DISTRIBUIÇÃO DA BIOMASSA ARBÓREA E DOS
NUTRIENTES EM PLANTAÇÕES PURAS E CONSORCIADAS
DE *Liquidambar styraciflua* L. E *Pinus caribaea*
VAR. *hondurensis* BAR. ET GOLF.

MARCOS ANTÔNIO DRUMOND
Eng^o Florestal

Orientador : Prof. Dr. FÁBIO POGGIANI

Dissertação apresentada à Escola
Superior de Agricultura "Luiz de
Queiroz", da Universidade de
São Paulo, para obtenção do
título de Mestre em Engenharia
Florestal.

PIRACICABA
Estado de São Paulo - Brasil
Outubro - 1985

*Aos meus pais e irmãos,
minha gratidão*

*A minha esposa Gean
e ao meu filho Marcos Gustavo,
minha dedicação e
meu oferecimento.*

AGRADECIMENTOS

A todos aqueles que participaram direta ou indiretamente na realização deste trabalho expresso meus sinceros agradecimentos; em especial:

- ao professor Dr. Fábio Poggiani, pela orientação;

- à Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, pela oportunidade proporcionada;

- à chefia do Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semi-Árido (CPATSA), pelo apoio e suporte financeiro que possibilitou o desenvolvimento desta pesquisa;

- à Companhia Agro-Florestal Monte Alegre(CAFMA), na pessoa do Eng. Francisco Bertolani que permitiu a utilização da área experimental, e ao Eng. Antônio J. Migliorini e equipe, pela colaboração na coleta dos dados de campo;

- aos docentes do Departamento de Silvicultura da ESALQ/USP, pelos ensinamentos; em especial, aos professores Luiz E.J. Barrichelo, Hilton T.Z. do Couto e Antônio Natal Gonçalves, pelo apoio concedido;

- aos colegas do curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal; em especial, aos Engenheiros Florestais Roberto Chiaranda, pelo auxílio na coleta de dados, e José de Castro Silva e Ismael Eleotério Pires, pela revisão do texto;

- aos funcionários do Departamento de Silvicultura e do Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais (IPEF), pela atenção dispensada, e, em especial, à técnica de laboratório, Isabel Christina Gava, pela realização das análises.

ÍNDICE

	<u>PAGINA</u>
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1. Amostragem de tecidos vegetais	3
2.2. Influência da espécie e procedência na concen <u>tração</u> e conteúdo de nutrientes nas árvores .	5
2.3. Influência do sítio sobre a distribuição de biomassa e concentração de nutrientes nas ár- vores	6
2.4. Concentração e conteúdo de nutrientes nos di- ferentes componentes das árvores	9
2.5. Influência do consórcio sobre o desenvolvimen <u>to</u> e concentração de nutrientes nas essências florestais	11
2.6. Influência do índice de área foliar na produ- tividade	13
2.7. Caracterização das espécies a serem estudadas	
2.7.1. <i>Liquidambar styraciflua</i>	14
2.7.2. <i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	16
3. METODOLOGIA	18
3.1. Caracterização da área experimental	18
3.1.1. Talhões experimentais	18

	<u>PÁGINA</u>
3.1.2. Clima	19
3.1.3. Solo	21
3.2. Amostragem das árvores utilizadas para esti - mar a biomassa arbórea	22
3.2.1. Determinação do volume cilíndrico do tronco com casca	23
3.2.2. Determinação do volume real do tronco com casca e sem casca	23
3.2.3. Determinação da porcentagem de casca em volume	24
3.2.4. Determinação do fator de forma	24
3.2.5. Determinação da densidade básica da ma deira	25
3.2.6. Determinação do peso de matéria seca do tronco sem casca	25
3.2.7. Determinação do peso de matéria seca da casca das árvores	26
3.2.8. Determinação do peso de matéria seca das folhas e galhos das árvores	27
3.2.9. Determinação da área da superfície fo- liar	27
3.2.10. Determinação do índice de área foliar.	29
3.3. Análise química das amostras de folhas, ga- lhos, casca e lenho	29
3.4. Determinação das equações para estimativa da biomassa arbórea	30

	<u>PÁGINA</u>
3.5. Determinação do conteúdo de nutrientes no lenho, casca, galhos e folhas	31
3.6. Índice de eficiência de utilização dos nutrientes	31
4. RESULTADOS	32
4.1. Características dendrométricas das parcelas experimentais	32
4.2. Concentrações médias de nutrientes nos componentes arbóreos	35
4.2.1. Concentração nas folhas	35
4.2.2. Concentração nos galhos	35
4.2.3. Concentração na casca	38
4.2.4. Concentração no lenho	38
4.3. Equações para estimativa de biomassa arbórea.	41
4.4. Distribuição da biomassa nos diversos componentes arbóreos acima do solo	43
4.5. Conteúdo de nutrientes nos diversos componentes das árvores de <i>Liquidambar</i> e <i>Pinus</i> em parcelas puras e mistas	45
4.6. Índice de eficiência de utilização dos nutrientes	48
5. DISCUSSÃO	53
5.1. Características dendrométricas das parcelas puras e mistas de <i>Liquidambar</i> e <i>Pinus</i>	53

PÁGINA

5.2. Concentração de nutrientes nos diversos compo- nentes arbóreos	60
5.3. Biomassa e conteúdo de nutrientes nos diver- sos componentes arbóreos	63
5.4. Índice de eficiência de utilização dos nu- trientes	65
6. CONCLUSÕES	69
7. LITERATURA CITADA	71
8. ANEXOS	82

DISTRIBUIÇÃO DA BIOMASSA ARBÓREA E DOS NUTRIENTES EM
PLANTAÇÕES PURAS E CONSORCIADAS DE

Liquidambar styraciflua L. E *Pinus caribaea*
VAR. *hondurensis* BAR. ET GOLF.

AUTOR: MARCOS ANTÔNIO DRUMOND

PROF.: DR. FÁBIO POGGIANI

RESUMO

O *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, pela sua boa adaptabilidade nas regiões tropicais do Brasil, vem sendo uma das espécies mais utilizadas nos reflorestamentos. A *Liquidambar styraciflua* L., embora tenha sua principal ocorrência natural nas regiões subtropicais, tem-se mostrado também muito promissora em regiões tropicais. O bom crescimento e a grande produção de biomassa são motivos importantes para o interesse que esta folhosa vem despertando.

A carência de trabalhos que envolvam o estudo da influência da consorciação de culturas com espécies florestais motivou a realização deste trabalho. Objetivou-se analisar as características silviculturais das espécies em plantios puros e mistos, bem como a produção, distribuição e concentração de nutrientes na biomassa arbórea. O trabalho foi de

envolvido na região de Agudos, Estado de São Paulo, utilizando parcelas puras e mistas de *Liquidambar styraciflua* e *Pinus caribaea* var. *hondunensis* implantadas em outubro de 1973, sem adubação, no espaçamento 2,0 x 2,5 m, perfazendo uma área de 3.600 m², com seis parcelas de 20 x 30 m, compostas de cento e vinte árvores, sendo que, para efeito de análise, foram consideradas, apenas, as quarenta e oito centrais. O experimento foi analisado aos 10 anos de idade.

Foram avaliadas as características dendrométricas e coletadas amostras de lenho, casca, galhos e folhas de quinze árvores por espécie, em cada tratamento. Posteriormente, estabeleceram-se as melhores equações para estimativa da biomassa de cada componente arbóreo, concentração e conteúdo de nutrientes, índices de eficiência de utilização dos nutrientes e índice de área foliar.

Os resultados obtidos mostraram que a biomassa total produzida em parcelas puras pelas árvores de *Liquidambar* (127,2 t/ha) e *Pinus* (133,7 t/ha) é inferior à biomassa total produzida pelas árvores em parcelas mistas (143,5 t/ha). Nessas, todavia, 114,1 t/ha foram produzidas pelas árvores de *Liquidambar*.

A biomassa das árvores de *Liquidambar* plantadas em parcelas puras apresentou por hectare os seguintes conteúdos de macronutrientes: 241 Kg de N, 17 Kg de P, 145 Kg de K, 158 Kg de Ca e 51 Kg de Mg. A biomassa das árvores de *Pinus*, plantadas em parcelas puras acumulou 350 Kg de N, 19 Kg de P, 135 Kg de K, 107 Kg de Ca e 35 Kg de Mg e as árvores das parcelas mistas de *Liquidambar* e *Pinus* acumularam 243 Kg de N, 17 Kg de P, 160 Kg de K, 171 Kg de Ca e 52 Kg de Mg. Observou-se

que as copas das árvores de uma maneira geral, acumularam elevadas quantidades de nutrientes, variando de 32 a 61% do conteúdo total de nutrientes contidos na biomassa total das árvores.

Os nutrientes nas árvores de *Liquidambar* se concentraram, de forma decrescente, nas folhas > casca > galhos > lenho, onde as folhas concentraram, em média, 20,2 vezes mais nutrientes que o lenho. Nas árvores de *Pinus* a maior concentração foi nas folhas seguido de galhos > casca > lenho, onde as folhas concentraram, em média, 10,6 vezes mais nutrientes que o lenho.

O plantio misto, de modo geral, não afetou a concentração dos macronutrientes nas árvores de *Liquidambar*, salvo um decréscimo significativo na concentração do nitrogênio nos galhos e um acréscimo de P e K na casca. Nas árvores de *Pinus* o plantio misto afetou, significativamente, as concentrações dos nutrientes P, Ca e Mg, na casca, e Mg, nos galhos.

O índice de área foliar para as árvores de *Liquidambar* e *Pinus*, em parcelas puras, foi respectivamente, de 3,2 e 12,5 m²/m² e, nas parcelas mistas, as mesmas espécies apresentaram índices de 4,0 e 1,4 m²/m², evidenciando que as árvores de *Pinus* foram dominadas pelas árvores de *Liquidambar*.

De maneira geral, as árvores de *Pinus* foram mais eficientes na utilização dos nutrientes que as árvores de *Liquidambar*.

BIOMASS AND NUTRIENT DISTRIBUTION IN PURE AND MIXED STANDS OF
Liquidambar styraciflua L. AND *Pinus caribaea*
VAR. *hondurensis* BAR. ET GOLF.

AUTHOR: MARCOS ANTÔNIO DRUMOND

ADVISER: DR. FÁBIO POGGIANI

SUMMARY

Due to its good adaptability to Brazilian tropical regions, the *Pinus caribaea* var. *hondurensis* has been the most utilized pine species for reforestation. Although the *Liquidambar styraciflua* L. is originally from subtropical regions, it has revealed to be promising in tropical regions. Its good growth along with its large biomass production are important features for the interest that this hardwood has raised.

The lack of research work relating to the influence of the establishment of mixed stands motivated this work. The aim of this research was to analyze the silvicultural characteristics of the species in pure and mixed stands, as well as the production, distribution and concentration of nutrients in tree biomass. This research was developed in the region of Agudos, State of São Paulo, utilizing

pure and mixed plots of *Liquidambar styraciflua* and *Pinus caribaea* var. *hondurensis* established in october, 1973, without fertilization, in a 2.0 x 2.5 m spacings in an area of 3,600 m², with six 20 x 30 m plots of one hundred and twenty trees of which forty eight centrally located were used for analysis. The stands were analysed 10 yeras old.

The dendrometric characteristics were evaluated and samples of wood, bark, branch and leaf were collected from fifteen trees from each species in each treatment. Later, the best equations were established for estimating the biomass of each tree component, nutrient concentration and content, index of nutrient utilization efficiency and the leaf area index.

Results obtained revealed that the total biomass produced in pure plots of *Liquidambar* (127,2 t/ha) and *Pinus* (133,7 t/ha) is lower than the total biomass produced by the trees in mixed plots (143,5 t/ha). However, in the latter, 114,1 t/ha was produced by the *Liquidambar* trees.

The biomass of *L. styraciflua* growing in pure stands stored the following macronutrient contents per hectare: 241 Kg of N, 17 Kg of P, 145 Kg of K, 158 Kg of Ca and 51 Kg of Mg.

The biomass of *Pinus* in pure stands accumulated 350 Kg of N, 19 Kg of P, 135 Kg of K, 107 Kg of Ca and 35 Kg of Mg per hectare and the mixed stand of *Liquidambar* with *Pinus*, accumulated 243 Kg of N, 17 Kg of P, 160 Kg of K, 171 Kg of Ca and 52 Kg of Mg per hectare.

The tree crowns had higher nutrient content than other tree components, varying from 32 to 61% of the total nutrients contained in the biomass.

The nutrients in the *Liquidambar* trees were concentrated in a decreasing order: leaves > bark > branches > wood. In the *Pinus* trees, the concentration order was leaves > branches > bark > wood.

In general, the mixed stand did not affect the macronutrient concentration in the *Liquidambar* trees. In the *Pinus* trees, the mixed stand significantly affected the concentration of the nutrients P, Ca, and Mg in the bark and Mg in the stems.

The leaf area index for the *Liquidambar* and *Pinus* trees in pure stands were 3.2 and 12.5 m²/m², respectively, and in the mixed stands, these same trees presented indexes of 4.0 and 1.4 m²/m², revealing that the *Pinus* trees were dominated by the *Liquidambar* trees.

In general, the *Pinus* trees presented a more efficient utilization of nutrients than the *Liquidambar* trees.

1. INTRODUÇÃO

Dentro da própria dinâmica do desenvolvimento, ampliam-se as exigências da sociedade em relação as florestas.

As crescentes pressões da sociedade, em relação à matéria-prima, aliadas às necessidades de recreação do homem e à preservação dos patrimônios naturais, fizeram com que, em todo o mundo, as florestas fossem enfocadas sob ângulos múltiplos. Neste sentido, diversos métodos de plantio e manejo vem sendo desenvolvidos. Por exemplo; o plantio misto de espécies florestais, técnica pouco utilizada em países tropicais, surge como uma das melhores opções para as áreas destinadas ao florestamento, com possíveis vantagens econômicas, silviculturais e ecológicas.

A heterogeneidade das florestas promove uma maior estabilidade do ecossistema, pela redução da competição intraespecífica, melhoria na qualidade do sítio, principalmente, em solos de baixa fertilidade, e uma maior opção de merca-

do pelas diferentes matérias-primas produzidas. Além disso, a interação entre as espécies, quando corretamente consorciadas, traduz - se numa maior produtividade biológica.

Os resultados positivos para o consórcio, entre tanto, somente podem ser conseguidos quando se conhecem as exigências de cada espécie e as diferentes respostas quando em associação. Além da produção de biomassa, também é muito impor - tante o conhecimento da distribuição dos nutrientes nos diver - sos componentes da árvore: lenho, casca, galhos e folhas. Co - mumente a maior concentração de nutrientes é observada nos re - síduos florestais (folhas, galhos e casca). Informações estas como outras que podem advir da utilização do consórcio de espé - cies florestais serão úteis ao silvicultor no manejo correto da floresta.

Este trabalho se propõe a verificar o efeito do consórcio de *Liquidambar styraciflua* e *Pinus caribaea* var. *hondurensis* na produção de biomassa; na concentração de nu - trientes minerais; na distribuição de nutrientes nos diversos componentes das árvores; na expansão da superfície foliar, bem como no índice de eficiência de utilização dos nutrientes.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. AMOSTRAGEM DE TECIDOS VEGETAIS

Para se conhecer o estado nutricional da planta utiliza-se, de forma generalizada a análise foliar, por serem as folhas indicadores relativamente sensíveis às diferenças verificadas no abastecimento de nutrientes (KRAMER e KOSLOWSKI, 1972).

Diversos trabalhos já realizados mostraram que os resultados das análises da concentração de nutrientes nas plantas são muito variáveis, dependendo das espécies e procedências, épocas de amostragem, posição do material vegetal na copa, idade fisiológica dos tecidos, qualidade do sítio e, até mesmo temperaturas do ar e do solo.

LUBRANO (1972), analisando diferentes critérios

de amostragem para *Eucalyptus viminalis* e *Eucalyptus globulus*, concluiu ser possível, com pequena margem de erro, considerar amostras de lenho e casca, retiradas a 1,30 m do solo (DAP), como média representativa do conteúdo mineral do tronco.

YOUNG e CARPENTER (1976) preconizaram que a amostragem em uma única posição central dos galhos, raiz e tronco pode ser o suficiente para estimar a concentração média dos nutrientes em cada um dos componentes da árvore.

LAVENDER e CARMICHAEL (1966), trabalhando com *Pseudotsuga menziesii*, observaram que o conteúdo de N, P, K, Ca e Mg nas folhas varia com a época de colheita, idade da folhagem e com a posição das folhas na copa.

Segundo Jones e Steyn, citados por BURG (1976), existem variações entre e dentro das árvores, na distribuição dos elementos.

EVANS (1979), comparando tecidos jovens e adultos de *Gmelina arborea*, verificou que as folhas mais velhas mostraram declínio nas concentrações de N e P, enquanto que os teores de Fe, B, Mn e, possivelmente, Ca aumentaram.

Segundo BELLOTE (1979), as concentrações de N, P e K diminuem com a idade, quando se comparam plantios de *Eucalyptus grandis* com um e sete anos, com exceção de K, nas folhas; para os demais nutrientes, o comportamento varia em função da parte analisada; o autor observou, ainda, que mais de 98% do Fósforo e Manganês são acumulados até os seis anos de idade e, 99,4% do Zinco, até os cinco anos.

CASTRO *et alii* (1980) concluíram que o conteúdo de nutrientes na biomassa de *Pinus oocarpa* é diretamente proporcional à idade das plantas.

POGGIANI *et alii* (1979) salientaram que, na fase inicial do crescimento das árvores, o peso de matéria seca do caule e da copa são quase equivalentes. No entanto, com o desenvolvimento das árvores, o peso do caule aumenta de forma exponencial, enquanto que a estrutura da copa se mantém aproximadamente a mesma, guardando a mesma fitomassa.

SWITZER e NELSON (1972) verificaram para o *Pinus taeda* que o acúmulo de nutrientes na fase inicial de crescimento é maior que na fase adulta.

2.2. INFLUÊNCIA DA ESPÉCIE E PROCEDÊNCIA NA CONCENTRAÇÃO E CONTEÚDO DE NUTRIENTES NAS ÁRVORES

Diversos estudos já foram desenvolvidos com o objetivo de verificar diferenças na concentração e conteúdo de nutrientes nas espécies florestais.

HAAG *et alii* (1976), analisando folhas de cinco espécies do gênero *Eucalyptus*, constataram diferenças entre as espécies, onde as concentrações mais elevadas de N, P, K e S foram encontradas no *E. grandis*, e as mais baixas, com exceção do S, foram encontradas no *E. microcorys*.

FORREST e OVINGTON (1971) verificaram diferen-

ças significativas em concentração de nutrientes entre vários clones de *Pinus radiata*. Resultados semelhantes foram encontrados por BARTOS e JOHNSTON (1978), com *Populus tremuloides*.

MERGEN e WORRAL (1964) verificaram, ainda, que o conteúdo de N, P e K, em mudas de *Pinus banksiana*, está associado à procedência da espécie. Entretanto, a capacidade de exportar minerais do solo não é constante para todos os indivíduos de uma espécie, podendo, variar com a procedência das sementes e com as influências do meio ambiente.

2.3. INFLUÊNCIA DO LOCAL SOBRE A DISTRIBUIÇÃO DE BIOMASSA E CONCENTRAÇÃO DE NUTRIENTES NAS ÁRVORES

A distribuição de biomassa entre os órgãos de uma árvore é variável, sendo afetada pela forma de crescimento; pelo ciclo de vida da planta; pelas interações competitivas e pelos fatores adversos (GADGIL e SOLBRIG, 1972).

Segundo CURLIN (1970), geralmente a distribuição da biomassa entre os diversos componentes arbóreos segue a ordem lenho > galhos > casca > folhas. No entanto, a concentração porcentual dos nutrientes nestes componentes obedece a uma ordem inversa.

A distribuição da biomassa nos diferentes órgãos da planta varia de espécie para espécie e, até mesmo, numa população da mesma espécie. Vivendo sob diferentes condições, a planta pode alocar a biomassa para diferentes ativida-

des, em diferentes graus (ABRAHAMSON e GADGIL, 1973).

HARPER e OGDEN (1970) observaram uma variação na alocação de biomassa nas diferentes partes das plantas de *Senecio vulgaris* quando submetidas a diferentes níveis de estresse hídrico.

Segundo BROUWER (1962), o crescimento depende da disponibilidade de suprimento para os órgãos de crescimento das diferentes estruturas de uma planta; as correlações entre o crescimento destas estruturas parecem, pelo menos em parte, ser função de competição de elementos essenciais, tais como, água ou luz, que podem alterar a alocação de biomassa para os vários órgãos em diferentes proporções.

ABRAHAMSON e GADGIL (1973) observaram que a distribuição de matéria seca nas plantas era afetada pela disponibilidade de água e luz. Com a escassez de água, a planta tende a concentrar mais matéria seca nas raízes; crescendo com plantas de altura semelhante, a planta aloca mais biomassa vegetativa para o crescimento do caule; crescendo com plantas de maior altura, a planta aloca mais biomassa vegetativa para o crescimento de folha, aproveitando mais intensamente a luz difusa do sotobosque. Também, a natureza e as propriedades químicas do solo, bem como, a capacidade de absorção de cada espécie podem influenciar a concentração de nutrientes nas plantas.

A concentração de nutrientes nos componentes pode ser influenciada pela densidade do povoamento florestal (SWITZER *et alii*, 1960).

TEMES (1970), trabalhando com *Eucalyptus globulus*, com diferentes idades, plantado em solos arenosos e de baixa fertilidade, observou correlações entre os teores de cálcio e manganês nas folhas e no solo.

HOYLE e MADER (1964), estudando *Pinus resinosa*, observaram que as diferentes características de crescimento parecem se correlacionar com o estado nutricional das árvores, que o crescimento em altura está fortemente relacionado com os níveis de cálcio, o crescimento em área basal com o potássio e o crescimento volumétrico com a umidade do solo.

ISIK (1978), trabalhando com *Abies concolor*, observou diferenças altamente significativas no conteúdo de N, P, Ca, Mg e Mn nas características foliares para diferentes tipos de solo.

SCHÖNAU (1983), estudando as variações mensais das concentrações de nutrientes nas folhas de *Eucalyptus grandis*, em três diferentes locais, por um período de dois anos, observou estreita relação entre a taxa de crescimento em altura das árvores e a precipitação verificada durante o período experimental. O conteúdo de N, P, Ca, Mg, S e Zn nas folhas variou proporcionalmente com a taxa de crescimento em altura; o conteúdo de N, Ca, S, Cu, Zn e Fe também foi proporcional à precipitação; o conteúdo de ferro, entretanto, apresentou-se inversamente proporcional às chuvas e à taxa de crescimento em altura.

2.4. CONCENTRAÇÕES E CONTEÚDO DE NUTRIENTES NOS DIFERENTES COMPONENTES DAS ÁRVORES

A distribuição de biomassa não é fixa entre os diferentes órgãos da planta e os teores de nutrientes variam conforme a função bioquímica de cada órgão.

A distribuição de nutrientes na fitomassa florestal varia, ao longo do tempo, com a dinâmica do ecossistema; na fase juvenil, o processo é mais acelerado, estabilizando-se quando a floresta atinge a maturidade.

POGGIANI *et alii* (1979) verificaram, para *Eucalyptus grandis*, com quatro anos de idade que, embora a maior quantidade de fitomassa esteja concentrada no lenho do tronco (61%), a maior quantidade de nutrientes está contida nas folhas (45%) e, em ordem decrescente, nas cascas, nos galhos e no lenho do tronco.

POGGIANI *et alii* (1983) verificaram resultados semelhantes para a mesma espécie, aos 2,5 anos de idade, em que 9% da biomassa estava contida nas folhas, 7%, nos galhos e 83%, no tronco; porém, 37% dos nutrientes estavam contidos nas folhas, 10%, nos galhos e 53%, nos troncos.

SILVA (1983), trabalhando com cinco espécies do gênero *Eucalyptus*, concluiu que as concentrações de nutrientes, nas cinco espécies estudadas, foram maiores nas folhas do ápice da copa, com exceção de Ca; em ordem decrescente, nas folhas intermediárias da copa, nos ramos, na casca e no lenho.

Segundo BELLOTE (1979), as maiores concentrações de nutrientes nas plantas de *Eucalyptus grandis* ocorrem nas folhas, exceto para o Ca, Cu e Mn, observando-se, ainda, que a concentração dos elementos nos componentes das árvores varia de maneira à evidenciar a translocação dos mesmos dentro do vegetal.

Em alguns casos foi observado que a casca detém a maior quantidade de cálcio (RENNIE, 1955; POGGIANI *et alii*, 1979; SILVA, 1983).

ZEN *et alii* (1981) observaram que as concentrações dos nutrientes (N, P, K e Mg) na casca e no lenho de *Eucalyptus saligna* nem sempre seguem distribuição uniforme ao longo do tronco, sendo bem mais elevada na parte superior do tronco.

EGUNJOBI e BADA (1979), estudando a distribuição de biomassa e nutrientes em *Pinus caribaea*, observaram que os conteúdos de nutrientes aumentaram com a idade quando foram comparadas as idades de seis e dez anos.

Forrest, citado por FORREST e OVINGTON (1971), assinala que cerca de 70 a 80% dos nutrientes nas árvores estão acima do solo, sendo os restantes incorporados no sistema radicular.

2.5. INFLUÊNCIA DO CONSÓRCIO SOBRE O DESENVOLVIMENTO E CONCENTRAÇÃO DE NUTRIENTES NAS ESSÊNCIAS FLORESTAIS

No Brasil, a formação de florestas mistas, apesar das reconhecidas vantagens ecológicas que proporcionam, conforme já registrado por vários silvicultores, não havia recebido, até a última década, adeptos que pudessem incrementar essa atividade florestal.

PIEKEL (1951) já comentava a necessidade da formação de florestas mistas. O consórcio dos eucaliptos ou dos pinheiros com outras essências pode melhorar a manta orgânica e, por conseguinte, o estado nutricional e crescimento dos matos florestais.

Para se obter sucesso no estabelecimento de florestas mistas é necessário ter bons conhecimentos sobre as espécies a serem utilizadas (FERRI, 1974).

SHAPLAND (1974), verificando os aspectos econômicos e biológicos no estabelecimento de florestas, recomenda o plantio de florestas mistas de folhosas com coníferas que possam produzir renda mais cedo, diminuindo os custos de implantação ou produzindo, também, madeira de melhor qualidade.

METZ (1954), estudando a serapilheira dos povoamentos puros e mistos de coníferas e folhosas, observou que a mistura das espécies melhorou a distribuição da manta florestal, aumentando a disponibilidade de nutrientes em quantidade e qualidade, concorrendo para uma melhoria dos solos, maior infiltração das águas de chuva nos solos e aparente diminuição

do perigo de incêndios.

Segundo MASON (1980), as serapilheiras formadas por coníferas são mais ácidas do que as de folhosas. Na maioria das vezes, as acículas não favorecem a rápida decomposição pela presença de grandes quantidades de lignina e a decomposição se dá mais rapidamente em material com baixa relação C/N.

Conforme NOVAIS e POGGIANI (1982), o folhedo contido nas serapilheiras de um plantio consorciado de *Liquidambar styraciflua* e *Pinus caribaea* var. *hondurensis* apresentou uma maior concentração de macronutrientes em relação ao folhedo, de um povoamento puro de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. Os autores comentam que a consorciação das duas espécies elevando as reservas químicas da serapilheira, possivelmente acelere a velocidade de decomposição das acículas de *Pinus*.

SCHLESINGER e WILLIAMS (1984) observaram que as árvores de *Juglans nigra*, quando consorciadas com *Elaeagnus umbellata*, apresentaram um diâmetro de até 361% superior em relação às árvores de *Juglans nigra*, em plantios puros.

Entretanto, McCLURKIN (1970) não observou vantagens no plantio de coníferas consorciadas com folhosas sobre os "stands" puros de coníferas, para reabilitação de áreas degradadas. Isto indica que diferentes situações requerem pesquisas específicas.

ASSMANN (1970) comenta que no estabelecimento de

povoamentos mistos algumas considerações sobre o crescimento das espécies devem ser feitas tais como: exigências de luz, ritmo natural de crescimento, área e horizonte radicular e características da serapilheira.

2.6. INFLUÊNCIA DO ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR NA PRODUTIVIDADE

Segundo WATSON (1958), a capacidade de ocupação do terreno pelas partes aéreas das plantas pode ser estimada através da determinação da área foliar existente em uma superfície do terreno, denominada de índice de área foliar.

O estudo da evolução do índice de área foliar é um aspecto importante a ser considerado para aumentar a produtividade de uma cultura.

Diversos parâmetros ambientais estão intimamente relacionados com a alocação de biomassa para as folhas, destacando-se a competição por luz, espaço e umidade.

O índice de área foliar cresce com a idade das plantações até se estabilizar em um valor máximo que varia segundo as características da espécie (ALVIN, 1975). O autor comenta, ainda, que a produtividade bruta da comunidade vegetal segue a mesma curva de índice de área foliar, e que a diminuição na produtividade, com o passar do tempo, resulta no gradual aumento na proporção de tecidos que não fazem fotossíntese ou que apenas respiram.

Ovington, citado por LAAR (1983), estudando *Pinus sylvestris*, encontrou um aumento no índice de área foliar de $2,2 \text{ m}^2/\text{m}^2$ com a idade de dois anos e, de $10,8 \text{ m}^2/\text{m}^2$, com a idade de vinte anos.

Woodwell e Whittaker, também citados por LAAR (1983) observaram valores de índices de área foliar variando de 3 a $6 \text{ m}^2/\text{m}^2$ para as folhosas e, de 12 a $15 \text{ m}^2/\text{m}^2$, para as coníferas.

PEARSON *et alii* (1983) salientaram que a superfície do alburno e a área basal são as variáveis que mais se correlacionam com a superfície foliar e que a área foliar por unidade de alburno variou de 0,20 a $0,57 \text{ m}^2/\text{m}^2$ em estandes de diferentes densidades, idades e sítios.

É de se esperar, portanto, que também a consorciação de espécies arbóreas possa influir no índice de área foliar.

2.7. CARACTERIZAÇÃO DAS ESPÉCIES ESTUDADAS

2.7.1. *Liquidambar styraciflua*

A *Liquidambar styraciflua* é uma espécie latifoliada caducifólia, da família das Hamamelidaceas. É a única espécie do gênero, nativa no Novo Mundo (BILAN, 1978). Ocorre na

turalmente no sul e sudeste dos Estados Unidos, México, Guatemala, Honduras, El Salvador e Nicarágua. É encontrada a baixas altitudes nos EUA e, na América Central, pode ser encontrada até a 2.000 metros de altitude com variação anual de temperatura de 15^o até 43^oC e a precipitação anual, variando de 800 a 2.100 mm. É uma espécie tolerante a uma ampla variedade de solos, apresentando, entretanto, um melhor desenvolvimento em solos úmidos e bem drenados.

Dependendo do "site", as árvores adultas nas regiões de origem atingem 45 a 90 centímetros de diâmetro e alturas de 24 a 36 metros. É uma espécie de boa regeneração natural, cresce bem em mistura com coníferas e/ou outras folhosas, é muito resistente ao ataque de pragas e doenças, porém, suscetível aos danos por fogo (BRISCOE, 1973).

Pelas características mencionadas, a *Liquidambar stylaciflua* revela boas indicações para uso em plantios consorciados.

CARPENTER e HOPKINS (1966), analisando trinta árvores com idades variando de quarenta e sete a sessenta e cinco anos, procedentes de três localidades, encontraram densidades básicas variando de 0,511 e 0,518 g/cm³.

FOELKEL (1974), analisando material proveniente de Franklin, Virgínia, EUA, concluiu que a madeira de *Liquidambar* é de boa qualidade para a fabricação de chapas, bem como de celulose sulfato, apresentando bom rendimento e boa resistência físico-mecânica.

Segundo MIRANDA (1976), a madeira de *Liquidambar styraciflua* pesa 571 kg/m^3 , é de textura fina e uniforme, fácil de se trabalhar, e de bom acabamento e de durabilidade regular.

USDA (1974) confirma que a densidade e algumas propriedades físicas e mecânicas da *Liquidambar styraciflua* são comparáveis às das coníferas. Na forma de compensados, as suas propriedades físicas são iguais ou superiores à dos pinheiros comumente utilizados.

Segundo HUGHES e McCARTER (1984), a *Liquidambar styraciflua* tem sido testada em regiões tropicais, apresentando bons resultados, destacando o Brasil, África do Sul e Zimbabwe.

2.7.2. *Pinus caribaea* var. *hondurensis*

Pinus caribaea var. *hondurensis* Bar. et Golf. pertencente à família das Pináceas, ocorre naturalmente em numerosos maciços descontínuos e fragmentados localizados entre 12° e 18° latitude norte, distribuindo-se nos seguintes países: Belize, Guatemala, Honduras e Nicarágua. A espécie é encontrada desde o nível do mar até uma altitude de 850 metros, em solo com uma faixa de pH variando entre 4,0 e 6,5 (BARRET e GOLFARI, 1962).

A temperatura média, nos meses mais frios, varia de 16° a 25°C e, nos meses mais quentes, de 22° a 28°C . A

precipitação média anual varia de 1.000 a 3.500 mm (GOLFARI, 1963).

Segundo GREAVES (1979), o *Pinus caribaea* var. *hondurensis* ocorre em solos erodidos e de baixa fertilidade, em terras baixas e úmidas consideradas áreas marginais. Esta espécie foi introduzida no Brasil no final da década de 40. Em áreas adequadas, é a conífera tropical preferida pelas companhias de celulose de fibra longa, devido a sua maior produção volumétrica (GOLFARI *et alii*, 1978).

Segundo SIMÕES e BRANDI (1981), em solo de baixa fertilidade no Município de Casa Branca-SP, o *Pinus caribaea* var. *hondurensis* apresenta um crescimento superior a 30 m³/ha/ano.

NICOLIELO e BERTOLANI (1978), num estudo de introdução de algumas espécies de *Pinus*, aos 4,5 anos de idade, plantados num espaçamento de 3,0 x 3,0 m, concluíram que o *Pinus caribaea* var. *hondurensis* destacou-se com um comportamento volumétrico superior às demais coníferas testadas, apresentando valores médios para o DAP de 13,70 cm, altura 8,08 m e volume cilíndrico de 132,27 m³/ha, com uma sobrevivência de 100%.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL

3.1.1. TALHÕES EXPERIMENTAIS

O presente trabalho foi desenvolvido nas dependências da Companhia Agro-Florestal Monte Alegre (CAFMA), no município de Agudos, Estado de São Paulo, com as coordenadas geográficas de 22°25' de latitude Sul, e 48°50' de longitude Oeste de Greenwich, numa altitude aproximada de 600 metros.

Os talhões experimentais foram instalados em outubro de 1973, com o objetivo inicial de se verificar os efeitos da adubação, espaçamento e consorciação sobre o crescimento das árvores de *Liquidambar styraciflua* e *Pinus caribaea* var. *hondurensis*.

O experimento foi instalado, seguindo um esquema fatorial $3 \times 3 \times 3$, com duas repetições, totalizando vinte e sete tratamentos, incluindo três níveis de adubação, três espaçamentos e três composições de espécies: *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, *Liquidambar styraciflua* e parcelas mistas de ambas as espécies plantadas alternadamente, na proporção 1:1.

Para este trabalho foram utilizadas apenas as parcelas plantadas sem adubação e no espaçamento 2,5 x 2,0 m, perfazendo uma área de 3.600 m², com seis parcelas de 20 x 30 m, onde cada parcela era composta de cento e vinte árvores. As parcelas experimentais foram cortadas aos 10 anos de idade. Para efeito de análise, foram consideradas as quarenta e oito árvores centrais de cada parcela.

Os tratamentos utilizados foram os seguintes:

1. Parcelas puras de *Liquidambar styraciflua*.
2. Parcelas puras de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*.
3. Parcelas mistas de *Liquidambar* e *Pinus*, onde as espécies foram analisadas individualmente e em conjunto.

3.1.2. CLIMA

O clima é do tipo Cwa, segundo Köppen, com temperatura média anual de 21,1°C. No inverno, a temperatura média varia em torno de 18,6°C; no verão, em torno de 23,3°C. A preci

pitação média anual é de 1.300 mm, concentrando cerca de 75% deste total na estação chuvosa (outubro-março).

O diagrama climático da área estudada, construído segundo o método de WALTER (1977), foi preparado a partir dos dados climáticos obtidos pela Companhia Agro-Florestal Monte Alegre, cobrindo o período que vai desde a implantação, em outubro de 1973, até a tomada dos dados experimentais, em maio de 1984.

FIGURA 1. Diagrama climático da área estudada.

- A. Curva de temperatura (°C)
- B. Curva de precipitação pluviométrica (mm)
- C. Período com precipitação acima de 100 mm
- D. Período seco

Precipitação média anual = 1.300 mm

Temperatura média anual = 21,1°C.

3.1.3. SOLO

De uma maneira geral, o latossolo vermelho-amarelo, fase arenosa, é predominante na região, tratando-se de uma área que anteriormente possuía vegetação de cerrado. O solo é normalmente profundo, uniforme, poroso, altamente intemperizado, ácido, pobre em bases trocáveis e rico em óxido de ferro e alumínio (RANZANI, 1971). Os resultados das análises de textura e fertilidade do solo são apresentados na Tabela 1.

TABELA 1. Resultado das análises do solo da área experimental, realizada em 1982.

Análise Química

Profundidade (cm)	pH	Carbono Orgânico %	PO_4^{3-}	K^+	Ca^{++}	Mg^{++}	Al^{3+}	H^+
			meq./100 ml de terra					
10	4,1	0,71	0,05	0,05	0,11	0,44	1,43	4,49
50	4,2	0,30	0,03	0,01	0,16	0,45	0,99	2,35
100	4,2	0,28	0,03	0,01	0,16	0,50	0,88	2,24

Análise Física

Profundidade (cm)	Areia muito grossa	Areia grossa	Areia média	Areia fina	Areia muito fina	Areia	Limo	Argila 0,002	Disp. H_2O
10	-	1,3	25,4	53,6	6,4	86,5	4,7	8,5	2,8
50	-	1,2	22,8	52,5	7,4	83,3	4,2	12,4	8,0
100	-	1,2	22,0	48,7	7,1	79,3	5,8	14,8	9,7

3.2. AMOSTRAGEM DAS ÁRVORES UTILIZADAS PARA SE ESTIMAR A BIOMASSA ARBÓREA

A escolha das árvores foi feita após uma medição prévia de todos os indivíduos das parcelas, utilizando-se, no total, sessenta árvores, compreendendo quinze árvores para cada um dos três tratamentos, anteriormente descritos. As árvores de cada tratamento foram separadas em cinco classes de diâmetro, sendo utilizadas três árvores para cada classe. Após o abate das árvores, foram efetuadas as seguintes operações:

a. Medição do diâmetro à altura de 1,30 m do solo (DAP), altura comercial (até 5 cm de diâmetro) e altura total.

b. Pesagem dos galhos e das folhas de cada árvore, separadamente.

c. Coleta de discos em pontos equidistantes da altura comercial: 0, 25, 50, 75 e 100% e DAP.

d. Medição do diâmetro do tronco com casca e sem casca, em cada ponto de amostragem.

e. Coleta de amostras para determinação da superfície foliar e concentração de nutrientes nos diferentes componentes das árvores.

Para a determinação da concentração média dos nutrientes na biomassa arbórea foram retiradas amostras das folhas e dos galhos da parte intermediária da copa, em locais

distintos, correspondentes aos quatro pontos cardeais, foi retirada, também, uma amostra do lenho e da casca, a partir de um disco retirado da parte intermediária do fuste (YOUNG e CARPENTER, 1976).

3.2.1. DETERMINAÇÃO DO VOLUME CILÍNDRICO DO TRONCO COM CASCA

A partir dos dados da altura total da árvore e do DAP, obtidos após uma medição prévia, foi calculado o volume cilíndrico do tronco, com casca, através da expressão:

$$V_c = \frac{\pi D^2}{4} \cdot H$$

onde:

V_c = volume cilíndrico do tronco com casca;

D = diâmetro à altura do peito, com casca e

H = altura total da árvore.

3.2.2. DETERMINAÇÃO DO VOLUME REAL DO TRONCO COM CASCA E SEM CASCA

Foi determinado o volume real do tronco com casca de cada árvore até a altura comercial, através da expressão baseada na fórmula de Smalian.

$$V = \frac{\pi}{32} \cdot H (D_0^2 + D_{100}^2) + 2(D_{25}^2 + D_{50}^2 + D_{75}^2)$$

onde:

V = volume real do tronco da árvore;

H = comprimento da árvore e

$D_0 \dots D_{100}$ = diâmetro dos discos

O mesmo procedimento foi utilizado para o cálculo do volume real do tronco sem casca.

3.2.3. DETERMINAÇÃO DA PORCENTAGEM DE CASCA EM VOLUME

A partir dos volumes com casca e sem casca, obtidos no item 3.2.2., foram determinadas as porcentagens de casca das árvores, em cada tratamento, através da expressão:

$$\%C_{(v)} = \frac{V_c - V_s}{V_c} \times 100$$

onde:

$\%C_{(v)}$ = porcentagem de casca em volume;

V_s = volume real sem casca e

V_c = volume real com casca

3.2.4. DETERMINAÇÃO DO FATOR DE FORMA

Foi determinado o fator de forma das árvores em cada tratamento, através da expressão:

$$f = \frac{VR}{VC}$$

onde:

f = fator de forma;

VR = volume real do tronco com casca (obtido conforme no item 3.2.2.) e

VC = volume cilíndrico com casca (obtido conforme no item 3.2.1.)

3.2.5. DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE BÁSICA DA MADEIRA

Foi determinado a densidade básica para cada disco, utilizando-se o método da balança hidrostática, segundo a norma ABCP M14/70, através da seguinte fórmula:

$$db = \frac{PS}{PU - PI}$$

onde:

db = densidade básica do disco;

PS = peso seco do disco em estufa a $105 \pm 5^{\circ}\text{C}$;

PU = peso úmido saturado do disco e

PI = peso imerso

3.2.6. DETERMINAÇÃO DO PESO DE MATERIA SECA DO TRONCO SEM CASCA

Foi estimado o peso de matéria seca do tronco sem casca, a partir da equação:

$$P = \frac{\pi}{64} H (D_0^2 + D_{25}^2)(d_0 + d_{25}) + \dots + (D_{75}^2 + D_{100}^2)(d_{75} + d_{100})$$

onde:

P = peso de matéria seca do tronco da árvore;

H = comprimento do tronco da árvore;

$D_0 \dots D_{100}$ = diâmetro dos discos e

$d_0 \dots d_{100}$ = densidade básica dos discos

3.2.7. DETERMINAÇÃO DO PESO DE MATÉRIA SECA DA CASCA DAS ÁRVORES

A partir dos pesos absolutamente secos da casca e do lenho, foi calculada a porcentagem de casca em peso de matéria seca de cada disco, através da expressão:

$$\%Cp = \frac{PSC}{PSM + PSC} \cdot 100$$

onde:

%Cp = porcentagem de casca (em peso);

PSC = peso de matéria seca da casca e

PSM = peso de matéria seca do lenho

O peso de matéria seca total de casca de cada árvore foi estimado pela fórmula:

$$PC = \frac{P_1 \cdot C_1}{100 - C_1} + \dots + \frac{P_4 \cdot C_4}{100 - C_4}$$

onde:

PC = peso de matéria seca total de casca;

$P_1 \dots P_4$ = peso de matéria seca do lenho de cada segmento e

$C_1 \dots C_4$ = porcentagem de casca de cada segmento

3.2.8. DETERMINAÇÃO DO PESO DE MATERIA DAS FOLHAS E GALHOS DAS ÁRVORES

Após a secagem das amostras de galhos e folhas, em estufa de ventilação forçada à $70 \pm 5^\circ\text{C}$, até atingirem peso constante, foi determinada a porcentagem de peso de matéria seca para os galhos e folhas.

Posteriormente, foram calculados os pesos de matéria seca destes componentes em cada árvore, multiplicando-se a porcentagem do peso de matéria seca dos galhos e folhas pelo peso verde total do respectivo componente, para cada árvore.

3.2.9. DETERMINAÇÃO DA ÁREA DA SUPERFÍCIE FOLIAR

Para a determinação da área da superfície foliar das árvores de *Pinus* foram utilizados, como amostras, trezentos fascículos, retirados ao longo dos galhos intermediários da copa, em pontos distintos, correspondentes aos pontos cardeais e pertencentes às quinze árvores de cada tratamento, conforme as cinco classes de diâmetro, sendo três árvores para cada classe.

Segundo MADGWICK (1964), os fascículos possuem uma forma que se aproxima mais de cilindro do que de um cone.

Foi desenvolvida então, a seguinte fórmula para determinação da superfície foliar das acículas de cada fascículo:

$$S = D \cdot L \cdot (\pi + n)$$

onde:

S = superfície foliar das acículas;

D = diâmetro basal do fascículo;

L = comprimento do fascículo e

n = número de acículas de cada fascículo. Esta espécie, normalmente, possui três acículas (MATOS, sd.)

Conhecida a superfície foliar de cada amostra, os fascículos foram colocados em estufa de ventilação forçada a $70 \pm 5^{\circ}\text{C}$ até alcançar peso constante. Foi calculada, em seguida, a relação entre o peso da matéria seca de cada fascículo e a superfície foliar correspondente.

Posteriormente, através do peso da matéria seca das acículas das árvores de cada tratamento, foi estimada a superfície foliar, por hectare.

A determinação da superfície foliar das árvores de *Liquidambar* foi estabelecida através da comparação entre o peso dos moldes das folhas traçados sobre um papel, e o peso de um recorte do mesmo papel de superfície conhecida (MAGALHÃES, 1979). Foram utilizadas amostras de duzentas e quarenta folhas retiradas ao longo dos ramos intermediários da copa, em partes distintas, correspondentes aos pontos cardeais, das quinze ár-

vores de cada tratamento, separadas em cinco classes de diâmetro, sendo três árvores para cada classe. Conhecidos o peso a superfície das folhas amostradas, e o peso total das folhas, em cada tratamento, obtidos conforme item 3.2.8., foi estimada superfície foliar, por hectare.

3.2.10. DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR

De acordo com KRAMER e KOZLOWSKI (1979) o índice de área foliar foi calculado pela razão entre a área da superfície foliar das árvores contidas nas parcelas em relação à área da superfície do solo. Os valores, tanto da área foliar como da superfície do solo, são expressos em metros quadrados. O índice de área foliar varia com o tamanho das plantas, idade, espaçamento e vários outros fatores.

3.3. ANÁLISE QUÍMICA DAS AMOSTRAS DE FOLHAS, GALHOS, CASCA E LENHO

As amostras de folhas, galhos, casca e lenho foram colocadas para secagem em estufa de ventilação forçada a $70 \pm 5^{\circ}\text{C}$, até alcançar peso constante. Posteriormente, este material foi triturado em moinho tipo Willey e peneirado em malha 20.

A determinação das concentrações dos nutrientes

K, Ca, Mg, Fe, Zn, Cu e Mn foi efetuada através do espectrofotômetro de absorção atômica; o fósforo, pelo método vanádio molibidato de amônia e, o nitrogênio, pelo método do Micro Kjeldahl, conforme SARRUGE e HAAG (1974).

3.4. DETERMINAÇÃO DAS EQUAÇÕES PARA ESTIMATIVA DE BIOMASSA ARBÓREA

Após a escolha das quinze árvores para cada tratamento (conforme item 3.4.), foram obtidos os valores de peso de matéria seca (kg) para cada componente das árvores. Tais valores foram computadorizados, de maneira a fornecer equações, correlacionando-se as variáveis: diâmetro à altura do peito (D), altura (H), diâmetro à altura do peito ao quadrado vezes altura (D^2H), logarítmo neperiano do diâmetro à altura do peito ($\ln D$), logarítmo neperiano da altura ($\ln H$) e logarítmo nepe_{ri}ano do diâmetro à altura do peito ao quadrado vezes altura ($\ln D^2H$), com o peso de matéria seca de cada componente das quinze árvores de cada tratamento (Anexo 1).

Em seguida, foram escolhidas as equações que apresentaram melhor correlação entre os componentes das árvores e as variáveis com base nos coeficientes de variação e de determinação e teste F.

As melhores equações foram aplicadas na determinação de biomassa total de cada componente da árvore.

3.5. DETERMINAÇÃO DO CONTEÚDO DE NUTRIENTES NO LENHO, CASCA, GALHOS E FOLHAS

Foi determinado o conteúdo de nutrientes na biomassa do lenho, casca, galhos e folhas, multiplicando-se os valores dos teores de nutrientes encontrados no lenho, casca, galhos e folhas pelos valores de biomassa de cada componente das árvores.

3.6. ÍNDICE DE EFICIÊNCIA DE UTILIZAÇÃO DOS NUTRIENTES

Foi calculado o índice de eficiência de utilização de nutrientes em quilograma de matéria seca produzida por quilograma de nutriente utilizado, conforme os conceitos fundamentados nos trabalhos de HANSEN e BAKER (1979). Segundo estes autores, as espécies arbóreas apresentam diferente capacidade de produzir biomassa, em função dos nutrientes utilizados.

4. RESULTADOS

4.1. CARACTERÍSTICAS DENDROMÉTRICAS DAS PARCELAS EXPERIMENTAIS

A Tabela 2 apresenta os dados referentes à altura, diâmetro, sobrevivência, volume cilíndrico, fator de forma, volume real, porcentagem de casca, densidade básica da madeira, superfície foliar e índice de área foliar das árvores de *Liquidambar styraciflua* e *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, nas parcelas puras e mistas.

Considerando os dados apresentados nas parcelas puras, as árvores de *Liquidambar* apresentaram valores significativamente maiores em altura média e densidade básica, quando comparadas com as árvores de *Pinus*.

Nas parcelas mistas, foi observado que as arvo-

TABELA 2. Características dendrométricas das parcelas puras e mistas de *Liquidambar styraciflua* e *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. (aos 10 anos de idade).

Parcelas	Espécies	Nº de arvz/ha	Altura média (m)	Diâmetro médio (cm)	Sobrev. (%)	Vol. cilínd. (m³/ha)	Fator de forma	Vol. real (m³/ha)	Casca (%)	Densidade basal (g/cm³)	Superf. foliar (m²/ha)	I.A.F. (m²/m²)	Superf. foliar (m²/arvz.)
Puras	<i>Liquidambar</i>	1.834	16,42	12,27	91,7	508,7	0,42	216,65	12,81	0,489a	31.885	3,2	17,39
	<i>Pinus</i>	1.834	13,72	15,35	91,7	667,9	0,43	287,20	26,69	0,374 b	125.353	12,5	68,35
Mistas	<i>Liquidambar</i>	958	17,30	14,34	95,8	445,4	0,42	187,07	10,96	0,504a	40.046	4,0	41,80
	<i>Pinus</i>	792	14,35	12,01	79,2	153,5	0,48	70,61	25,65	0,372 b	13.748	1,4	17,36
		1.750	16,01	13,29	87,5	598,9	0,45	257,68	18,30	0,438	53.794	5,4	30,74

⁹Valores seguidos pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a nível de 5% de probabilidade.-

res de *Liquidambar* apresentaram acréscimos nos valores de altura média, diâmetro médio, porcentagem de sobrevivência, densidade básica e superfície foliar, em relação às árvores nas parcelas puras; as árvores de *Pinus*, nas parcelas mistas apresentaram acréscimos na altura média, fator de forma e porcentagem de casca, em relação às parcelas puras.

Salienta-se, ainda, que as parcelas puras apresentaram volumes reais de 216,65 e 287,20 m³/ha, respectivamente para as árvores de *Liquidambar* e *Pinus*, ambas com 91,7% de sobrevivência.

Nas parcelas mistas, as árvores, apresentaram uma sobrevivência de 87,5% e um volume real de 257,68 m³/ha. Todavia, as árvores de *Liquidambar* contribuíram com 187,07 m³/ha do total produzido, ou seja, 72,6%.

Foi observado que o índice de área foliar para as duas espécies foi sensivelmente afetado pelo plantio misto. As árvores de *Pinus*, quando plantadas em parcelas mistas, apresentaram um decréscimo de 3,9 vezes na superfície foliar individual; as árvores de *Liquidambar* em parcelas mistas apresentaram um acréscimo individual de 2,4 vezes em relação às árvores em parcelas puras.

4.2. CONCENTRAÇÕES MÉDIAS DE NUTRIENTES NOS COMPONENTES ARBÓREOS

4.2.1. CONCENTRAÇÃO NAS FOLHAS

As concentrações médias de nutrientes nas folhas são apresentadas na Tabela 3.

Tanto em parcelas puras como em parcelas mistas as árvores de *Liquidambar* apresentaram maiores concentrações de N, P, Ca, Mg, Fe, Cu e Mn, com diferenças significativas, quando comparadas com as árvores de *Pinus*.

O plantio misto não afetou significativamente a concentração de nutrientes nas folhas de ambas espécies, exceto para o Fe, nas árvores de *Pinus*, e Mn, nas árvores de *Liquidambar*, que diferiram significativamente entre as parcelas puras e mistas.

4.2.2. CONCENTRAÇÃO NOS GALHOS

As concentrações médias de nutrientes nos galhos são apresentadas na Tabela 4.

As árvores de *Liquidambar* apresentaram maiores concentrações de P, K, Ca, Mg, Cu, Mn e Zn, em relação às árvores de *Pinus*, tanto nas parcelas puras, como nas parcelas mistas; as concentrações de Fe, entretanto, nos galhos das árvores de *Pinus*, foram notadamente superiores às concentrações ob

TABELA 3. Concentrações médias de nutrientes nas folhas das árvores de *Liquidambar styraciflua* e *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, em parcelas puras e mistas.

Parcelas	Espécie	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Cu	Mn	Zn
		----- % ----- ppm -----								
Puras	<i>Liquidambar</i>	1,872 a	0,090 a	0,513 a	0,441 a	0,243 a	140,0 a	18,3 a	916,7 a	15,3 b
	<i>Pinus</i>	1,255 b	0,061 b	0,563 a	0,191 b	0,085 b	73,3 b	5,0 b	814,0 c	24,0 a
Mistas	<i>Liquidambar</i>	1,825 a	0,097	0,500 a	0,481 a	0,255 a	157,3 a	31,3 a	700,0 b	16,7 b
	<i>Pinus</i>	1,181 b	0,065 b	0,507 a	0,163 b	0,108 b	152,3 a	5,3 b	250,7 c	27,0 a
F		73,51**	16,63**	1,35**	80,57**	49,47**	13,04**	69,89**	53,75**	12,71**
DMS (Tukey 5%)		0,38	0,18	0,37	0,38	0,33	40,47	3,84	176,18	5,94
CV		5,53	11,14	9,36	12,81	14,67	31,97	31,71	34,97	29,56

- Valores seguidos da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a nível de 5% de probabilidade.

TABELA 4. Concentrações médias de nutrientes nos galhos das árvores de *Liquidambar styraciflua* e *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, em parcelas puras e mistas.

Parcelas	Espécie	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Cu	Mn	Zn
		----- % ----- ppm -----								
Puras	<i>Liquidambar</i>	0,319 a	0,022 a	0,249 a	0,248 a	0,071 a	26,0 a	9,0 b	161,0 a	18,0 a
	<i>Pinus</i>	0,332 a	0,021 a	0,165 b	0,167 b	0,054 b	118,0 b	5,0 c	115,0 ab	11,7 b
Mistas	<i>Liquidambar</i>	0,269 b	0,021 a	0,233 a	0,211 ab	0,063 ab	12,3 a	14,0 a	91,0 b	18,7 a
	<i>Pinus</i>	0,307 b	0,018 b	0,137 c	0,136 c	0,059 c	101,3 b	5,0 c	115,3 ab	10,3 b
F		15,99**	34,82**	188,60**	37,59**	85,78**	45,03**	29,48**	2,78*	7,08**
DMS (Tukey 5%)		0,25	0,10	0,23	0,36	0,13	29,61	2,95	66,19	6,03
CV		8,33	14,23	10,81	16,03	10,65	47,47	36,94	56,65	42,44

* Valores seguidos da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a nível de 5% de probabilidade.

servadas nas árvores de *Liquidambar*.

Foi observado, ainda, um acréscimo acentuado na concentração de Mn, nos galhos das árvores de *Liquidambar* nas parcelas puras, em relação às parcelas mistas.

4.2.3. CONCENTRAÇÃO NA CASCA

As concentrações médias de nutrientes na casca são apresentadas na Tabela 5.

Foi observado, tanto nas parcelas puras como nas parcelas mistas, que as concentrações de N, P, K, Ca, Mg, Cu, Mn e Zn, na casca, foram maiores nas árvores de *Liquidambar* diferindo, significativamente, das concentrações dos mesmos elementos nas árvores de *Pinus*.

As concentrações de K, Ca e Mn, na casca, das árvores das parcelas mistas de *Liquidambar* foram significativamente superiores em relação às parcelas puras.

4.2.4. CONCENTRAÇÃO NO LENHO

Na Tabela 6 são apresentadas as concentrações médias de nutrientes no lenho das árvores de *Liquidambar* e *Pinus* em parcelas puras e mistas.

As concentrações de todos os nutrientes no le-

TABELA 5. Concentrações médias de nutrientes na casca das árvores de *Liquidambar styraciflua* e *Pinus caribaea* var. *hondunensis*, em parcelas puras e mistas.

Parcelas	Espécie	N	P	K	Ca	Mn	Fe	Cu	Mn	Zn
		----- % -----				----- ppm -----				
Puras	<i>Liquidambar</i>	0,446 a	0,034 a	0,387 b	0,533 b	0,124 a	292,0 a	19,0 a	273,3 a	41,33 a
	<i>Pinus</i>	0,236 c	0,010 c	0,039 d	0,067 d	0,017 c	169,0 b	5,0 b	24,3 c	6,7 b
Mistas	<i>Liquidambar</i>	0,459 a	0,037 a	0,528 a	0,620 a	0,118 a	276,0 a	15,0 a	450,0 b	38,0 a
	<i>Pinus</i>	0,227 b	0,018 b	0,031 c	0,069 c	0,020 b	251,7 ab	9,7 b	31,7 c	8,0 b
F		79,88**	89,02**	183,04**	375,23**	274,69**	4,64**	25,93**	226,91**	111,71**
DMS (Tukey 5%)		0,22	0,10	0,38	0,29	0,14	95,22	4,75	85,03	6,64
CV		6,77	12,33	14,46	9,82	9,26	39,79	42,14	28,60	29,20

- Valores seguidos da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a nível de 5% de probabilidade.

TABELA 6. Concentrações médias de nutrientes no lenho das árvores de *Liquidambar styraciflua* e *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, em parcelas puras e mistas.

Parcelas	Espécie	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Cu	Mn	Zn									
		----- % -----				----- ppm -----													
Puras	<i>Liquidambar</i>	0,091	b	0,008	a	0,053	a	0,055	ab	0,021	a	8,7	b	0,0	b	39,3	a	6,7	a
	<i>Pinus</i>	0,139	a	0,009	a	0,050	a	0,058	ab	0,017	a	18,7	a	18,7	a	40,3	a	5,0	a
Mistas	<i>Liquidambar</i>	0,092	b	0,007	ab	0,058	a	0,066	a	0,023	a	13,7	ab	13,7	ab	46,0	a	5,0	a
	<i>Pinus</i>	0,097	b	0,005	b	0,034	b	0,049	b	0,020	a	9,0	b	6,7	a	38,3	a	5,3	a
	F	36,7**		6,61**		17,78**		3,79*		3,07*		5,84**		21,54**		0,37 ^{ns}		1,30 ^{ns}	
	DMS (Tukey 5%)	0,12		0,09		0,13		0,15		0,10		7,30		2,69		21,07		2,61	
	CV	6,75		18,68		10,51		11,11		12,88		60,29		166,90		53,07		49,00	

- Valores seguidos da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a nível de 5% de probabilidade.

nho são, em geral, menores do que aquelas encontradas nas folhas, casca e galhos das árvores. Para os elementos N, P e K, as concentrações no lenho são, em média, respectivamente 14,6; 10,8 e 10,7 vezes mais baixas do que nas folhas.

Observa-se ainda que o lenho das árvores de *Pinus* nas parcelas puras apresenta a maior concentração de nitrogênio.

4.3. EQUAÇÕES PARA ESTIMATIVA DA BIOMASSA ARBÓREA

Na Tabela 7 são apresentadas as equações selecionadas e os seus respectivos coeficientes de determinação (R^2) e de variação (CV) em porcentagem, teste F e seus níveis de significância, para a estimativa do peso de matéria seca dos diversos componentes das árvores de *Liquidambar styraciflua* e *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, em parcelas puras e mistas.

As equações obtidas para os diversos componentes das árvores, nas parcelas puras apresentaram coeficientes de determinação superiores a 84%, com teste F significativos a nível de 1% de probabilidade e com os coeficientes de variação variando de 7,51 a 31,27%.

Nas parcelas mistas, as equações apresentaram uma amplitude do coeficiente de determinação com valores entre 60 e 90%, com os testes F significativos a nível de 1% de probabilidade. A equação para estimativa da biomassa dos galhos

TABELA 7. Equações selecionadas para a estimativa do peso de matéria seca dos diversos componentes arbóreos.

Parcelas	Espécie	Componente	Equação	R ²	CV	F	Sign.
Puras	<i>L. styraciflua</i>	lenho	$Y = 1,17962 + 0,01436 D^2 H$	98,08	9,78	665,66	**
Puras	<i>L. styraciflua</i>	casca	$\ln Y = - 6,59644 + 0,00690 \ln D^2 H$	98,14	11,17	687,58	**
Puras	<i>L. styraciflua</i>	galho	$\ln Y = 1,06014 + 0,08512 D$	84,82	7,51	72,65	**
Puras	<i>L. styraciflua</i>	folha	$Y = - 0,23843 + 0,0068 D^2 H$	86,68	31,27	84,62	**
Puras	<i>P. caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	lenho	$Y = - 3,95328 + 0,01141 D^2 H$	98,15	15,29	689,29	**
Puras	<i>P. caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	casca	$Y = 0,28446 + 0,00216 D^2 H$	97,97	14,04	628,96	**
Puras	<i>P. caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	galho	$Y = 1,15245 + 0,00125 D^2 H$	92,36	23,36	157,25	**
Puras	<i>P. caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	lenho	$Y = - 0,95948 + 0,00147 D^2 H$	96,05	27,77	316,21	**
Mistas	<i>L. styraciflua</i>	casca	$\ln Y = - 4,26256 + 1,00534 \ln D^2 H$	90,74	2,24	127,35	**
Mistas	<i>L. styraciflua</i>	galho	$\ln Y = 1,34865 + 0,00014 D^2 H$	73,43	5,95	35,93	**
Mistas	<i>L. styraciflua</i>	lenho	$\ln Y = 0,06672 + 0,15420 D$	68,01	8,27	27,63	**
Mistas	<i>L. styraciflua</i>	casca	$\ln Y = 0,24073 + 0,00018 D^2 H$	60,84	17,81	20,19	**
Mistas	<i>P. caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	galho	$Y = - 4,08173 + 0,01258 D^2 H$	94,14	12,19	208,27	**
Mistas	<i>P. caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	lenho	$\ln Y = - 5,62539 + 0,93189 \ln D^2 H$	87,26	10,49	89,01	**
Mistas	<i>P. caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	casca	$Y = - 0,52336 + 0,33780 D$	33,08	26,47	6,43	*
Mistas	<i>P. caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	galho	$Y = - 1,22299 + 0,00116 D^2 H$	81,89	38,89	58,78	**

$\ln$ = logaritmo neperiano; Y = peso de matéria seca; D = diâmetro a altura de 1,30 m; H = altura total da planta

* - significância a nível de 5% de probabilidade

** - significância a nível de 1% de probabilidade.

das árvores de *Pinus*, entretanto, apresentou um coeficiente de determinação de 33,08% com teste F significativo a nível de 5% de probabilidade. Os coeficientes de variação foram considerados baixos, salvo para as equações para estimativa dos galhos e folhas das árvores de *Pinus*, que apresentaram, respectivamente, valores de 26,47 e 38,89%.

4.4. DISTRIBUIÇÃO DA BIOMASSA NOS DIVERSOS COMPONENTES ARBOREOS ACIMA DO SOLO

A Tabela 8 mostra a biomassa seca encontrada nos diversos componentes das árvores de *Liquidambar* e *Pinus*, em parcelas puras e mistas.

Nas árvores de *Liquidambar*, em parcelas puras, a biomassa em cada componente foi distribuída na seguinte ordem decrescente: lenho (76,1%), galho (14,8%), casca (6,8%) e folhas (2,3%); nas árvores de *Pinus*, a distribuição de biomassa foi lenho (67,8%), casca (14,4%), galhos (9,7%) e folhas (8,1%); em parcelas mistas as árvores de ambas as espécies mantiveram a mesma ordem decrescente, porém, com variações em relação às porcentagens de biomassa.

Nas parcelas mistas foi verificado um grande aumento na biomassa das folhas de *Liquidambar*, em relação as árvores em parcelas puras. Todavia, as árvores de *Pinus* foram dominadas e sofreram drástica redução na biomassa de suas copas.

TABELA 8. Biomassa seca dos diversos componentes das árvores de *Liquidambar styraciflua* e *Pinus caribaea* var. *hondunensis* em parcelas puras e mistas, e suas respectivas porcentagens em relação à biomassa total. (aos 10 anos de idade).

Parcelas	Espécie	Biomassa Seca (t/ha)						
		Lenho	Casca	Tronco	Galho	Folha	Copa	Total
Puras	<i>Liquidambar</i> %	96,8	8,6	105,4	18,9	2,9	21,8	127,2
		76,1	6,8	82,9	14,8	2,3	17,1	100
	<i>Pinus</i> %	90,7	19,2	109,9	13,0	10,8	23,8	133,7
		67,8	14,4	82,2	9,7	8,1	17,8	100
Mistas	<i>Liquidambar</i> %	83,5	9,8	93,3	16,6	4,2	20,8	114,1
		73,2	8,6	81,8	14,5	3,7	18,2	100
	<i>Pinus</i> %	21,2	4,1	25,3	2,9	1,2	4,1	29,4
		72,1	13,9	86,0	9,9	4,1	14,0	100
	<i>Liquidambar</i> <i>Pinus</i> %	104,7	13,9	118,6	19,5	5,4	24,9	143,5
		73,0	9,7	82,7	13,6	3,7	17,3	100

As parcelas puras de *Liquidambar* e *Pinus* produziram respectivamente 127,2 e 133,7 t/ha de matéria seca total, enquanto que nas parcelas mistas, foi registrada uma produção de 143,5 t/ha. Nestas, entretanto, as árvores de *Liquidambar* contribuíram com 114,1 t/ha do total produzido representando 79,5%.

4.5. CONTEÚDO DE NUTRIENTES NOS DIVERSOS COMPONENTES DAS ÁRVORES DE *Liquidambar* E *Pinus* EM PARCELAS PURAS E MISTAS

O conteúdo de nutrientes nos diversos componentes das árvores de *Liquidambar*, em parcelas puras, é apresentado na Tabela 9. A maior quantidade de biomassa e nutrientes estava contida no lenho (76,1%), seguida de galhos (14,8%), casca (6,8%) e folhas (2,3%). O nitrogênio é o elemento que mais se acumulou nos diversos componentes, exceto na casca, onde o cálcio se apresentou em maior quantidade (45,8 kg/ha), em relação aos demais nutrientes.

O conteúdo de nutrientes na biomassa dos diversos componentes das árvores que compõem parcelas puras de *Pinus* apresentado na Tabela 10, revela que o lenho apresenta 67,8% da biomassa arbórea seca, seguido de casca > galhos > folhas. O nitrogênio foi o nutriente que mais se acumulou em cada componente, ressaltando, porém, que as folhas, com apenas 8,1% da biomassa total, acumularam 135,5 kg/ha de N, o que representa 38,7% do total contido nas árvores.

TABELA 9. Biomassa seca (t/ha) e conteúdo de nutrientes (kg/ha) nos diversos componentes das árvores de *Liquidambar styraciflua* em parcelas puras e suas respectivas porcentagens em relação a biomassa total.

Componente árboreo	Biomassa t/ha	N	P	K	Ca	Mg	Total
		----- kg/ha -----					-----
Lenho	96,8	88,1	7,7	50,3	53,2	20,3	219,6
%	76,1	36,5	44,3	34,6	33,5	39,5	35,8
Casca	8,6	38,4	2,9	33,3	45,8	10,7	131,1
%	6,8	15,9	16,7	22,9	28,9	20,8	21,3
Tronco	105,4	126,5	10,6	83,6	99,0	31,0	350,7
%	82,9	52,4	61,0	57,5	62,4	60,3	57,1
Galho	18,9	60,3	4,2	47,1	46,9	13,4	171,9
%	14,8	25,0	24,1	32,3	29,5	26,1	28,0
Folha	2,9	54,3	2,6	14,9	12,8	7,0	91,6
%	2,3	22,5	14,9	10,2	8,1	13,6	14,9
Copa	21,8	114,6	6,8	62,0	59,7	20,4	263,5
%	17,1	47,5	39,0	42,5	37,6	39,7	42,9
Total	127,2	241,1	17,4	145,6	158,7	51,4	614,2
%	100	100	100	100	100	100	100

TABELA 10. Biomassa seca (t/ha) e conteúdo de nutrientes (kg/ha) nos diversos componentes das árvores de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* em parcelas puras e suas respectivas porcentagens em relação a biomassa total.

Componente árboreo	Biomassa t/ha	N	P	K	Ca	Mg	Total
		----- kg/ha -----					
Lenho	90,7	126,1	8,2	45,3	52,6	15,4	247,6
%	67,8	36,0	42,3	33,5	48,8	43,9	38,2
Casca	19,2	45,3	1,9	7,5	12,9	3,3	70,9
%	14,4	13,0	9,8	5,6	12,0	9,4	11,0
Tronco	109,9	171,4	10,1	52,8	65,5	18,7	318,5
%	82,2	49,0	51,3	39,1	60,8	53,3	49,2
Galho	13,0	43,2	2,7	21,5	21,7	7,2	96,3
%	9,7	12,3	13,9	15,9	20,1	20,5	14,9
Folhas	10,0	135,5	6,6	60,8	20,6	9,2	232,7
%	8,1	38,7	34,0	45,0	19,6	26,2	35,9
Copa	23,8	178,7	9,3	82,3	42,3	16,4	329,0
%	17,8	61,0	47,9	60,9	39,2	46,7	50,8
Total	133,7	350,1	19,4	135,1	107,8	35,1	647,5
%	100	100	100	100	100	100	100

A Tabela 11 permite verificar que as árvores de *Liquidambar* e *Pinus* que compõe as parcelas mistas produziram 143,5 t/ha de biomassa seca, onde as árvores de *Liquidambar* contribuíram com 79,5% deste total. O nitrogênio foi o nutriente que mais se acumulou em todos os componentes das árvores, exceto na casca da *Liquidambar* onde o nutriente que mais se acumulou foi o cálcio, também, observado nas parcelas puras desta espécie.

4.6. ÍNDICE DE EFICIÊNCIA DE UTILIZAÇÃO DOS NUTRIENTES

Na Tabela 12 é apresentada a produção de matéria seca do tronco por quilograma de cada macroelemento retido na biomassa das árvores de *Liquidambar* e *Pinus*, em parcelas puras e mistas.

TABELA 11. Biomassa seca (t/ha) e conteúdo de nutrientes (kg/ha) nos diversos componentes das árvores de *Liquidambar styraciflua* e *Pinus caribaea* var. *hondurensis* em parcelas mistas.

Espécie	Componente arbóreo	Biomassa t/ha	----- kg/ha -----					Total
			N	P	K	Ca	Mg	
<i>Liquidambar</i>	Lenho	83,5	76,8	5,8	48,4	55,1	19,2	205,3
	%	73,2	31,6	34,1	30,3	32,2	36,9	31,9
	Casca	9,8	45,0	3,6	51,7	60,8	11,6	172,7
	%	8,6	18,5	21,2	32,4	35,5	22,3	26,9
	Tronco	93,3	121,8	9,4	100,1	115,9	30,8	378,0
	%	81,8	50,1	55,3	62,7	67,7	59,2	58,8
	Galho	16,6	44,6	3,5	38,7	35,0	10,5	132,3
	%	14,5	18,4	20,6	24,2	20,5	20,2	20,6
	Folha	4,2	76,6	4,1	21,0	20,2	10,7	132,6
	%	3,7	31,5	24,1	13,1	11,8	20,6	20,6
	Copa	20,8	121,2	7,6	59,7	55,2	21,2	264,9
	%	18,2	49,9	44,7	37,3	32,3	40,8	41,2
Total		114,1	243,0	17,0	159,8	171,1	52,0	642,9
		100	100	100	100	100	100	100

TABELA 11. (continuação)

Espécie	Componente arbóreo	Biomassa t/ha	kg/ha					Total
			N	P	K	Ca	Mg	
<i>Pinus</i>	Lenho %	21,2	20,6	1,1	7,2	10,4	4,2	43,5
		72,1	38,9	35,5	38,7	54,4	52,5	42,7
	Casca %	4,1	9,3	0,7	1,3	2,8	0,8	14,9
		13,9	17,5	22,6	7,0	14,7	10,0	14,6
	Tronco %	25,3	29,9	1,8	8,5	13,2	5,0	58,4
		86,0	56,4	68,1	45,7	69,1	62,5	57,4
	Galho %	2,9	8,9	0,5	4,0	3,9	1,7	19,0
		9,9	16,8	16,1	21,5	20,4	21,3	18,6
	Folha %	1,2	14,2	0,8	6,1	2,0	1,3	24,4
		4,1	26,8	25,8	32,8	10,5	16,2	24,0
	Copa %	4,1	23,1	1,3	10,1	5,9	3,0	43,4
		14,0	43,6	41,9	54,3	30,9	37,5	42,6
	Total %	29,4 100	53,0 100	3,1 100	18,6 100	19,1 100	8,0 100	102,8 100

TABELA 11. (continuação)

Espécie	Componente arbóreo	Biomassa t/ha	kg/ha					Total
			N	P	K	Ca	Mg	
<i>Liquidambar</i> e	Lenho	104,7	97,4	6,9	55,6	65,5	23,4	248,8
	%	73,0	32,9	34,3	31,2	34,4	39,0	33,4
<i>Pinus</i>	Casca	13,9	54,3	4,3	53,0	63,6	12,4	187,6
	%	9,7	18,3	21,4	29,7	33,4	20,7	25,2
	Tronco	118,6	151,7	11,2	108,6	129,1	35,8	436,4
	%	82,7	51,1	55,7	60,9	67,8	59,7	58,6
	Galho	19,5	53,5	4,0	42,7	38,9	12,2	151,3
	%	13,6	18,1	19,9	23,9	20,5	20,3	20,3
	Folha	5,4	90,8	4,9	27,1	22,2	12,0	157,0
	%	3,7	30,7	24,4	15,2	11,7	20,0	21,1
	Copa	24,9	144,3	8,9	69,8	61,1	24,2	308,3
	%	17,3	48,8	44,3	39,1	32,2	40,3	41,4
Total		143,5	296,0	20,1	178,4	190,2	60,0	744,7
		100	100	100	100	100	100	100

TABELA 12. Índice de eficiência de utilização de nutrientes para produção de biomassa seca dos troncos (lenho + casca) das árvores de *Liquidambar styraciflua* e *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, em parcelas puras e mistas.

Parcelas	Espécie	kg de biomassa/kg de nutriente utilizado.				
		N	P	K	Ca	Mg
Puras	<i>Liquidambar</i>	833	9.943	1.261	1.065	3.400
	<i>Pinus</i>	641	10.881	2.081	1.678	5.877
Mistas	<i>Liquidambar</i>	766	9.925	932	805	3.029
	<i>Pinus</i>	846	14.055	2.976	1.917	5.060
<i>Liquidambar e Pinus</i>		782	10.589	1.092	919	3.313

Conforme a Tabela 12, pode-se observar que as árvores de *Pinus*, tanto em parcelas puras como em parcelas mistas, apresentam maior eficiência na utilização dos nutrientes, Fósforo, Potássio, Cálcio e Magnésio. No caso do nitrogênio, a *Liquidambar styraciflua* em parcelas puras, mostrou-se mais eficiente do que o *Pinus*.

5. DISCUSSÃO

5.1. CARACTERÍSTICAS DENDROMÉTRICAS DAS PARCELAS PURAS E MISTAS DE *Liquidambar* E *Pinus*

O *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, pela sua boa adaptabilidade na região tropical do Brasil, vem sendo uma das coníferas mais utilizadas nos reflorestamentos.

A *Liquidambar styraciflua* vem apresentando bom desenvolvimento nos talhões plantados pela CAFMA, na região de Agudos-SP. Entretanto, a confirmação deste resultado poderá ser obtida através da introdução orientada de novos materiais da região de ocorrência natural da mesma.

Os resultados obtidos na Tabela 2 mostram a su-

perioridade das árvores de *Pinus* plantadas em parcelas puras, que apresentaram um volume cilíndrico de 667,9 m³/ha, possuindo, entretanto, uma elevada porcentagem de casca (26,6%). Estes resultados aproximam-se aos observados por NICOLIELO (1984), em talhões da mesma espécie, aos onze anos de idade, instalados na mesma região.

Em parcelas mistas, as árvores de *Pinus* foram dominadas pelas árvores de *Liquidambar*. O decréscimo foi comprovado na diminuição da porcentagem de sobrevivência, aumento no fator de forma e a drástica redução da superfície foliar, com uma conseqüente redução do volume produzido. Normalmente, as árvores que vivem dentro de um povoamento estão continuamente em competição por luz, água e sais minerais.

A eficiência das plantas em aproveitar a energia solar para o seu crescimento varia segundo as características da espécie e sua adaptabilidade às condições do meio, naturalmente afetada pelas práticas de manejo utilizadas em seu cultivo. Estes fatores regulam o crescimento da superfície fotossintética; na realidade, é este parâmetro que mais se relaciona com a capacidade de aproveitamento da energia solar. ALVIN (1975) comenta que a produtividade bruta de uma comunidade vegetal segue a mesma curva do índice de área foliar, que varia conforme a espécie.

A Tabela 2 mostra que, nas árvores de *Pinus* em parcelas mistas, houve uma redução da superfície foliar, juntamente com um decréscimo em diâmetro e volume real, quando comparadas com as árvores em parcelas puras. Para as árvores de

Liquidambar, entretanto, o plantio misto favoreceu o crescimento, de maneira geral. Esta tabela mostra ainda, que as árvores de *Liquidambar* e *Pinus*, em parcelas puras, apresentaram índices de área foliar (IAF) respectivamente de 3,2 e 12,5 m²/m², valores estes que estão dentro dos padrões descritos por Woodwell e Whittaker, citados por LAAR (1983), para as espécies de folhosas e coníferas.

PEARSON *et alii* (1983) afirmam que a área basal é uma das variáveis que mais se relacionam com a superfície foliar. KRAMER e KOZLOWSKI (1972) afirmam que o crescimento do tronco está relacionado com a dimensão da copa. Assim sendo, as árvores com grandes copas crescem normalmente mais do que as árvores de copas pequenas. Esta condição pode ser observada na Figura 2, onde se relaciona o DAP com a superfície das copas das árvores plantadas nas diferentes parcelas.

Vale ressaltar que de acordo com a Tabela 2, as árvores de *Pinus* em parcelas puras apresentaram um elevado IAF (12,5 m²/m²). Este índice pode ser explicado observando os gráficos das Figuras 2 e 3. Na Figura 2, nota-se que o coeficiente de regressão, que relaciona o diâmetro das árvores com a superfície foliar nas parcelas de *Pinus* plantadas em parcelas puras, é o mais elevado (9,19). Através da Figura 3 observou-se ainda que 55% das árvores das parcelas de *Pinus* apresentaram seus diâmetros incluídos em quatro classes situadas acima da média. Como resultado temos o elevado índice de área foliar

FIGURA 2. Representação gráfica das equações das regressões correlacionando o DAP (X), versus a superfície foliar (Y) das árvores de *Liquidambar styraciflua* e *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, plantadas em parcelas puras e mistas.

que caracteriza as parcelas puras de *Pinus*.

Ainda através da Tabela 2, observa-se que nas parcelas mistas de *Liquidambar* e *Pinus*, as árvores de *Pinus* apresentaram um baixo IAF ($1,4 \text{ m}^2/\text{m}^2$), aproximadamente, 9 vezes menor em relação às árvores de *Pinus* de parcelas puras. Este baixo IAF é resultado da forte competição exercida pelas árvores de *Liquidambar* que se tornaram dominantes, reduzindo o coeficiente de regressão para o *Pinus* (6,91) - conforme mostra a Figura 2 - e eliminaram as duas maiores classes de diâmetro das árvores de *Pinus*, conforme mostra a Figura 3.

Quanto as árvores de *Liquidambar* em parcelas mistas, verifica-se na Tabela 2 que o IAF passou de $3,2 \text{ m}^2/\text{m}^2$ para $4,0 \text{ m}^2/\text{m}^2$ em relação as parcelas puras. De acordo com o gráfico da Figura 2, isto pode ser explicado pelo aumento do coeficiente de regressão observado na equação que relaciona o diâmetro com superfície foliar das árvores de *Liquidambar* plantadas em parcelas mistas (4,14) em relação ao coeficiente de regressão da equação referente às árvores de *Liquidambar* plantadas em parcelas puras (2,97). Observa-se também que o plantio misto de *Liquidambar* com *Pinus* proporcionou o maior crescimento dos troncos das árvores dominantes de *Liquidambar*, dando origem a duas novas classes de diâmetro, incluindo as árvores com diâmetro de 21 a 25 cm (Figura 3).

No tocante à densidade básica da madeira, não se constatarem alterações significativas entre as parcelas pu-

FIGURA 3. Porcentagens de árvores distribuídas entre diferentes classes de diâmetro (DAP) nas parcelas puras e mistas de *Liquidambar styraciflua* e *Pinus caribaea* var. *hondurensis*.

* classe diamétrica que inclui o DAP médio de cada parcela.-

ras e mistas para a mesma espécie, apesar das mudanças nos padrões de crescimento. Isto é um assunto que tem sido discutido por diversos autores, gerando, às vezes, opiniões divergentes.

FERREIRA (1970) observou que as árvores mais vigorosas de *E. grandis* têm, em média, uma densidade básica maior do que as árvores menos vigorosas; porém, são observadas grandes variações individuais.

Mitchell, citado por SILVA (1984), afirma que, em geral, as árvores dominantes jovens, que possuem grandes copas, produzem maior proporção de madeira juvenil, fazendo com que a sua densidade seja menor; ao contrário, as árvores, nos talhões densos cujas copas são menores, incluídas as árvores suprimidas, produzem uma maior densidade.

BUIJTENEN (1969) afirma que, para algumas espécies do gênero *Pinus*, o ritmo de crescimento e o peso específico encontram-se negativamente correlacionados. ELLIOT (1970) afirma que as divergências das correlações entre o ritmo de crescimento e a densidade de madeira devem ser, dentre outros fatores, atribuídas à disponibilidade de água associada ao grau de competição entre as árvores.

Neste trabalho, foram obtidas diversas equações de regressão, associando a densidade básica da madeira com as características de crescimento (Anexo 2). Após terem sido testadas, observou-se que não existe qualquer correlação entre a densidade básica da madeira e o crescimento da superfície fo-

liar, diâmetro e altura das árvores nos diversos tratamentos.

Ressalta-se, todavia, que as árvores utilizadas neste trabalho devem ser consideradas como jovens e, conseqüentemente, os valores observados devem ser encarados com reservas. Avaliações, em fases mais adiantadas de crescimento, seriam importantes para verificar possíveis alterações que venham a ocorrer nestes resultados.

5.2. CONCENTRAÇÃO DE NUTRIENTES NOS DIVERSOS COMPONENTES ARBÓREOS

As concentrações de nutrientes nos componentes das árvores, em plantios puros e mistos, não é um assunto amplamente estudado, tanto no aspecto econômico como no fisiológico e ecológico. Poucos são os trabalhos que enfocam este aspecto na consorciação de culturas agrícolas e, quase inexistentes no setor florestal.

Os resultados das Tabelas 3, 4, 5 e 6 revelam que as folhas, de modo geral, apresentaram as maiores concentrações para todos os nutrientes exceto o cálcio que apresentou maior concentração na casca das árvores de *Liquidambar*. No caso do nitrogênio, por exemplo, as folhas das árvores de *Liquidambar* e *Pinus*, apresentaram, respectivamente, concentrações médias de 20,2 e 10,6 vezes superiores às do lenho. A elevada concentração de nutrientes na biomassa das folhas torna

este componente um grande reservatório, apesar de representar uma pequena porcentagem em relação à biomassa total.

Segundo KRAMER e KOZLOWSKI (1972), as mais altas concentrações de nutrientes encontram-se nas copas (folhas e galhos), pois nesta região é que se localizam a maioria das células vivas, que tendem a acumular maiores quantidades de nutrientes, em função dos processos de transpiração e fotossíntese.

Rennie e Ovington, citados por KRAMER e KOZLOWSKI (1972), afirmam que as coníferas apresentam menores concentrações de nutrientes do que as folhosas. Os resultados obtidos no presente trabalho (Tabelas 3, 4, 5 e 6) confirmam tais observações, o que leva a crer que as coníferas têm menores exigências minerais do que as folhosas.

POGGIANI (1985) observou que as árvores de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e *Pinus oocarpa* acumulam menores quantidades de nutrientes em relação às árvores de *E. saligna*, em virtude das características do ciclo biogeoquímico próprio de cada espécie.

A concentração de macronutrientes nos diversos componentes das árvores de *Liquidambar* obedeceu à seguinte ordem decrescente: folhas > casca > galhos > lenho. Os resultados estão de acordo com os obtidos por SILVA (1983), em diversas espécies de *Eucalyptus*, plantadas em Itirapina, Estado de São Paulo. Para as árvores de *Pinus*, a ordem decrescente foi: folhas > galhos > casca > lenho; a mesma ordem foi observada

por CASTRO (1984), em *Pinus oocarpa*, em diferentes idades.

De um modo geral, constatou-se que o plantio misto não afetou a concentração dos macronutrientes nos diversos componentes das árvores de *Liquidambar*, salvo uma pequena redução do nitrogênio nos galhos e o aumento significativo do potássio e cálcio na casca; nas árvores de *Pinus* houve um aumento nas concentrações de Mg nos galhos, P, Ca e Mg, na casca, enquanto para os demais elementos contidos nestes componentes observou-se um decréscimo (Tabelas 3, 4, 5 e 6).

As variações observadas nas concentrações de nutrientes podem, provavelmente, ser explicadas pelas alterações ocorridas nas atividades metabólicas, em virtude da competição interespecífica. As modificações na intensidade luminosa podem alterar a morfologia das árvores, afetando o seu crescimento (KRAMER e KOZLOWSKI, 1972). Entretanto, é difícil discernir os efeitos diretos e indiretos dos fatores do meio sobre os processos fisiológicos que afetam o crescimento das árvores. Por exemplo, o excesso ou déficit de água pode reduzir diretamente o crescimento e mesmo, indiretamente, interferir na absorção mineral.

Do ponto de vista de ciclagem de nutrientes a associação de folhosas e coníferas permite uma decomposição mais rápida do folheto, proporcionando maior disponibilidade de nutrientes, em idade mais jovem, em relação às coníferas em plantios puros (MASON, 1980). Dessa forma, os teores mais elevados de P, Ca e Mg encontrados em alguns componentes das árvores de

Pinus, nas parcelas mistas, talvez se devam à maior disponibilidade destes elementos em função do processo de decomposição mais rápida.

5.3. BIOMASSA E CONTEUDO DE NUTRIENTES NOS DIVERSOS COMPONENTES ARBOREOS

CURLIN (1970) assinala que, geralmente, a parte aérea das árvores tem sua biomassa distribuída entre os diversos componentes, na seguinte ordem: lenho > galhos > casca > folhas.

Nas árvores de *Pinus*, devido à alta porcentagem de casca, a biomassa alocada neste componente foi superior à biomassa dos galhos. Isto também foi observado por CASTRO (1984) em talhões de *Pinus oocarpa*, com diferentes idades, plantados em Agudos-SP.

A biomassa produzida pelas árvores de *Pinus*, em parcelas puras, foi de 133,7 t/ha, enquanto nas parcelas mistas foi de 29,4 t/ha, o que representa uma redução de 78%. Em termos de nutrientes, esta redução na biomassa representa uma quantia de 544,7 kg/ha correspondendo a 84%, o que teoricamente estaria disponível para outras espécies no caso de plantios mistos.

Por outro lado, a biomassa produzida pela *Liquidambar* em parcelas puras foi de 127,2 t/ha e nas parcelas

mistas foi de 114,1 t/ha, representando uma diferença da ordem de 10,3%. Porém, para a quantidade de nutrientes acumulada na biomassa total, verificou-se um acréscimo das parcelas puras para as mistas de 4,7%, passando de 614,2 kg/ha para 642,9 kg/ha. Pode-se pressupor que esta elevação no conteúdo dos nutrientes, ao contrário do que ocorreu com o *Pinus*, seja devido a uma maior disponibilidade dos nutrientes, como consequência da associação das duas espécies.

A *Liquidambar styraciflua*, embora tenha sua ocorrência natural principalmente nas regiões subtropicais, tem se revelado muito promissora nos países tropicais. A sua excelente adaptabilidade tem sido revelada pelo ótimo crescimento e grande produção de biomassa. Os índices de produção de biomassa já conseguidos no Brasil tanto em parcelas puras como em parcelas mistas na proporção 1:1, são em muito, superiores aos índices registrados por Backer nos Estados Unidos da América (18 t/ha de biomassa lenhosa), citado por HANSEN & BAKER(1979).

O conteúdo de nutrientes nos diversos componentes arbóreos aumenta com o acúmulo de biomassa (Tabelas 9, 10 e 11). Todavia, este acúmulo de nutrientes não é estritamente proporcional à biomassa, pois a razão de nutrientes/ biomassa varia entre as espécies quando plantadas em parcelas puras ou mistas, conforme relatado acima. Em parcelas puras de *Liquidambar* e *Pinus* foram estimados 4,8 quilogramas de nutrientes (N, P, K, Ca e Mg) para cada tonelada de biomassa produzida. Para as parcelas mistas, entretanto, esta relação aumenta para 5,6 nas árvores de *Liquidambar*, e diminui para 3,4 nas árvores de *Pinus*.

Nas parcelas mistas de *Liquidambar* a elevação da relação nutriente/biomassa foi devido à redução da biomassa do tronco e aumento da concentração de nutrientes neste componente, enquanto que, para o *Pinus*, a redução no valor dessa relação foi devido a uma queda mais do que proporcional no conteúdo de nutrientes em relação à biomassa, tanto no tronco como da copa.

Os troncos das árvores de *Liquidambar* e *Pinus* representaram, respectivamente, nas parcelas puras 82,5 e 82,2% e nas mistas 81,8 e 86,0% da biomassa total. O conteúdo dos nutrientes não ultrapassou 58,8% do total de biomassa do tronco para as árvores de *Liquidambar* e 57,4% para as árvores de *Pinus*. Este fato aliado à biomassa do tronco em relação a biomassa total, evidencia que, em caso de exploração, deveriam ser retirados apenas os troncos das árvores e deixados os resíduos (galhos e folhas) no campo, para que eles possam garantir uma parcial reposição dos nutrientes.

5.4. ÍNDICE DE EFICIÊNCIA DE UTILIZAÇÃO DOS NUTRIENTES

O índice de eficiência de utilização dos nutrientes é uma relação que permite verificar com qual eficiência as árvores utilizam os nutrientes, servindo portanto, de um instrumento de comparação, entre diferentes espécies e diferentes idades.

CASTRO (1984) observou que as árvores mais jovens de *Pinus oocarpa* tendem a ser menos eficientes do que as mais velhas. HANSEN e BAKER (1979) justificaram que a baixa eficiência de plantios jovens de *Populus* e *Platanus* se deve a grande produção de ramos e casca, componentes estes que possuem maiores concentrações de nutrientes. Neste estudo foi observado que as árvores de ambas as espécies utilizaram mais eficientemente os nutrientes para produção de biomassa do tronco na seguinte ordem decrescente: $P > Mg > K > Ca > N$. Observou-se, ainda, que as árvores de *Pinus*, de modo geral, foram mais eficientes que as de *Liquidambar*. As árvores de *Pinus*, plantadas em parcelas mistas apresentaram os maiores índices de eficiência para o aproveitamento do N, P e Ca (Tabela 12). Deve-se ressaltar, todavia, que estas árvores apresentaram a menor biomassa, provavelmente por estarem completamente dominadas. Neste caso, o elevado índice de eficiência revela, na verdade, um estresse nutricional, em virtude da forte competição provocada pelo crescimento mais ativo das árvores de *Liquidambar*.

Seria desejável portanto, que as comparações que envolvem os índices de eficiência das diferentes espécies arbóreas fossem estabelecidas para as culturas na sua condição máxima de desenvolvimento, ou seja, quando a competição e os fatores ambientais não se tornaram ainda limitantes para o suprimento de luz, água e nutrientes.

A seguir na Tabela 13, são apresentados dados do índice de eficiência de utilização de nutrientes das árvo-

TABELA 13. Dados comparativos referentes ao índice de eficiência de utilização dos nutrientes para produção de biomassa do tronco (lenho + casca).

Espécie	Idade Anos	Produção de Biomassa t/ha/ano	kg de biomassa/kg de nutriente					Fonte
			N	P	K	Ca	Mg	
<i>L. styraciflua</i>	10	10,5	833	9943	1269	1065	3400	Presente estudo
<i>E. grandis</i>	9	20,4	938	18545	1094	547	1845	SILVA (1983)
<i>P. canibaea</i>	10	11,0	641	10881	2081	1678	5877	Presente estudo
<i>P. oocarpa</i>	8	11,3	608	9532	1246	1367	5959	CASTRO (1984)

res de *Liquidambar* e *Pinus* obtidos nesta pesquisa, comparativamente com os dados obtidos por SILVA (1983) e CASTRO (1984), respectivamente, em plantações de *Eucalyptus grandis* e *Pinus oocarpa*, também localizadas no centro do Estado de São Paulo. Observa-se, nesta tabela, que todas as espécies apresentam seus maiores índices de eficiência em relação a utilização do fósforo e menores valores, com relação ao nitrogênio.

As árvores de *E. grandis* são notadamente mais eficientes na utilização do fósforo do que as demais espécies, apresentando um índice de eficiência de 18.545. Esta alta eficiência provavelmente favoreça a adaptação desta espécie aos solos pobres deste elemento (ATTIWILL, 1980). As árvores de *Liquidambar* são mais eficientes na utilização do K, Ca e Mg, em relação às árvores de *E. grandis*; enquanto que as árvores de *Pinus* apresentam os mais elevados índices de eficiência em relação ao K, Ca e Mg.

De maneira geral, observa-se, através da Tabela 13, que o *E. grandis* é a espécie que, nas condições ecológicas características do centro do Estado de São Paulo, apresenta a maior produção de biomassa lenhosa; todavia, tanto as espécies de *Pinus* como de *Liquidambar* apresentam uma baixa imobilização de nutrientes em seus troncos, o que as indica como adequadas para o plantio em solos ácidos e de baixa fertilidade.

6. CONCLUSÕES

A biomassa produzida pelas árvores de *Liquidambar* e *Pinus* em parcelas puras foi de, respectivamente, 127,2 e 133,7 t/ha. A biomassa total produzida nas parcelas mistas foi de 143,5 t/ha, superior às parcelas puras; porém, 79,5% desta biomassa foi produzida pelas árvores de *Liquidambar*, sendo as árvores de *Pinus* dominadas.

A biomassa arbórea nos diversos componentes das árvores de *Liquidambar* foi distribuída na seguinte ordem decrescente: lenho > galho > casca > folhas; nas árvores de *Pinus*, a distribuição foi lenho > casca > galhos > folhas.

O plantio misto, de modo geral, pouco afetou a concentração de nutrientes nas árvores de *Liquidambar*, salvo decréscimo do N nos galhos e o acréscimo significativo do P e K na casca, com relação ao plantio puro da mesma espécie.

Nas árvores de *Pinus*, plantadas em parcelas mistas, os nutrientes P, Ca e Mg na casca, e o Mg, nos galhos, aumentaram significativamente suas concentrações quando comparadas às árvores da mesma espécie em parcelas puras. As concentrações dos demais nutrientes nos galhos, casca e lenho decresceram, em relação aos plantios puros.

O índice de área foliar (IAF) para as espécies de *Liquidambar* e *Pinus*, em parcelas puras, foi, respectivamente, 3,2 e 12,5 m²/m²; nas parcelas mistas, as mesmas espécies apresentaram, respectivamente, índices de 4,0 e 1,4 m²/m².

Os troncos das árvores de *Pinus* e *Liquidambar* representaram, respectivamente nas parcelas puras 82,5 e 82,2% e nas mistas 81,8 e 86,0% da biomassa total, enquanto o conteúdo dos nutrientes não ultrapassou 58,8% da biomassa total para *Liquidambar* e 57,4% para *Pinus*.

Em geral as árvores de *Pinus*, tanto em parcelas puras como em parcelas mistas são mais eficientes na utilização dos macronutrientes, porém, no caso do nitrogênio, as árvores de *Liquidambar*, em parcelas puras, foram mais eficientes do que as de *Pinus*.

7. LITERATURA CITADA

- ABRAHAMSON, W.G. & M. GADGIL, 1973. Growth and reproductive effect in goldenrods solidago (compositae). *American Naturalist*, Lancaster 107:651-61.
- ALVIN, P. de T. 1975. Agricultura nos trópicos úmidos: poten cialidades e limitações. Ilhéus, Centro de Pesquisas do Cau. 10p.
- ASSMANN, E. 1970. *The principles of forest yield study*. Oxford, Pergamon Press, 506p.
- ATTIWILL, P.M. 1980. Energy, nutrient flow and biomass. In: AUSTRALIAN FOREST NUTRITION WORKSHOP PRODUCTIVITY IN PERPETUITY, Proceedings... Canberra, p.131-58.

- BARTOS, D.L. & R.S. JOHNSTON, 1978. Biomass and nutrient content of quaking aspen at two sites in the Western United States. *Forest Science*, Washington, 24(2):283-90.
- BARRET, W.H.G. & L. GOLFARI, 1962. Description de dos nuevas variedades del pino del Caribe. *Caribbean Forester*, Rio Piedras, 23(2):59-71.
- BELLOTE, A.F.I. 1979. Concentração e exportação de nutrientes pelo *Eucalyptus grandis* Hill (ex-Maiden) em função da idade. Piracicaba, ESALQ. 129p. Tese Mestrado.
- BILAN, M.V. 1978. Rooting of sweetgum (*Liquidambar styraciflua* L.) cuttings. Rotorua. 9p.
- BRISCOE, C.B. 1973. Sweetgum ... an american wood. Washington, USDA, Forest Service. 6p.
- BROUWER, R. 1962. Distribution of dry matter in the plant. *Netherlands Journal of Agricultural Science*, 10:361-76.
- BUIJTENEN, J.P. van. 1969. Controlling wood properties by forest management TAPPI, Atlanta, 52(2):257-9.
- BURG, J. van den. 1976. Problems related to forest soil fertility. V.1. In: IUFRO WORLD CONGRESS, 16, Oslo 1976. *Proceedings As*, IUFRO, p.148-62.

- CARPENTER Jr., B.E. & HOPKINS, W.C. 1966. Specific gravity values of sweetgum topwood and bolewood. **Forest Products Journal**, Madison, 16(7):30, jul.
- CASTRO, C.F. de A. 1984. **Distribuição da fitomassa acima do solo e nutrientes em talhões de *Pinus oocarpa* Sheiede plantados no Estado de São Paulo**. Piracicaba, ESALQ. 77p. Tese Mestrado.
- CASTRO, C.F. de A.; F. POGGIANI & N. NICOLIELO, 1980. Distribuição da fitomassa e nutrientes em talhões de *Pinus oocarpa* com diferentes idades. **IPEF**, Piracicaba, (2):61-74, jun.
- CURLIN, J.W. 1970. Nutrient cycling as a factor in site productivity and forest fertilization. In: YOUNGBERG, C.T. & C.B. DAVEY. Ed. **Tree growth and forest soils**. Oregon, Oregon State University Press. p.313-26.
- EGUNJOBI, J.K. & S.O. BADA, 1979. Biomass and nutrient distribution in stands of *Pinus caribaea* L. in the dry forest zone of Nigeria. **Biotropica**, Fairfax, 11(2):130-5, jun.
- ELLIOT, G.K. 1970. **Wood density in conifers**. Oxford, CAB. 44p. Commonwealth Forestry Bureau. Technical Communication, (8).

- EVANS, J. 1979. The effects of leaf position and leaf age in foliar analysis of *Gmelina arborea*. *Plant and Soil*, The Hague, 52(4):547-52.
- FERREIRA, M. 1970. Estudo da variação da densidade básica da madeira de povoamentos de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. Piracicaba, ESALQ. Tese Livre Docência.
- FERRI, M.G. 1974. *Ecologia: temas e problemas brasileiros*. São Paulo, EDUSP, 188p.
- FOELKEL, C.E.B. 1974. Celulose sulfato de *Liquidambar styraciflua*. Piracicaba, USP-ESALQ-DS, 9p.
- FORREST, W.G. & J.D. OVINGTON, 1971. Variation in dry weight and mineral nutrient content of *Pinus radiata* progeny. *Silvae Genetica*, Frankfurt, 20(5/6):174-9, sept./dec.
- GADGIL, M. & O.T. SOLBRIG. 1972. The concept of r e k selection: evidence from wild flowers and some theoretical considerations. *American Naturalist*, Lancaster 106:14-31.
- GOLFARI, L. 1963. Exigências climáticas de las coníferas tropicales y subtropicales. *Unasyuva*, Roma, 17:33-42.
- GOLFARI, L.; R.L. CASER e V.P.G. MOURA. 1978. Zoneamento ecológico esquemático para reflorestamento no Brasil: 2ª aproximação. Brasília, DF, PRODEPEF. 66p. (PRODEPEF. Série Técnica, 11).

GREAVES, A. 1979. Description of seed sources and collections for provenances of *Pinus caribaea*. Abingdon, Commonwealth Forestry Institute. 144p.

HAAG, H.P.; J.R. SARRUGE; G.S. OLIVEIRA; F. POGGIANI & C.A. FERREIRA. 1976. Análise foliar em cinco espécies de eucaliptos. IPEF, Piracicaba, (13):99-116.

HANSEN, E.A. & J.B. BAKER. 1979. Biomass and nutrient removal in short rotation intensively cultured plantation. In: ANNUAL MEETING NORTH AMERICAN POPULAR COUNCIL, Tompsonville, Michigan, 1979. p.130-51.

HARPER, J.L. & J. OGDEN. 1970. The reproductive strategy of higher plants: 1- the concept of strategy, with special reference to *Senecio vulgaris* L. *Journal of Ecology*, Oxford 58:681-98.

HOYLE, M.C. & D.L. MADER. 1964. Relationships of foliar nutrient to growth of red pine in Western Massachussets. *Forest Science*, Washington 10(3):337-47, set.

HUGHES, C.E. & P.S. McCARTER. 1984. Exploration and seed collection of *Liquidambar styraciflua* in Central America and Mexico. Oxford, Commonwealth Forestry Institute.

ISIK, K. 1978. White fir growth and foliar nutrient concentration in California plantations. *Forest Science*, Washington, 24(3):374-84, set.

KAUFMANN, M.R. & C.A. TROENDLE. 1981. The relationships of leaf area and foliage biomass to sapwood conducting area in four subalpine forest tree species. *Forest Science*, Washington, 27(3):477-82, set.

KRAMER, P.J. & T.T. KOSLOWSKI. 1972. *Fisiologia das árvores*. Lisboa, Fundação Calouste Gulbenkian. 745p.

KRAMER, P.J. & T.T. KOSLOWSKI. 1979. *Physiology of wood plants*. New York, Academic Press. 811p.

LAAR, A. van. 1983. A case study in *Populus canescens* to estimate the leaf area index. *South African Forestry Journal*, Pretoria, (125):80-4.

LAVENDER, D.P. & R.L. CARMICHAEL. 1966. Effect of three variables on mineral concentrations in douglas-fir needles. *Forest Science*, Washington, 12(4):441-6, dec.

LUBRANO, L. 1972. Ricerche sulle esigenze nutritive di alcune species di eucalitti. *Pubblicazioni del Centro di Sperimentazione Agricola e Forestale*, Rome, 11:1-15.

MADGWICK, H.A.I. 1964. Estimation of surface area of pine needles with special reference to *Pinus resinosa*. *Journal of Forestry*, Washington, 62:636.

- MAGALHÃES, A.C.N. 1979. Análise quantitativa de crescimento. In: FERRI, M.G. *Fisiologia Vegetal*. São Paulo, EPU/EDUSP. p.331-50.
- MASON, C.F. 1980. *Decomposição*. São Paulo, EPU/EDUSP. 63p.
- MATTOS, J.R. s.d. *Espécies de Pinus cultivados do Brasil*. São Paulo, Chácaras e Quintais. 133p.
- McCLURKIN, D.C. 1970. Site rehabilitation under planted redcedar and pine. In: YOUNGBERG, C.T. ed. *Tree growth and forest soils*. Corvallis, Oregon State University. p.339-45.
- MERGEN, F. e WORRAL, 1964. Effect of environment and seed source on mineral content of jack pine seedlings. *Forest Science*, Washington, 11(4):393-400. dez.
- METZ, L.J. 1954. Forest Floor in the Piedmont region of South Caroline. *Soil Science Society Proceedings*, Madison. p.335-8.
- MIRANDA, F. 1976. *La vegetación de Chiapas*. México, s.ed. pt.2
- NICOLIELO, N. 1984. Comportamento de procedências de *Pinus caribaea* Morelet na região de Agudos-SP. Piracicaba, ESALQ. 97p. Tese de Mestrado.
- NICOLIELO, N. & F. BERTOLANI. 1978. Estudo de introdução de espécies de *Pinus* na região de Agudos:SP. *Silvicultura*, São Paulo, 14(3):128-9.

- NOVAIS, R.F.F. & F. POGGIANI. 1982. Efeito de consorciação entre *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e *Liquidambar styraciflua* L., sobre a ciclagem de nutrientes em florestas implantadas. Boletim Informativo-PPT, Piracicaba, 12(7):5-17.
- PEARSON, J.A.; T.J. FAHEY & D.H. KNIGHT. 1983. Biomass and leaf area in contrasting lodgepole pine forests. Canadian Journal Forest Research, Ottawa, (14):259-65.
- PIEKEL, B. 1951. Fundar florestas mistas deve ser o objetivo do reflorestamento na silvicultura nacional. São Paulo, Instituto Florestal, 25p.
- POGGIANI, F. 1985. Ciclagem de nutrientes em ecossistemas de plantações florestais de *Eucalyptus* e *Pinus*. Implicações Silviculturais. Piracicaba, ESALQ. 211p. Tese Livre-Docência.
- POGGIANI, F.; H.T.Z. do COUTO & J.W. SIMÕES. 1979. Aspectos ecológicos das mini-rotações e do aproveitamento dos resíduos florestais. Piracicaba, IPEF. 7p. (IPEF. Circular Técnica, 74).
- POGGIANI, F.; H.T.Z. do COUTO & W. SUITER FILHO, 1983. Biomass and nutrient estimates in short rotation intensively cultured plantation of *Eucalyptus grandis*. IPEF, Piracicaba, (23):37-42. abr.

- RANZANI, G. 1971. Carta de solos da Agro-Florestal Monte Alegre. Piracicaba, ESALQ, Centro de Estudos de Solos. 81p.
- RENNIE, P.J. 1955. The uptake of nutrients by mature forest growth. *Plant and Soil*, The Hague, 7(1):49-95, nov.
- SARRUGE, J.R. & H.P. HAAG. 1974. Análises químicas em plantas. Piracicaba, ESALQ. 56p.
- SCHLESINGER, R.C. & R.D. WILLIAMS. 1984. Growth response of black walnut to interplanted trees. *Forest Ecology and Management*, Amsterdam, 9:35-43.
- SCHÖNAU, A.P.G. 1983. Variação estacional do conteúdo de nutrientes nas folhas de *E. grandis*. *Silvicultura*, São Paulo, 8(32):683-5, set./out.
- SHAPLAND, R.E. 1974. Hardwood plantation. *Quarterly Journal of Forestry*, London, 68(3):218-22.
- SILVA, H.D. da. 1983. Biomassa e aspectos nutricionais de cinco espécies do gênero *Eucalyptus* plantadas em solos de baixa fertilidade. Piracicaba, ESALQ. 105p. Tese mestrado.
- SILVA, J. de C. 1984. Parâmetros da densidade na qualidade da madeira. Piracicaba, ESALQ-DS. 82p.

- SIMÕES, J.W. & R.M. BRANDI. 1981. **Formação, manejo e exploração de florestas com rápido crescimento**. Brasília, IBDF, 1981. p.38-40.
- SWITZER, G.L.; L.E. NELSON & W.H. SMITH. 1968. The mineral cycle in forest stands. In: **Forest Fertilization: theory and practice**. Knoxville, Tennessee Valley Authority. 1-9.
- SWITZER, G.L. & L.E. NELSON. 1972. Nutrient accumulation on cycling in loblolly pine (*Pinus taeda* L.) plantations ecossistems: the first twenty years. **Soil Science Society American Proceedings**, Madison, 36(1):143-7.
- TEMES, S.B. 1970. Study of *Eucalyptus globulus*. I - Mineral constituent of the leaves in relation to their position on the tree, soil constituent and tree age. **Commun. Inst. For. Invest. Exp.**, Madrid, (67):1-48.
- USDA. 1974. **Wood handbook**. Washington, Forest Service.
- WALTER, H. 1977. **Vegetation of the earth un relation to climate and the eco-physiological conditions**. New York. Springer-Verlag. 237p.
- WATSON, D.J. 1958. Dependence of net assimilation rate on leaf area index. **Annals of Botany**, Oxford, 22:37-54.

YOUNG, H.E. & P.N. CARPENTER. 1976. Sampling variation of nutrient element content within and between trees of the same species. In: OSLO BIOMASS STUDIES, Oslo, p.75-99.

ZEN, S.; F. POGGIANI & H.T.Z. do COUTO. 1981. Variação da concentração de nutrientes ao longo do caule de *Eucalyptus saligna*: implicações na utilização energética dos resíduos florestais. Piracicaba, IPEF. 7p. (IPEF. Circular Técnica, 136).

ANEXOS

ANEXO 1. Equações obtidas para a estimativa da biomassa dos diversos componentes das árvores de *L. styriaci-*
flua e *P. caribaea* var. *hondurensis* plantadas em parcelas puras e mistas.

<i>Liquidambar styraciflua</i> (parcelas puras)					
Componente da árvore	Equação	CV	R ²	F	Signif.
Lenho	$Y = 1,17962 + 0,0154D^2H$	9,8	98,1	665,7	**
Lenho	$\ln Y = -7,23239 + 1,44028 \ln D^2H - 0,00013D^2H$	3,4	98,9	536,9	**
Lenho	$\ln Y = -5,18480 + 1,11884 \ln D^2H$	4,6	97,8	589,0	**
Casca	$Y = 0,33519 + 0,00122D^2H$	10,7	97,4	493,4	**
Casca	$\ln Y = -7,99180 + 1,21596 \ln D^2H - 0,00009D^2H$	9,5	98,8	479,0	**
Casca	$\ln Y = -6,59643 + 0,99690 \ln D^2H$	11,2	98,1	687,6	**
Galho	$Y = 4,35084 + 0,00142D^2H$	20,1	78,3	46,7	**
Galho	$\ln Y = 9,68428 + 1,67339D + 0,81358 \ln D^2H - 0,00128D^2H - 12,41657 \ln D$	7,3	94,0	39,4	**
Galho	$\ln Y = 1,06014 + 0,08512D$	7,5	84,8	72,6	**
Folha	$\ln Y = -6,79334 + 0,39973H$	184,8	93,9	199,8	**
Folha	$\ln Y = 9,80096 + 0,99629H - 9,49668 \ln H$	176,0	94,8	110,3	**
Folha	$Y = -0,23843 + 0,00068D^2H$	31,3	86,7	84,6	**

- continua -

ANEXO 1. (continuação)

Pinus caribaea var. *hondurensis* (parcelas puras)

Componente da árvore	Equação	CV	R ²	F	Signif.
Lenho	$Y = -3,95328 + 0,0114D^2$	15,3	98,1	689,3	**
Lenho	$Y = -29,57275 + 0,0159D^2 - 5,0143D + 31,3530 \ln D$	13,9	98,7	280,4	**
Lenho	$\ln Y = -5,51405 + 1,10615 \ln D^2 H$	7,0	97,4	497,3	**
Casca	$Y = 0,20446 + 0,00216D^2 H$	14,0	98,0	628,7	**
Casca	$Y = 21,43604 + 0,00052D^2 H + 2,38790D - 19,94478 \ln D + 0,87204 \ln H$	9,2	99,3	569,5	**
Casca	$Y = 21,40575 + 0,00062D^2 H + 2,26408D - 18,51126 \ln D$	8,9	99,3	530,5	**
Galho	$Y = 1,15244 + 0,00125D^2 H$	23,4	92,4	157,2	**
Galho	$Y = -15,67371 + 0,00186D^2 H - 1,72222H + 14,73446 \ln H$	21,1	94,7	65,6	**
Galho	$Y = 5,16011 + 0,00162D^2 H - 0,39916H$	21,6	94,0	93,9	**
Folha	$Y = -0,95948 + 0,00147D^2 H$	24,8	96,0	316,2	**
Folha	$Y = 9,43221 + 0,00192D^2 H - 1,56612 \ln D^2 H$	19,9	97,6	249,9	**
Folha	$Y = 13,39155 + 0,00236D^2 H - 87,30742 \ln D^2 + 104,8176 \ln H + 186,98428 \ln D - 1,56766H$	14,6	99,0	183,8	**

- continua -

ANEXO 1. (continuação)

Liquidambar styraciflua (parcelas mistas)

Componente da árvore	Equação	CV	R ²	F	Signif.
Lenho	$Y = 0,57964 + 1,47329D^2H$	10,1	87,9	94,9	**
Lenho	$\ln Y = -4,26256 + 1,00534 \ln D^2H$	2,2	90,7	127,3	**
Lenho	$\ln Y = -4,02575 + 0,91095 \ln D^2H + 0,03024H$	2,3	91,1	61,7	**
Casca	$Y = 2,34732 + 0,00109D^2H$	12,7	70,7	31,4	**
Casca	$\ln Y = 1,34865 + 0,00013D^2H$	5,9	73,4	35,9	**
Casca	$\ln Y = 0,06672 + 0,15420D$	8,3	68,0	27,6	**
Galho	$\ln Y = 25,39118 + 1,01643D - 14,15219 \ln D$	7,8	73,6	16,7	**
Galho	$Y = -28,53794 + 2,60837D$	29,2	58,4	18,2	**
Folha	$\ln Y = 0,24073 + 0,00018D^2H$	17,8	60,8	20,2	**
Folha	$\ln Y = 6,51490 + 0,00035D^2H - 0,83731 \ln D^2H$	18,3	61,7	9,6	**
Folha	$Y = -0,27625 + 0,00072D^2H$	32,6	44,9	10,6	**

- continua -

ANEXO 1. (continuação)

Pinus caribaea var. *hondurensis* (parcelas mistas)

Componente da árvore	Equação	CV	R ²	F	Signif.
Lenho	$Y = -4,03173 + 0,01258D^2H$	12,2	94,1	208,3	**
Lenho	$Y = 29,50697 + 0,02258D^2H - 4,71362D$	10,5	95,9	141,9	**
Lenho	$\ln Y = -6,08843 + 1,19870 \ln D^2H$	4,7	92,8	167,9	**
Casca	$Y = -25,16892 + 3,91845 \ln D^2H$	15,1	85,5	76,6	**
Casca	$\ln Y = -8,26780 + 1,47415 \ln D^2H - 0,12644D$	10,1	89,2	49,3	**
Casca	$\ln Y = -5,62539 + 0,93189 \ln D^2H$	10,5	87,2	89,0	**
Galho	$Y = -0,52336 + 0,33780D$	26,5	33,1	6,4	*
Galho	$\ln Y = 0,07880 + 0,09452D$	24,4	27,4	4,9	*
Folha	$Y = -1,22299 + 0,00116D^2H$	38,9	81,9	58,8	**
Folha	$Y = 14,2390 + 0,00250D^2H - 7,50388 \ln D$	35,6	85,9	36,7	**
Folha	$\ln Y = 42,89297 + 0,00191D^2H - 28,48508 \ln D + 2,04628D$		89,2	30,1	**

$\ln$ = logaritmo neperiano

Y = peso de matéria seca

CV = coeficiente de variação

R² = coeficiente de determinação

D = diâmetro a altura de 1,30m (DAP)

H = altura total das árvores

** = significativo a 1% de probabilidade

* = significativo a 5% de probabilidade

ANEXO 2. Melhores modelos de Equação de Regressão simples para correlações entre DAP x Superfície foliar, DAP x Densidade básica da madeira e Superfície foliar x Densidade básica da madeira das árvores de *Liquidambar* e *Pinus* em parcelas puras e mistas.

Tratamento	X	Y	Equação de Regressão	r	r ²
Lp					
<i>Liquidambar</i> parcelas puras	DAP	Densid.	$Y = 0,5031 + 0,1610/x$	-0,227	0,052
	DAP	Densid.	$\log(Y) = -0,6872 - 0,3358$	-0,238	0,057
	DAP	Sup. Foliar	$Y = -19,090 + 2,9736/x$	0,811	0,658
	DAP	Sup. Foliar	$\log(Y) = -5,7612 + 3,3031 \cdot \log(x)$	0,930	0,865
	Densid.	Sup. Foliar	$\log(Y) = 8,0400 - 3,0338(1/x)$	0,237	0,056
	Densid.	Sup. foliar	$\log(Y) = 5,9644 + 5,7821 \log(x)$	0,226	0,051
<i>Lm</i>	DAP	Densid.	$Y = 0,4164 + 0,0052x$	0,481	0,231
	DAP	Densid.	$\log(Y) = -0,8636 + 0,0105x$	0,484	0,234
	DAP	Sup. Foliar	$Y = -17,4792 + 4,1351x$	0,891	0,794
	DAP	Sup. Foliar	$\log(Y) = 2,1749 + 0,1000 \cdot x$	0,978	0,957
	Densid.	Sup. Foliar	$\log(Y) = 5,8665 - 1,4914(1/x)$	-0,379	0,144
	Densid.	Sup. Foliar	$\log(Y) = 4,9367 + 2,956 \log(x)$	0,374	0,140
<i>Pp</i>	DAP	Densid.	$\log(Y) = -1,0442 + 0,0044x$	0,103	0,011
	DAP	Densid.	$\log(Y) = -1,1129 + 0,0433 \log(x)$	0,098	0,009
	DAP	Sup. Foliar	$Y = -72,7000 + 9,1883 \cdot x$	0,954	0,910
	DAP	Sup. Foliar	$\log(Y) = -165,534 + 89,5682 \cdot \log(x)$	0,847	0,718
	Dens.	Sup. Foliar	$\log(Y) = 7,6156 - 1,9900(1/x)$	-0,361	0,130
	Dens.	Sup. Foliar	$\log(Y) = 7,2635 + 5,0698 \log(x)$	0,349	0,122
<i>Pm</i>	DAP	Dens.	$Y = 0,3667 + 0,0860/x$	0,080	0,006
	DAP	Dens.	$\log(Y) = -1,0051 + 0,1973(1/x)$	0,070	0,005
	DAP	Sup. Foliar	$Y = -65,6615 + 6,9111 \cdot x$	0,9707	0,7560
	DAP	Sup. Foliar	$\log(Y) = -180,785 + 80,585 \cdot \log(x)$	0,929	0,864
	Dens.	Sup. Foliar	$\log(Y) = -0,3344 + 1,2000(1/x)$	0,175	0,031
	Dens.	Sup. Foliar	$Y = 15,6640 + 100,2570x$	0,0615	0,004

* log = logaritmo neperiano.