

COMISSÃO TÉCNICA 6

Silvicultura e Melhoramento Genético Florestal

TRABALHO DE POSICIONAMENTO

DESENVOLVIMENTO DO *Eucalyptus* DO FUTURO

Edgar Campinhos Junior
Ergilio Cláudio-da-Silva Jr.
Empresas Aracruz, Aracruz, ES, Brasil

RESUMO

Enfatiza o papel da pesquisa florestal aplicada, desenvolvida por empresa privada, como um dos meios mais importantes para incrementar o rendimento das florestas, melhorar a qualidade dos seus produtos, diminuir os custos de produção e aumentar a produção industrial sem investimentos adicionais. Define como prioritária a pesquisa em genética e em melhoramento florestal, que é a base para o desenvolvimento de outras pesquisas florestais, tornando possível eliminar ou controlar diversas variáveis que afetam os resultados. Mostra os ganhos já obtidos em volume e qualidade de madeira de *Eucalyptus* spp. produção de polpa de celulose de mercado e perspectivas futuras com a aplicação de procedimentos de biotecnologia combinada ao melhoramento genético tradicional, para obtenção de árvores altamente produtivas, puras e híbridas.

INTRODUÇÃO

A Aracruz Florestal iniciou o plantio de *Eucalyptus* spp. no Estado do Espírito Santo, em 1967, e mais recentemente no sul do Estado da Bahia. Devido à falta de experiência com *Eucalyptus* na região e a falta de sementes melhoradas, foram encontrados diferentes problemas no comportamento da floresta. Um deles foi a alta suscetibilidade ao cancro (*Cryphonectria cubensis*), onde quase 60% das árvores foram atingidas, principalmente o *Eucalyptus saligna*.

O *Eucalyptus* "alba" do Brasil, que é um cruzamento de baixa qualidade do *E. urophylla* com outras espécies, apresentou o menor IMA - incremento médio anual, e a maior heterogeneidade na qualidade da madeira entre árvores, porém apresentou maior resistência ao cancro.

O *E. grandis* apresentou melhor incremento e média resistência ao cancro. Com base nos resultados iniciais, a partir de 1974, decidiu-se plantar somente *E. grandis* com sementes da África do Sul e Zimbábue, o que resultou em florestas de melhor qualidade, pois a madeira era mais homogênea e o incremento era melhor, apesar de apresentar baixa densidade (490 kg/cm³) e baixo rendimento de polpa (48%). Ocorria o ataque do cancro e o rebrotamento era baixo.

Estava clara a necessidade de se mudar a estratégia de ação, já que havia dificuldade na obtenção de sementes melhoradas a curto prazo. Obter material melhor para uma segunda rotação de plantio foi um desafio para a Aracruz.

Um programa acelerado de pesquisas era essencial para a viabilização do projeto florestal. Embora os riscos fossem conhecidos devido ao uso de sementes não melhoradas para a região, a empresa os assumiu sem esperar pelos resultados finais de pesquisa.

Um programa de pesquisas concentrando-se em melhoramento genético florestal foi estabelecido na mesma ocasião, com o objetivo de se produzir material genético adaptado às condições locais, envolvendo estudos e introdução de espécies, procedências e progênies de *Eucalyptus*. Paralelamente, estudos sobre adaptação do método para propagação vegetativa por enraizamento de estacas (clonagem) foi iniciado.

O resultado do processo de enraizamento de estacas foi melhor que o esperado e, com base nesse resultado, a empresa decidiu usar esta técnica para o programa operacional de plantio.

Árvores superiores com boa adaptação ao ecossistema e com alto rendi-

mento de polpa de celulose foram selecionadas nos plantios, nos testes de progênies obtidos por polinização controlada, nos testes de introdução de espécies/procedências e nos testes de progênies das árvores selecionadas nas melhores procedências na Austrália e Indonésia.

A Aracruz já plantou 110 milhões de árvores por propagação vegetativa por enraizamento de estacas e recentemente iniciou a utilização das técnicas sobre propagação *in vitro* (micropropagação), com base nos desenvolvimentos realizados pela AFOCEL - Association Forêt Cellulose, na França, com os seguintes objetivos:

- propagar genótipos de difícil enraizamento pelo método de estacas
- acelerar o processo de multiplicação de rametes
- definir a metodologia para atender ao futuro programa de suspensão celular e de fusão de protoplasto.

ESTÁGIO ATUAL DO MELHORAMENTO DE *Eucalyptus*

Introdução de Espécies e Procedências

A partir de 1973, a Aracruz vem introduzindo diferentes espécies e procedências de *Eucalyptus*, para avaliar o potencial nas condições ecológicas de suas áreas de atuação. As seguintes espécies e procedências mostraram-se promissoras em volume, resistência ao cancro e insetos e nas características fenotípicas:

TABELA 1

ESPÉCIES E PROCEDÊNCIAS POTENCIAIS DE *Eucalyptus*

ESPÉCIE	LATITUDE	LONGITUDE	ALTITUDE (m)	PROCEDÊNCIA
<i>E. grandis</i>	17°15'S	145°42'E	655	Atherton
<i>E. urophylla</i>	8°38'S	125°37'E	1.021	S. Dili
<i>E. pellita</i>	15°45'S	145°15'E	36	Helenvalle
<i>E. camaldulensis</i>	16°15'S	144°50'S	427	Cooktown
<i>E. tereticornis</i>	21°30'S	148°20'S	61	Mackay Dist
<i>E. torelliana</i>	-	-	-	Atherton
<i>E. resinifera</i>	-	-	-	S8285*
<i>E. cloeziana</i>	18°17'S	145°55'E	1.122	S.W.Kennedy

* n° do lote de semente CSIRO.

Ênfase é dada para espécies adequadas à produção de polpa de celulose, mas estuda-se também para outros fins, como serraria e energia.

Coleta de Sementes

Com base nos resultados dos testes de espécies e procedências, a Aracruz realizou as seguintes coletas de sementes:

TABELA 2

COLEÇÃO DE SEMENTES DE *Eucalyptus*

ANO	ESPÉCIE	PROCEDÊNCIA	Nº DE ÁRVORES
1977	<i>E. grandis</i>	Atherton QLD Austrália	160
1974	<i>E. urophylla</i>	Timor (Indonésia)	*
1981	<i>E. grandis</i>	Atherton QLD Austrália	132
1988	<i>E. grandis</i>	Atherton QLD Austrália	224

* População base (300 kg)

A avaliação fenotípica de cada árvore (retidão, altura, diâmetro, tamanho dos galhos, etc.) e a distância entre as árvores selecionadas foram descritas.

Também foram obtidas sementes de fontes fidedignas, em quantidades suficientes para pesquisa, como do CSIRO, IPEF e EMBRAPA. Atualmente 55 espécies de *Eucalyptus*, de 2.149 procedências/famílias, vem sendo testadas, conforme tabela a seguir:

TABELA 3

PROCEDÊNCIAS/FAMÍLIAS SENDO TESTADAS

ESPÉCIE	PROCEDÊNCIA/FAMÍLIA
<i>E. grandis</i>	1030
<i>E. urophylla</i>	494
<i>E. pellita</i>	111
outras	514

A empresa pretende realizar novas colheitas num futuro próximo para complementar as exigências estratégicas do programa de melhoramento a longo prazo.

Teste de Progênes

As sementes colhidas das árvores matrizes na Austrália foram plantadas de acordo com um delineamento estatístico que permitisse selecionar os melhores indivíduos dentro das melhores famílias, para estabelecer o grupo de cruzamento para o programa de melhoramento a médio e longo prazos e para o estabelecimento de pomares de sementes.

Produção de Sementes Melhoradas

Objetivando produzir sementes melhoradas a curto prazo, os melhores indivíduos das melhores famílias, dos testes de progênes, vem sendo selecionados propagados por enxertia e por enraizamento de estacas, a partir de 4 anos de idade. Atualmente já estão instaladas Áreas de Produção de Sementes (APS) e Pomares de Sementes (PS), com previsões de produção, conforme tabela abaixo:

TABELA 4

PRODUÇÃO DE SEMENTES MELHORADAS DE *Eucalyptus*

ÁREAS DE PRODUÇÃO DE SEMENTES (APS)	ÁREA (HA)	SEMENTES/ANO (kg)
<i>E. grandis</i>	126,0	3.000
<i>E. urophylla</i>	9,3	250

POMAR DE SEMENTES (PS)	ÁREA (HA)	SEMENTES/ANO (kg)
<i>E. grandis</i>	11,0	180
<i>E. grandis</i>	6,4	170
<i>E. grandis</i>	3,8	90
<i>E. grandis</i>	11,0	490
<i>E. urophylla</i>	7,4	250
<i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i>	7,7	150
<i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i>	7,4	130

Recentemente foi iniciado um grande programa de produção de híbridos por polinização controlada, envolvendo as seguintes espécies: *E. grandis*, *E. urophylla*, *E. pellita*, *E. tereticornis* e *E. camaldulensis*. O objetivo é produzir híbridos inter e intra-específicos, visando aumentar a base genética para propagação vegetativa e para os testes de progênie do programa de cruzamento a longo prazo.

Bancos Clonais

Árvores selecionadas de diferentes espécies e procedências, puras ou híbridas, são preservadas nos bancos de clones, através de enxertia, de enraizamento de estacas e, mais recentemente, de cultivo *in vitro*.

Um dos trabalhos importantes desenvolvidos para o programa de polinização controlada nos bancos clonais, é o manejo e a conservação de pólen, permitindo cruzamentos ao longo de todo o ano devido às diferentes épocas de floração das diferentes espécies. O pólen mantido a -18°C conserva sua viabilidade durante 8 meses aproximadamente. A Empresa participa de um programa cooperativo de germoplasma a nível nacional.

Propagação Vegetativa por Enraizamento de Estacas

A seleção e a propagação de árvores superiores, com boa capacidade de crescimento e com madeira de alta qualidade, para o estabelecimento de novas florestas, permite, a curto prazo, ganhos altamente significativos em incremento volumétrico e desempenho industrial na produção de polpa de celulose. O incremento médio anual atual está em torno de 35 m³ ha⁻¹ ano⁻¹. Há cinco anos atrás era de 45 m³ ha⁻¹ ano⁻¹. Esta queda foi causada pelo longo período de seca que atinge várias regiões do Brasil (Tabela 5).

Em 1989, foram plantadas 21,5 milhões de estacas enraizadas e em 1990 serão plantadas mais 22,2 milhões, cujo total será de 126 milhões no fim do ano de 1990.

O ponto chave do programa de melhoramento florestal é a perfeita interação que existe entre a pesquisa florestal e a pesquisa industrial. A qualidade das árvores deve satisfazer a todas as exigências das duas áreas: volume, resistência a doenças, adaptação ao meio ambiente e qualidade da madeira para produção de polpa branqueada.

**O PROGRAMA GENÉTICO PARA O FUTURO
COMBINAÇÃO DOS MÉTODOS SEXUAL E ASSEXUAL**

A Aracruz tem um programa genético a longo prazo, combinando os métodos sexual e assexual. O programa sexual consiste de 40 grupos de cruzamentos, com 20 indivíduos por grupo, para as espécies *E. grandis* e *E. urophylla*. O "sub-lining" ou estratégia de multipopulação é usado para produzir árvores melhoradas de ambas as espécies puras e híbridas, das quais as melhores serão selecionadas e usadas nos programas operacionais de propagação vegetativa.

Usando cruzamentos controlados entre as melhores árvores, "super híbrido"

dos" serão usados como base de seleção para o programa de propagação vegetativa. Pelo menos 400 árvores puras selecionadas serão necessárias por espécie. Todos os cruzamentos controlados serão entre árvores dentro do grupo. Cada árvore será cruzada com pelo menos 4 outras, resultando num total de 80 cruzamentos dentro do grupo.

As progênies dos cruzamentos serão testadas. Somente a melhor árvore da melhor família será colocada em produção num pomar de sementes, assegurando máximo ganho e sem parentesco no pomar.

Também as melhores árvores podem ser usadas para enraizamento de estacas. Presentemente, existem 12 grupos de *E. grandis* e 16 grupos de *E. urophylla*.

Produção de "Super Híbridos"

As melhores árvores de cada grupo de *E. grandis* e de *E. urophylla*, árvores de elite, serão cruzadas com o objetivo de se conseguir super híbridos para o programa futuro de propagação vegetativa por enraizamento de estacas. As árvores de elite devem reunir excepcionais qualidades fenotípicas e genotípicas, principalmente para volume, plasticidade para "sites", qualidade de madeira para polpamento, rendimento de polpa e qualidade de fibra.

Simultaneamente, pomares de sementes para produção de híbridos por polinização aberta serão instalados, utilizando-se as combinações de clones de *E. grandis* e *E. urophylla* e de clones de *E. grandis* e *E. pellita*.

O objetivo é produzir grande quantidade de sementes híbridas para plantios de rotina, com melhores resultados em comparação com os obtidos hoje, que crescem bem em vários países e em várias regiões do Brasil.

O tempo estimado que este programa ainda vai demandar é de aproximadamente 15 anos, mas certamente vai produzir um retorno altamente compensador. Outras espécies estarão envolvidas neste programa de criação de super híbridos, como o *E. pellita*, *E. saligna*, *E. tereticornis* e o *E. camaldulensis*. O programa prevê, também, retro-cruzamentos e cruzamentos sucessivos envolvendo mais de 2 espécies.

As condições climáticas da região e as espécies envolvidas encorajam o desenvolvimento do programa, porque o ciclo é curto e o florestamento é precoce, fazendo com que o resultado, mesmo que preliminar, seja avaliado e visível rapidamente, podendo-se assim assumir a sua utilização e buscando-se melhorias sucessivas, passo a passo.

TABELA 5
Comparação da qualidade da madeira dos Eucaliptos, de diferentes fontes, plantados em Aracruz

	BRASIL Comercial	ZIMBABWE e AFRICA DO SUL Comercial	ESTACAS ENRAIZADAS			
			1 ^o Estágio	Ganho (%)	2 ^o Estágio	Ganho (%)
Densidade Básica (kg/m ³)	480	490	490	2,1	520	8,3
Rendimento de Polpa (%)	47	47,4	49	4,3	51,8	10,2
Conteúdo de Casca (%)	18	15	12	33,3	10	44,4
Consumo Específ. de Madeira (m ³ /tsa)	4,87	4,56	4,26	12,5	3,71	23,8

Biotecnologia Florestal

A combinação da biotecnologia com o melhoramento genético tradicional permite ganhos relativamente altos em florestas mais do que em qualquer atividade agrícola, considerando-se sua rotação, principalmente porque a biotecnologia permite avanços rápidos em ciclos extremamente curtos.

Basicamente os procedimentos biotecnológicos com aplicação direta ao melhoramento florestal, incluem: propagação massal *in vitro* (micropropagação) utilizando variação natural e variação induzida na cultura, hibridação somática, variação gameto e somaclonal e transformações genéticas com a utilização de vetores adequados.

Os genótipos já melhorados pelo processo de melhoramento convencional são desejáveis como fonte inicial para o programa de melhoramento em biotecnologia, especialmente para gens monogênicos ou simples para os quais o gene necessário é raro ou mesmo ausente dentro de uma população, isto é, resistência a doença específica, resistência a herbicida, tolerância a "stress" hídrico, etc, as quais não podem ser física ou economicamente introduzidas através do programa de melhoramento tradicional.

Conforme descrito anteriormente, o êxito de um programa de melhoramento florestal é dependente de uma perfeita interação entre os critérios de seleção adotados pelos setores florestal e industrial envolvidos.

Esse trabalho em conjunto tem caracterizado o programa de melhoramento desenvolvido pela Aracruz. As árvores aprovadas segundo os critérios de seleção florestal são também avaliadas em termos do processo de produção de celulose.

São considerados aspectos referentes à caracterização química e morfológica, potencial de produção de celulose e qualidade do papel produzido. A densidade básica da madeira é utilizada como a característica de referência, devido à sua importância na obtenção de produtos florestais (8,9).

ABORDAGEM PARA PRODUTIVIDADE NA FÁBRICA

Com o melhoramento florestal é obtido significativo incremento da qualidade da madeira em termos de variabilidade e de rendimento do cozimento. No entanto, ganhos adicionais poderão ser obtidos com o uso de critérios de seleção fundamentados em aspectos diretamente relacionados ao processo de produção de celulose.

Nesse contexto, alguns fatores críticos têm sido considerados em nosso programa de seleção de árvores. Os cozimentos, em laboratórios, são conduzidos de modo similar ao industrial, ou seja, fixando-se um valor constante para o número Kappa das celuloses obtidas e condicionando a capacidade de produção a partir da capacidade do sistema de recuperação de licor. Merecem atenção especial os aspectos relacionados a seguir:

- obtenção de cavacos utilizando-se todo o volume comercial das árvores e em equipamento industrial;
- simulação do cozimento em digestores de laboratório equipados com circulação forçada do licor, além de adequada impregnação dos cavacos;
- procedimentos padronizados e reprodutíveis para a lavagem e depuração da celulose;
- comparação de resultados das árvores em avaliação com valores médios obtidos na operação industrial.

A utilização de procedimentos padronizados associados a técnicas que permitem a extrapolação dos resultados para a operação industrial são fatores fundamentais para o sucesso de um programa de melhoramento florestal. Em nosso caso, essa extrapolação é feita através de um programa de computador especialmente desenvolvido para avaliar o impacto de carga de sólido, gerados durante o cozimento, sobre a operação do sistema de recuperação de licor negro.

Com esse programa, compara-se a produção estimada para cada árvore com os resultados médios para cavacos industriais, obtidos ao longo dos três últimos anos, processados em laboratório. Resultados típicos dessa extrapolação são apresentados na Tabela 6 a seguir.

TABELA 6
CRITÉRIO DE GANHO ESTIMADO DE PRODUÇÃO

ÁRVORE	DENSIDADE BÁSICA (kg/m ³)	RENDIMENTO DEPURADO (%)	GANHO DE PRODUÇÃO (tsa/dia)
10840	603	56,1	239,8
10838	564	53,7	127,3
20034	446	53,4	94,5
20087	532	52,8	53,1
20008	460	52,4	27,9
10789	572	51,2	- 2,9
20078	449	51,4	- 25,8
20071	484	50,2	- 77,5

Testes industriais têm confirmado a viabilidade prática do critério de seleção por ganho de produção. Os resultados apresentados na Tabela 7 correspondem a um período em que a fábrica utilizou exclusivamente madeira de árvores selecionadas. Observa-se que ocorreu aumento do rendimento, com redução na demanda de reagentes de cozimento, para produção de celulose com mesmo número Kappa. O efeito direto desse comportamento foi a redução da quantidade de sólidos enviada ao sistema de recuperação, com o consequente aumento da capacidade de produção da fábrica. É importante ressaltar que, nesse caso, o aumento da capacidade de produção não requer investimentos adicionais nas áreas de preparo de madeira, de cozimento e de recuperação.

TABELA 7
TESTE INDUSTRIAL - ÁRVORES SELECIONADAS

PARÂMETRO CONSIDERADO	ÁRVORES NORMAIS	ÁRVORES SELECIONADA
Densidade Básica da madeira kg/m ³	504,0	500,0
Carga Alcalina % AE (NaOH)	16,2	15,8
Rendimento do Digestor %	54,0	56,7
Produção do Digestor tsa/dia	1460,0	1624,0
Sólidos Secos por Recuperação kg/tsa	1419,0	1276,0

Uma importante tendência, verificada em nossos resultados experimentais, é a grande proporção de árvores com altos teores de lignina e de extrativos polares dentre as que são eliminadas do programa por apresentarem ganhos de produção negativos. Deste modo, discussões anteriores (10,13), sobre possíveis correlações entre o rendimento do cozimento com a densidade básica e composição química da madeira, deixam de ter importância prática para a seleção das árvores segundo o critério de produtividade na fábrica de celulose.

As vantagens do uso de métodos padronizados para o cozimento e de amostragens representativas dos cavacos, que permitem a extrapolação dos resultados para a realidade industrial, tornam-se evidentes. Tais métodos contrastam com as técnicas de micropolpação ou de realização de cozimentos em laboratório utilizando-se variáveis operacionais fixas (14), independente das características das celuloses obtidas para diferentes árvores.

O DILEMA DA QUALIDADE

Qualquer programa de melhoramento florestal, visando a produção de celulose, deve dedicar atenção especial às propriedades que caracterizam a qualidade do produto final. Essas, por sua vez, são condicionadas pelas demandas do usuário final e dependem do tipo de papel produzido.

As propriedades do papel são influenciadas pelas características químicas da celulose e pela morfologia das fibras. Embora as variáveis operacionais dos processos de obtenção da celulose e de fabricação do papel influenciem em sua qualidade, o programa de melhoramento deve ser concentrado nas características da madeira e em suas interações com as variáveis do processo.

Aspectos Químicos

Os resultados obtidos com a utilização do critério de seleção por produtividade na fábrica (ganho de produção) apresentam tendências importantes. De um modo geral, madeiras com altos teores de lignina e de extrativos polares são eliminadas do programa por apresentarem ganhos de produção negativa. Desta forma, os teores de extrativos apolares e de pentosanas passam a receber atenção especial.

Os extrativos apolares são facilmente removidos durante cozimento kraft, como ocorre com os extrativos polares. A presença destes extrativos na celulose é relacionada com a ocorrência de depósitos ("pitch") nos equipamentos de processo e no produto acabado e com alterações nas propriedades de absorção de líquidos pelo papel.

O estudo dos extrativos apolares está orientado para identificação detalhada dos compostos extraídos com Di-Cloro-Metano (DCM). Os resultados preliminares, indicam a presença de uma ampla gama de compostos, com modelos de variação complexos e não correlacionados com a densidade básica da madeira (Figura 2).

O programa de pesquisa nessa área está em sua fase inicial, ainda não permitindo a aplicação prática de um critério de seleção baseado no teor de extrativos em DCM.

Por outro lado, a caracterização das hemiceluloses tem permitido um tratamento mais simplificado, visto que para o eucalipto, elas ocorrem principalmente como xilanas (pentosanas), com teores na celulose (polpa) altamente correlacionados aos teores iniciais na madeira (Figura 3).

A redução do teor de pentosanas em madeiras com menor densidade básica, conforme também anteriormente citada (10), não tem sido confirmada por nossos resultados experimentais, a partir de um número consideravelmente maior de árvores analisadas. Desta forma optou-se, até que uma mais precisa identificação dos efeitos da combinação entre o teor de pentosanas e as características morfológicas das fibras sejam obtidas pela não utilização de critérios de seleção baseado nessa característica da madeira.

Morfologia das Fibras

Muitos estudos têm sido conduzidos visando descrever, ou mesmo prever, as relações existentes entre as características morfológicas das fibras e a estrutura do papel. Na literatura recente, tanto dedicada à elaboração de modelos teóricos (15, 16) ou avaliação geral de causa vs. efeito (17, 18), tem sido confirmados os efeitos significativos da espessura da parede celular, do comprimento e da resistência das fibras sobre as características do papel produzido.

A. Espessura da Parede Celular

É conhecida a existência de relação direta entre a flexibilidade da fibra com sua conformabilidade e consolidação da estrutura do papel (16, 19).

Evidências experimentais indicam que fibras rígidas são usualmente obtidas de madeiras com maiores valores de densidade básica. Para as folhosas em geral (18), e em especial para o eucalipto (10, 20), não existem exceções à essa regra geral. Esse comportamento, confirmado por nossos resultados experimentais, caracteriza a densidade básica da madeira como a mais simples determinação prática do potencial da madeira para a produção de celulose para fabricação de papel.

Makeiras com maior densidade básica apresentam fibras com baixa flexibilidade. Tal resultado decorre dos elevados momentos de inércia da seção transversal das fibras - paredes mais rígidas - (19). Essas fibras são mais resistentes à ação de forças de consolidação durante a formação do papel, resultando em papéis com estrutura mais aberta, com maiores valores de "bulk", de opacidade e de rugosidade superficial a um mesmo nível de tratamento mecânico (refino ou moagem).

Tais características têm importante efeito sobre as propriedades de resistência do papel, que dependem fundamentalmente do número e da resistência das ligações entre as fibras. Estes aspectos são ilustrados nas Figuras 4 à 7, para folhas de papel obtidas em laboratório após moagem a 1.500 revoluções em moinho PFI. Observa-se, que mesmo entre diferentes espécies de eucalipto e de seus híbridos, a contribuição da densidade básica, e portando da espessura da parede celular, é fundamental com relação à qualidade do papel produzido.

Parece evidente que o estabelecimento de critérios de seleção visando a qualidade do papel deva considerar limites para a variação da densidade básica e a otimização do teor de pentosanas da madeira. No entanto ainda existem vários aspectos a serem considerados, tais como a adequada combinação entre propriedades de resistência, "bulk", rugosidade e porosidade do papel para atender às demandas de mercado, assim como a interação entre as características das fibras com as variáveis operacionais dos processos de fabricação de celulose e papel. Dentre as interações com o processo, destacam-se o refino, a formação da folha úmida e a química de superfície na preparação de massa.

B. Comprimento de Fibras

Uma vez que o comprimento médio das fibras pode ser geneticamente controlado e modificado através de tratamentos culturais, sua importância para qualquer programa de melhoramento pode ser maior que a anteriormente antecipada (8), em especial se combinada com critérios de seleção baseados na espessura da parede celular (densidade básica da madeira).

O primeiro parâmetro a ser considerado é a faixa de variação possível de comprimento das fibras. O material genético estudado pela Aracruz apresenta grande variabilidade, porém o fato mais importante é que as variações de comprimento médio das fibras são independentes das variações de densidade básica da madeira (Figura 8).

TABELA 8
INFLUÊNCIA DO COMPRIMENTO DAS FIBRAS
NAS PROPRIEDADES DO PAPEL SEM MOAGEM
RESULTADOS DE LABORATÓRIO (21)

PROPRIEDADE CONSIDERADA	ORIGEM DAS FIBRAS NA MADEIRA		
	CERNE 100%	40% CERNE + 60% ALBURNO	ALBURNO 100%
Momento de Inércia um ⁴	1.851	1.613	1.577
Fator Luce	0,59	0,58	0,57
Comprimento Fibras (Kajaani) mm	0,85	0,74	0,64
Nº Fibras/grama (10 ⁹)	16,7	21,6	27,2
Índice de Tração Nm/g	35,9	40,6	43,38
Resistência ao Ar-Gurley s/100ml	1,03	2,16	3,83
Densidade Aparente kg/m ³	574	615	662
Coef. Espalhamento de Luz m ² /kg	38,5	41,4	44,0

O segundo parâmetro a ser considerado é o efeito do comprimento de

fibras sobre as propriedades do papel. O grande desafio tem sido isolar esse efeito da contribuição da flexibilidade das fibras, pois esta apresenta-se fortemente correlacionada com a densidade básica da madeira.

Diversos experimentos foram desenvolvidos com esse objetivo, sendo alguns bem sucedidos. Um deles avaliou as características das celuloses produzidas a partir de diferentes árvores, utilizando-se cavacos das regiões do cerne e do albúrnio, separadamente (21).

As medidas das seções retas das fibras foram basicamente as mesmas em cada árvore. Os níveis de flexibilidade das fibras, estimados pelos momentos de inércia ou fator de Luce, foram similares entre os dois tipos de fibras, porém os valores do comprimento médio das fibras diferiram significativamente. Os resultados obtidos (Tabela 8) indicam que as fibras de maior comprimento - cerne - produziram papel com maiores valores de "bulk" e de porosidade, e menores níveis de opacidade e de resistência mecânica (tração).

Em outro experimento, celulose de três diferentes árvores foram analisadas. Novamente a principal variável considerada foi o comprimento médio ponderado das fibras, e as conclusões foram as mesmas do estudo anterior (Tabela 9).

TABELA 9

INFLUÊNCIA DO COMPRIMENTO DAS FIBRAS NAS PROPRIEDADES DO PAPEL RESULTADOS DE LABORATÓRIO APÓS MOAGEM A 1500 Revs. PFI.

PROPRIEDADE CONSIDERADA	AMOSTRAS		
	A	B	C
Comprimento de Fibras (kajaani) mm	0,60	0,63	0,66
"Coarseness" das Fibras mg/100 m	8,2	8,2	8,5
Nº de Fibras por grama ($\times 10^6$)	21,7	20,5	16,5
"Bulk" cm^3/g	1,44	1,53	1,58
Resistência ao Ar-Gurley s/100 ml	18,6	7,5	5,2
Coef. Espalhamento Luz m/kg	41,2	37,8	36,2
Índice de Tração Nm/g	62,7	58,8	52,4

As conclusões desses dois estudos aparentemente contrastam com o conceito generalizado de que celulose com fibras longas produzem papéis mais resistentes. Este conceito é provavelmente baseado em estudos conduzidos com celulose de coníferas, onde a resistência ao rasgo é uma propriedade crítica do papel. Além disso, tem sido difícil distinguir os efeitos do comprimento e da flexibilidade das fibras para os diversos tipos de celulose utilizadas pela maioria dos trabalhos publicados.

A utilização de medidores automáticos do comprimento - e do "coarseness" - das fibras, associado à grande variabilidade disponível em um programa de melhoramento florestal, permite a identificação dos efeitos do comprimento médio das fibras e, em especial do número de fibras por grama. Esta última característica, permite uma melhor interpretação física de sua correlação com as propriedades do papel, conforme ilustrado pelas Figuras 9 à 12.

É evidente que esses resultados não refletem o efeito isolado do comprimento médio das fibras, pois o número de fibras por grama é inversamente proporcional ao "coarseness" das fibras, que por sua vez é influenciado pela espessura da parede celular. Por outro lado, o número de fibras por grama possibilita o envolvimento de outros parâmetros na avaliação, tais como a largura e a densidade da parede celular, que também influenciam nos valores de "coarseness" das fibras.

As discussões dessas interações encontram-se na sua fase inicial. Entretanto, existe um sentimento generalizado de que ainda há muito a ser identificado nas interações entre comprimento e "coarseness" das fibras com as pro-

priedades do papel, especialmente quando combinados com a flexibilidade das fibras.

Mesmo assim, algumas informações preliminares podem ser obtidas a partir da aplicação de técnicas estatísticas adequadas, tais como a regressão múltipla "stepwise". Alguns exemplos são apresentados na Tabela 10.

TABELA 10

REGRESSÕES LINEARES MÚLTIPLAS - PROPRIEDADES DO PAPEL vs. DENSIDADE BÁSICA DA MADEIRA E NÚMERO DE FIBRAS POR GRAMA - RESULTADOS PARA 156 ÁRVORES SELECIONADAS, APÓS MOAGEM A 1500 Revs. PFI.

PROPRIEDADE DO PAPEL	VARIÁVEIS DEPENDENTES	R ²	F
Índice de Tração	+ NF	0,42	112
	+ NF - DB	0,49	74
"Bulk"	- DB	0,45	127
	- DB + NF	0,56	98
Porosidade	+ DB	0,54	182
	+ DB - NF	0,67	158

NF = Número de Fibras por grama (variação de 11,2 a $19,2 \times 10^6$)

DB = Densidade básica da Madeira (variação de 414 a 634 kg/m^3)

Todos os resultados são significativos ao nível de 99,9 % de confiabilidade

Sabemos que este programa de melhoramento florestal em desenvolvimento é bastante ambicioso. O trabalho é gigantesco, mas tem sido desenvolvido com muito entusiasmo. Os resultados já obtido são bons exemplos de aplicação bem sucedida da pesquisa aplicada, refletindo-se em incrementos no rendimento florestal, na produtividade industrial e uniformidade das fibras. Quanto à qualidade da celulose, o grande desafio é encontrar a resposta técnica mais adequada. Parte do dilema, é conhecer exatamente o que o fabricante de papel necessita para atingir os níveis de qualidade requeridos pelo mercado.

BIBLIOGRAFIA

- BOULAY, M., 1984. Micropropagation des clones âgés d'*Eucalyptus* sélectionnés pour resistance au froid. JN: AFOCEL. **Colloque International sur les Eucalyptus résistants ou froid**. Paris. p. 587-601.
- CAMPINHOS JR. E., 1979. O programa de melhoramento florestal do *Eucalyptus* spp. em desenvolvimento pela Aracruz Florestal S.A. Boletim Técnico SIF, Viçosa, Vol. 2, nº especial, pp. 116-127.
- CAMPINHOS JR. E., e IKEMORI, Y.K., 1978. Tree improvement program of *Eucalyptus* spp.; preliminary results. **Third World Consultation on Forest Tree Breeding, Canberra, 1977**. Canberra, CSIRO, p. 717-738.
- CAMPINHOS JR. E. e IKEMORI, Y.K., 1983. Production of vegetative propagules of *Eucalyptus* spp. by rooting of cuttings. In: **Second Symposium on Plantation Forest in the Neotropics - Its Role as Source of Energy**. IUFRO Group 01.07.89, Viçosa, pp. 60-67.
- GRIFFIN, A.R. et al., 1982. Processing *Eucalyptus* pollen for use in controlled pollination. **Silvae Genetica**, Vol. 31, nº 5/6, pp. 198-203.
- IKEMORI, Y.K. et al., 1986. The impact of accelerated breeding on wood properties. **18th IUFRO World Congress**, Ljubljana, Yugoslavia, pp 359-368.
- ZOBEL, B., 1982. **Executive summary visit to Aracruz Sep.** 13-19. (Restricted report)
- ZOBEL, B.J.; VAN BUIJTENEN, J. 1989. **Wood Variation - Its Causes and Control**, Springer-Verlag.
- PANSHIN, A.J.; DE ZEERW, C. 1970. **Textbook of Wood Technology**, 3rd Edition, Vol 1. McGraw Hill.

- 10) VASCONCELLOS DIAS, R.L.; CLAUDIO-DA-SILVA, JR. E. 1985. **Pulp and paper properties as influenced by wood density**, transactions of the Eight Fundamental Research Symposium, Oxford.
- 11) DU PLOOY, A.B.J. 1980. *APPITA* 33 (4), p.258
- 12) BARRICHELO, L.E.G.; BRITO, J.O., 1977. **Proceedings of ABCTP Annual Meeting**, são Paulo.
- 13) BLAIR, R.L.; ZOBEL, B.J.; BAKER, J.A. 1974. **Predictions of Gain in Pulp Yield and Tear Strength in Young Loblolly Pine**, personal communication.
- 14) WRIGHT, J.A.; SHAW, M.J.; HADEBE, W.; RAUBENHEIMER, S. 1989. *Tappi Journal* 72 (4) p.191.
- 15) GORRES, J.; SINCLAIR, A.; TALLENTIRE, A. 1989. *Paperi Ja Puu* (1):54.
- 16) GORRES, J.; LUNER, P. 1989. **The Apparent Density of Paper**, ESPRA Report n° 91 p.61.
- 17) DUFFY, G.G.; KIBBLEWHITE, R.P. 1989. *Appita* 42 (3) p.209.
- 18) GURNAGUL, N.; PAGE, D.H.; SETH, R.S. 1990. *Journal of Pulp and Paper Science* 16 (2) J.36.
- 19) CLAUDIO-DA-SILVA JR. E. 1983. **The Flexibility of Pulp Fibers - A Structural Approach**, Proceedings of 1983 TAPPI/CPPIA International Paper Physics Conference, Cape Cod.
- 20) HILLS, W.E.; BROWN, A.G. 1978. **Eucalyptus for Wood Production**, 260-5, CSIRO, Australia.
- 21) CARPIM, M.A. 1987. **Uma Nova Abordagem para Análise da Opacidade do Papel**, M.Sc. Thesis, ESALQ, Piracicaba, São Paulo.

FIGURA 1

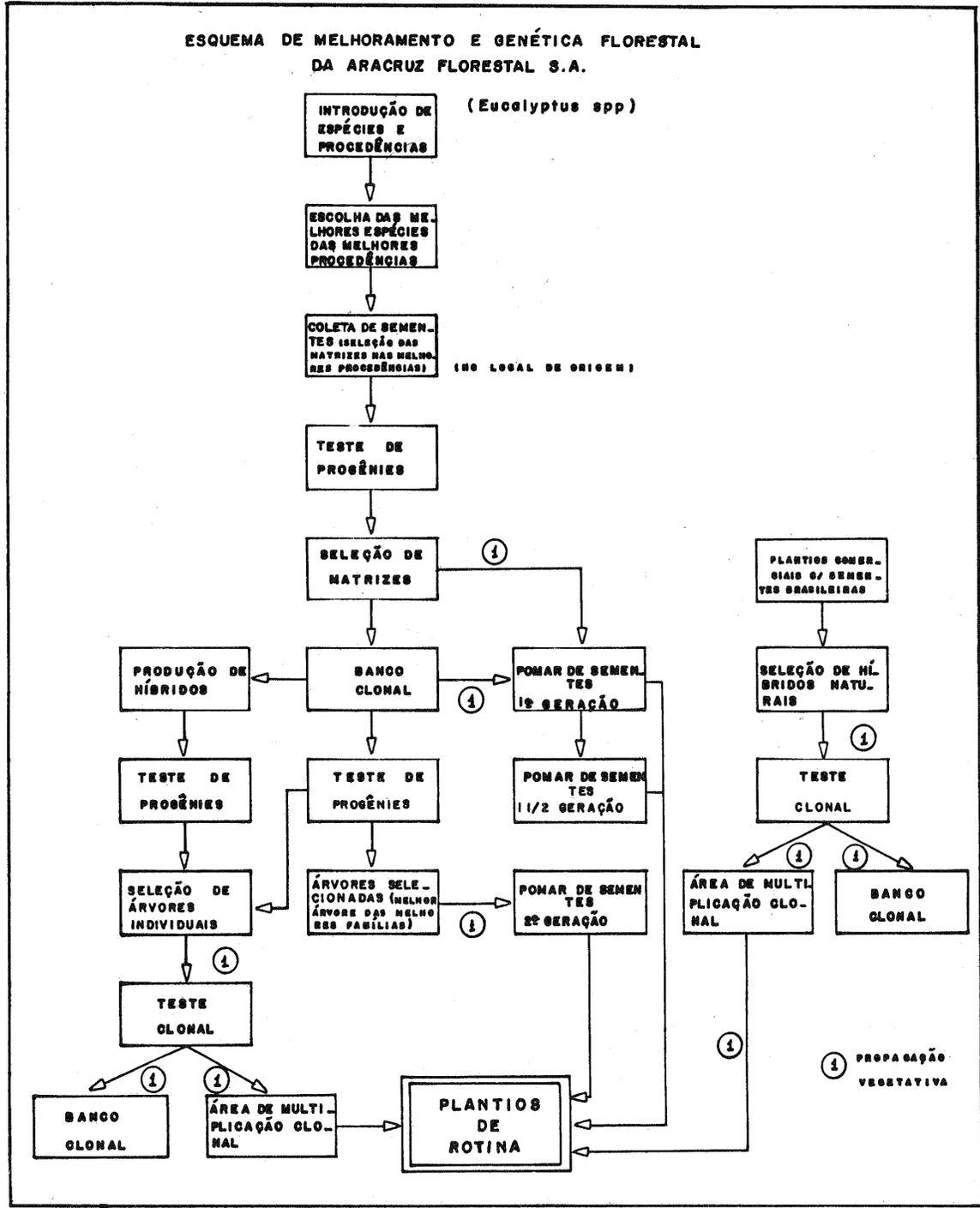


FIGURA 2

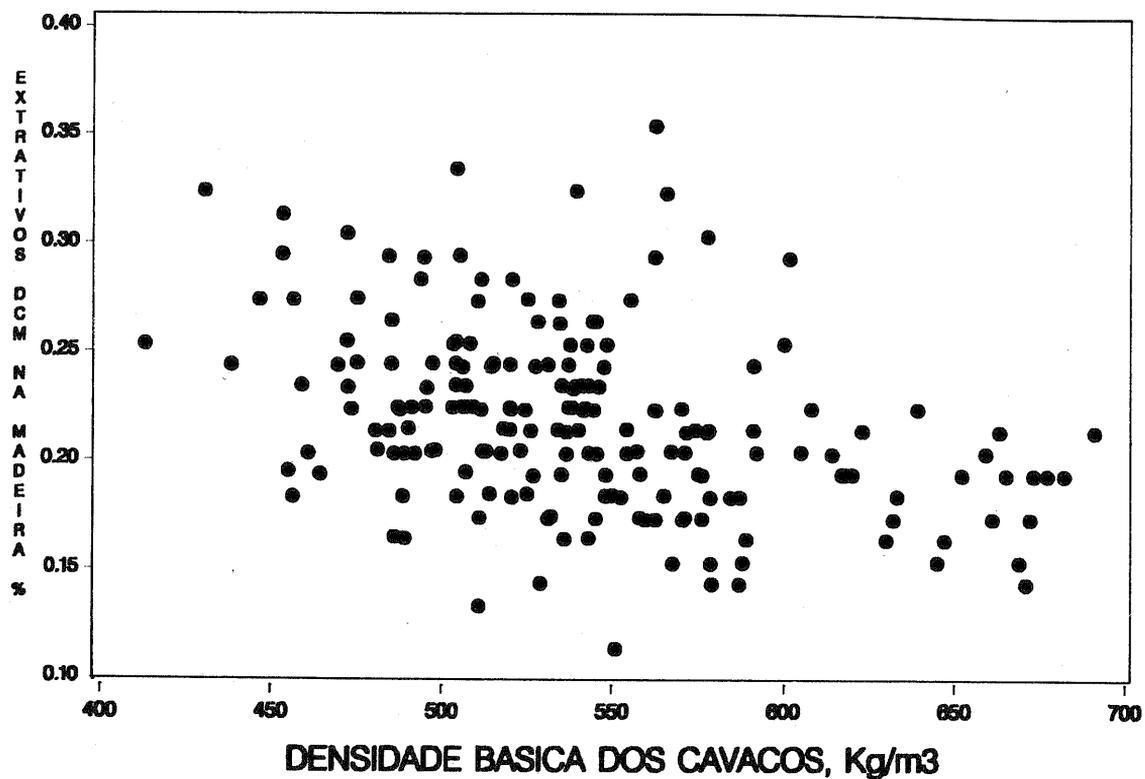


FIGURA 3

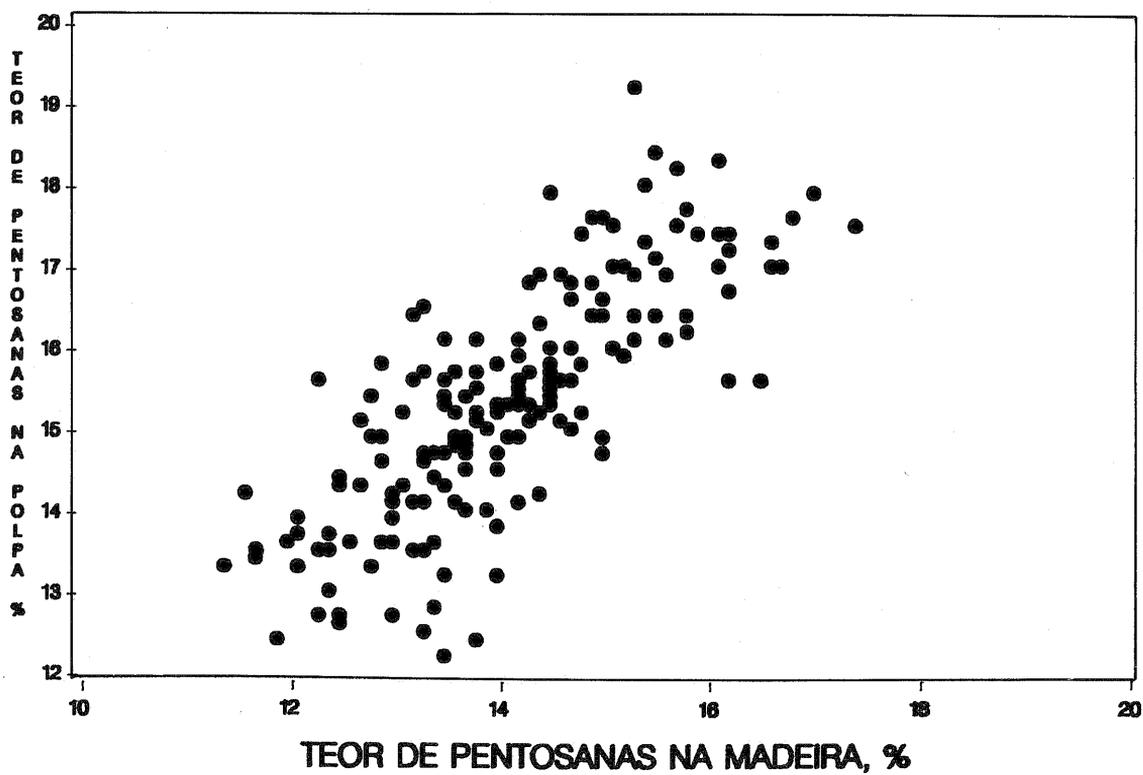


FIGURA 4
1.500 REVOLUÇÕES PFI

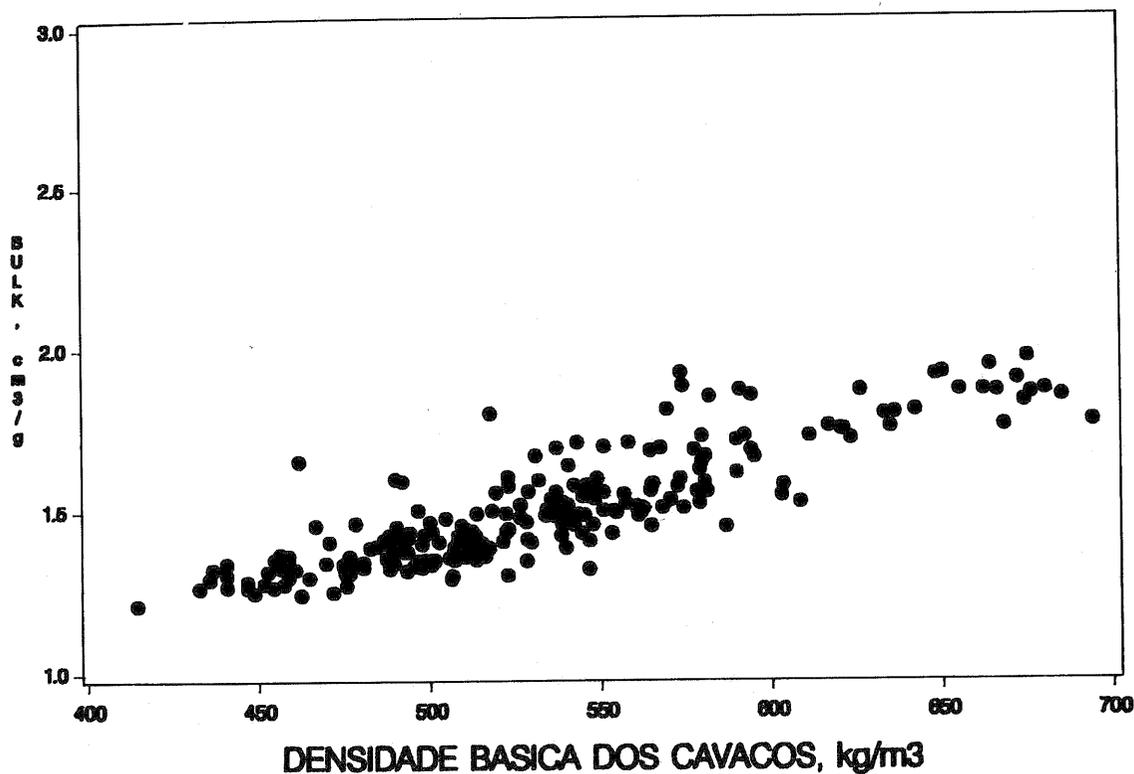


FIGURA 5
1.500 REVOLUÇÕES PFI

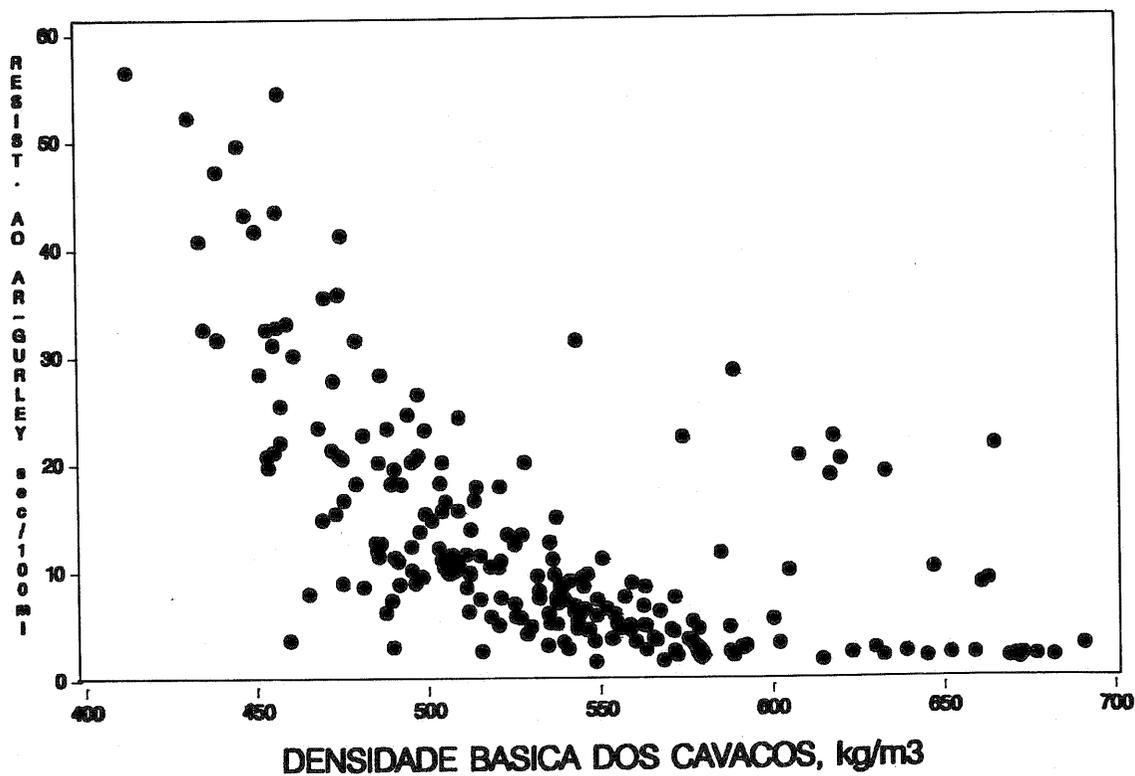


FIGURA 6

1.500 REVOLUÇÕES PFI

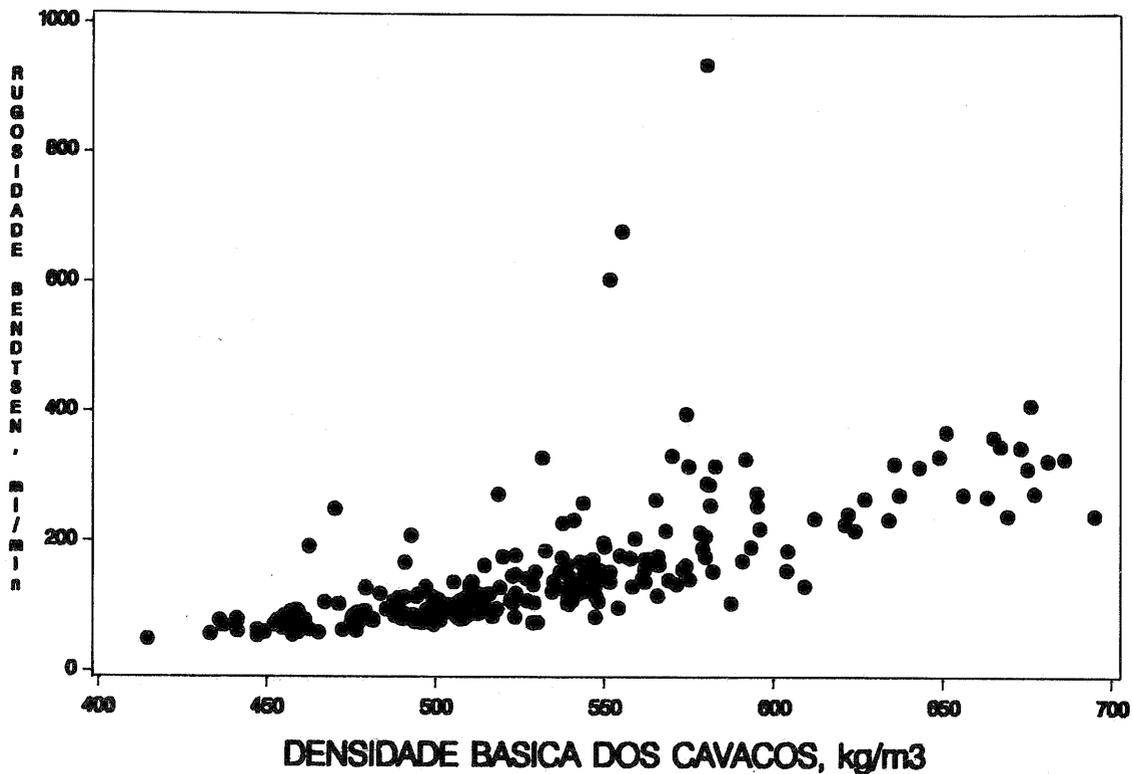


FIGURA 7

1.500 REVOLUÇÕES PFI

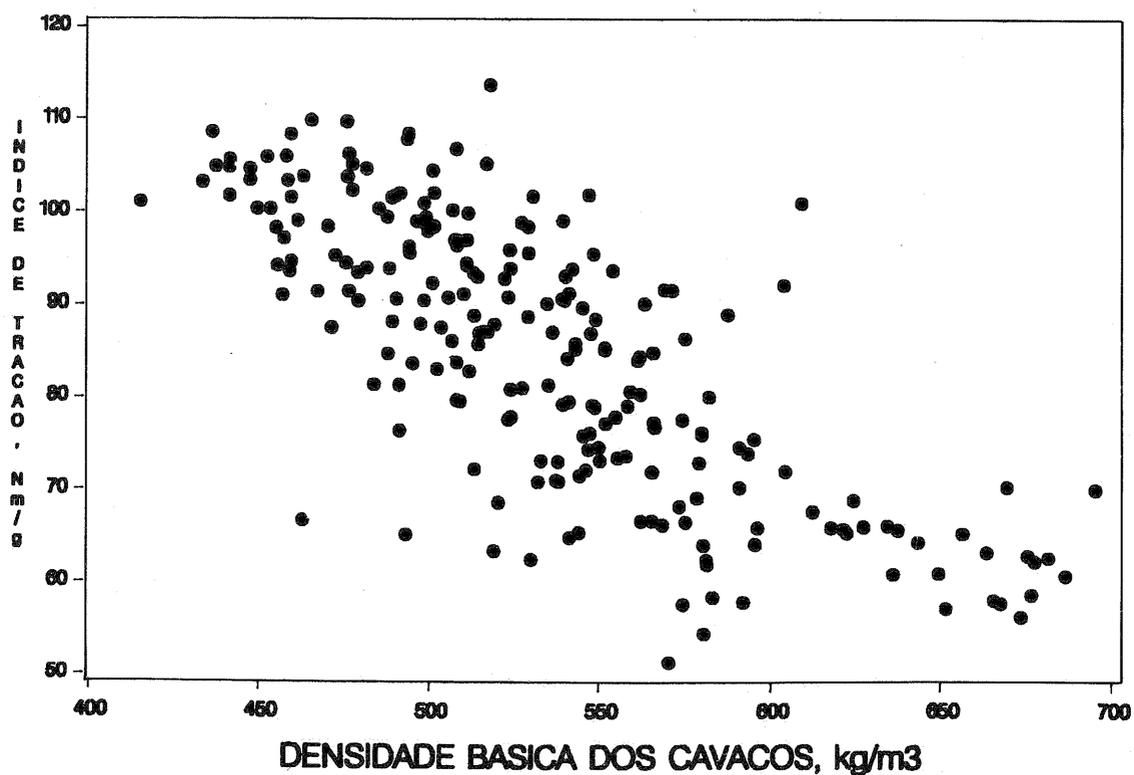


FIGURA 8

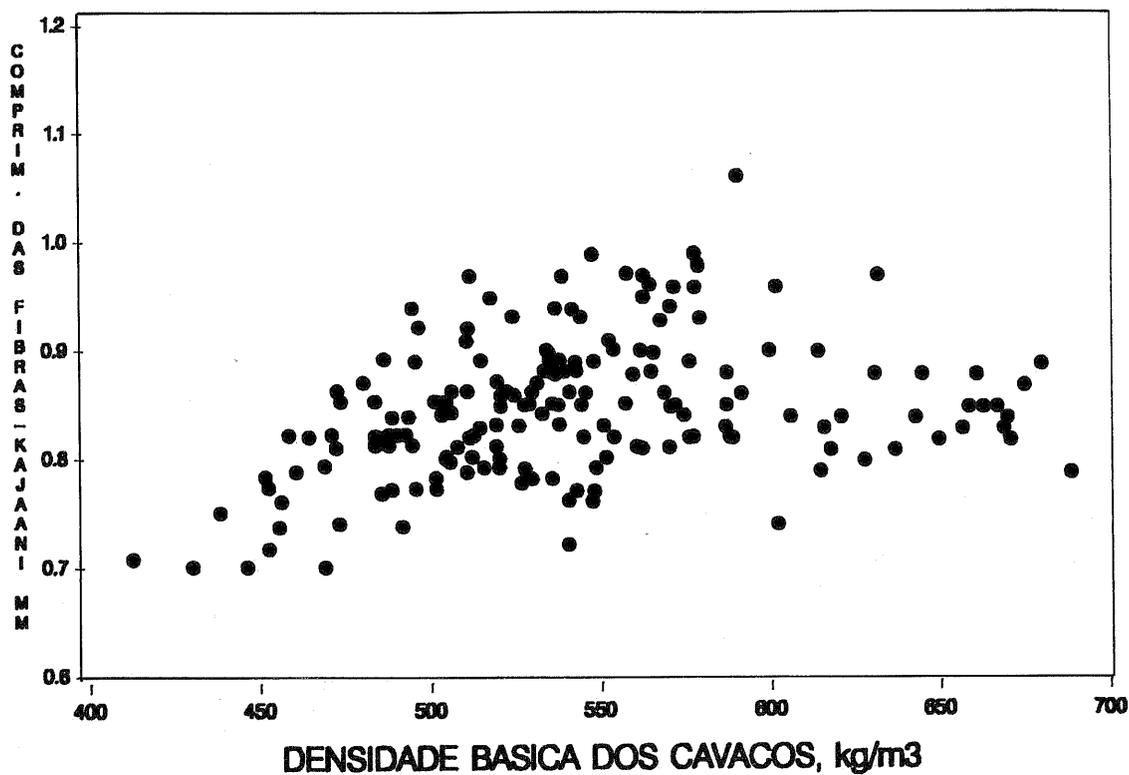


FIGURA 9

POLPA SEM MOAGEM

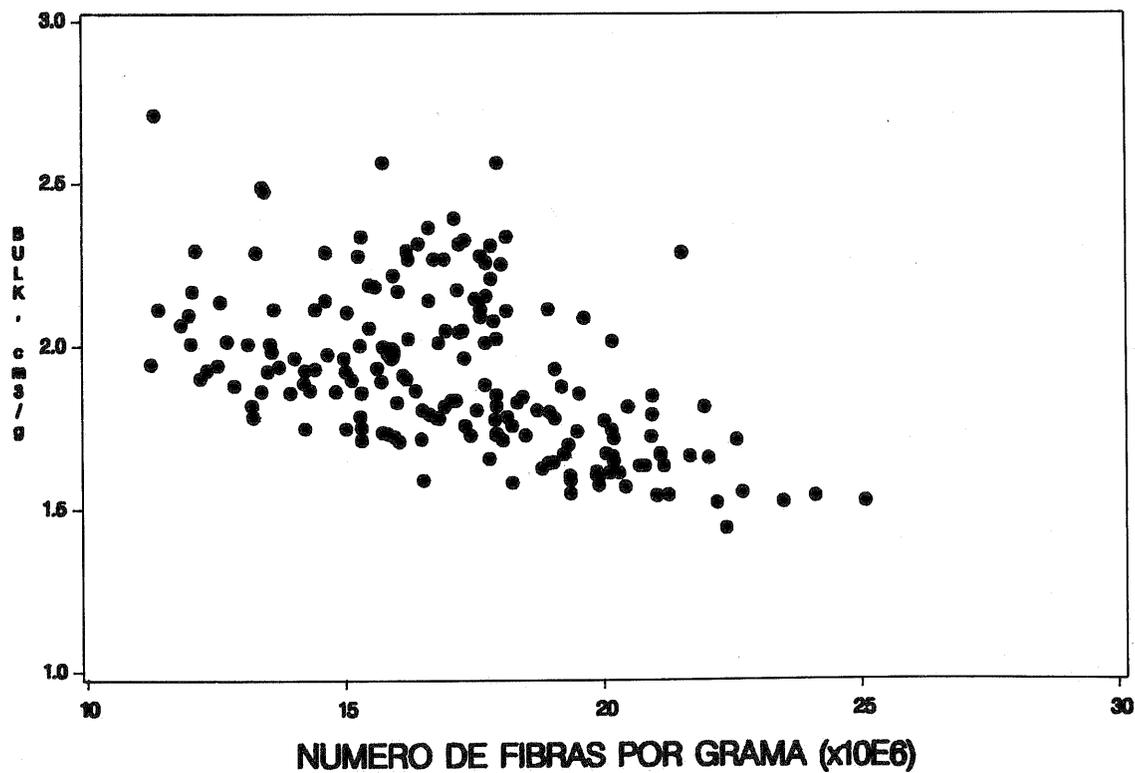


FIGURA 10
POLPA SEM MOAGEM

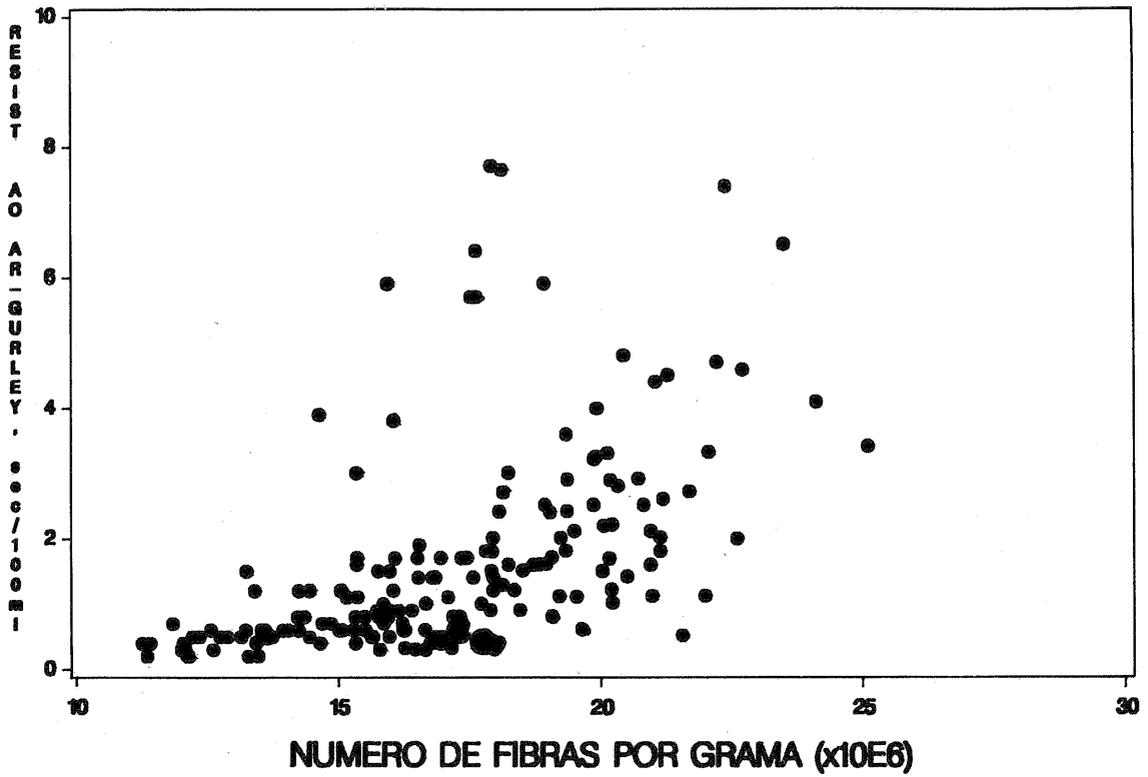


FIGURA 11
POLPA SEM MOAGEM

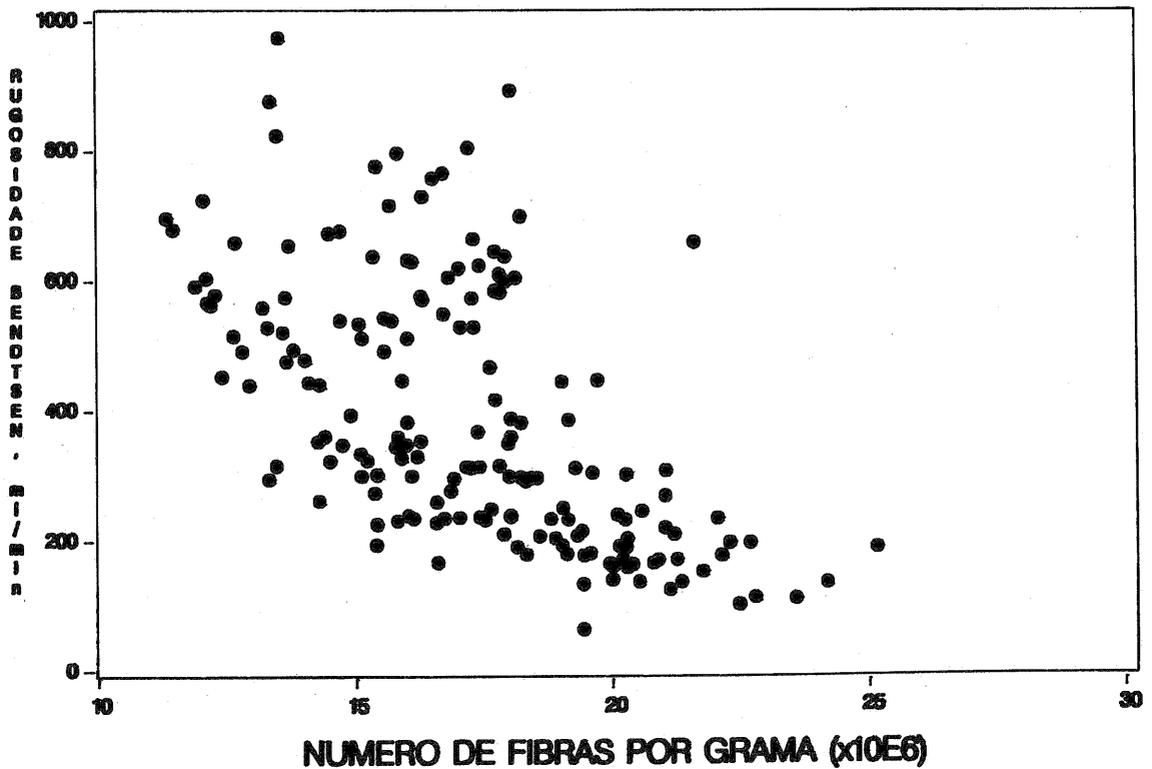
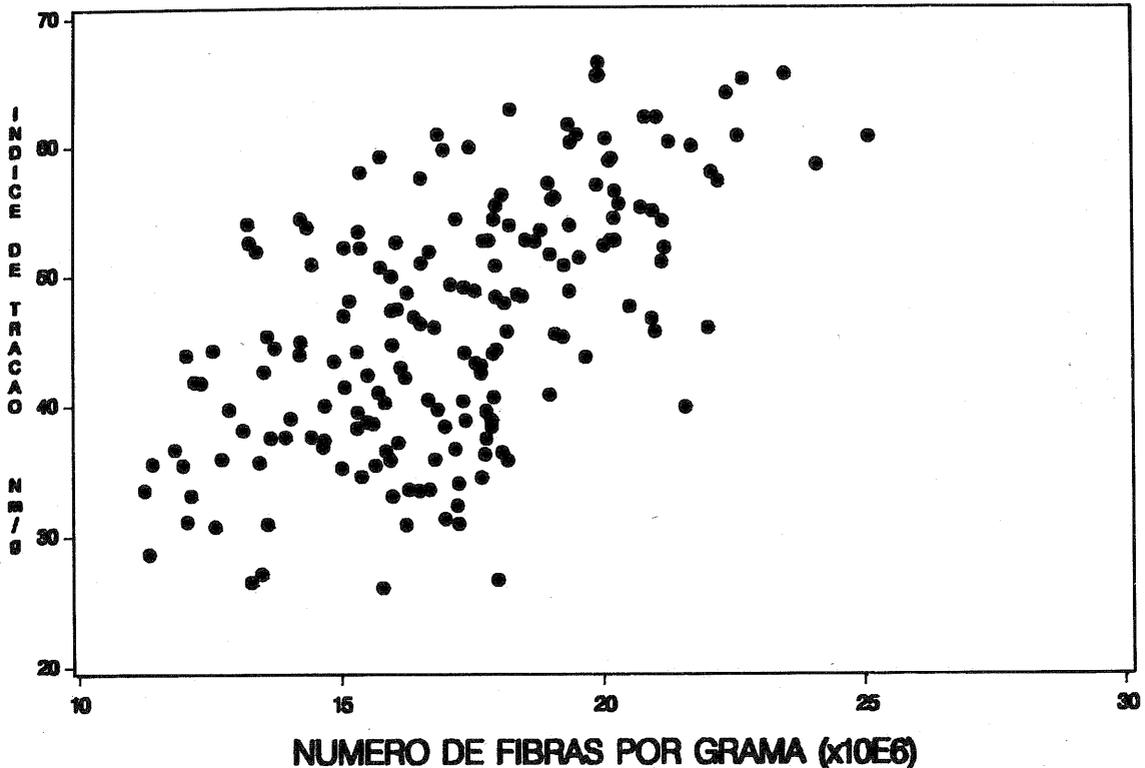


FIGURA 12
POLPA SEM MOAGEM



O ESTADO DA ARTE DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS NO BRASIL

Laércio Couto
Universidade Federal de Viçosa
Departamento de Engenharia Florestal

1. INTRODUÇÃO

Os sistemas florestais constituem uma modalidade antiga de uso da terra, que tem sido praticada há milhares de anos pelo homem do campo, em todas as partes do mundo. Apesar de, nos últimos anos, esses sistemas terem sido estudados e tratados como uma ciência destinada a ajudar o homem do campo a aumentar a sua produtividade e sua receita e a manter a capacidade produtiva de suas terras, essa nova ciência ainda se encontra bem defasada em relação ao estado da arte da prática e utilização de tais sistemas. Entretanto, existe um interesse crescente por parte da comunidade científica, que não poupa esforços para procurar entender, classificar e introduzir melhorias os sistemas agroflorestais atualmente conhecidos e utilizados pelos produtores (MacDICKEN e VERGARA, 1990).

2. DEFINIÇÃO DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS

Os sistemas agroflorestais constituem uma modalidade viável de uso da terra, segundo o princípio de rendimento sustentado, que permite aumentar a produção total e combinar, simultaneamente ou de uma maneira escalonada, cultivos agrícolas com florestas e, ou, com criações, aplicando as práticas de manejo compatíveis com os padrões culturais da população local (BENE e alii, 1977).

Da definição de sistemas agroflorestais, é possível extrair-se várias idéias básicas:

1. Os sistemas agroflorestais constituem uma modalidade de uso da terra que pode incluir combinações de atividades agrícolas, florestais e pecuárias.
2. Os sistemas agroflorestais integram árvores com culturas agrícolas, e, ou, animais, com o objetivo principal de reduzir o risco e aumentar a produtividade total. O homem do campo, ao longo do tempo, sempre tem usado a consorciação

de culturas como uma maneira de minimizar os riscos de uma perda total de sua produção. O aumento da produtividade, considerado como meta pela maioria dos planejadores das agências de desenvolvimento regional, pode não ser o benefício mais importante proporcionado pela adoção de sistemas agroflorestais para a maioria dos proprietários rurais. As pesquisas na área de sociologia revelam que o homem do campo frequentemente está interessado tanto na diversificação de culturas e redução de custos quanto no aumento da produção.

3. Em sua forma ideal, os sistemas agroflorestais são mais estáveis e capazes de manter a sua produtividade por um período mais longo de tempo que os sistemas de monocultivos. A adoção de sistemas agroflorestais pode promover um fluxo de caixa mais regular e mais estável para os proprietários rurais, principalmente para aqueles que têm dificuldades de armazenamento e de comercialização de seus produtos. Por outro lado, a característica dos sistemas agroflorestais de manter a sua produtividade ao longo do tempo é, talvez, mais uma assertiva de uma situação desejável do que propriamente de uma situação real. A literatura pertinente frequentemente refere-se à hipótese de que a utilização de sistemas agroflorestais apropriados melhora as propriedades físicas do solo, mantém sua matéria orgânica e promove ciclagem de nutrientes. Entretanto, segundo SANCHES (1987), tais premissas não podem ser generalizadas.

4. O uso integrado de árvores e cultivos agrícolas pode resultar num uso mais eficiente de água, nutriente e radiação solar do que é possível nos monocultivos florestais ou agrícolas. Uma das características biológicas vantajosas dos sistemas agroflorestais é de que as árvores usam porções da biosfera, que as plantas agrícolas e os animais geralmente não usam, resultando em uma maior produção de biomassa total. Na realidade, as árvores competem com as outras culturas por luz, água e nutriente, mas existe uma premissa inerente na maioria das definições de sistemas agroflorestais de que o efeito das árvores é positivo (MacDICKEN e VERGARA, 1990).

2.1 Vantagens e Desvantagens dos Sistemas Agroflorestais

O uso de sistemas agroflorestais tem sido erroneamente considerado uma panacéia para recuperar áreas degradadas, aumentar a produção agrícola, florestal e pecuária e diminuir o risco para o proprietário rural. Não resta a menor dúvida de que a prática de sistemas agroflorestais utilizada nas mais diversas regiões do mundo, por milhões de proprietários rurais ao longo dos tempos, permite evidenciar as vantagens de tais sistemas em relação a outras modalidades de uso da terra. É necessário, entretanto, que a nova ciência que trata desses sistemas comprove a validade de suas vantagens.

As vantagens biológicas, econômicas e sociais dos sistemas agroflorestais,