, related mainly, to the amount of solar radiation or hidric availability. Being thus, aiming at to study the quality of staple fibers of plants of curaua, introduced in a agroforestry systems, the present work evaluated the physicist-mechanical properties of these staple fibers, as well as, anatomical aspects of its leaves, when submitted the different levels of photosynthetically active radiation- PAR. The experiment was lead in the experimental field of the company Tramontina Belem, S.A, located in the city of Dawn of Para, in the paraense northeast. Four treatments, made use in a delineation had been established completely to with four repetitions, perhaps having sixteen parcels. The treatments had been constituted of plants of parica, freijo, mogno and curaua, which are: curaua single; curaua and parica simultaneous; plantation of curaua after two years of the plantation of parica, freijo and mogno and plantation of curaua after one year of the plantation of parica and freijo. From the established systems of culture in

the field the photosynthetically active radiation was measured, establishing the average levels of light received by the plants from curaua, which had originated the treatments of light intensity, which are: 54%, 63%, 71% and 100% of RFA, for the accomplishment of two studies. Study I - Influence of the photosynthetically active radiation (PAR) in the physical-mechanical properties of staple fibers of *Ananas comosus* var. *erectifolius* (L. B. Smith) Coppens & Leal and Study II - Influence of the photosynthetically active radiation (PAR) in the leaf anatomy of *Ananas comosus* var. *erectifolius* (L. B. Smith) Coppens & Leal. The plants of curaua had been collected, weighed, shredded, measured the length of leaves and staple fibers. The PAR directly influenced in the production and leaf length, income and length of staple fibers. How much to the physical-mechanical properties, the different levels of radiation had not influenced of linear form in the gotten results, the differences had been prompt. In the anatomical characterization, in leaves of radiation plants the 100%, had a fast increase of thickness to cuticular. Mesophyll of the dorsiventral type was observed. They had occurred differences how much to the number of layers and height of palisade parenchyma, the presence and amount of fibers beams in parenchyma, leaves submitted to the two levels of radiation. The number for bundle fiber indicated that the same ones had kept a standard of independent amount of the radiation level where these were submitted, and the bundle number for leaf, biggest in the level more shading. The different levels of radiation, had not influenced in the referring values to the width of tangential diameter, thickness of the wall and lumen diameter. Of this form curaua can in such a way be cultivated the full sun as in shaded conditions, therefore the standard of quality of its staple fibers is remained constant.

Key words: Vegetables fibers; Curaua; Photosynthetically active radiation; Physical-mechanical properties; Leaf anatomy.

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos a procura pelos produtos naturais vem crescendo em todo mundo. A preocupação com o meio ambiente das indústrias em substituir os produtos não biodegradáveis é o principal motivo dessa busca incessante. Com a crescente preocupação ambiental, a utilização de recursos naturais renováveis, os quais não agredem o meio ambiente e representam uma fonte alternativa de grande potencial econômico, tornou-se vital para a sobrevivência das indústrias em um mercado globalizado e competitivo.

Além de condições climáticas extremamente favoráveis à agricultura, solos férteis e abundantes, o Brasil deve aproveitar a oportunidade de promover o desenvolvimento econômico e social sustentável através do incentivo a projetos que utilizem como matéria-prima produtos de origem vegetal, e que se possa agregar valor a esses produtos (AMICO *et al.*, 2001).

Na Amazônia se encontram inúmeras espécies vegetais úteis para o homem, assim como se destaca o acúmulo de conhecimento sobre espécies da flora para melhor assegurar a subsistência das populações locais, em convivência com a natureza. Esses conhecimentos podem contribuir para definir novas alternativas de aproveitamento, visando um desenvolvimento sócio-econômico apoiado na agro-industrialização de produtos naturais da Amazônia (DUBOIS, 1993).

Atualmente, a grande tendência da indústria mundial é a utilização de fibras vegetais, com destaque para o setor automobilístico, em substituição às fibras sintéticas, resultando em uma alternativa ecológica e economicamente viável. É preciso considerar também o custo ambiental da disposição final de produtos convencionais quando comparados a materiais que utilizam fibras vegetais como um de seus componentes e verificar os benefícios sociais que o uso desses materiais acarreta.

O uso de matérias-primas de tal natureza vem sendo objeto de diversos estudos e pesquisas, devido seu potencial na substituição de derivados petroquímicos. As fibras vegetais apresentam um grande potencial de aplicação na indústria automobilística, na área de revestimento interno de automóveis, ônibus e caminhões, e construção civil. As perspectivas futuras para as fibras vegetais são muito boas também em outras áreas como, por exemplo, a indústria têxtil, atualmente com o seu mercado em expansão (MOTHÉ E ARAÚJO, 2004).

De acordo com Lourenço *et al.* (1994) as características apresentadas por fibras vegetais de coco, curauá, aninga e piteira podem ser indicadas para a aplicação tecnológica como

reforço de materiais. Estas aplicações dependem das características das fibras vegetais após sua obtenção das plantas originárias e dos processos de beneficiamento a que são submetidas.

Dentre as espécies da região amazônica com potencial para produção de fibras, destaca-se o curauá (*Ananas comosus* var. *erectifolius* (L. B. Smith) Coppens & Leal). Submetida a freqüentes pesquisas no Brasil e no exterior, a fibra de curauá vem apresentando resultados significativos que a credenciam ser considerada a fibra mais promissora entre as produzidas na Amazônia brasileira.

A fibra de curauá se mostra promissora para as indústrias, devido seu baixo custo comparado às fibras sintéticas, e sua produção resolver graves problemas sociais no campo. O incentivo ao seu uso é fundamental para o desenvolvimento das regiões de onde essas fibras são originárias.

Planta característica da Amazônia paraense, o curauá cresce até em solo arenoso e pouco fértil chegando a atingir entre um metro e um metro e meio de altura. A propriedade mais conhecida desta planta foi descoberta pelos povos primitivos da floresta. Os índios já usavam a fibra resistente contida dentro das folhas longas e duras do curauá para amarrar embarcações, fazer redes e cestaria (LEDO, 1967).

O curauá já é utilizado pela indústria automobilística para construção de freios e outras peças para veículos em substituição à fibra de vidro. O soro resultante do processamento das folhas ainda pode servir como adubo orgânico. O grande aproveitamento do curauá despertou o interesse de produtores nacionais e até do exterior. Mudas foram plantadas no vale da Ribeira no interior paulista e também em solos japoneses, sul-africanos da Malásia mas sem sucesso, porque a planta não resiste a baixas temperaturas, sendo portanto o curauá fiel às suas origens amazônicas e só se desenvolve em clima quente e úmido (AGROAMAZÔNIA, 2002).

Pesquisas realizadas pela UFPA, através de convênio com a Daimler Benz empresa alemã de automotivos, firmado em 1992, indica que as fibras de curauá apresentam excelentes propriedades mecânicas para a utilização como reforço de materiais poliméricos (CUNHA, 1998).

Desta forma, o curauá consiste em uma das alternativas do aproveitamento de plantas da Amazônia para a obtenção de uma fibra recomendável pela sua qualidade. No entanto, é de fundamental importância o desenvolvimento de ações de pesquisa que tragam respostas a algumas indagações que envolvam estudos sobre métodos de cultivos, consórcios agroflorestais, aproveitamento dos subprodutos, beneficiamento, bem como estudos referentes à qualidade das fibras.

Em sistemas agroflorestais plantas em condições sombreadas, por exemplo, apresentam diferentes respostas que podem variar de acordo com a identidade e maturidade das espécies e com os impactos causados por outros fatores (GRIME, 1981). Deste modo, baixas irradiâncias tendem a aumentar o tamanho do caule por unidade de peso e formar folhas maiores, porém mais finas (JONES, 1986; ZIEGENHAGEN & KAUSCH, 1995), enquanto que as plantas que crescem a plena luz, em geral, apresentam folhas mais espessas e menor área foliar (KOSLOWSKI, 1991).

As variações nas características morfológicas e anatômicas em folhas de plantas desenvolvidas em diferentes níveis de radiação têm sido relatadas para muitas espécies e, relacionadas principalmente, à quantidade de radiação solar ou disponibilidade hídrica (SMITH *et al.*, 1997).

Espera-se, portanto, que os diferentes níveis de Radiação Fotossinteticamente Ativa - RFA não influenciem na qualidade das fibras de curauá, bem como, as possíveis adaptações anatômicas das folhas, pois apesar dos diferentes efeitos da radiação solar sobre os vegetais, espera-se que o curauá, nos aspectos estudados, não altere suas características, podendo este ser indicado como componente de um sistema agroflorestal, cultivado em diferentes níveis de radiação, sem comprometer, porém, sua qualidade.

Sendo assim, visando estudar a qualidade das fibras de plantas de curauá, introduzidas em um sistema agroflorestal, o presente trabalho avaliou as propriedades físico-mecânicas dessas fibras, bem como, aspectos anatômicos de suas folhas, quando submetidas a diferentes níveis de radiação fotossinteticamente ativa.

1.2 OBJETIVOS

Geral

- Caracterizar as propriedades físico-mecânicas das fibras de folhas de curauá e a anatomia foliar submetidas a diferentes níveis de radiação fotossinteticamente ativa - RFA em sistemas agroflorestais.

Específicos

- Determinar a densidade, teor de umidade e resistência à tração das fibras de curauá sob diferentes níveis de RFA;
- Caracterizar a anatomia foliar do curauá como contribuição taxonômica;
- Comparar as características anatômicas das fibras foliares de curauá quando submetidas aos diferentes níveis de RFA.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Radiação solar e seus efeitos sobre os vegetais

A radiação solar ocupa lugar primordial entre todos os elementos abióticos, pois é o princípio básico da vida e o “motor” que impulsiona todos os fenômenos terrestres. Ela é propagada por ondas eletromagnéticas, cujo comprimento varia de cerca de 0,20 μm até 100,0 μm . As radiações compreendidas entre os comprimentos de onda de 0,20 μm a 0,38 μm correspondem às radiações ultravioletas, de 0,38 μm a 0,78 μm a uma radiação visível, que é distinguida pela visão humana e considerada como fotossinteticamente ativa para as plantas, e de 0,78 μm a 3,00 μm são as radiações infravermelhas (MALHEIROS, 2001).

A definição de radiação fotossinteticamente ativa - RFA é uma medida da radiação disponível para fotossíntese, onde é assumido que os rendimentos de comprimentos de onda diferentes são independentes e aditivos, de forma que a taxa fotossintética em “luz branca” é igual a integral dos produtos do rendimento e densidade de fluxo de fótons absorvidos sobre a faixa de onda ativa. Porém, não deveria ser tratada como uma medida universal da radiação disponível somente para crescimento vegetativo, pois a radiação afeta muitos processos diferentes de crescimento, dos quais cada um deveria ser tratado independente (McCREE, 1981).

Algumas plantas têm suficiente plasticidade de desenvolvimento para se adaptarem a uma amplitude de regimes de luz, crescendo como plantas de sol em áreas ensolaradas e como plantas de sombra em *habitats* sombrios. Características anatômicas contrastantes também podem ser encontradas em folhas da mesma planta, expostas a regimes luminosos diferentes (TAIZ & ZEIGER, 2004), como é o caso dos espécimes de curauá submetidos aos diferentes níveis de radiação solar.

Para Cermeño (1994), a radiação solar possui importância decisiva em todos os processos vitais das plantas. Existem funções de grande importância, no desenvolvimento dos vegetais, que são influenciados pela energia luminosa, tais como a fotossíntese, o fotoperiodismo, o crescimento dos tecidos, a floração e o amadurecimento dos frutos.

Os modelos de crescimento de plantas requerem a precisa estimativa da fotossíntese, e para isto, a luz interceptada pelas plantas é um importante parâmetro a ser considerado, pois o conhecimento da RFA se faz necessário para estudos de fotossíntese em comunidades de plantas simples e complexas (HOWELL *et al.*, 1983).

Para Head (1997), a luminosidade ótima é o máximo de luz solar que a planta consegue receber, sem que provoque queimaduras ou perda de coloração das folhas. Nesse sentido, a luminosidade é um fator diretamente ligado à temperatura e à ventilação, quanto mais amena for a temperatura, mais luz a planta consegue receber sem danos.

Quantificar a transmissão de luz ao sub-bosque de uma “agrofloresta” é de grande importância, por ser um fator que define o potencial de produção das plantas que crescem nessas condições. Também é importante para entender as relações entre os componentes deste sistema e intervir, por meio de manejo, de modo a maximizar a produtividade do sistema como um todo. Conforme Bernardes (1987) e Larcher (2000), atenuar a radiação na cobertura vegetal depende principalmente da densidade da folhagem, do arranjo das folhas no interior da vegetação e do ângulo existente entre as folhas e a radiação incidente.

Em vegetação de floresta, como a folhagem é agrupada na copa, com picos e depressões organizados nas superfícies dos dosséis, grande quantidade de radiação solar incidente penetra antes de ser refletida (SHUTTLEWORTH *et al.*, 1984). Segundo Eck & Deering (1992) isso resulta numa acentuada captura de radiação solar e, conseqüentemente, numa baixa reflexão. Conforme Pereira (1997) menos de 10% da radiação solar incidente atinge o piso da floresta.

Plantas em condições sombreadas, por exemplo, apresentam diferentes respostas que podem variar de acordo com a identidade e maturidade das espécies e com os impactos causados por outros fatores (GRIME, 1981). Deste modo, baixas irradiâncias tendem a aumentar o tamanho do caule por unidade de peso e formar folhas maiores, porém mais finas (JONES, 1986; ZIEGENHAGEN & KAUSCH, 1995), enquanto que as plantas que crescem a plena luz, em geral, apresentam folhas mais espessas e menor área foliar (KOSLOWSKI, 1991).

As variações nas características morfológicas e anatômicas em folhas de plantas desenvolvidas em diferentes níveis de radiação têm sido relatadas para muitas espécies e, relacionadas principalmente, à quantidade de radiação solar ou disponibilidade hídrica (SMITH *et al.*, 1997).

A área foliar é uma característica de grande utilidade para se analisar a tolerância das espécies ao sombreamento, pois ela se correlaciona diretamente com a área de superfície fotossinteticamente útil. Esta característica tem sido considerada por muitos autores como índice de produtividade. O aumento da área foliar com o sombreamento é uma das maneiras da planta aumentar rapidamente a superfície fotossintetizante, assegurando um maior aproveitamento das baixas intensidades luminosas, compensando assim, as baixas taxas

fotossintéticas por unidade de área foliar, características das folhas de sombra (CASTRO, 1995).

Plantas de *Cybistax antisiphilitica* apresentaram maior área foliar sob 29% da RFA (NAVES, 1993). Já *Schizolobium parahyba*, aumentou a área foliar com aumento do nível de sombreamento, atingindo um máximo a 70% de sombra (FERREIRA *et al.*, 1977). Entretanto, plantas de *Sesbania sesban* apresentaram uma maior área foliar quando cultivada a 100% de RFA (NAVES, 1993).

Estudos feitos em uma população de bromélia *Neoregelia johannis*, na mata Atlântica da Ilha Grande, no litoral fluminense, mostrou diferenças acentuadas, entre os indivíduos, no tamanho e na coloração das folhas. Carvalho *et al.* (1998) e Carvalho & Rocha (1999) provaram existir relação direta entre a intensidade de luz do ambiente e as características das folhas desse vegetal. Dependendo da quantidade de luz que incida sobre a planta, ela poderá ter determinada coloração (decorrente da concentração de pigmentos), tamanho e formatos próprios.

Essa capacidade de adaptação dos vegetais a ambientes heterogêneos é conhecida como “plasticidade”. As características do local onde a planta está fixada (seu microhabitat) determinam o grau de insolação ou de sombreamento sobre ela. As bromélias que habitam locais mais sombreados têm folhas mais compridas e mais estreitas (mas com maior superfície) do que as que vivem em áreas expostas ao sol. As plantas fixadas em áreas de sombra aumentam sua superfície foliar para receber maior quantidade de luz solar, já que esta é essencial para certas atividades metabólicas vegetais (como fotossíntese e crescimento). Já as bromélias que vivem sob sol direto, não precisam se “esticar” em busca de luz. Ao contrário, elas reduzem a área foliar, para evitar que a insolação e a temperatura de seu microhabitat causem um excesso de evaporação da água presente nas folhas (CARVALHO & ROCHA, 1999).

2.2 Fibras vegetais

As plantas representam uma fonte básica para o fornecimento de fibras naturais. Com exceção da seda, lã e de outras fibras animais menos importantes, o restante das fibras naturais amplamente utilizadas provém do reino vegetal (FARIA, 1993).

Fibras vegetais são todas as células esclerenquimatosas de forma tipicamente prosenquimatosas, isto é, apresentam o comprimento da fibra excessivamente maior que a

largura. Desta forma, do ponto de vista estritamente histológico, o termo “fibra” tem sido usada para designar uma grande variedade de tipos de células que se caracterizam pela forma alongada, parede secundária espessa e regular com a ocorrência de pontuações (MEDINA, 1959).

Todos os vegetais apresentam na sua constituição tecidos fibrosos, porém, poucos são aproveitados economicamente (MAITI, 1980). De acordo com Glória e Guerreiro (2003) as fibras têm como principal função sustentar as partes do vegetal que não se alongam mais e são encontradas nas formas de cordões ou feixes, em diferentes partes do corpo primário da planta.

Excluindo-se os pêlos, que são apêndices uni e multicelulares que se desenvolvem a partir das células epidérmicas e, portanto, são tricomas, as fibras propriamente ditas acham-se largamente distribuídas pelo corpo da planta. São particularmente numerosas no sistema vascular, onde se encontram distribuídas de várias maneiras no floema (fibra liberiana ou fibra floema) e no xilema (fibra lenhosa ou fibra xilema). Por outro lado, as fibras são também bastante numerosas no sistema de tecidos fundamentais da planta, formando maciços cilíndricos sub-epidérmicos ou distintos feixes fibrosos no córtex do caule (fibras corticais) e no periciclo (fibras pericíclicas) (MEDINA, 1959).

As angiospermas, como as monocotiledôneas e dicotiledôneas, fornecem a maior parte das fibras atualmente comercializadas no mundo, seja de plantas cultivadas ou de plantas indígenas, assim como, as principais fibras de valor secundário utilizadas localmente nas regiões de ocorrência natural das plantas. Dentre estas, entretanto, há grupos botânicos ou famílias mais ricas em plantas produtoras de fibras utilizáveis (MEDINA, 1959).

As fibras vegetais são classificadas de acordo com sua origem e podem ser agrupadas em fibras de sementes (algodão), fibras de caule (juta, linho, cânhamo), fibras de folhas (bananeira, sisal, piaçava, curauá, abacá, henequém), fibras de fruto (coco) e fibras de raiz (zacatão) (MORASSI, 1994).

Quanto à terminologia, as fibras vegetais e suas plantas produtoras são designadas por uma diversidade de denominações, confundindo os que não estão familiarizados com a matéria. Na comercialização das fibras vegetais empregam-se várias denominações que dependem geralmente do país de origem do produto. Por outro lado, alguns dos nomes são comuns a diversas fibras derivadas de espécies botânicas diferentes. Dentro dessa nomenclatura ambígua, a designação “maguey”, por exemplo, é corrente em muitos países hispano-americanos para designar as plantas dos gêneros *Agave* e *Furcraea* de folhas carnosas e grandes. O termo “pita”, correntemente empregado em toda a América Latina para

designar tanto a planta como a fibra de diversas amarilidáceas, tornou-se de uso tão corrente que chegou a se converter praticamente em sinônimo da palavra “fibra” (MEDINA, 1959).

Comparativamente as fibras sintéticas usadas como agente de reforço em polímeros termoplásticos e termofixos, as fibras vegetais oferecem as seguintes vantagens: fonte abundante e de rápida renovação, baixo custo, baixa densidade, altas propriedades específicas, são menos abrasivas quando comparadas às fibras de vidro, não-tóxicas e biodegradáveis. Como desvantagem pode-se citar a falta de uniformidade de propriedades, que dependem da origem das fibras, da região do plantio e da habilidade manual durante a colheita e a alta absorção de umidade, que pode causar o inchaço das fibras (BLEDZKI & GASSAN, 1999). No Quadro 1 são apresentados dados comparativos das propriedades mecânicas e características de fibras vegetais e fibras convencionais de reforço.

Quadro 1. Propriedades mecânicas e características de fibras vegetais e fibras convencionais de reforço.

Fibra	Diâmetro (µm)	Densidade (g/cm ³)	Resistência à tração (MPa)	Módulo de elasticidade (GPa)	Alongamento (%)
Algodão	16 – 21	1,5 – 1,6	287 – 597	5,5 – 12,6	7 – 8
Juta	200	1,3	393 – 773	26,5	1,5 – 1,8
Linho	---	1,5	345 – 1035	27,6	2,7 – 3,2
Cânhamo	---	---	690	---	1,6
Rami	---	1,5	400 – 938	61,4 – 128	3,6 – 3,8
Sisal	50 – 300	1,45	511 – 635	9,4 – 22	3 – 7
Coco	100 – 450	1,15 – 1,45	131 – 175	4 – 13	15 – 40
Vidro – E	8 – 14	2,5	2000 – 3500	70	1,8 – 3,2
Vidro – S	10	2,5	4590	86	5,7
Kevlar – 49	12	1,48	2800 – 3792	131	2,2 – 2,8
Carbono	7 – 10	1,6 – 1,9	4000	230 – 240	14 – 18

Fonte: Silva, 2003.

Os principais componentes químicos das fibras vegetais são substâncias polares, tais como a celulose, a hemicelulose e a lignina, com menores percentuais de outros componentes como pectina, cera e substâncias solúveis em água. A composição química varia ligeiramente de acordo com a região de cultivo, tipo de solo e condições climáticas. A composição química provável de algumas fibras vegetais é apresentada no Quadro 2.

Quadro 2. Composição química provável de algumas fibras vegetais (% em peso).

	Sisal	Coco	Algodão	Juta	Linho	Rami	Kenaf
Celulose	67,0-78,0	36,0-43,0	82,7	61,0-71,5	64,1	68,6	31-39
Hemicelulose	10,0-4,2	0,15-0,25	5,7	13,6-20,4	16,7	13,1	21,5
Lignina	8,0-11,0	41,0-45,0	---	12-13	2,0	0,6	15-19
Pectina	10,0	3,0-4,0	5,7	0,2	0,2	1,9	---
Solúveis em água	16,2	---	1,0	1,1	3,9	5,5	---
Ceras	2,0	---	0,6	0,5	0,5	0,3	---
Angulo espiral	20,0	41,0-45,0	---	8,0	10,0	7,5	---
Teor de umidade	11,0	---	10,0	12,6	10,0	8,0	---

Fonte: Bledzki & Gassan, 1999.

Cada fibra vegetal, denominada fibra técnica, é constituída de várias fibras elementares fortemente ligadas entre si por um material de cementação, constituído, principalmente, de lignina. A constituição estrutural de uma fibra elementar é mostrada na Figura 1. Esta possui uma parede espessa formada por várias microfibrilas que formam espirais ao longo do eixo da fibra, tendo um lúmen no centro. A lignina atua como o material de cementação, unindo as microfibrilas e a hemicelulose como interface entre a microfibrila de celulose e a lignina (SILVA, 2003).

As hemiceluloses são constituídas por diferentes unidades de açúcares sendo solúveis em álcalis. O seu grau de polimerização é de 10 a 100 vezes menor que o da celulose e as

cadeias possuem um considerável grau de ramificação em relação à celulose (JOSEPH *et al.*, 2000).

A lignina possui uma estrutura complexa com constituintes alifáticos e aromáticos. É um material amorfo encontrado nas paredes celulares das plantas cuja função é conferir rigidez à parede celular (SILVA, 2003).

A celulose é o componente principal de todas as fibras vegetais e principal responsável pela sua resistência mecânica. A celulose pode ser descrita como um polímero linear com uma estrutura de cadeia uniforme (FENGEL & WEGENER, 1984).

O Quadro 3 apresenta a composição das fibras de curauá.

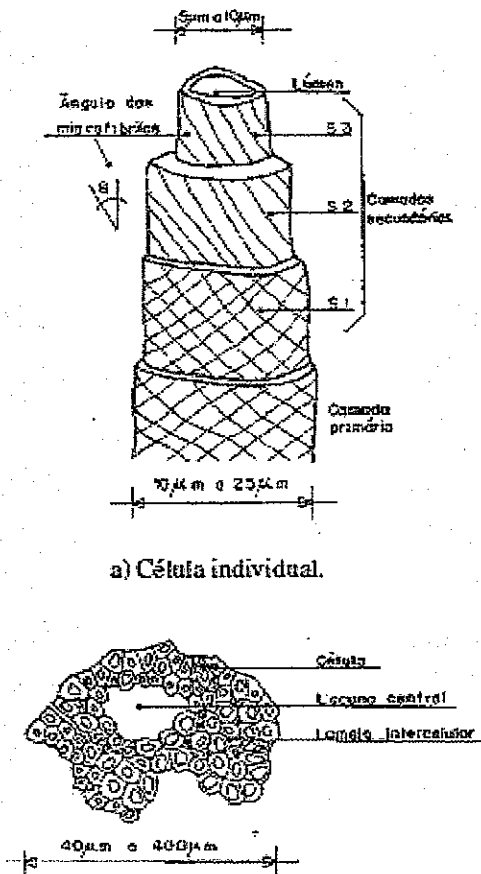


Figura 1. Constituição estrutural de uma fibra vegetal.

Fonte: Gram, 1988.

Quadro 3. Composição das fibras de curauá.

Composição (%)	Curauá
Celulose	73,6
Hemicelulose	9,9
Holocelulose	83,5
Lignina	7,5
Índice de cinza	0,9
Umidade	7,9

Fonte: Santos *et al.*, 2006.

As fibras diferem em sua composição e na orientação das fibrilas (ângulo espiral). Tais características dependem da origem da fibra e são determinantes nas suas propriedades mecânicas (MOHANTY *et al.*, 2000). No Quadro 1, a fibra de coco mostra a menor resistência à tração, o que é atribuído ao seu baixo teor de celulose, como pode ser visto no Quadro 2, e alto ângulo espiral.

Fibras vegetais são tradicionalmente utilizadas para a produção de fios, cordas, sacarias, mantas, tapetes, artefatos de decoração, etc. (CRUZ-RAMOS, 1986). Existe um crescente interesse em encontrar novas aplicações para este abundante e renovável recurso natural.

A produção de fibras vegetais ocupa posição proeminente na estrutura da economia agrícola mundial, ao mesmo tempo em que, a sua industrialização constitui um dos principais setores de atividades industriais e de ocupação do homem. O consumo destas aumenta, não só com o crescimento da população do globo como também para satisfazer as necessidades sempre crescentes do homem em fibras apropriadas para a fabricação de uma infinidade de outras utilidades em que são aplicadas (MEDINA, 1959).

A fibra vegetal apresenta maior perspirabilidade (capacidade de absorver umidade da transpiração humana), o que proporciona maior conforto, essencial para os motoristas profissionais de táxi, ônibus e caminhões, que ficam longos períodos de tempo sentados. A geração de empregos rurais e industriais é outro aspecto importante do uso de fibras vegetais. Um assento de carro com fibra vegetal utiliza pelo menos quatro vezes mais mão-de-obra do que o feito de espuma (MARROQUIM, 1994). Ainda hoje, veículos de primeira linha de empresas no exterior, tais como a Mercedes Benz da Alemanha, utilizam estofamentos com fibras vegetais.

Devido ao interesse em economizar combustível, produzir peças com projetos complexos e consolidar partes, a indústria automobilística tem sido inovadora em termos de substituição de materiais tradicionais como o aço por polímeros. Em virtude de boas propriedades mecânicas específicas apresentadas pelas fibras vegetais, investimentos em Pesquisa e Desenvolvimento devem levar à utilização de plásticos reforçados com fibras vegetais em substituição ao aço na produção de pára-lama, saias e outros componentes com função estrutural (AMICO *et al.*, 2001).

As perspectivas futuras para as fibras vegetais são muito boas também em outras áreas como, por exemplo, a indústria têxtil, atualmente com o seu mercado em expansão. Nos últimos anos, o uso de fibras vegetais como curauá, coco, sisal, rami, bagaço de cana-de-açúcar, juta e abacaxi como reforço em materiais poliméricos teve um acelerado crescimento (ARAÚJO, 2003).

Estudos com as fibras de sisal, conduzidos por Amico *et al.* (2001) revelam que o conhecimento do teor de umidade e da densidade das fibras é necessário para a fabricação controlada de compósitos reforçados por tais fibras. Os compósitos são materiais resultantes da combinação de dois ou mais componentes que diferem nas propriedades físicas e químicas de cada um. A finalidade da combinação é prover características específicas para o material resultante, para cada tipo de aplicação desejada (HULL, 1995). As propriedades dos compósitos dependem da fração volumétrica de fibras que possuem maior resistência e módulo de elasticidade, e, portanto, a eficiência mecânica do compósito depende da maximização do teor de fibras em relação ao teor de resinas (CARVALHO, 2005).

O uso de fibras de coco e de outras fibras vegetais como reforço na fabricação de compósitos poliméricos é uma tecnologia que vários grupos de pesquisa no Brasil e no mundo têm estudado, em resposta à preservação ambiental. O Brasil destaca-se nessa área por possuir a maior biomassa e extensão territorial cultivável do mundo e, por isso, indústrias multinacionais, em particular do setor automobilístico, estão investindo no país para o desenvolvimento desses materiais. A Mercedes Benz, já há alguns anos, vem adotando uma política ambientalista, procurando reduzir ao máximo e na medida do possível, o uso de materiais que afetem o meio ambiente, seja na fase de processamento do material ou na fase de descarte final da peça (MORASSI, 1999).

2.3 Propriedades mecânicas

Os parâmetros que determinam as características das fibras vegetais são as propriedades físicas, químicas e mecânicas, e o controle de qualidade das matérias-primas. Na indústria têxtil, por exemplo, as fibras passam por inúmeras etapas de beneficiamento, onde são submetidas aos esforços de tração, flexão, torção, ataques químicos e outras ações que influenciam nas mudanças de suas características originais, necessitando o estudo de suas propriedades físico-mecânicas ao longo do beneficiamento. Entretanto, algumas aplicações não promovem mudanças originais das fibras, como por exemplo, na produção de manufaturados em crina-látex para conformações de peças automotivas (CUNHA, 1996).

As propriedades mecânicas compreendem a resposta dos materiais às influências mecânicas externas, manifestadas pela capacidade de desenvolverem deformações reversíveis e irreversíveis, e resistirem à fratura. São determinadas por ensaios rotineiros de amostras selecionadas como sendo representativas do produto. Estes ensaios mecânicos são normalmente destrutivos de modo que não devem ser efetuados em produtos acabados, pois alteram suas condições de funcionalidade. Obtêm-se corpos de prova de amostras que tenham sido elaboradas do mesmo modo que o produto (LACERDA, 1998).

Alguns ensaios são fundamentais para determinação das propriedades mecânicas de um determinado corpo, dentre eles destaca-se a “resistência à tração”. A aplicação de uma força num corpo sólido promove uma deformação do material na direção do esforço e o ensaio de tração consiste em submeter um material a um esforço que tende a esticá-lo ou alongá-lo. Geralmente, o ensaio é realizado num corpo de prova de formas e dimensões padronizadas, para que os resultados possam ser comparados ou, se necessário, reproduzidos. Este corpo de prova é fixado numa máquina de ensaio que aplica esforços crescentes na sua direção axial, sendo medidas as deformações correspondentes. Os esforços ou cargas são medidos na própria máquina de ensaio e o corpo de prova é levado até a sua ruptura (SOUZA, 1982).

Pode-se considerar todo corpo rígido real como sendo elástico, isto é, pode-se deformá-lo mesmo que ligeiramente as suas dimensões, quando este é submetido a tensões. A “tensão” é proporcional à deformação produzida no material. Esta é definida como F/A , a força dividida pela área onde ela atua, e a deformação como a variação do comprimento do material relativo ao seu estado original. A constante de proporcionalidade entre a tensão e a deformação é chamada de “módulo de elasticidade”. O módulo de elasticidade quando há tração ou compressão do material é chamado de “módulo de Young” (E) (LACERDA, 1998).

As propriedades elásticas são características importantes na resistência do corpo de prova. Este é estendido a uma velocidade padrão constante até a sua ruptura (ASTM D 414). Um material é considerado perfeitamente elástico se as deformações surgem e desaparecem imediatamente após a aplicação ou retirada de tensões (NEVILLE, 1997). Enquanto o alongamento representa aumento percentual do comprimento do “corpo” sob tração, no momento da ruptura (SOUZA, 1982).

2.4 Características gerais e utilização da espécie em estudo

O curauá, cujo nome científico, *Ananas comosus* var. *erectifolius* (L. B. Smith) Coppens & Leal, é uma planta da região amazônica com grande potencial para o uso de suas fibras lignocelulósicas (LEÃO *et al.*, 1998; FROLLINI *et al.*, 2000). Embora seu fruto seja comestível, o interesse econômico pelo curauá está primordialmente associado às fibras extraídas de suas folhas. As fibras extraídas são relativamente macias e com elevada resistência mecânica, comparativamente com outras fibras lignocelulósicas.

Originalmente na Amazônia, as fibras de curauá eram utilizadas pelos índios para tecer redes de dormir, fazer cordas e linhas de pesca. Atualmente fibras picadas de curauá estão sendo misturadas com sobras de cobertores e tapetes descartadas pela indústria têxtil para reforçar matriz de polipropileno em compósitos utilizados no teto e na parte interna do compartimento de bagagem de automóveis como o Fox e o Pólo da Volkswagen do Brasil (ERENO, 2004).

A fibra de curauá submetida a freqüentes pesquisas no Brasil e no exterior apresentou resultados significativos que a credenciam ser considerada a fibra mais promissora entre as produzidas na Amazônia Brasileira. Estudos realizados por Leão (1998) com sisal, juta, curauá e outras fibras naturais associadas a compostos de polipropileno, atribuíram ao curauá melhor desempenho, especialmente em relação à tensão da fibra. Esta fibra também é utilizada em associação a outras fibras naturais, tais como: açaí, coco, miriti entre outras, para a obtenção de papel reciclável (CUNHA, 1998).

De modo geral, o interesse pela fibra do curauá é motivado por algumas características únicas da planta como: (i) a fibra é mais resistente e mais leve que se conhece, sendo também biodegradável e reciclável; (ii) a planta pode ser aproveitada por cinco anos, tempo em que produz de dez a quinze colheitas; (iii) para fabricar peças fixas de automóveis a quantidade de

fibra gasta é menor, sem prejudicar a resistência ou qualquer uma das características físico-mecânicas dos artefatos e; (iv) a possibilidade de reciclar até cinco vezes o material, sem qualquer prejuízo para o resultado final (MONTEIRO *et al.*, 2006).

A espécie em estudo é descrita por Ledo (1929) como planta fibrosa, monocotiledônea, herbácea, perene, pertencente à Família Bromeliaceae, Gênero *Ananas* e espécie *Ananas comosus* var. *erectifolius* (L. B. Smith) Coppens & Leal (COPPENS & LEAL, 2003). É rizomatosa, não apresentando raiz pivotante, mas o seu sistema radicular é relativamente superficial e frágil e que em geral explora apenas os primeiros 15 a 20cm do solo. Sua folha, em condições normais, atinge aproximadamente 1,5m de comprimento, com peso médio de 83 gramas, com bordos lisos a não ser quando a planta atinge a maturidade, ocorrendo o surgimento de vários espinhos nas laterais, ápice provido de pequeno acúleo e de muita mucilagem. O fruto é sincárpico, pouco succulento, mas comestível (Figura 2). A frutificação ocorre quando a planta alcança um ano de idade, caso suas folhas não sejam retiradas neste período. Possui pedúnculo sob forma de haste cilíndrica, medindo cerca de 20cm de altura. Ao redor da base do fruto e em torno de sua coroa surgem abundantes rebentos entre as bainhas das folhas ou diretamente dos rizomas.



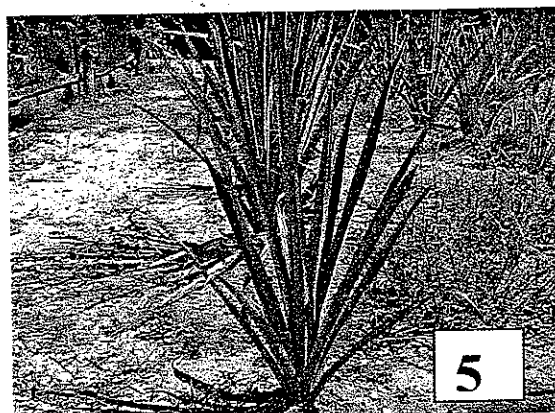
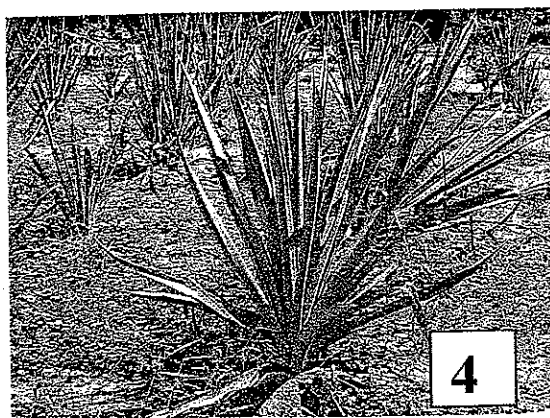
Figura 2. Fruto do curauá. Embrapa Amazônia Oriental.

A inflorescência do curauá (Figura 3) é composta por várias flores individuais, sendo que cada planta pode apresentar mais de uma inflorescência. A planta é monóica com flores hermafroditas e a inflorescência apresenta um conjunto de brácteas na porção apical.



Figura 3. Inflorescência do curauá.
Fonte: Lopes 2005.

Há dois tipos distintos de curauá: um de folhas verde-claro, chamado de curauá branco e outro de folhas roxo-avermelhadas que se desenvolve mais, conhecido como curauá roxo (LÊDO, 1967). (Figuras 4 e 5).



Figuras 4 e 5. Curauá branco e curauá roxo respectivamente. Embrapa Amazônia Oriental.

Em pesquisas realizadas com desgomagem de fibras de curauá, Cunha (1998) observou que o curauá roxo apresenta maior quantidade de perda de massa em relação ao branco.

O curauá é uma espécie higrófila da região amazônica que não necessita de solos férteis para o seu cultivo, exigindo, entretanto, boas condições de aeração e drenagem. Como para a maior parte das bromeliáceas, o curauá requer para seu desenvolvimento vegetativo, condições favoráveis de luz e umidade atmosférica. O clima ideal é quente e úmido, com temperatura do ar variando entre 22° e 32°C, umidade relativa do ar em torno de 90% e precipitação pluviométrica entre 2000 a 2500mm anuais (MEDINA, 1959).

Com relação a pragas e doenças, o maior índice de cochonilhas em plantas de curauá foi registrado em monocultivos, o que reforça a implantação de cultivos consorciados (SILVA, 2006).

O cultivo do curauá, no estado do Pará destaca-se nos municípios de Bragança e Santarém (COSTA *et al.*, 2002) e atualmente ocorre uma expansão no município de Santo Antônio do Tauá, Mojú, Ponta de Pedras e Vigia. A plantação pode se dar por monocultivo (Figura 6) e em consórcio com outras espécies (Figura 7).



Figura 6. Aspecto de plantio de curauá solteiro. Tramontina S.A., 2005.



Figura 7. Aspecto de plantio de curauá consorciado. Tramontina S.A., 2006.

Trabalhos conduzidos por Cordeiro (2007) com o cultivo do curauá em sistemas agroflorestais sob diferentes níveis de radiação solar, demonstraram variações em relação ao crescimento, coloração e vigor das plantas de curauá, indicando que esta espécie pode ser utilizada como cultura temporária em sistemas agroflorestais, nas condições do estudo, até a conveniência de eliminá-lo.

O curauá pode ser plantado em solos menos exigentes e, a partir do segundo ano, a colheita pode ser de quatro em quatro meses. No total, a planta tem um aproveitamento por cinco anos, proporcionando no mínimo dez colheitas. Cada planta produz entre 20 e 24 folhas a pleno sol, proporcionando aproximadamente dois quilos de fibra por colheita (CUNHA, 1998), e dependendo do manejo esse número pode variar entre 23 a 41 folhas, gerando aproximadamente 5 kg de fibras (REIS *et al.*, 2004).

Quando cultivado através do método convencional, o curauá é capaz de produzir no máximo 40 mudas por ano, sendo possível a partir de apenas uma gema cultivada “*in vitro*” a obtenção de 625 mudas em cinco meses (LAMEIRA *et al.*, 2002).

A aplicação de técnica de propagação “*in vitro*” ao curauá surge como alternativa para a expansão da cultura, visando suprir a necessidade de maior demanda da sua produção no

estado do Pará, estimada em 500 toneladas de fibra/mês e oferta de 20 toneladas/mês (SILVA, 2006).

O mercado consumidor do curauá tem se apresentado de várias formas, tanto para o consumo da folha “in natura”, quanto para a fibra e mucilagem. Dentre os principais consumidores, encontra-se em potencial a indústria automobilística, construção civil, indústria calçadista, têxtil, pois o tecido produzido pela fibra do curauá é antialérgico, o que aumentou o interesse desse setor. A universidade Federal do Pará vem desenvolvendo pesquisas para a produção de uma pomada antimicrobiana. Atualmente, somente a indústria automotiva apresenta-se com uma demanda de aproximadamente 350 toneladas de fibras por mês, sem levar em consideração as outras utilizações do curauá (SILVA, 2006).

Pesquisas vêm sendo realizadas (SABAA, 1991; MONTEIRO *et al.*, 2006) para avaliar as propriedades de compósitos poliméricos reforçados com fibras de curauá. Os resultados obtidos até agora são bastante animadores, uma vez que as fibras de curauá apresentam resistência mecânica (SABAA, 1991) comparável à das fibras de sisal e juta (BLEDZKI & GASSAN, 1999).

A Figura 8 mostra a comparação das propriedades entre algumas fibras vegetais e as fibras de vidro, enfatizando o potencial elevado nos termos de densidade, que permite produzir compostos com boas propriedades mecânicas e peso reduzido (até 15 % de redução) observando-se entre estas fibras vegetais o curauá, com potenciais aplicáveis ao reforço dos polímeros. (SANTOS *et al.*, 2006).

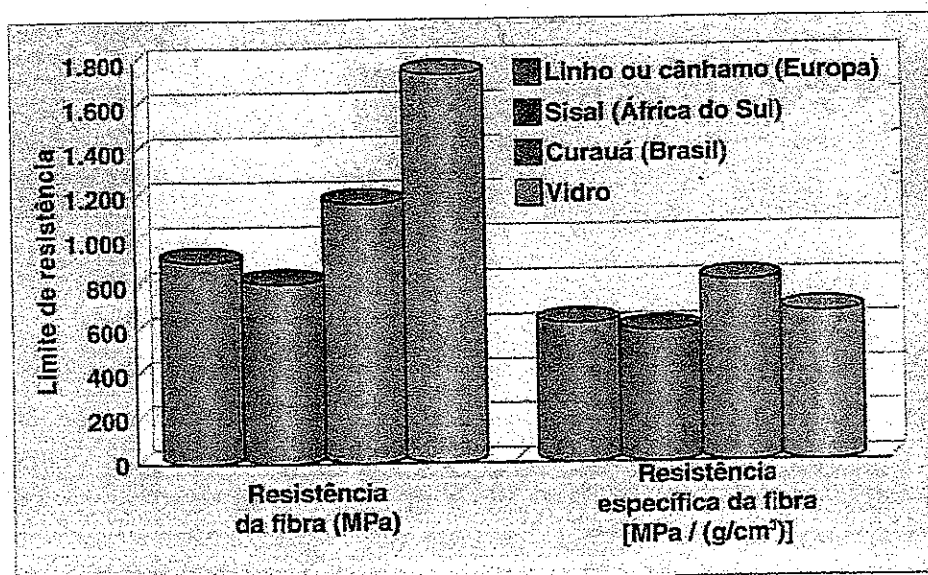


Figura 8: Comparação de resistência (nominal e específica) entre fibras vegetais e de vidro.

Fonte: Santos *et al.*, 2006.

Além disso, compósitos reforçados com 20% em peso de fibras de curauá picadas em matriz de poliuretano e polipropileno apresentam um substancial aumento na rigidez (ARAÚJO *et al.*, 2002; ARAÚJO, 2003). Mais recentemente foi mostrado que a microestrutura de cada fibra de curauá, constituída de um feixe de filamentos, pode ajudar na aderência da resina polimérica (MONTEIRO *et al.*, 2006).

Mothé e Araújo (2004) estudaram o desenvolvimento de capacetes para ciclistas utilizando como matéria-prima o poliuretano derivado de óleo de mamona puro e poliuretano de mamona com 20 % de fibras de curauá, o que comprovou a possibilidade de moldagem desses compósitos, e do uso de 20 % do curauá ter promovido uma diminuição em 20 % do custo referente à matéria-prima, além da vantagem de estar empregando uma matéria-prima de fonte renovável (FIGURA 9).

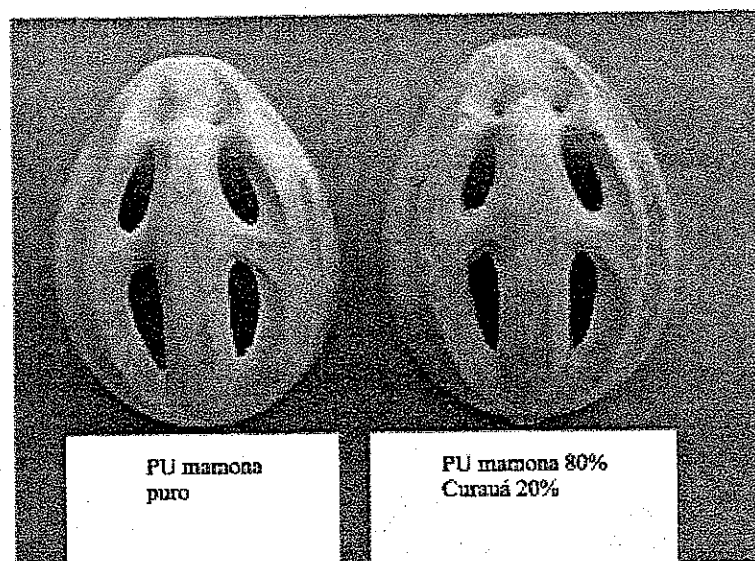


Figura 9. Capacete para ciclista de PU puro e PU com 20% (p/p) de curauá.
Fonte: Mothé e Araújo, 2004.

Atualmente, com o reconhecimento das qualidades das fibras de curauá, como resistência física, flexibilidade, comprimento e leveza, o seu cultivo tem tomado status de plantio industrial, com novas recomendações agrônômicas referentes ao espaçamento, adubação, consórcio com outras culturas e o melhoramento genético na produção de muda e diante de tantas inovações a cadeia produtiva do curauá tornou-se concreta (SILVA, 2006).

2.5 Sistemas Agroflorestais - SAFs

Os Sistemas Agroflorestais são uma forma de uso da terra no qual árvores crescem em associação com outras culturas, perenes ou anuais, e/ou animais, em várias disposições no espaço e no tempo, utilizando práticas de manejo compatíveis com a população local. Nesses sistemas, há interações ecológicas e econômicas entre as árvores e as outras culturas, que resultam em vantagens em relação aos outros sistemas de agricultura (NAIR, 1993). SAFs é um termo recente empregado para designar um conjunto de práticas e sistemas de uso da terra já tradicionais, principalmente em regiões tropicais e subtropicais, embora também encontrado em regiões temperadas.

Para Sanchez (1995), o desenvolvimento da agrofloresta como ciência deve basear-se em quatro aspectos: i) interação entre seus componentes por luz, água e nutrientes (podendo ser negativa-competitiva ou positiva-complementar); ii) complexidade (ecológica e sócio-econômica); iii) lucratividade (produção e mercado) e iv) sustentabilidade (conservação dos recursos naturais como biodiversidade, solos, recursos hídricos e carbono).

As interações entre componentes referem-se à influência de um componente do sistema no desempenho dos outros, bem como no sistema como um todo. O balanço entre efeitos positivos e negativos determina o resultado das interações como um todo, em uma dada combinação agroflorestal. O entendimento de onde e como as interações ocorrem indica as possíveis modificações dominantes no sistema, que podem subsidiar diretamente as atividades de manejo (NAIR, 1993).

O princípio da complementaridade no uso dos recursos disponíveis, como água, luz e nutrientes, são totalmente explorados por uma única espécie, é considerado um fator chave na associação de árvores com culturas (CANNEL, 1996).

A radiação solar é o fator que, por sua ação dominante sobre a fotossíntese traduz realmente melhor as possibilidades do meio que intervêm na produção de um cultivo, na medida em que os outros fatores (hídricos, minerais, pragas, etc) não sejam limitantes (NAIR, 1993). Portanto quando o crescimento não estiver limitado por água ou nutrientes, a quantidade de biomassa produzida por uma espécie é limitada pela quantidade de energia radiante que sua folhagem pode interceptar (BLACK & ONG, 2000). Numerosos estudos com culturas anuais e perenes têm demonstrado a existência de uma grande correlação entre produção de matéria seca e interceptação acumulada de radiação (BLACK & ONG, 2000; RIGHI, 2000).

Quantificar a transmissão da luz ao sub-bosque de um SAF é de grande importância, por ser um fator que define o potencial de produção das plantas que crescem nessas condições. Também é importante para entender as relações entre os componentes do sistema e intervir, por meio do manejo, de modo a maximizar a produtividade de um sistema como um todo (LARCHER, 2000).

Em um sistema agroflorestal, a luminosidade recebida pelas plantas que o compõem, induzem inúmeras respostas. Estudos conduzidos por Rachwal *et al.* (2000) apontaram que o fator luminosidade ou radiação fotossinteticamente ativa, aliado a época de poda da *Ilex paraguariensis* St. Hil (crop), a erva-mate, induziram variações nos teores dos compostos químicos vinculados ao sabor.

2.6 Aspectos botânicos da família Bromeliaceae

Os representantes de Bromeliaceae encontram-se divididos em três subfamílias: Pitcairnioideae, Bromelioideae e Tillandsioideae (TOMLINSON 1969). A maioria das Tillandsioideae é epífita, adaptada a ambientes secos e possui forma de crescimento altamente especializada, com escamas epidérmicas foliares que são capazes de absorver água e nutrientes (TOMLINSON 1969; BRAGA 1977).

A anatomia e fisiologia das Bromeliaceae são importantes, entre outros aspectos, pelas adaptações ecológicas que estas apresentam. Estas adaptações consistem na progressiva redução estrutural e funcional das raízes e o concomitante desenvolvimento de parênquimas, estruturas de sustentação e principalmente de escamas nas superfícies foliares (BRAGA, 1977).

Por toda a variabilidade adaptativa que apresentam as Bromeliaceae, a obtenção de dados anatômicos de estruturas foliares destas torna-se importante e indispensável, uma vez que possibilita especulações sob o ponto de vista filogenético, ontogenético, fisiológico, ecológico e taxonômico (TOMLINSON, 1969).

Entre os estudos anatômicos de Bromeliaceae devem ser destacados o de Robinson (1969), que utiliza a anatomia foliar para delimitar as espécies dos gêneros *Connelia*, *Cottendorfia* e *Navia*, e o de Tomlinson (1969), que reúne informações sobre estudos anatômicos disponíveis na literatura.

Estudos realizados com as escamas epidérmicas absorventes das folhas de Bromeliaceae mencionam sua capacidade de absorver água e nutrientes (Haberlandt 1914, Solereder &

Meyer 1929, Kraus, 1948). A comprovação de que as escamas epidérmicas de determinadas espécies de Bromeliaceae realmente absorvem água e nutrientes coube a Benzing (1970, 1976), Benzing *et al.* (1976) e Benzing & Renfrow (1980).

Caracteres morfológicos e anatômicos, tanto vegetativos quanto reprodutivos, estão relacionados com determinadas condições ambientais, embora a relação entre esses caracteres adaptativos e ambientais, em muitos casos, seja difícil de estabelecer (EHRENDORF, 1973). Reeve & Sherman (1993) definem a adaptação como uma variante fenotípica, que resulta no êxito reprodutivo entre um conjunto específico de variantes em determinado ambiente. Segundo os autores, o termo adaptação tem sido utilizado em anatomia vegetal para descrever caracteres anatômicos associados a determinadas condições ambientais.

O poder de reflexão que tem uma folha de *Ananas comosus* (L.) Merr, por exemplo, recoberta de tricomas pode ser até 27% superior ao de folhas das quais os tricomas tenham sido eliminados (PY, 1969). Tais estruturas podem representar uma adaptação morfológica que atua de modo a restringir a perda de água pelas folhas, por meio da regulação da temperatura, pela reflexão da luz que chega às folhas, e pode ainda, secretar substâncias que protegem as folhas contra parasitas e predadores (LARCHER, 2000). A frequência de tricomas pode aumentar com a intensidade luminosa, exposição ao vento, umidade do solo, do ar e altitude (ELLIS, 1976).

Barboza *et al.* (2006) estudando a anatomia foliar de plantas micropropagadas de *Ananas comosus* (L.) Merr, observaram que nas folhas desenvolvidas *in vitro* e em casa de vegetação, aparecem cordões de fibra distribuídos por todo parênquima clorofilado, ligeiramente abaixo e entre os feixes, e também próximo ao parênquima. Os cordões de fibra são típicos desta espécie e de algumas espécies vizinhas da família das Bromeliaceas (Py, 1969), sendo formadas por células esclerenquimáticas. A presença de fibras no mesófilo tem sido relacionada à exposição dos indivíduos a uma luminosidade intensa e a ambientes secos (Pyykkö, 1966). De acordo com o autor, a presença de fibras não mostrou correlação com intensidade luminosa e umidade, estando, provavelmente, relacionada ao suporte mecânico.

3. CARACTERIZAÇÃO GERAL DA ÁREA EXPERIMENTAL

3.1 Localização do campo experimental

O experimento foi conduzido no campo experimental da empresa Tramontina Belém, S.A, localizada no município de Aurora do Pará, na mesoregião do nordeste paraense, precisamente na microregião do Guamá (Figura 10). O campo experimental está situado entre as coordenadas 2°10'00" latitude sul e longitude 47°32'00" w no, e seu acesso principal é feito pela Br 010, distante em linha reta 210 km da capital do estado. Apresenta altitude de aproximadamente 50 m e os ventos dominantes são de NE (SEPLAN,1993), relevo plano a suavemente ondulado inserido no planalto rebaixado da Amazônia e solo do tipo latossolo amarelo distrófico, textura média (BRASIL, 1974), possuindo baixo teor de matéria orgânica e alta lixiviação. Baixo pH, níveis baixos de N e P e complexo de absorção altamente insaturado determinando abordagens diferentes na recuperação de solos (CORDEIRO, 1999). O tipo de clima predominante na região de acordo com a classificação de Thornthwaite é Br A'a, sendo tropical úmido temperatura média em torno de 25°C, precipitação anual entre 1000 mm – 3600 mm e umidade do ar atmosférico de aproximadamente 65,2% (THORNTHWAITE, 1948).

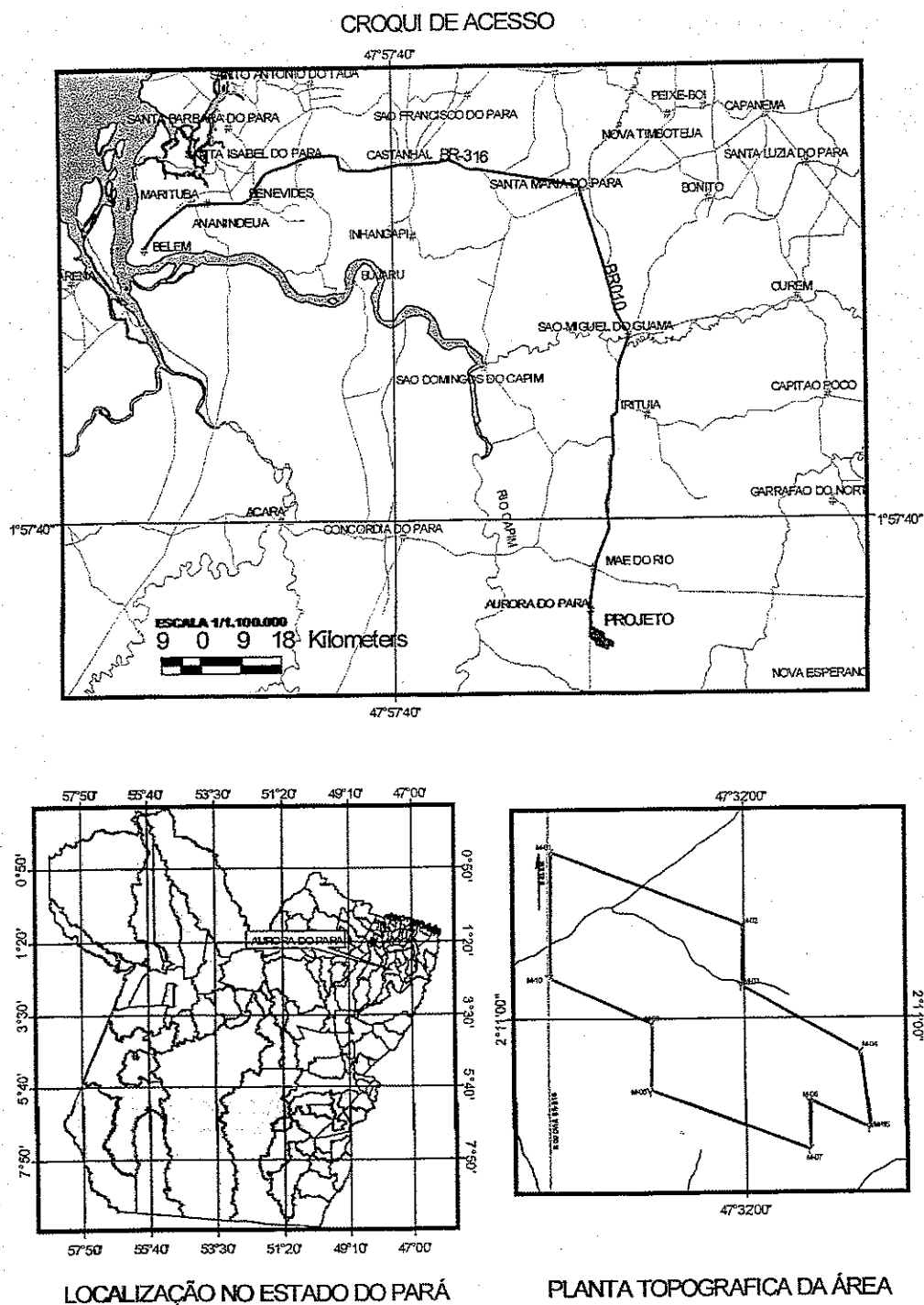


Figura 10 - Localização da área e croqui de acesso do campo experimental, no município de Aurora do Pará (PA).
 Fonte: Cordeiro, 1999.

3.2 Condução do experimento no campo

Foram estabelecidos quatro tratamentos, dispostas em um delineamento completamente ao acaso com quatro repetições, perfazendo dezesseis parcelas.

Cada parcela foi implantada em uma área de $(18 \times 24 = 432 \text{ m}^2)$, sendo que o espaçamento de $4 \times 3\text{m}$ foi adotado para as espécies florestais e de $0,50 \times 0,80\text{m}$ para o curauá. As mudas de curauá do tipo “roxo” utilizadas no experimento foram produzidas no Laboratório de Biotecnologia da Embrapa Amazônia Oriental e as espécies florestais foram produzidas no próprio campo experimental da Tramontina.

Os tratamentos foram constituídos de plantas de *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby (paricá), *Cordia goeldiana* Huber (freijó), *Swietenia macrophylla* King (mogno) e *Ananas comosus* var. *erectifolius* (L. B. Smith) Coppens & Leal (curauá), quais sejam: curauá solteiro; curauá e paricá simultâneos; plantio de curauá após dois anos do plantio do paricá, freijó e mogno e plantio de curauá após um ano do plantio de paricá e freijó. O experimento foi mantido isento da presença de invasoras com a realização de capinas e roçagens, assim como foram realizadas adubações químicas e orgânicas. A distribuição temporal das espécies utilizadas nos sistemas de cultivo está apresentada na Tabela 01.

Tabela 01. Distribuição temporal das espécies utilizadas nos sistemas de cultivo.

Florestais	Espécies/Ano do Plantio		
	Ano do Plantio	Agrônômica	Ano do Plantio
-	-	C	2003
P	2003	C	2003
P+M+F	2001	C	2003
P+F	2002	C	2003

P - Paricá; F – Freijó; M - Mogno e C – Curauá.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Delineamento experimental

A partir dos sistemas de cultivo estabelecidos no campo foi feita a leitura da radiação fotossinteticamente ativa (RFA) ao longo de um dia com o uso de um par de ceptômetros (SUNFLECK, Decagon – Delta T Devices, Pullman, WA, Made in USA). Em agosto de 2006, nos diferentes ambientes, se estabeleceu dez pontos aleatórios que foram monitorados em horários próximos ao meio-dia solar verdadeiro, especificamente de 11h00min as 15h00min consecutivos. Foi utilizado um ponto de controle fora da cobertura vegetal para a determinação da RFA a pleno sol. Durante o levantamento não foi observado a presença de nuvens. Os valores médios de RFA foram obtidos e os níveis de percentuais de radiação por ambiente foram calculados em comparação proporcional com o controle (pleno sol). Com esses valores foram estabelecidos os níveis médios de luz recebidos pelas plantas de curauá, os quais originaram os tratamentos de intensidade de luz, quais sejam: 54%, 63%, 71% e 100% de RFA, para a realização de dois estudos. Estudo I - Influência da radiação fotossinteticamente ativa (RFA) nas propriedades físico-mecânicas das fibras de *Ananas comosus* var. *erectifolius* (L. B. Smith) Coppens & Leal e Estudo II – Influência da radiação fotossinteticamente ativa (RFA) na anatomia foliar de *Ananas comosus* var. *erectifolius* (L. B. Smith) Coppens & Leal.

Os tratamentos e suas respectivas médias de RFA estão inseridos na Tabela 02.

Tabela 02. Tratamentos e média da RFA.

TRATAMENTOS	ANO DE PLANTIO	MÉDIA RFA
C*	2003	100%
C + P	2003	54%
C + P + F + M	2001	71%
C + P + F	2002	63%

P – Paricá; M – Mogno; F – Freijó; C – Curauá

* Em todos os tratamentos o curauá foi implantado em 2003.

4.2 Coleta de material vegetal

A coleta do material vegetal para os estudos foi realizada no mesmo dia da leitura da RFA. Antes da coleta, as plantas foram sorteadas aleatoriamente. Em cada parcela, estabelecida no campo, foram coletadas 10 plantas por repetição, somando 40 plantas por tratamento, perfazendo um total de 160 plantas. Após a coleta, as mesmas foram separadas por tratamento e lavadas em água corrente para eliminar as impurezas provenientes do campo, para posteriormente serem desfibradas (Figura 11).

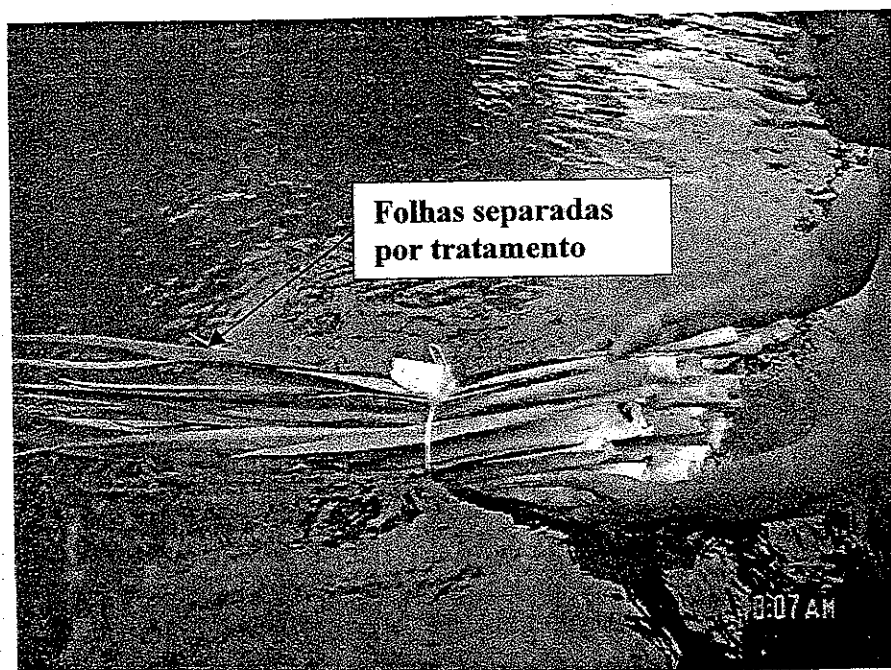


Figura 11. Lavagem de folhas de curauá. Tramontina S.A., 2006.

Após a lavagem, as plantas foram devidamente pesadas em balança com capacidade para 100kg e medidas (comprimento) com auxílio de uma trena, para posteriormente serem desfibradas. Para o estudo das propriedades físico-mecânicas das fibras, foram selecionadas doze plantas por tratamento, perfazendo 48 plantas, as quais foram submetidas ao desfibramento, que consiste na eliminação da mucilagem que envolve as fibras e conseqüente liberação destas. O desfibramento foi realizado mecanicamente em máquina do tipo “periquita” confeccionada exclusivamente para este estudo (Figura 12). Depois de desfibrados, os feixes de fibras (Figura 13) foram separados por tratamento, medidos (comprimento) com auxílio de uma

régua graduada e enviados para o Instituto de Química da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) para serem realizadas as análises das seguintes variáveis:

Densidade (g/cm^3);

Teor de umidade (%);

Ensaio de resistência à tração: tensão de força máxima (MPa); alongamento (%) e elasticidade (MPa).

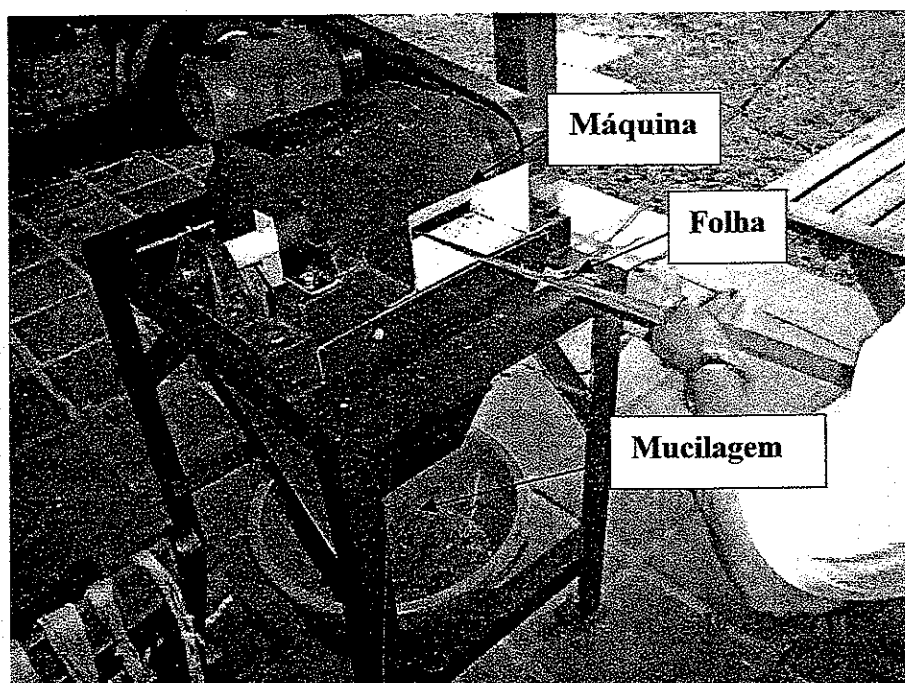


Figura 12. Máquina desfibradora “Periquita”. Tramontina S.A., 2006.



Figura 13. Fibras de curauá. Tramontina S.A., 2006.

De cada tratamento de fibras, foi medido o comprimento por repetição, e como não há uniformidade no tamanho dos feixes, foram medidos todos os comprimentos, desde o menor ao maior feixe e depois se tirou uma média para cada tratamento.

Para a caracterização anatômica das folhas, foram selecionadas quatro plantas por tratamento, sendo que, de cada uma destas, foram escolhidas aleatoriamente cinco folhas a serem fixadas para as análises.

As cinco folhas foram divididas, com auxílio de tesoura, em três regiões: apical, mediana e basal, de onde foram retiradas amostras com auxílio de lâminas de barbear. O material foi separado por regiões/tratamentos perfazendo um total de 48 frascos e fixados em álcool 70% até o momento das análises.

4.3 Análise de dados

4.3.1 Propriedades físico-mecânicas das fibras de curauá

Para a realização dos seguintes ensaios, não se usou o critério de selecionar a parte da fibra, pois as mesmas foram usadas depois de moídas, e, portanto, a importância foi dada apenas para as médias das propriedades, exceto nos ensaios de tração, em que se usou a fibra inteira.

4.3.1.1 Densidade das fibras de curauá

As fibras foram moídas em moinho de facas (Thomson) com peneira de 1mm. Para as medidas de densidade usou-se um picnômetro de vidro com capacidade de 25mL. Utilizou-se uma balança analítica ($BEL \pm 0.0001$ g).

Pesou-se o picnômetro vazio e, em seguida, colocou-se 0.2g de fibra em seu interior. Pesou-se o conjunto picnômetro + fibra, adicionou-se água destilada até metade do picnômetro e esperou-se a fibra decantar. Em seguida completou-se o volume do picnômetro, tampou-se deixando vazar o excesso de água e secou-se a parte externa deste com papel absorvente. Pesou-se novamente picnômetro + fibra + H_2O . Finalmente foi feita uma última pesagem do picnômetro somente com água destilada, adotando o mesmo procedimento para completar o volume. Anotou-se a temperatura da água com precisão de $\pm 0,01$ °C para

verificar o valor de sua densidade absoluta no Handbook of Chemistry and Physics (HODGMAN, 1960).

Foram realizadas seis medidas com cada tratamento. Para o cálculo das médias usaram-se apenas os valores mais reprodutivos.

CÁLCULOS

- Massa de Fibra = massa (picnômetro com fibra) - massa (picnômetro).
- Volume total do picnômetro = [massa (picnômetro+H₂O) - massa (picnômetro)]/densidade da água.
- Volume da água = [massa (picnômetro+fibra+água) - massa (picnômetro+fibra)]/densidade da água.
- Volume da fibra = volume total do picnômetro - volume da água.
- Densidade da Fibra = (massa de fibra) / (volume da fibra).

4.3.1.2 Teor de umidade nas fibras de curauá

O teor de umidade na fibra de curauá foi avaliado para cada tratamento.

Procedimento 1: secagem do pesa-filtro até massa constante em estufa (FANEM 315SE) à 100°C, sendo retirados em intervalos de tempo pré-determinados. Colocados para esfriar em dessecador com cloreto de cálcio até chegarem à temperatura ambiente em seguida pesados em balança analítica com precisão de $\pm 0,0001$ g.

Procedimento 2: após obter massa constante do pesa-filtro, foram pesadas $1,0 \pm 0,0001$ g de fibra em balança analítica (AND HR-120). A fibra foi colocada para secar dentro do pesa-filtro aberto em estufa (FANEM 315SE) a 100°C, por 3 horas. Em seguida foram retiradas e colocadas em dessecador com cloreto de cálcio até atingirem temperatura ambiente, em sequência foram pesadas em balança analítica (AND HR-120).

Repetiu-se esse procedimento de secagem e pesagem até obter massa constante dentro de $\pm 0,0005$ g em todas as repetições. A partir da diferença de massa calculou-se o teor de umidade médio de cada tratamento.

4.3.1.3 Resistência à tração das fibras de curauá

Foram separados 100 fios de fibra (fibra técnica) de cada tratamento. Colocou-se em um becker 400mL de água de tratada e 2 gotas de detergente doméstico (Ypê). As fibras foram passadas nessa solução de limpeza, em seguida lavadas em água corrente até total remoção do detergente. Após serem lavadas as fibras foram separadas novamente, e colocadas em estufa (Fanem Orion 520) com circulação de ar a 100°C por 6 horas (tempo determinado anteriormente nos ensaios de determinação do teor de umidade). Em seguida transferidas para dessecador com cloreto de cálcio sob vácuo para esfriar e equilibrar com a temperatura ambiente. Em seguidas foram removidas do dessecador e deixadas em ambiente climatizado com temperatura de 25 (± 2)°C e umidade relativa de 50 (± 5)%. Neste ambiente foram condicionadas por 48 horas antes de ser realizado ensaio de tração. Determinou-se o diâmetro médio das fibras utilizando um micrômetro (Mitutoyo, precisão $\pm 0,001$ mm). Para cada fibra o diâmetro foi medido em três pontos.

Os ensaios de tração com as fibras foram realizados de acordo com a norma ASTM-D3379. Para os ensaios de tração foi utilizada uma máquina universal de ensaios (EMIC – DL2000), 5,00cm de separação entre as garras, célula de carga de 500 N e velocidade de tração de 2,00mm/min.

Foram realizados testes em 100 fios de fibras de cada repetição de todos os tratamentos.

4.3.2 Caracterização da anatomia foliar de curauá

Para esta caracterização foram utilizados apenas os tratamentos com 100% e 54% de RFA. Os níveis de radiação intermediários foram desconsiderados, uma vez que em análises preliminares, não foram observadas diferenças anatômicas qualitativas que indicassem o efeito da radiação na estrutura foliar da espécie em estudo.

Os testes foram desenvolvidos no Laboratório de Botânica da Embrapa Amazônia Oriental.

Para o conhecimento das estruturas anatômicas, em especial as fibras, o material botânico fixado foi submetido às seguintes técnicas:

4.3.2.1 Dissociação da epiderme foliar

As folhas foram divididas nas regiões apical, mediana e basal, de onde foram retiradas secções da região da nervura central e margem e fixadas em hipoclorito de sódio comercial (MENDONÇA, 1983) por algumas horas, para separação das epidermes adaxial e abaxial. Posteriormente, o material foi corado com safranina, astrablau e/ou fucsina básica (MACHADO *et al.*, 1988).

4.3.2.2 Números de estômatos por mm²

Foram contados estômatos de trinta campos aleatórios, das margens e centro foliar das regiões apical, mediana e basal nos dois níveis de radiação e posteriormente foi retirada a média estatística para cada um destes. A contagem de estômatos foi obtida em objetiva de 10x, com o auxílio de fotomicroscópio Axioskop MC80, Carl Zeiss.

4.3.2.3 Cortes histológicos

Foram realizados cortes transversais nas folhas, utilizando cortes à mão livre feitos com lâminas de barbear, seguindo a técnica usual em anatomia vegetal (JOHANSEN, 1940), com modificações do tempo de fixação. O material foi corado com safranina, astrablau e/ou fucsina básica e montados em glicerina (MACHADO *et al.*, 1988).

4.3.2.4 Caracterização das fibras

Foram obtidas as médias da frequência dos feixes de fibras por folha através de cortes transversais e número de fibras por feixes, largura da fibra (diâmetro tangencial), diâmetro do lúmen e espessura das paredes, através de lâminas de macerado, montadas em glicerina e coradas com fucsina básica. Foram observadas as características em objetiva de 40x, com o auxílio de microscópio Carl Zeiss. Quanto ao número de feixes por folha e fibras por feixe, foram feitas a partir da contagem de dezesseis folhas por tratamento (quatro por repetição), as

quais foram divididas nas regiões apical, mediana e basal. Posteriormente foram contados 30 campos aleatórios das regiões/tratamento e retiradas as respectivas médias estatísticas. Quanto à caracterização biométrica, estas foram realizadas a partir de 16 lâminas de macerado por tratamento e retiradas as médias para cada um dos parâmetros avaliados.

4.3.2.5 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

Secções do material foram submetidas ao processo de desidratação em série etanólica crescente (70%, 80%, 90%, 100%) por três horas. Em seguida, foram processadas em secador de ponto crítico, montadas em suportes metálicos e metalizadas com ouro durante dois minutos e meio em corrente de 25mA. As eletromicrografias foram capturadas em microscópio eletrônico de varredura LEO modelo 1450 VP, pertencente ao Laboratório de Microscopia Eletrônica de Varredura da Coordenação de Pesquisa e Pós-Graduação (CPPG) do Museu Paraense Emílio Goeldi.

4.4 Análise estatística

O delineamento utilizado foi inteiramente casualizado contendo quatro tratamentos e quatro repetições. Os dados de peso de folhas (kg), rendimento de fibras (kg), comprimento de folhas (m), comprimento de fibras e os resultados provenientes dos ensaios físico-mecânicos das fibras, densidade (g/cm^3), teor de umidade (%), tensão (mPA), alongamento (%) e elasticidade (mPA), foram submetidos ao teste de comparação de médias, através do teste t (Tukey), para avaliar se haveria diferença significativa entre os resultados sob os diferentes níveis de RFA.

Posteriormente, o conjunto das mesmas variáveis foi submetido à análise de correlação múltipla, visando observar possível relação entre as mesmas. As análises foram realizadas através do Microsoft Excel.

Na caracterização anatômica foliar os resultados foram descritivos e/ou submetidos às análises comparativas e obtenção de médias estatísticas.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Peso de folhas verdes, rendimento de fibras, comprimento de folhas e fibras

O teste de médias da influência da RFA sobre as variáveis, peso de folhas (kg), rendimento de fibras (kg), comprimento de folhas (cm) e comprimento de fibras (cm) do curauá é apresentado na Tabela 3.

Observou-se que a RFA influenciou diretamente no peso de folhas e rendimento de fibras de curauá. O maior peso de folhas de curauá (16,00kg) ocorreu sob o nível de radiação de 54%, ou seja, no sistema de cultivo mais sombreado, diferindo estatisticamente dos demais níveis de radiação, exceto para o nível de 63%, e os menores pesos (12,16 e 12,68kg) foram observados nos maiores níveis de radiação, 71 e 100% respectivamente.

Tabela 3. Teste de médias da influência da RFA sobre o peso de folhas, rendimento de fibras, comprimento de folhas e de fibras de curauá.

RFA	Peso de folha (kg)	Rendimento de fibra (kg)	Comprimento de folha (cm)	Comprimento de fibra (cm)
100	12,68 b	2,30 c	90,93 b	86,94 b
71	12,16 b	2,61 c	95,39 b	91,80 b
63	14,09 ab	3,08 ab	102,29 ab	96,40 ab
54	16,00 a	3,11 a	113,85 a	109,25 a

Médias seguidas da mesma letra dentro das colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Observando as fibras, os maiores rendimentos ocorreram nos níveis de 54% e 63% de RFA, sistemas de cultivos mais sombreados, não havendo diferença estatística entre os mesmos, porém diferiram dos demais níveis de radiação. Os menores rendimentos foram obtidos nos maiores níveis de radiação (71 e 100%) que não diferiram entre si.

Para os comprimentos de folhas e de fibras, os maiores valores encontrados foram nos níveis mais sombreados (54 e 63%) e os menores comprimentos foram encontrados nos níveis

mais ensolarados (71 e 100%) respectivamente. Estes resultados foram similares ao peso de folhas.

Trabalhos conduzidos por Cordeiro *et al.* (2006) avaliando o curauá em plantio misto com espécies florestais, observaram que diferentes condições de luz impostas às plantas não influenciaram no número de folhas nem no número de rebentos, não havendo diferenças estatísticas entre os tratamentos para essas variáveis. Entretanto, no que se refere ao comprimento das folhas, estas foram mais compridas quando submetidas em condições mais sombreadas.

Kaspary (1985) estudando a produtividade da erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil), verificou valores superiores na produção de massa verde em plantas jovens sob condições de sombreamento, tendendo à redução desta produção com o aumento da intensidade luminosa.

Em *Aniba rosaeodora* Ducke (pau-rosa) Rosa (1996) observou que plantas desenvolvidas em diferentes níveis de radiação, tiveram maior produção de matéria seca da parte aérea, radicular e total em condições mais sombreadas, diferindo da produção a pleno sol a qual foi menor.

Trabalhos conduzidos por Carvalho *et al.* (2006), avaliando plantas de (*Syagrus coronata* (Mart.) Becc.) (licuri) sob diferentes níveis de luminosidade, observaram que em relação à massa seca total, as plantas submetidas a 30% de luz tiveram maior produção quando comparadas com as mudas a pleno sol (100% de luz).

Resultados semelhantes ao peso de folhas obtidos neste trabalho também foram encontrados para a espécie *Euterpe edulis* Mart., por Nakazono (2001) em que as plantas, crescendo em luz solar plena, apresentaram redução do crescimento em massa verde, em relação a níveis mais sombreados.

De acordo com Kitao (2000), a exposição prolongada a altas irradiâncias pode ser prejudicial às plantas, por absorverem mais fótons de luz do que podem utilizar, podendo ter como consequência a fotoinibição ou, até mesmo, a morte da planta.

Os resultados aqui obtidos levam a crer que nos sistemas implantados com maiores disponibilidades de luz, esta tenha sido a principal responsável pelos menores rendimentos obtidos neste ambiente.

5.1.2. Propriedades físico-mecânicas das fibras de curauá

Um dos parâmetros que determinam as características das fibras vegetais são as propriedades físicas e mecânicas, que vão subsidiar o uso dessas fibras nos mais diversos setores industriais e determinam a qualidade das matérias-primas resultantes da combinação dessas fibras.

A Tabela 4 apresenta o teste de comparação de médias da influência da RFA sobre as propriedades físico-mecânicas, densidade (g/cm^3), teor de umidade (%), tensão (MPa), alongamento (%) e elasticidade (MPa) das fibras de curauá.

Tabela 4. Teste de médias da influência da RFA sobre as propriedades físico- mecânicas das fibras de curauá.

RFA	Densidade (g/cm^3)	Teor de umidade (%)	Tensão (MPa)	Alongamento (%)	Elasticidade (MPa)
100	1,54 a	10,20 b	389,03 ab	2,41 a	18982,50 b
71	1,44 a	10,11 b	359,95 b	1,86 c	22537,50 a
63	1,23 b	10,20 b	373,50 b	2,02 bc	21382,50 a
54	1,46 a	13,55 a	427,70 a	2,30 ab	21227,50 a

Médias seguidas da mesma letra dentro das colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. MPA = megapascal.

Para a variável densidade os resultados demonstraram que não houve diferença significativa entre os tratamentos, exceto para o nível de 63% de RFA. Isso leva a crer que os diferentes níveis de radiação em que as plantas foram submetidas não influenciaram de forma linear nos resultados.

Santos *et al.* (2006) avaliando o uso de fibras de curauá nos compostos PA-6 (poliamida-6) reforçados (nylon), no que diz respeito à densidade dessas fibras, as amostras com 20% de fibras de curauá, foram melhores do que os materiais reforçados com talco ou com fibras de vidro. Esta densidade reduzida facilita a confecção de compósitos com curauá, o que reduz o peso das partes finais destes compósitos, o que hoje em dia é muito crítico, principalmente nas indústrias automotivas, as quais visam reduzir o consumo de combustível.

O maior teor de umidade da fibra foi observado no menor nível (54%) de RFA, que diferiu estatisticamente dos demais níveis, não havendo, entretanto, diferença significativa entre os mesmos. O resultado demonstra o que era esperado, ou seja, em condições de menor luminosidade as plantas tendem a perder menos água. Os resultados obtidos nesse trabalho foram similares aos obtidos por Chand e Hashmi (1993) e Amico *et al.* (2001) quando caracterizaram as fibras de sisal da região nordeste do Brasil, observaram que o teor de umidade das fibras variou na faixa de 11,1 a 11,6%.

De acordo com os resultados obtidos na tensão máxima, houve diferença significativa entre os tratamentos. O valor de maior tensão foi observado no menor nível de RFA (54%) que diferiu dos demais tratamentos, exceto para o maior nível de RFA (100%). Entre os demais tratamentos não houve diferença significativa.

Para o alongamento ocorreu diferença significativa entre os tratamentos, porém essas diferenças não foram lineares. Os maiores valores foram observados na maior e menor RFA não diferindo entre si e os menores valores nos níveis intermediários de RFA, não havendo diferença significativa entre os mesmos.

Quanto à elasticidade os maiores valores foram obtidos nos níveis de RFA 54, 63 e 71% respectivamente, não diferindo estatisticamente entre si, porém diferindo do menor valor encontrado o qual foi a pleno sol.

Na literatura consultada não foram encontrados trabalhos que correlacionassem diferentes níveis de radiação solar com as propriedades físico-mecânicas de fibras vegetais.

Santos *et al.* (2006) avaliando o uso de fibras de curauá nos compostos PA-6 reforçados (nylon), observaram que as amostras de fibras longas e curtas processadas com WP-25 (extrusora dupla-rosca co-rotante e interpenetrante marca Werner Pfleiderer, modelo 25) mostraram resultados muito similares e aumento significativo nas propriedades de tensão e flexão sobre o material processado, confirmando uma vez que fibras de curauá, curtas ou longas, podem causar um grande efeito de reforço em PA-6.

Mano *et al.* (2006) estudando os compósitos de PP (polipropileno) com fibras de curauá, observaram que a adição de fibras de curauá aos PP causou um aumento significativo de 300% nas propriedades mecânicas de tensão e flexão.

Resultados preliminares demonstraram ser a fibra do curauá comparável ao vidro, no qual diz respeito à relação peso/resistência, superando o sisal em duas vezes, a malva em cinco vezes e a juta em nove vezes (SENNA & COLARES, 1996).

5.1.3. Correlação das variáveis envolvidas no estudo

A Tabela 5 apresenta a análise de correlação múltipla das variáveis de peso de folhas (kg), rendimento de fibras (kg), comprimento de folhas e de fibras (cm) conjuntamente com as variáveis das propriedades físico-mecânicas das fibras de curauá.

Por meio da análise de correlação múltipla do conjunto de variáveis observadas no estudo, verificou-se uma alta correlação negativa entre as variáveis RFA e peso de folhas, RFA e rendimento de fibra (-93,79), RFA e comprimento de Folha (-87,05), comprimento de Fibra e RFA (-85,86), RFA e elasticidade (-73,83) e, alongamento e elasticidade (-87,58).

Tabela 5. Correlação múltipla das variáveis, peso de folhas (kg), rendimento de fibras (kg), comprimento de folhas e fibras (cm) com as variáveis das propriedades físico-mecânicas das fibras de curauá.

	RFA	Folha (kg)	Fibra (kg)	Folha (cm)	Fibra (cm)	Densidade	Teor unid.	Tensão	Alongam.	Elasticidade
RFA	1									
Folha (kg)	-0,7015	1,0000								
Fibra (kg)	-0,9379	0,8151	1,0000							
Folha (cm)	-0,8705	0,9528	0,8933	1,0000						
Fibra (cm)	-0,8586	0,9382	0,8552	0,9956	1,0000					
Densidade	0,5304	-0,1802	-0,6534	-0,2454	-0,1666	1,0000				
Teor unid.	-0,5967	0,8868	0,5811	0,8848	0,9149	0,2307	1,0000			
Tensão	-0,3014	0,8463	0,3880	0,7269	0,7471	0,3533	0,9218	1,0000		
Alongam.	0,4032	0,3618	-0,2160	0,0983	0,1081	0,5691	0,4177	0,7315	1,0000	
Elasticidade	-0,7383	0,0472	0,5098	0,3405	0,3504	-0,4586	0,0701	-0,3189	-0,8758	1

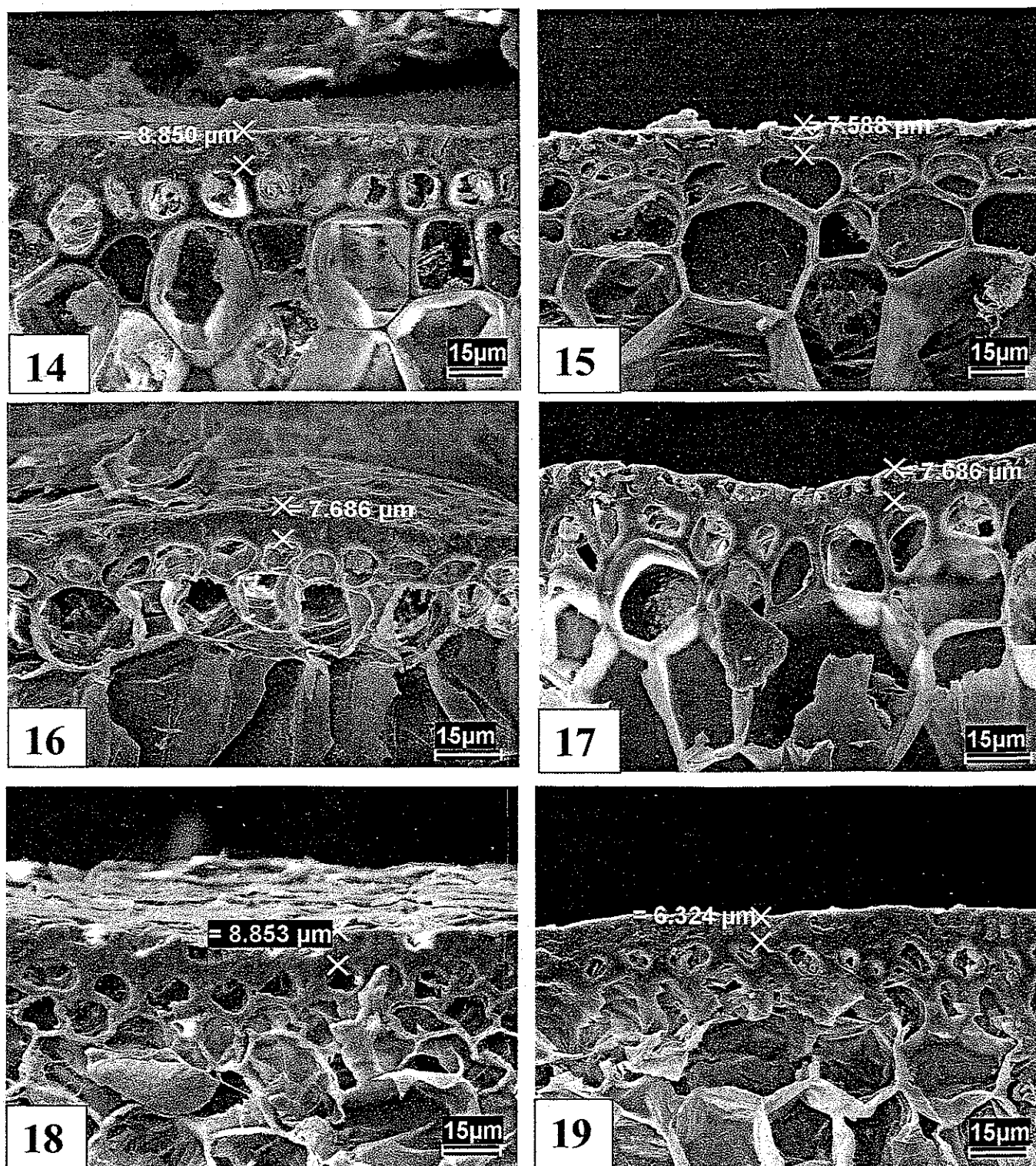
Por outro lado, observou-se correlação linear positiva entre comprimento de folha e comprimento de fibra (99,56), peso de folhas e teor de umidade (88,68), comprimento de fibra e tensão (74,71), dentre outras conforme a Tabela 5. De igual modo, por exemplo, para a relação entre comprimento de folhas e comprimento de fibras nota-se uma alta correlação positiva (99,56%), indicando que quanto maior o comprimento da folha, maior o comprimento da fibra obviamente.

Observou-se que não houve correlação entre as variáveis de densidade, tensão e alongamento com a RFA. Observou-se apenas uma baixa correlação negativa entre elasticidade (-0,73) e RFA, não sendo levada em consideração, por não haver correlação das demais variáveis de propriedades físico-mecânicas com RFA. O que comprova a afirmação feita no teste de médias com as propriedades físico-mecânicas, que apesar de haver diferença significativa entre os níveis de radiação e as variáveis citadas, não há uma relação linear sobre a influência da RFA essas propriedades.

Esta análise é suma importância, pois permite observar como o conjunto de variáveis se relacionam tanto diretamente quanto indiretamente. Com isso é possível a melhor tomada de decisão na hora de se implantar um sistema, aprimorar ou escolher características de maior interesse econômico ou biológico, visando uma produção de larga escala, não comprometendo assim, a qualidade do produto final.

5.2 Caracterização da anatomia foliar de curauá

Na observação em MEV das folhas de curauá, a epiderme apresenta-se revestida por cutícula espessa e bem desenvolvida nas folhas nos dois níveis de radiação, sendo que nas folhas de plantas a 100% de RFA, observa-se um ligeiro aumento de espessura para as duas regiões analisadas (apical e basal) (Figuras 14-19).



Figuras 14-19. Eletromicrografias das secções transversais foliares de *Ananas comosus* var. *erectifolius* (L. B. Smith) Coppens & Leal, evidenciando espessamento cuticular. **14:** Região apical a 100% de RFA; **15:** Região apical a 54% de RFA; **16:** Região mediana a 100% de RFA; **17:** Região mediana a 54% de RFA; **18:** Região basal a 100% de RFA; **19:** Região basal a 54% de RFA.

O padrão de espessamento da parede das células epidérmicas é determinado pelo grau de exposição ao sol (WITHNER *et al.*, 1974) e é considerado uma característica de ambiente ensolarado. O aumento da espessura da parede e cutícula é uma das respostas das plantas a ambientes secos (JUNIPER & JEFREE, 1983), contudo, Elias (2001) afirma que plantas desenvolvidas sob condições de grande umidade também podem desenvolver cutícula mais espessa que aquelas desenvolvidas normalmente, o que não é o caso nesse estudo.

Observa-se a presença de estômatos paracíticos (Figura 20), em geral na face abaxial, entretanto na região mediana das folhas em níveis mais altos de radiação, esses apêndices epidérmicos ocorrem em ambas as faces.

Várias interpretações têm sido feitas para tentar explicar a presença de estômatos em ambas as superfícies foliares, embora com poucos esclarecimentos a respeito. Cutter (2002) considera que folhas anfiestomáticas e hipoestomáticas são características de plantas que crescem em ambientes mesofíticos o qual segundo Esaú (1985), proporciona maior frequência estomática na face abaxial.

Segundo Barboza *et al.* (2006), as folhas de *Ananas comosus* (L.) Merr (abacaxi) são hipoestomáticas independentemente do ambiente do cultivo, inferindo-se que seja uma característica inerente ao genótipo.

Na quantificação estomática das folhas de curauá, verifica-se que nas regiões apical, mediana e basal a pleno sol, ocorrem em média 33, 33 e 45 estômatos/mm², respectivamente. Enquanto que no nível mais sombreado, para as mesmas regiões, ocorrem em média 41, 47 e 47 estômatos/mm², respectivamente.

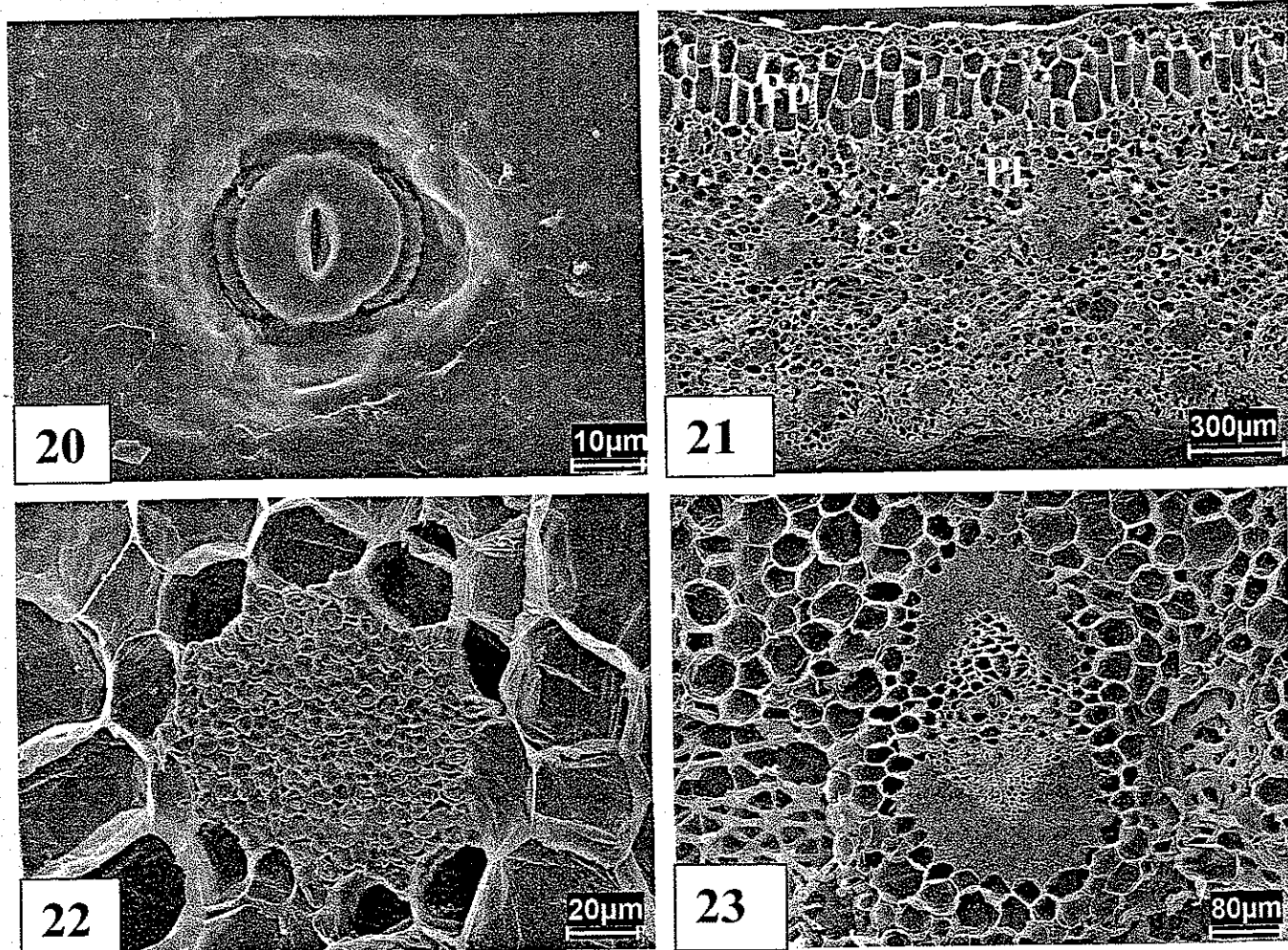
Os resultados demonstram que na região mais sombreada, o índice estomático é maior, em relação a 100% de radiação. As maiores médias em número de estômatos/mm², nas folhas de curauá em condições mais sombreadas eram esperados, uma vez que vários estudos indicam que a radiação induz alterações estruturais e funcionais nos estômatos. Resultados similares foram observados por Almeida (2001), avaliando aspectos anatômicos de plantas jovens de *Cryptocarya aschersoniana* submetidas a diferentes níveis de radiação, observou que as mudas cultivadas a pleno sol apresentaram as menores médias em número de estômatos por mm² e índice estomático em relação às cultivadas nos demais níveis de

sombreamento. Por outro lado, na espécie *Bauhinia forficata* não foi verificada diferença significativa com relação ao número de estômatos por mm² em plantas expostas a pleno sol, 30% e 50% de sombreamento (ATROCH, 1999).

O mesofilo das folhas de curauá apresenta parênquima clorofiliano diferenciado em paliçádico e lacunoso, ou seja, do tipo dorsiventral (Figura 21), no qual ocorrem feixes fibrosos (Figura 22) e vasculares do tipo colateral (Figura 23). O parênquima paliçádico é constituído por células alongadas e justapostas com pequenos espaços intercelulares, características desse tecido. No parênquima lacunoso ocorrem as células braciiformes (Figura 24). São observados ainda grãos de amido (Figura 25), ráfides (Figura 26), e células buliformes (Figura 27), as últimas nas regiões de curvatura das folhas.

Acredita-se que as células buliformes participem do mecanismo de dobramento ou enrolamento e desdobraimento e desenrolamento das folhas em resposta a mudanças no potencial hídrico. (Raven *et al.*, 2001). Fahn (1990) citou que o mecanismo de dobramento foliar ocorre através do colapso hídrico das células buliformes.

Cutler (1978) cita que independentemente da diferenciação, o mesofilo pode ser utilizado como um critério a mais na identificação de espécies. O referido autor considera, também, que as variações ambientais não alterarão os arranjos celulares deste, visto que estão rigidamente controlados pelo genoma. Complementando, Judd *et al.* (2002) comentam que a distribuição e a forma das células mesofílicas, pode ser considerada como características de diagnóstico. Sabe-se, porém, que a quantidade de tecido fundamental do mesofilo, a altura do parênquima paliçádico e a compactação do lacunoso não são úteis para fins de diagnósticos, uma vez que sofrem influências de fatores, tais como a intensidade luminosa (RAVEN *et al.*, 2001). De acordo com Boardman (1977) as folhas em geral, que crescem em menor disponibilidade de radiação têm maior superfície e são mais finas do que folhas que crescem expostas ao sol. Estas são mais espessas, pois formam células paliçádicas maiores ou mais camadas dessas células.



Figuras 20-23. Eletromicrografias das folhas de *Ananas comosus* var. *erectifolius* (L. B. Smith) Coppens & Leal. 20: Superfície detalhando estômato paracítico. 21-22. Secções transversais. 21: Visão geral do mesofilo; 22: Detalhe de feixe fibroso; 23: Detalhe de feixe vascular colateral. Parênquima paliçádico (Pp); Parênquima lacunoso (Pl).

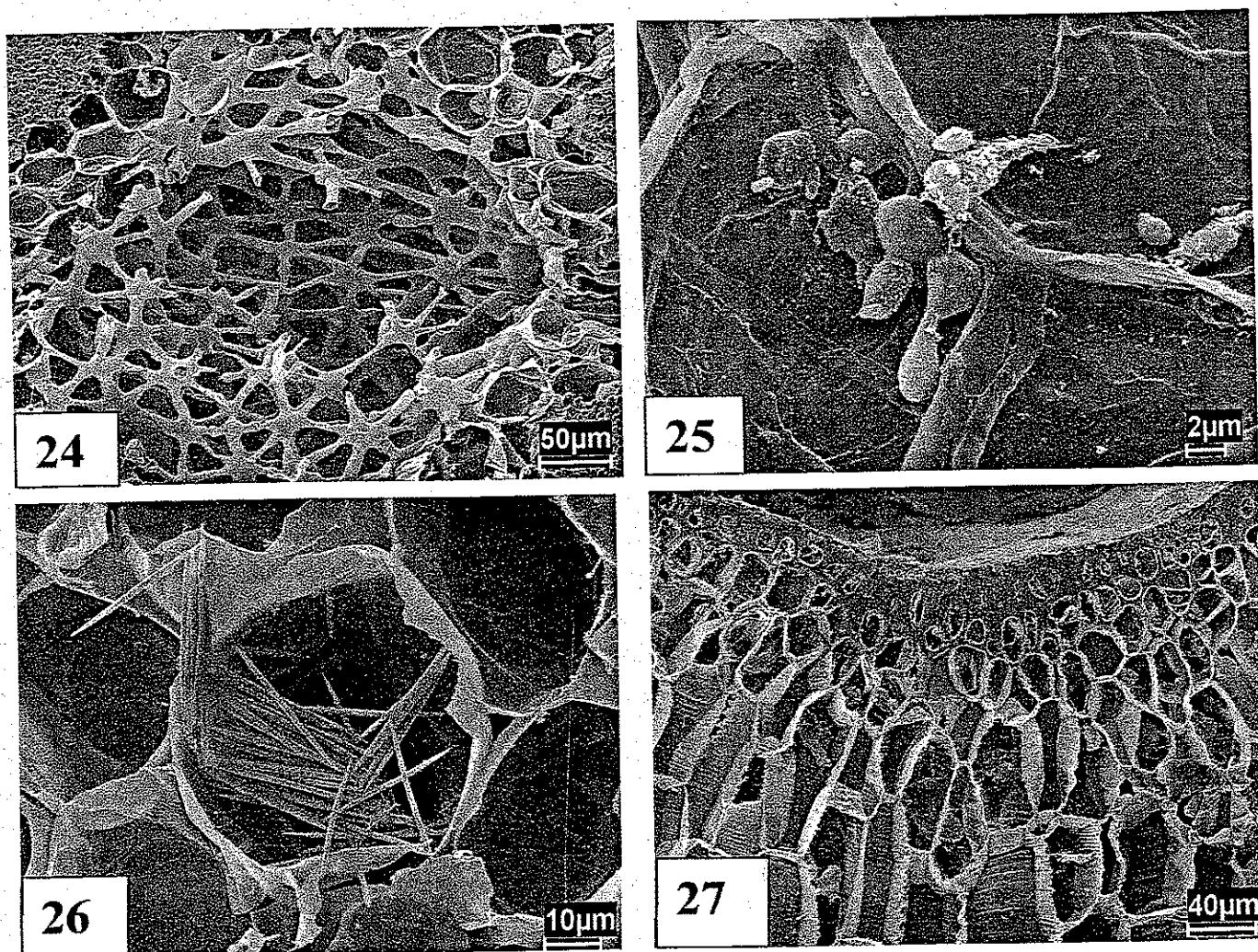


Figura 24-27. Eletromicrografias das secções transversais das folhas de *Ananas comosus* var. *erectifolius* (L. B. Smith) Coppens & Leal. 24: Parênquima lacunoso detalhando células braciformes; 25: Detalhe de grãos de amido no mesofilo; 26: Detalhe de ráfides no mesofilo; 27: Detalhe de células buliformes.

Os feixes de fibras acompanham o sistema vascular e se encontram dispersas no mesofilo, formando feixes (Figuras 31, 32 e 33).

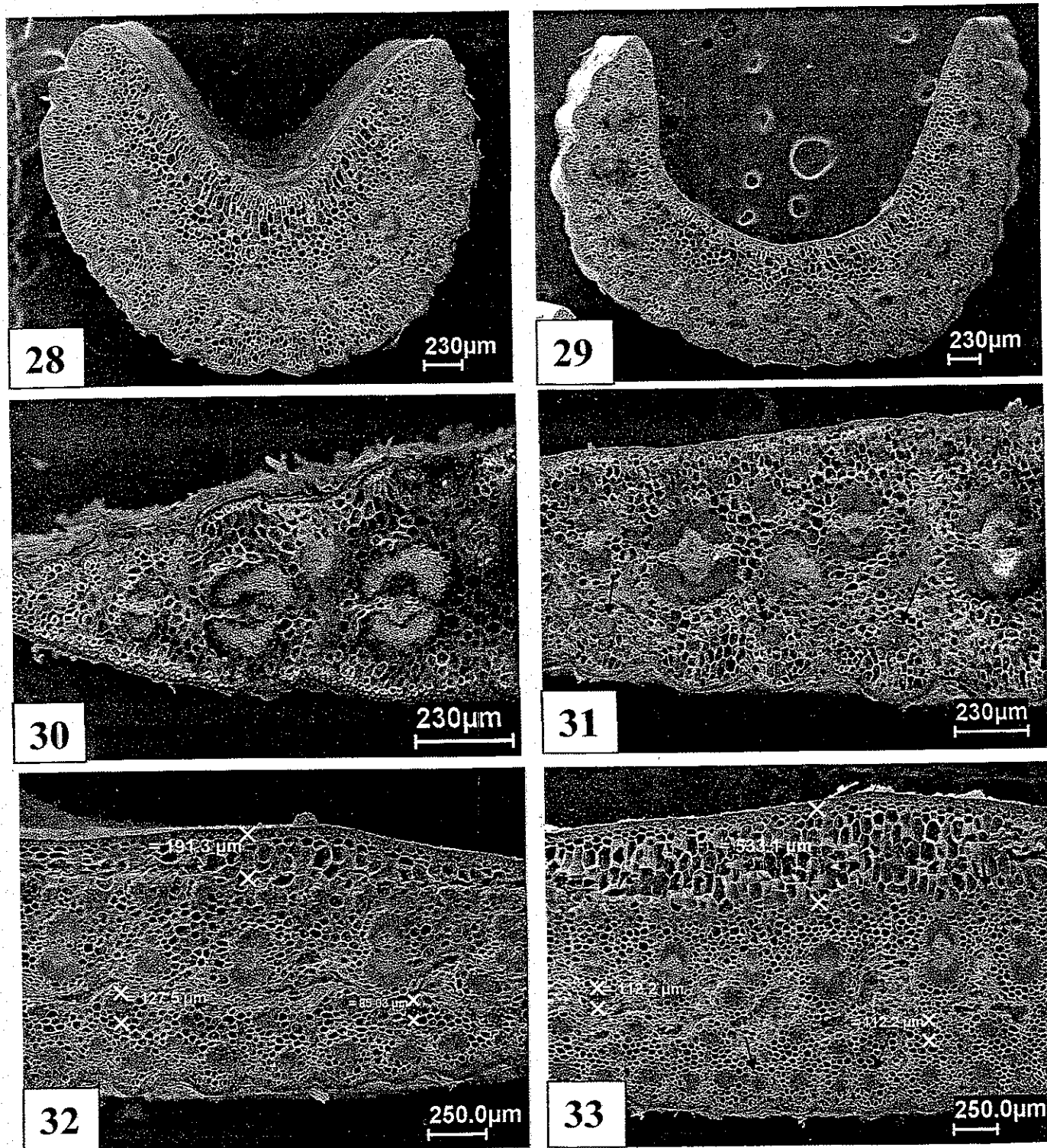
Em relação aos níveis de radiação, observam-se diferenças quanto ao número de camadas e altura do parênquima paliçádico, e quantidade de feixes fibrosos no parênquima.

Nas regiões apical e mediana, os feixes fibrosos a 100% de RFA encontram-se aparentemente bem reduzidos, em relação a 54% (Figuras 28-31).

Na região basal ao nível de 100% de radiação, ocorrem em torno de duas a três camadas paliçádicas. Enquanto que a 54% ocorrem de três a quatro camadas. A altura do tecido paliçádico é menor a 100% em relação ao nível de 54% de radiação. Observa-se ainda nesta região, que os feixes fibrosos estão em menor quantidade a pleno sol, e o tamanho desses feixes, embora ligeiramente maiores no nível de 54% de RFA, estes possuem o mesmo número de fibras que a 100%, devido a um arranjo estrutural mais compacto, tornando insignificante esta diferença (Figuras 32 e 33).

De acordo com Esaú (1985) as folhas desenvolvidas sob a ação da luz solar direta são menores, porém mais espessas e apresentam tecido paliçádico mais fortemente diferenciado do que as folhas que se desenvolvem na sombra. No entanto, é possível que o tecido paliçádico das folhas de curauá a pleno sol, não tenham seguido esse padrão de diferenciação, pelo fato do espessamento cuticular, o qual se apresentou pluriestratificado, neste nível de radiação, como forma de proteção, pois este espessamento das paredes das células epidérmicas é uma adaptação à perda excessiva de água nos estratos mais xerofíticos da planta.

Os feixes e cordões de fibras são típicos de plantas da família Bromeliaceae, sendo formadas por células esclerenquimáticas (PYYKKO, 1966). No entanto, Catling & Grayson (1982), ao estudarem espécies de Poaceae encontraram fibras semelhantes às observadas neste estudo.



Figuras 28-33. Eletromicrografias das secções transversais foliares de *Ananas comosus* var. *erectifolius* (L. B. Smith) Coppens & Leal. 28 e 29. Região apical. 28: Mesofilo a 100% de RFA; 29: Mesofilo a 54% de RFA. 30 e 31. Região mediana. 30: Mesofilo a 100% de RFA; 31: Mesofilo a 54% de RFA. 32 e 33. Região basal. 32: Mesofilo a 100% de RFA; 33: Mesofilo a 54% de RFA. As setas indicam feixes de fibras.

Quanto à caracterização das fibras, a Tabela 6 apresenta os resultados quanto ao número de feixes de fibra por folha e de fibras por feixe. Estes indicam que as fibras mantêm um padrão de quantidade por feixe, independente do nível de radiação em que estas estão submetidas.

Entretanto, no que diz respeito ao número de feixes por folha, independente da região analisada foi observado que no nível mais sombreado a quantidade de feixes é maior, em relação ao pleno sol. Estes resultados, considerados de grande relevância para a pesquisa desenvolvida, podem explicar o fato de maior rendimento de fibras, obtido nos níveis mais sombreados em relação ao pleno sol, observado na Tabela 3.

Tabela 6. Caracterização das fibras quanto ao número de feixes de fibra por folha e fibras por feixe de curauá.

RFA (%)	Número de feixes/folha			Número de fibras/feixe		
	Apice	Meio	Base	Apice	Meio	Base
100	180	250	260	300	328	300
54	280	360	380	300	330	304

No que diz respeito a biometria das fibras, os valores obtidos para o diâmetro tangencial da fibra, espessura da parede e diâmetro do lúmen, na região apical tanto a 100% como 54% de RFA variaram entre 5 a 10 μ m; 1,2 a 12,5 μ m; e 2,5 a 5 μ m. Para os mesmos níveis de radiação, na região mediana, esses valores variaram entre 5 a 12,5 μ m; 1,2 e 2,5 μ m e 2,5 a 7,5 μ m. Enquanto que na região basal os valores obtidos variaram entre 5 a 12,5 μ m; 1,2 e 5 μ m e 1,2 e 7,5 μ m. As médias biométricas respectivas estão apresentadas na Tabela 7.

Tabela 7. Médias biométricas das fibras foliares de curauá.

RFA (%)	Diâmetro tangencial (μm)			Espessura da parede (μm)			Diâmetro do lúmen (μm)		
	Ápice	Meio	Base	Ápice	Meio	Base	Ápice	Meio	Base
100	8,0	8,0	8,0	2,4	2,4	2,4	3,3	3,3	3,3
54	8,0	8,0	8,0	2,4	2,4	2,4	3,3	3,3	3,3

Os resultados aqui obtidos indicam que os diferentes níveis de radiação, não influenciaram nos valores referentes ao diâmetro tangencial das fibras, espessura da parede e diâmetro do lúmen, o que se pode inferir do ponto de vista analisado, que as fibras mantêm um mesmo padrão de espessamento tanto a pleno sol, como no nível mais sombreado.

O espessamento da parede das fibras está relacionado à resistência mecânica, quanto menor a espessura da parede da fibra maior será o coeficiente de flexibilidade, conseqüentemente será menor o grau de colapso em função de maior flacidez. Este coeficiente de flexibilidade é um indicativo de resistência à ruptura e é, inversamente proporcional à força tensora. (MANIMEKALAI *et al.*, 2002).

Segundo Paula (2003), a caracterização de fibras fornece subsídios importantes e seguros para a qualidade da matéria-prima resultante da combinação dessas fibras, podendo cada tipo de material, do ponto de vista físico e mecânico, ser obtido com fibras indicadas pelos parâmetros analisados.

Os resultados obtidos neste estudo, não podem ser conclusivos em relação ao grau de plasticidade fenotípica apresentado pela espécie ou mesmo à maior adaptabilidade da planta neste ou naquele ambiente. Faz-se necessário uma análise mais detalhada na anatomia foliar, com estudos mais abrangentes, uma vez que o intuito principal da pesquisa foi observar as características anatômicas referentes às fibras em diferentes ambientes.

6. CONCLUSÕES

Para a espécie estudada, é inerente afirmar que esta pode ser componente do sistema agroflorestal aqui estudado, sem alterar as características físico-mecânicas de suas fibras, para os parâmetros avaliados.

Os diferentes níveis de radiação fotossinteticamente ativa influenciaram diretamente no peso de folhas, rendimento de fibras, comprimento de folhas e comprimento de fibras de curauá.

No que diz respeito às propriedades físico-mecânicas, os diferentes níveis de radiação em que as plantas foram submetidas não influenciaram de forma linear nos resultados obtidos, as diferenças foram pontuais, inferindo-se que a radiação não alterou a qualidade das fibras de curauá nos parâmetros e condições avaliados.

Na caracterização anatômica, foi observado que nas folhas de plantas a 100% de radiação, houve um ligeiro aumento de espessura cuticular. Foi observado o mesofilo do tipo dorsiventral, com ocorrência de feixes fibrosos, vasculares do tipo colateral. Observou-se a presença de células brachiformes, grãos de amido, ráfides e células buliformes.

Ocorreram diferenças quanto ao número de camadas e altura do parênquima paliádico e quantidade de feixes fibrosos no parênquima das folhas submetidas aos dois níveis de radiação.

O maior rendimento de fibras foi decorrente do maior número de feixes por folha ambos em níveis mais sombreados. Já o número de fibras por feixe indicou que as mesmas mantiveram um padrão de quantidade independente do nível de radiação em que estas estavam submetidas.

Os diferentes níveis de radiação não influenciaram nos valores referentes à largura das fibras, espessura da parede e abertura do lúmen.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O panorama mundial aponta para uma tendência moderna de revalorização dos produtos naturais em substituição aos produtos sintéticos, principalmente nos grandes setores industriais. Neste contexto, o curauá tem despertado o interesse relevante das indústrias de modo em geral, devido o grande aproveitamento dos seus subprodutos e principalmente por produzir uma fibra de inigualável qualidade.

A suposição levantada no início do estudo foi de que a radiação não influenciaria a qualidade das fibras, o que pôde ser confirmado pelos parâmetros aqui avaliados.

Foi possível observar que, referente ao peso de massa verde e rendimento de fibras, a radiação influenciou sobremaneira, sendo obtidos os melhores resultados em níveis mais sombreados, o que não compromete o plantio a pleno sol, pois no decorrer do tempo, esses rendimentos tendem a aumentar, já que é uma característica natural da cultura, compensando as menores produções dos primeiros anos de plantio.

A qualidade da fibra não foi comprometida pelos diferentes níveis de radiação, a qual influenciou pontualmente alguns dos parâmetros físico-mecânicos avaliados. Os valores obtidos foram muito similares. Pode-se considerar então, que se uma determinada empresa em uma tomada de decisão, resolver investir na cultura de curauá em larga escala na Amazônia, visando à obtenção de fibras para setores específicos, a espécie pode ser cultivada tanto a pleno sol como em condições sombreadas, pois o padrão de qualidade destas mantém-se constantes.

Quando avaliadas algumas características foliares anatômicas da espécie, principalmente voltadas para as fibras, observou-se que no nível mais sombreado a quantidade de feixes fibrosos foi maior, o que correspondeu com as observações de rendimento de fibras, os quais também foram maiores em níveis mais sombreados. As demais características anatômicas foram consideradas típicas da Família, e com alguns resultados correspondentes à literatura, necessitando assim, de estudos mais enfáticos e abrangentes de anatomia para afirmar se a radiação influencia em todas as características morfo-anatômicas da espécie.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGROAMAZÔNIA: A revista de agronegócios da Amazônia. Ano 1, n.8, p.30-31, 2002.
- ALMEIDA, L. P. de. **Germinação, crescimento inicial e anatomia foliar de plantas jovens de *Cryptocarya aschersoniana* Mez. sob diferentes níveis de radiação.** 2001. 96 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.
- AMICO, S. C. et al. Caracterização de fibras de sisal da região nordeste do Brasil. IN: XVI CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA MECÂNICA. **Proceedings of COBEM, Materials Science**, v. 2, p.33-41, 2001.
- ARAUJO, C.R.; PERLAZA, L.C; MOTHÉ, C.G. Thermal properties of commercial and castor oil polyurethane composites with curaua Fiber, natural polymers and composites, **Polímeros**. v. 4, p. 547-550, 2002.
- ARAUJO, C. R. **Cinética de Decomposição Térmica de Compósitos Poliméricos com Fibras de Curauá.** 2003. 132f. Tese (Doutorado), Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- ATROCH, E.M.A.C. **Aspectos fisiológicos, anatômicos e biossíntese de flavonóides em plantas jovens de *Bauhinia forficata* Link. submetidas a diferentes níveis de irradiância.** 1999. 62f. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Lavras - UFLA, Lavras.
- BARBOZA, S. B. S. C. et al. Anatomia foliar de plantas micropropagadas de abacaxi. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v.41, n.2, p.185-194, 2006.
- BENZING, D. H. Foliar permeability and the absorption of minerals and organic nitrogen by certain tank bromeliads. **Botanical Gazette**, v. 131, p.23-31, 1970.
- BENZING, D. H. et al. The absorptive capacities of bromeliad trichomes. **American Journal of Botany**, v. 63, p.1009-1014, 1976.
- BENZING, D.H.; RENFROW, A. The nutritional dynamics of *Tillandsia circinata* in southern Florida and the origin of the air plant strategy. **Botanical Gazette**, v. 141, p.165-172, 1980.
- BERNARDES, M.S. Fotossíntese no dossel das plantas cultivadas. In: CASTRO, P.R.C., FERREIRA, S.O., YAMADA, T. (Eds). **Ecofisiologia da produção agrícola.** Piracicaba: Associação brasileira para pesquisa da potassa e do fosfato, p.13-45, 1987.
- BLACK, C.; ONG, C. Utilization of light and water in tropical agriculture. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v.104, p.25-47, 2000.

- BLEDZKI, A.K., GASSAN, J., Composites Reinforced with Cellulose-Based Fibres, *Progress in Polymer Science*, v. 24, p. 221-274, 1999.
- BOARDMAN, N. K. Comparative photosynthesis of sun and shade plants. *Annual Review of Plant Physiology*, California, v.28, p.35-37, 1977.
- BRAGA, M.M.N. Anatomia foliar de Bromeliaceae da campina. *Acta Amazônica*, Manaus, v.7, p.1-74, 1977.
- BRASIL, Ministério da Agricultura, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Instituto de Pesquisas Agropecuárias do Norte (EMBRAPA-IPEAN). *Solos do nordeste paraense*. Relatório Preliminar. EMBRAPA-IPEAN, Belém. 125p. 1974.
- CANNEL, M.G.R.; VAN NOORDWIJK, M.; ONG, C.K. The central agroforestry hypothesis: the trees must acquire resources that the crop would otherwise acquire. *Agroforestry Systems*, Dordrecht, v.33, n.1, p.1-5, 1996.
- CARVALHO, R.F. **Compósitos de fibras de sisal para uso em reforço de estrutura de madeira**. 2005. 133f. Tese (Doutorado), Universidade de São Paulo - USP, São Carlos.
- CARVALHO, L.C.; ALMEIDA, D.R.; ROCHA, C.F.D.da. Phenotypic response of *Neoregelia johannis* (bromeliaceae) dependent on light intensity reaching the plant microhabitat. *Selbyana*, v.19, n.2, p.240-244, 1998.
- CARVALHO, L.C.; ROCHA, C.F.D.da. Forma da bromélia dependente da luz. *Ciência Hoje*, v.26, n.155, p.72-74, 1999.
- CARVALHO, N. O. S., PELACANI, C. R., RODRIGUES, M. O. S. de. Crescimento inicial de plantas de licuri (*Syagrus coronata* (Mart.) Becc.) em diferentes níveis de luminosidade. *Rev. Árvore*, vol. 30, n. 3, p. 351-357, 2006.
- CASTRO, E.M.de. **Estudo de algumas características ecofisiológicas na produção de mudas de *Muntingia calabura* L. em função de tipos de substratos e níveis de irradiância**. 1995. 48f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Lavras, Lavras.
- CATLING, D.; GRAYSON, J. **Identification of vegetable fibres**. Chapman and Hall, London New York. p. 1-3, 1982.
- CERMEÑO, Z.S. **Construccion de invernaderos**. Madrid: Mundi-Prensa, 1994. 445p.
- CHAND N.; HASHMI S. A. R. Mechanical properties of sisal fibre at elevated temperatures, *Journal of Materials Science*, v. 28, p. 6724 – 6728, 1993.
- COPPENS, G.; LEAL, F. Morphology, anatomy and taxonomy. In: Bartholomew, D. P.; PAULL, R. E.; KOHRBACH, K.G. (Ed). **The Pineapple: botany, production and uses**. New York: CAB Internacional, Wallingford (Great Britain), p.13-32, 2003.

CORDEIRO, I.M.C.C. Performance diferencial de crescimento da espécie *Schizolobium amazonicum* (Huber) Ducke em sítios degradados sob diferentes regimes de preparação de área na microregião do Guamá. 1999. 50f. Monografia (Especialização) - NAEA/Universidade Federal do Pará. Belém.

CORDEIRO, I.M.C.C. Comportamento de *schizolobium amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby (paricá) e *Ananas lucidus* Mill (curauá) sob diferentes sistemas de cultivo no município de Aurora do Pará. 2007. Tese (Doutorado). UFRA, Belém.

CORDEIRO, I. M. C. C.; LAMEIRA, O. A.; REIS, I. N. R. S.; OLIVEIRA, E. C. P. Crescimento de plantas de *Ananas lucidus* Mill (curauá) sob diferentes intensidades de luz em condições de cultivo. In: CONGRESSO NACIONAL DE BOTÂNICA, 57., 2006, Gramado, 2006. p. 1-3.

COSTA, M.R., LAMEIRA, O.A., YOSHINO, V.C. Caracterização genética do curauá (*Ananas erectifolius*) através de marcadores RAPD. *Biotecnologia: Ciência & Desenvolvimento*, v.5, n.26, p.28-30, 2002.

CRUZ-RAMOS, C.A. Natural fiber reinforced thermoplastics: Mechanical properties of reinforced thermoplastics. New York: Elsevier, 1986. 206p.

CUNHA, E.J. de S. Desgomagem de faixas de fibra de curauá (*Ananas erectifolius* S.): Influência das variáveis de processo na solubilidade do material péctico e nas propriedades mecânicas. 1998, 64p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Pará, Belém.

CUNHA, E.J.S. Processamento de fibras vegetais para aplicação industrial. Belém - PA, 1996, 32p. Seminário apresentado à disciplina: Tópicos Especiais em Materiais - Universidade Federal do Pará, Belém.

CUTLER, D.F. Applied plant anatomy. London: Longman, 1978. 103p.

CUTTER, E.G. Anatomia vegetal: Parte I -- Células e tecidos. 2ª ed. Botucatu: Roca, 2002. 304p.

DUBOIS, C.L.J. Plantas amazônicas como potencial agro-industrial. In: MITSCHKEIN, T. PINHO, J., FLORES, C. Plantas amazônicas e seu aproveitamento tecnológico. Belém: Ed. SEJUP, 1993, p.26.

ECK, T.F.; DEERING, D.W. Canopy albedo and transmittance in spruce-hemlock forest in mid-September. *Agricultural and Forest Meteorology*, Amsterdam, v.59, n.3-4, p.237-248, 1992.

EHRENDORFER, F. Adaptive significance of major taxonomic characters and morphological trends in angiosperms. In: HEYWOOD, V.H. (Ed.). *Taxonomy and ecology*. London: Academic Press, 1973. p.317-327.

- ELIAS, S.R. de M. **Anatomia foliar, deficiência hídrica e fenologia em *Solanum lycocarpum* St. Hill. (Solanaceae).** 2001. 98p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia.
- ELLIS, R.P. A procedure for standardizing comparative leaf anatomy in the *Poaceae*. I. The leaf blade as viewed in transverse section. **Bothalia**, v.12, p.65-109, 1976.
- ERENO, D., Fibra para Toda Obra, **Boletim Eletrônico Fapesp**, n. 104, 2004. [Hhttp://www.fapesp.br/agencia/boletim_dentro.php?data%5Bid_materia_boletim%5D=26](http://www.fapesp.br/agencia/boletim_dentro.php?data%5Bid_materia_boletim%5D=26). Acesso em 19 set. 2006.
- ESAU, K. **Plant anatomy**. 2ª ed. Tokyo:Toppan Company, 1985. 767p.
- ESPÍRITO SANTO, A. do; PUGIALLI, H.R.L. Estudo da plasticidade anatômica foliar de *Stromanthe thalia* (Vell.) J.M.A. Braga (Marantaceae) em dois ambientes de Mata Atlântica. **Rodriguésia**, v.50, p.107-122, 1998.
- FARIA, L.J.G. Processos para obtenção de fibras naturais. In: MITSCHIEIN, T., PINHO, J., FLORES, C. **Plantas Amazônicas e seu Aproveitamento Tecnológico**. Belém - PA, Universidade Federal do Pará: Daimler Benz: CEJUP Editora. 1993. 232p.
- FENGEL, D.; WEGENER, G. **Wood: chemistry ultrastructure reactions**. Berlin: Walter de Gruyter, 1984. 220p.
- FERREIRA, M.das G.M.et al. Efeito do sombreamento na produção de mudas de quatro espécies florestais nativas. **Revista Árvore**, Viçosa, v.I, n.2, p.121-133, 1977.
- FROLLINI, E., LEÃO, A.L., MATTOSO, L.H.S., **Natural Polymers and Agrofibers Composites**, p. 257 – 272, Botucatu, USP e UNESP, 2000.
- GLÓRIA, B.A.da; GUERREIRO, S.M.C. **Anatomia Vegetal**. Viçosa:UFV, 2003. 438p.
- GRAM, H. E. Durability of natural fibres in concrete. In: SWAMY, R.N., (Ed.). **Natural fibre reinforced cement and concrete. Concrete Technology and Design**, 5. Glasgow: Blackie, p.143-172, 1988.
- GRIME, J. P. Plant strategies in shade. In: SMITH, H. (Ed.). **Plants and the day light spectrum**. London: Academic press, 1981. p. 159-186.
- HABERLANDT, G.F.J. **Physiological plant anatomy**. Mac Millan Co., London. 1914. 402p.
- HEAD, O. Our growing is getting better. **Journal of the Bromeliad Society**, v.47, n.1, p.6-7, 1997.

HOWELL, T.A., MEEK, D.W., HATFIELD, J.L. Relationship of photosynthetically active radiation to shortwave radiation in the San Joaquin Valley. *Agric. Meteorol.*, vol.28, p.157-175, 1983.

HULL, D. **An introduction to composites materials**. Cambridge University Press. (Cambridge Solid State Science Series). 1995. 190p.

HODGMAN, C.D. (Ed.). **Handbook of chemistry and physics**. 46nd.ed. Cleveland: The Chemical Rubber, 1960. 2129p.

ILKIU-BORGES, F. **Morfo-anatomia de sementes e órgãos vegetativos em três estádios de desenvolvimento de *Bauhinia monandra* Kurz (Leguminosae-Caesalpinioideae) como contribuição ao estudo farmacognóstico de plantas na região amazônica**. 2005. 149f. Tese (Doutorado). INPA/Universidade Federal do Amazonas, Manaus.

JOHANSEN, D. A. **Plant microtechnique**. New York, McGraw-Hill. 1940.523p.

JONES, H. G. **Plants and macroclimate**. New York: Cambridge University, 1986. 322p.

JOSEPH, P.V.; MATTOSO L.H.C.; TOLEDO, R.D., Natural fiber reinforced thermoplastic composites. In: **Natural polymer and agrofibers based composites**. São Carlos: USP/Unesp/Embrapa. 2000.

JUNIPER, B.E.; JEFFREE, C.E. **Plant surfaces**. London: E. Arnold, 1983. 93p.

KITAO, M. Susceptibility to photoinhibition of three deciduous broadleaf tree species with different successional traits raised under various light regimes. **Plant, Cell and Environment**, n. 23, p.81-89, 2000.

KOSLOWSKI, T. T. Effects of environmental stresses on deciduous trees. In: MOONEY, H. A. (Ed.), WINNER, W. E. (Ed.), PEEL, E. J. (Ed.), CHU, E. (Ed.). **Response of plants to multiple stresses**. San Diego: Academic prees, 1991. p.391-411.

KRAUSS, B.H.. Anatomy of the vegetative organs of the pineapple, *Annanas comosus* (L.) Merr. II. The leaf. **Botanical Gazette** v.110, p.333-404. 1948.

LACERDA, R.G. **Propriedades mecânicas de filmes finos de carbono amorfo hidrogenados**. 1998. 81f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, Campinas.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: Rima Artes e Textos, 2000. 531p.

LAMEIRA, O.A.; COSTA, M.R.; YOSHINO,V.C. **Biotechnologia: Ciência & Desenvolvimento**. Ano v, n. 26, p.28. 2002.

LEÃO, A.L., TAN, I.H., CRASCHI, J.C., Curaua fiber – A tropical natural fibers from Amazon - Potential and Application in Composites, In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ADVANCED COMPOSITES, p. 557–564, Hurghada, Egito, 1998.

LEDO, I.A. de M. **O cultivo do curauá no Lago Grande da Franca**. Belém: Banco de Crédito da Amazônia S.A. 1967, 23p.

LOPES, P.P. Curauá. Disponível em [www.kantagalo.com/arquivos/recursos geneticos vegetais.doc](http://www.kantagalo.com/arquivos/recursos_geneticos_vegetais.doc). Acesso em 10 de abril de 2007.

LOURENÇO, R.O. et al. **Medição de propriedades de fibras naturais da Amazônia**. Belém: POEMA, 1994.

MACHADO, R. D.; COSTA. C. G.; FONTENELLE, G. B. Anatomia foliar de *Eugenia sulcata* Spring ex Mart. (Myrtaceae). **Supl. Acta bot. bras.**, v.1, n.2, p.275-285. 1988.

MADISON, M. Vascular epiphytes: their systematic occurrence and salient features. *Selbyana*, v.2, p.1-13, 1977.

MAITI, R.K. **Plant fibres**. India: Dehra Dun, 1980. 250p.

MANIMEKALAI, V.; PAVICHANDRAN, P.; BALASUBRAMANIAN, A. Fibres of *Sorghum bicolor* (L.) moench and their potential use in paper and board making. *Phytomorphology*. v.52, n.1, p.55-59, 2002.

MALHEIROS, M. A. de B. **Caracterização do fluxo de radiação fotossinteticamente ativa, irradiância espectral e relação vermelho: vermelho extremo em clareiras da exploração florestal seletiva, em Moju-Pará, Brasil**. 2001.94f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Ciências Agrárias do Pará, Belém.

MANO, B.I.; SPINACÉ, M.A.S.; DE PAOLI, M.A. Polypropylene composite reinforced with a natural fiber: processing and coupling agent effect. In: ANNUAL MEETING OF THE POLYMER PROCESSING SOCIETY, 23., Salvador, 2006, p. 1-7.

MARROQUIM, S. **Uso da fibra de coco e látex na engenharia automotiva: memorial da Crina-Látex do Brasil**. Abreu e Lima: ABRACOCO, 1994. 65p.

McCREE, K. J. Photosynthetically active radiation. **Physiological plant ecology I**. New York: Springer-Verlag, 1981. 625p.

MEDINA, J.C. **Plantas fibrosas da flora mundial**. Campinas, 1959. p. 913.

- MENDONÇA, M. S. de. 1983. 187f. **Aspectos anatômicos e distribuição de vasos laticíferos de algumas espécies de Manihot (*Maniçobas*)**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Pará, Belém.
- MOHANTY, A.K.; MISRA, M.; HINRICHSENG, M. Biofibres biodegradable polymers and biocomposites an overview. **Macromolecular materials and engineering**, Weinheim, v.276/277, n.1, p.1-24, 2000.
- MONTEIRO, S.N., DE DEUS, J.F., D'ALMEIDA, J.R.M., Mechanical and structural characterization of curaua fibers, In: CHARACTERIZATION OF MINERALS, METALS & MATERIALS - TMS CONFERENCE, p. 1- 8, San Antonio, USA, 2006.
- MORASSI, O.J. Fibras Naturais – aspectos gerais e aplicações na indústria automobilística. IN: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS., 11. Águas de São Pedro. Anais, 1994.
- MOTHE, Cheila G.; ARAUJO, Carla R. de. Thermal and mechanical characterization of polyurethane composites with curaua fibers. **Polímeros**, São Carlos, v. 14, n. 4, 2004. p.305-312.
- NAKAZONO, E. M. Early growth of *Euterpe edulis* Mart. in different light environments. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 24, n. 2, 2001, p. 173-179.
- NAIR, P. K. R. **Agroforestry systems in the tropics**. London: Kluwer, 1993. 664p.
- NAVES, V.L. **Crescimento, distribuição de matéria seca, concentração de clorofila e comportamento estomático de mudas de três espécies florestais submetidas a diferentes níveis de radiação fotossinteticamente ativa**. 1993. 76f. Dissertação (Mestrado) ESAU: Lavras.
- NEVILLE, A.M. **Propriedades do concreto**. 2. ed. São Paulo: PINI, 1997. 828 p.
- PAULA, J.E. de. Caracterização anatômica da madeira de sete espécies da Amazônia com vistas à produção de energia e papel. **Acta Amazônica**, v.33, n.2, p.243-262, 2003.
- PEREIRA, A.R. Radiation regime of tropical rain forest. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.5, n.2, 1997, p.1-8.
- PY, C. **La piña tropical**. Barcelona: Blume, 1969. 278p.
- PYYKKÖ, M. The leaf anatomy of East Patagonian xeromorphic plants. **Annales Botanici Fennici**, v.3, 1966, p.453-622.
- RACHWAL, M.F.G. et al. Influência da luminosidade sobre os teores de macronutrientes e tanino em folhas de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) In: II CONGRESSO SUL-AMERICANO DA ERVA-MATE, 2.; REUNIÃO TÉCNICA DO CONE SUL SOBRE A CULTURA DA ERVA-MATE, 2, 2000, Encantado. Resumos, 2000. p. 225.

RAVEN, P.H.; EVERT, R.F.; EICHHORN, S.E. **Biologia vegetal**. 6ª ed. Guanabara: Koogan S.A.P., 2001. 906p.

REEVE, H.K.; SHERMAN, P.W. Adaptation and the goals of evolutionary research. **Quarterly Review of Biology**, v.68, 1993. p.1-32.

RIGHI, C.A. **Interações ecofisiológicas acima e abaixo do solo em um sistema agroflorestal de seringueira (*Hevea brasiliensis*) e feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*)**. 2000. 130f. Dissertação (Mestrado). Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba.

ROBINSON, H. A monograph on foliar anatomy of the genera *Connelia*, *Cottendorfia* and *Navia* (Bromeliaceae). **Smithsonian Contributions to Botany**. v. 2. 1969. p.1-41.

ROSA, L.S.dos. **Comportamento inicial da espécie *Aniba rosaeodora* Ducke (pau-rosa), submetida a diferentes níveis de sombreamento em condições de viveiro**. 1996. 103f. Dissertação (Mestrado). FCAP, Belém.

SABAA, M.W. Mechanical properties of Curaua Fibers. **Polymeric Degradation and Stability**, v. 32, 1991. p. 209 – 218.

SANCHEZ, P. A. Science in agroforestry. **Agroforestry Systems**. v. 30, 1995. p 5-55.

SANTOS, P.A. et al. Polyamide-6/vegetal fiber composite prepared by extrusion. In: ANNUAL MEETING OF THE POLYMER PROCESSING SOCIETY, 23., Salvador, 2006, 12p.

SEPLAN – Aurora do Pará. Governo do Estado do Pará, Belém: SEPLAN, 1993, 32p. **Novos Municípios**, 21.

SENNA & COLARES. **Introdução básica sobre a cultura do curauá**. Emater-Pará. 1996. 72p.

SILVA, R.V. **Compósito de resina poliuretano derivada de óleo de mamona e fibras vegetais**. 2003. 157f. Tese (Doutorado) - USP, São Carlos.

SMITH, N; DUBOIS, J; CURRENT, D.; LUTZ; CLEMENT. C. **Agroforestry experiences in the Brazilian Amazon: constraints and opportunities**. Brasília: PPG-7, 1997, 84 p.

SILVA, R.N.P.da. **Crescimento e sintomas de deficiências de macronutrientes em plantas de curauá (*Ananas erectifolius* L. B. Smith)**. 2006. 58f. Dissertação (Mestrado). UFRA, Belém.

SHUTTLEWORTH, W.J; et al. Observations of radiation exchange above and below Amazonian forest. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, London, v.97, 1984. p.541-564.

SOLEREDER, H. & MEYER, F.J. Bromeliaceae. In Systematische Anatomie der Monokotyledonen. **Gebrüder Borntraeger**, Berlin, heft iv, 1929. p.80-129.

SOUZA, S.A. - **Ensaios mecânicos de materiais metálicos: fundamentos técnicos e práticos**. 5ª ed. v. 1 . São Paulo, Edgard Blucher, 1982. 286 p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. Fisiologia Vegetal. 3.ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719p.

THORNTHWAITE, C.W. Approach towards a rational classification of climate. **Geographical Review**. v.38, p.55-94, 1948

TOMLINSON, P.B. Commelinales-Zingiberales. In Anatomy of the Monocotyledons (C.R. Metcalfe, ed.). **Clarendon Press**, Oxford, v.3, p.1-446, 1969.

ZIEGENHAGEN, B., KAUSH, W. Productivity of young shaded oaks (*Quercus robur*) as corresponding to shoot morphology and leaf anatomy. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v.72, p.97-108, 1995.