

**BIOMASSA E ASPECTOS NUTRICIONAIS DE CINCO  
ESPÉCIES DO GÊNERO *Eucalyptus*, PLANTADAS EM  
SOLO DE BAIXA FERTILIDADE**

**HELTON DAMIN DA SILVA**  
Eng<sup>o</sup> 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  
Novembro, 1983



A minha esposa Regina  
e a minha filha Fernanda

Dedico

## AGRADECIMENTOS

A todos aqueles que tiveram participação direta ou indireta, na realização deste trabalho, expresso meus sinceros agradecimentos, em especial:

- Ao Professor Dr. Fábio Poggiani pela orientação e amizade;
- 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;
- Ao Instituto Florestal de São Paulo na pessoa do Dr. Luiz Carlos Coelho que gentilmente cedeu a área experimental para coleta de dados;
- Aos docentes do Departamento de Silvicultura da ESALQ-USP pelos ensinamentos e pela orientação;
- Aos amigos e pesquisadores florestais do CPATSA pelo apoio e incentivo;
- Aos colegas do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal da ESALQ-USP, e em especial, aos Engenheiros Florestais Ricardo da Silva Pereira, pelo auxílio na coleta de dados e Ismael Eleotério Pires, pela colaboração na revisão do texto;

- Aos acadêmicos do Curso de Engenharia Florestal da ESALQ - USP Vanderlei Benedetti, Silas Zen, Ivone S. Namikwa e Roberto Chiaranda pelo auxílio na realização das análises de laboratório;
- Às funcionárias do Laboratório de Sementes do Departamento de Silvicultura, notadamente, a Srta. Rosana Maria Beltrame;
- Às funcionárias da biblioteca do IPEF;
- Aos funcionários do Departamento de Silvicultura pela atenção dispensada.

## ÍNDICE

	<u>página</u>
1. INTRODUÇÃO .....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA .....	4
2.1. Amostragem de folhas, ramos, casca e lenho ..	4
2.2. Influência da espécie, procedências e clones na concentração e no conteúdo de nutrientes das árvores .....	5
2.3. Concentração e conteúdo de nutrientes nas fo- lhas, ramos, casca e lenho .....	6
2.4. Influência da idade fisiológica na concentra- ção e conteúdo de nutrientes nas folhas, ra- mos, casca e lenho .....	8
2.5. Influência do sitio na concentração e conteú- do de nutrientes das plantas .....	9
2.6. Variações nas concentrações de nutrientes em função do tamanho das árvores .....	12
3. METODOLOGIA .....	15
3.1. Descrição dos talhões experimentais .....	15
3.2. Clima .....	18
3.3. Características do solo .....	20
3.4. Coleta de materiais vegetais .....	22
3.5. Determinações da densidade da madeira e da casca .....	23
3.6. Determinação do volume e peso dos troncos das árvores .....	24

3.6.1. Volume real com casca .....	24
3.6.2. Peso dos troncos das árvores .....	25
3.7. Análise química das amostras .....	25
3.8. Determinação do conteúdo de nutrientes do lenho e da casca .....	26
3.9. Índice de eficiência de utilização de nutrientes das espécies estudadas .....	26
3.10. Análise estatística .....	26
4. RESULTADOS .....	27
4.1. Características dendrométricas .....	27
4.2. Concentração média de nutrientes nas folhas .	29
4.3. Concentração de nutrientes nos ramos .....	32
4.4. Concentrações de nutrientes na casca .....	32
4.5. Concentrações de nutrientes no lenho .....	35
4.6. Conteúdo de nutrientes no lenho e na casca ..	35
4.7. Índice de eficiência de utilização dos nutrientes .....	39
4.8. Variações das concentrações de nutrientes em função do tamanho das árvores .....	42
4.8.1. Nitrogênio .....	43
4.8.2. Fósforo .....	46
4.8.3. Potássio .....	46
4.8.4. Cálcio .....	50
4.8.5. Magnésio .....	50

5. DISCUSSÃO .....	54
5.1. Características dendrométricas .....	54
5.2. Concentração e conteúdo de nutrientes nos diversos componentes das árvores .....	58
5.3. Índice de eficiência de utilização dos nutrientes .....	63
5.4. Variação das concentrações de nutrientes em função do tamanho das árvores .....	66
6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....	74
7. LITERATURA CITADA .....	76
8. APÊNDICE .....	85

BIOMASSA E ASPECTOS NUTRICIONAIS DE CINCO  
ESPÉCIES DO GÊNERO *Eucalyptus*, PLANTADAS  
EM SOLO DE BAIXA FERTILIDADE

Autor: HELTON DAMIN DA SILVA

Orientador: Prof. Dr. FÁBIO POGGIANI

RESUMO

A alta produtividade do gênero *Eucalyptus* no Brasil, tem grande importância do ponto de vista silvicultural e econômico. O potencial de crescimento entre espécies implica também numa maior exportação de nutrientes por ocasião da exploração florestal.

Como a expansão da atividade reflorestadora vem sendo direcionada para solos de baixa fertilidade, a exploração florestal contínua pode provocar o empobrecimento excessivo desses solos. O conhecimento mais profundo do balanço de nutrientes e das implicações ecológicas de uma exploração florestal, são parâmetros essenciais para quantificar os problemas da exportação de nutrientes das áreas utilizadas para o manejo intensivo de florestas plantadas.

Com o objetivo de se estimar o acúmulo de nutrientes por parte de cinco espécies de eucaliptos em função da biomassa produzida, foi utilizado um ensaio de competição

com 10 anos de idade, envolvendo: *E. grandis*, *E. saligna*, *E. propinqua*, *E. dunnii* e *E. robusta*, todos de origem e procedências australianas, plantados em solos arenosos e de baixa fertilidade, em Itirapina - SP.

Foram avaliadas as características dendrométricas e coletadas amostras de folhas, ramos, casca e lenho de 12 árvore por espécie, para se estimar a produção de biomassa do tronco (lenho + casca), concentração de nutrientes, índices de eficiência de utilização de nutrientes para produção de biomassa no lenho e na casca e estimar a exportação de nutrientes por espécie.

Os elementos potássio, cálcio, magnésio, ferro, zinco e manganês foram determinados com espectrofotômetro de absorção atômica, o fósforo pelo método vanado-molibdato de amônio e o nitrogênio pelo método microkjeldahl.

Os resultados demonstraram que as espécies que produziram maior quantidade de biomassa no tronco foram *E. saligna* e *E. grandis*. Os nutrientes concentraram-se de forma de crescente nas folhas do ápice da copa, folhas da parte intermediária da copa, ramos, casca e lenho. Nas folhas, de um modo geral, o *E. dunnii* apresentou as maiores concentrações de nitrogênio e fósforo. Os *E. dunnii* e *E. robusta* destacaram-se pelas altas concentrações de manganês nas folhas. Nos ramos, o *E. dunnii* apresentou a maior concentração de nitrogênio.

nio e o *E. propinqua* as mais altas concentrações de fósforo, potássio, cálcio e magnésio. Na casca, o *E. saligna* apresentou a maior concentração de cálcio e no lenho o *E. grandis* mostrou as menores concentrações de fósforo e potássio.

Do ponto de vista de "economia de nutrientes", seria recomendável a utilização de espécies com maior índice de utilização. Individualmente, por elemento, o *E. dunnii* é o mais eficiente para a utilização de nitrogênio, o *E. grandis* é o mais eficiente para a utilização de fósforo e potássio e o *E. propinqua* para a utilização de cálcio e magnésio. De maneira geral, para todos os nutrientes em ordem decrescente, os índices de eficiência apresentados em kg de biomassa produzida por kg de cada nutriente utilizado (N, P, K, Ca e Mg) foram: *E. grandis* (54831); *E. saligna* (36389); *E. dunnii* (33900); *E. propinqua* (23444) e *E. robusta* (22639).

As correlações entre as concentrações dos diferentes elementos e o tamanho das árvores acusaram várias tendências de acordo com as espécies. Contudo, pode-se dizer que, de maneira geral, ocorreu um efeito de diluição dos elementos nitrogênio, magnésio e potássio em função do aumento do tamanho das árvores. O *E. grandis* evidenciou uma capacidade maior de translocação do fósforo do lenho para as folhas. O *E. saligna* mostrou-se como uma espécie acumuladora de cálcio na casca.

BIOMASS AND NUTRITIONAL ASPECTS OF FIVE ESPECIES OF  
*Eucalyptus* PLANTED ON SOIL WITH LOW FERTILITY

Author: HELTON DAMIN DA SILVA

Adviser: Prof. Dr. FÁBIO POGGIANI

SUMMARY

The high productivity of species belonging to the genus *Eucalyptus* in Brazil has a great silvicultural and economic importance. The potential growth of these species also implies a more intensive nutrient exportation by logging.

Due to the fact that the reforestation activities have been directed to the utilization of soil with very low fertility, the continuous forest exploitation tends to cause excessive impoverishment of these soils. A more profound knowledge of nutrient balance and the ecological implications of man-made forests exploitation are essential for an appropriate management.

A competition trial was undertaken to estimate tree growth and nutrient accumulation of the following species: *Eucalyptus grandis*, *E. saligna*, *E. propinqua*, *E. dunnii* and *E. robusta*, established on a poor and sandy soil near by Itirapina (State of São Paulo, Brazil).

The dendrometric characteristics of the stands 10 years old were evaluated, and samples were taken from leaves, twigs, bark and wood of twelve trees of each species, to estimate trunk phytomass (woody, and bark), nutrient concentration in the tissues and utilization efficiency of nutrients.

The results showed that the species with the highest trunk phytomass were *E. saligna* and *E. grandis*. Nutrient concentration in the tree tissues were observed decreasing in the following order: crown apex leaves, middle crown leaves, twigs, bark and wood. *E. dunnii* generally showed the highest nitrogen and phosphorus concentration in the leaves and the highest nitrogen level in the twigs. This species and *E. robusta* exhibited the highest levels of manganese in the leaves. *E. propinqua* showed the highest concentration of phosphorus, potassium, calcium and magnesium in the twigs, while *E. saligna* presented the highest calcium concentration in the bark and *E. grandis* the lowest of phosphorus and potassium in the wood.

In terms of "nutrient conservation in the site", the utilization of species with the highest efficiency index would be recommendable. Individually, for each nutrient treated separately, *E. dunnii* is the more efficient for nitrogen utilization, *E. grandis* for phosphorus and potassium

and *E. propinqua* for calcium and magnesium. In general, the "efficiency indexes" presented as phytomass produced (in kg) in relation to each kg used (N, P, K, Ca and Mg) were in decreasing order: *E. grandis* (54831); *E. saligna* (36389); *E. dunni* (33900); *E. propinqua* (23444) and *E. robusta* (22639).

The correlation coefficients between the concentrations of the various nutrients and the size of the trees showed different trends according to the species. However, in general it was noted a dilution effect of nitrogen, magnesium and potassium according, to the increases in the size of the trees. *E. grandis* exhibited an higher capacity of translocating the phosphorus from the wood to the leaves in the bigger trees. *E. saligna* appears as a species accumulator of calcium in the bark.

## 1. INTRODUÇÃO

As espécies do Gênero *Eucalyptus* introduzidas no Brasil, para fins de florestamento e reflorestamento, permitem um ciclo de corte relativamente curto e uma alta produtividade quando comparadas com espécies florestais nativas. Apresentam portanto, uma grande importância do ponto de vista econômico e silvicultural, uma vez que são utilizadas para produção em larga escala de papel, celulose e para fins energéticos, além de contribuir como matéria prima para confecção de chapas de fibras e aglomerados.

O aumento do consumo de produtos florestais teve como consequência a necessidade de elevação da produtividade das florestas, com a adoção de técnicas alternativas tais como a redução do ciclo de corte e o aumento da densidade das árvores, plantadas por unidade de área. Nas florestas utilizadas para fins energéticos, além da madeira, em muitos casos

passou-se a explorar também os "resíduos" de exploração constituídos pelas folhas, ramos e casca das árvores.

O emprego destas técnicas causa preocupação, no que tange à exportação de nutrientes, uma vez que a maior concentração de nutrientes minerais está contida nos resíduos florestais. Isto pode implicar num acréscimo de quase 80% na exportação de nutrientes do sítio, considerando também que as árvores jovens apresentam uma concentração mais elevada de nutrientes do que as plantas adultas.

Portanto, o problema relacionado com a exportação de nutrientes pode ser melhor equacionado se houver um conhecimento mais profundo das implicações da exploração florestal sobre o balanço de nutrientes e de suas consequências ecológicas.

Este trabalho foi realizado com os seguintes objetivos:

- a. Estimar a produção de madeira por diferentes espécies de *Eucalyptus* plantadas em solos arenosos e de baixa fertilidade;
- b. Detectar as diferenças nas concentrações de nutrientes nas folhas, ramos, casca e lenho das espécies de *Eucalyptus* estudadas;
- c. Comparar o acúmulo de nutrientes nas dife-

rentes espécies;

- d. Estimar os índices de eficiência de utilização de nutrientes para produção de biomassa no lenho e na casca e;
- e. Observar se existe uma variação na concentração de nutrientes em função do tamanho das árvores de cada espécie.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. Amostragem de folhas, ramos, casca e lenho

O uso de amostras vegetais para avaliar o conteúdo de nutrientes, aparece como uma forma valiosa para se estudar as relações entre o crescimento e o nível nutricional das plantas. A coleta de amostras para análise de teor de nutrientes tem sido efetuada diferentemente por diversos pesquisadores, visto não existir uma metodologia padronizada para diferentes espécies arbóreas.

Diversos fatores podem interferir nos resultados das análises sobre o conteúdo de nutrientes tais como: o procedimento da amostragem (LAVENDER e CARMICHAEL, 1966 e BOWERSOX e WARD, 1977b); a época do ano (WRITE, 1954 e HOYLE e MADER, 1964); a posição do material vegetal na copa (BOWERSOX e WARD, 1977b; BOWERSOX e WARD, 1977a; ISIK, 1978 e EVANS,

1979), e idade do material amostrado (LAVENDER e CARMICHAEL, 1966 e BOWERSOX e WARD, 1977a).

Analisando vários critérios de amostragem de lenho e casca, LUBRANO (1972) concluiu ser possível, com pequena margem de erro, coletar amostras a 1,30 m do solo (DAP) e utilizar o resultado como média representativa do conteúdo mineral do tronco. No entanto, ZEN *et alii* (1981) demonstraram que em *E. saligna* a distribuição de N, P, K e Mg nem sempre é uniforme ao longo do caule, existindo um teor crescente de elementos minerais da base para o topo.

Todavia, YOUNG e CARPENTER (1976) preconizam que a amostragem em uma posição central dos galhos, caule e raízes pode ser suficiente para estimar a concentração média dos nutrientes em cada um dos componentes das árvores.

## 2.2. Influência da espécie, procedência e clones na concentração e no conteúdo de nutrientes das árvores

Nutrientes, segundo JACOB e WEXKULL (1961), são todos os materiais necessários ao crescimento e produção de substâncias orgânicas; num sentido bem restrito, são considerados os elementos inorgânicos essenciais ao desenvolvimento das plantas.

As variações no conteúdo de nutrientes entre espécies, procedências, grupos de progênies, lotes de sementes e clones, deve-se a diferenças na capacidade do sistema radicular em absorver nutrientes do solo e ao grau de eficiência na translocação e na metabolização desses nutrientes (MERGEM e WORRAL, 1964 e WALKER e HATCHER, 1965).

Diversos estudos já foram desenvolvidos objetivando detectar diferenças no conteúdo de elementos minerais em espécies florestais. De acordo com um artigo da revista SILVICULTURE (1964/65) foram detectadas diferenças entre mudas de *E. rostrata*, *E. saligna*, *E. delegatensis* e *E. pilulalis*. HAAG *et alii* (1976) e HAAG *et alii* (1977) apresentam resultados que evidenciam diferenças entre as espécies de *E. grandis* e *E. citriodora* para os teores de N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn e Zn. Haag, citado por BELLOTE (1979) detectou diferenças entre as folhas da parte superior e inferior da copa de *E. grandis*. FORREST e OVINGTON (1971) detectaram diferença significativa na concentração de nutrientes entre clones de *Pinus radiata* e BARTOS e JOHNSTON (1978) entre clones de *Populus tremuloides*.

### 2.3. Concentração e conteúdo de nutrientes nas

Os nutrientes, de acordo com sua função bioquí

mica, acumulam-se diferentemente nos diversos componentes das plantas.

O montante de nutrientes contidos na biomassa florestal tem sido estudado por alguns pesquisadores. POGGIANI et alii (1979) estudando um povoamento de *E. grandis* de 4 anos de idade observaram que a maior quantidade de biomassa é representada pelo fuste (61%), enquanto que a maior concentração de nutrientes ocorre nas folhas e, em seguida nos componentes: casca, galhos e lenho. POGGIANI et alii (1983) observaram que a biomassa de uma plantação para fins energéticos de *E. grandis*, aos 2,5 anos de idade, contém 9% de folhas, 7% de galhos e 83% do material de tronco (lenho + casca), porém, a concentração de nutrientes ficou assim distribuída: 37% nas folhas, 10% nos galhos e 53% no tronco.

Segundo BELLOTE (1979), nas folhas, são observadas as maiores concentrações de nutrientes, com exceção do cálcio, cobre e manganês.

HAAG et alii (1976), estudando folhas de cinco espécies de *Eucalyptus*, concluíram que, entre espécies, houve diferenças nas concentrações de nutrientes e que o *E. grandis* apresentou concentrações mais elevadas para os macronutrientes N, P, K e S.

RENNIE (1955) assinalou que a casca detém maior quantidade de cálcio, enquanto YOUNG e CARPENTER (1976)

detectaram pouca diferença na composição mineral dos tecidos de árvores maduras da mesma espécie. ZEN *et alii* (1981), estudando variações de nutrientes ao longo do tronco de *E. saligna*, encontraram que a concentração de nutrientes tende a ser mais elevada na parte superior do tronco, sendo este fato mais evidente no lenho do que na casca.

#### 2.4. Influência da idade fisiológica na concentração e conteúdo de nutrientes nas folhas, ramos, casca e lenho

A idade fisiológica do tecido é um fator importante, que afeta o seu nível nutricional (EVANS, 1979). Por isto, segundo LUBRANO (1972) e SWITZER e NELSON (1972) as plantas jovens normalmente acumulam maiores quantidades de nutrientes.

Em estudos comparativos de tecidos jovens e adultos em plantas, EVANS (1979) verificou que nas folhas mais velhas houve um decréscimo nas concentrações de N e K e um aumento de Fe, B, Mn e Ca. TEMES (1970) encontrou nas folhas dos ramos superiores de *E. globulus* uma tendência para o acúmulo de N, P, Mg, Cu e Zn.

As concentrações de nutrientes podem variar de acordo com a idade das árvores, época de coleta e local da amostragem (LAVENDER e CARMICHAEL, 1966). Isto foi comprova-

do por Forrest, citado por FORREST e OVINGTON (1971), o qual afirma que antes do povoamento florestal entrar em competição, a copa contém de 70 a 80% do total de nutrientes. YOUNG e CARPENTER (1976), estudando coníferas de diferentes idades, encontraram diferenças no conteúdo mineral das plantas mais jovens em relação as plantas adultas. BELLOTE (1979) comparou o conteúdo de nutrientes nas plantas de *E. grandis* de 1 a 7 anos de idade e verificou que as concentrações de N, P e K eram menores nas plantas mais velhas, com exceção do Ca. Observou também que, 98% do P e Mg são acumulados até o 6º ano e 99,4% do Zn até o 5º ano.

## 2.5. Influencia do sítio na concentração e conteúdo de nutrientes das plantas

O conteúdo de nutrientes nas plantas pode ser influenciado pela capacidade de absorção de cada espécie e pela natureza e propriedades químicas do solo. Em regiões temperadas, onde o ciclo da cultura florestal é normalmente longo, e exploração dos resíduos florestais não representaria uma perda acentuada no balanço geral do ecossistema florestal. Porém, quando se trata de solos pobres e arenosos, com muitos que ocorrem em regiões tropicais e sub-tropicais, essa exploração pode causar sérios prejuízos à rotação seguinte (WEETNAM e WEBBER, 1972).

Segundo POGGIANI *et alii* (1979), devido à fragilidade dos ecossistemas florestais no Brasil, as práticas de manejo e exploração como as "mini-rotações" podem ser pouco adequadas e merecem estudos mais detalhados antes de serem implementadas. Observaram também que, face ao custo dos fertilizantes, a reposição adequada dos nutrientes retirados do sítio através da exploração exige um investimento elevado. Contudo, esta reposição torna-se obrigatória para garantir a produtividade da floresta na rotação seguinte.

Em climas tropicais e subtropicais, onde os solos utilizados para plantações florestais apresentam quase sempre condições de fertilidade extremamente baixas, a exploração dos resíduos pode ser altamente prejudicial (HAGNER, 1971). Nestes solos há necessidade de estudos mais detalhados sobre a exportação de nutrientes, para que haja um melhor entendimento dos efeitos do sítio e da produtividade das florestas.

No Brasil, a expansão da silvicultura tende a ocupar solos de baixa fertilidade e para que a produtividade seja garantida, as técnicas de plantio e a busca de espécies menos exigentes devem ser alvo de estudos (MELLO *et alii*, 1971).

Existe estreita correlação entre o conteúdo de nutrientes no solo e nas plantas. McCOLL (1967) observou, em

*Eucalyptus*, correlações positivas entre o fósforo nas folhas e seu conteúdo no solo. Verificou também que, a presença de cálcio e magnésio no solo favorece a absorção de fósforo pelas plantas. TEMES (1970), trabalhando com árvores de *E. globulus* de diferentes idades plantadas em solos arenosos e pobres, observou correlações entre os teores de cálcio e manganês nas folhas e no solo.

As variações nos teores de nutrientes podem ocorrer por vários motivos. CZAPOWSKYJ (1979) observou que as condições de drenagem do solo e as práticas silviculturais podem influenciar os níveis de nutrientes das árvores de *Abies balsamea* (L) Mill, pois em solos de pouca drenagem o N, P e Mn aparecem em baixas concentrações. Resultado semelhante foi obtido por HOYLE e MADER (1964) e por ISIK (1978) que constataram, em diferentes tipos de solos, variações altamente significativas no conteúdo de N, P, Ca, Mg e Mn em *Abies concolor*.

Diferenças de concentrações de nutrientes nas folhas podem ser observadas numa mesma espécie que apresente uma área de ocorrência muito ampla ou situada em locais com solos muito heterogêneos (FORREST e OVINGTON, 1971).

## 2.6. Variações nas concentrações de nutrientes em função do tamanho das árvores

As comparações entre as concentrações de nutrientes nas árvores de uma floresta plantada entre os indivíduos de diferentes tamanhos, não é um assunto amplamente estudado. Normalmente são estudadas plantas com idades diferentes.

A composição química de uma espécie é grandemente afetada pelo ambiente em que vive. Em condições naturais, as espécies têm diferentes adaptações que se refletem no vigor, ramificações, tamanho das folhas, necessidade de luz e também diferenças na absorção dos constituintes químicos (BATES, 1971).

A posição das folhas na copa propicia variações nutricionais de acordo com a exposição à luz solar. Segundo EVANS (1979), o aumento do sombreamento favorece um decréscimo nos níveis de N, P, Zn e B e provoca um acréscimo nos níveis de Ca e Fe em folhas de *Gmelina arborea*. BURR (1961) detectou grande interação entre a intensidade luminosa e a concentração de nitrogênio nas folhas e raízes de cana-de-açúcar. Schimidt e Blaser, citados por BATES (1971), encontraram resultados semelhantes em *Cynodon* sp.

A umidade do solo também afeta as concentra-

ções de nutrientes nos tecidos vegetais e segundo CANNELL *et alii* (1959), as concentrações de P, B e Mo decrescem com déficit hídrico, porém, as concentrações de Ca e Mg aumenta. Segundo BURR (1961), as temperaturas do solo e do ar afetam as concentrações de fósforo na cana-de-açúcar.

Além dos fatores água, nutrientes, luz e temperatura que afetam o crescimento e produção das culturas, os tecidos vegetais apresentam diferentes concentrações de nutrientes em função da idade (WHITE, 1960). Segundo Lonergan e Snowball, citados por BATES (1971), os nutrientes pouco móveis, notadamente o cálcio, não se deslocam facilmente para os tecidos mais jovens, mesmo quando estes apresentam sinais de deficiência. EVANS (1979) verificou que há uma alta concentração de fósforo e cálcio onde a atividade de crescimento dos tecidos é maior.

A maior ou menor taxa de crescimento pode provocar um acréscimo ou diminuição na concentração de nutrientes das árvores. Segundo RAIJ (1981), a diminuição nas concentrações de nutrientes deve-se a um efeito de diluição proporcionado pela maior produção de matéria seca.

Diferenças nas concentrações de nutrientes em árvores com menor ou maior taxa de crescimento foram observadas por POGGIANI (1983)\* em uma população de *E. saligna*, de 8

---

\* Comunicação pessoal

anos de idade, plantada em solo pobre, sem adubação, apresentando alta taxa de mortalidade e com dominância nítida das árvores remanescentes. Nessas, foi observada uma concentração mais elevada de nutrientes. Ao contrário, num plantio energético cortado aos 2,5 anos de idade e fortemente adubado, houve uma maior concentração de nutrientes nas folhas das árvores dominadas.

### 3. METODOLOGIA

#### 3.1. Descrição dos talhões experimentais

O experimento utilizado para avaliar a biomassa, a concentração e o conteúdo de nutrientes em diferentes espécies de *Eucalyptus* foi um ensaio de competição entre espécies plantado em Itirapina (SP) e formado a partir de sementes introduzidas da Austrália e cujos locais de origem são apresentados na Tabela 1.

No ensaio, plantado em março de 1973, utilizou-se o delineamento estatístico de blocos ao acaso, com quatro repetições e parcelas de 64 plantas no espaçamento de 3 x 3 m. Não houve aplicação de adubo e nem calcário. O croqui de instalação do experimento no campo é apresentado na Figura 1.

**Tabela 1.** Lócais de origem das espécies utilizadas no ensaio (dados fornecidos pelo Instituto Florestal de São Paulo).

Espécie	Procedência	Alt. (m)	Latit.	Long.
<i>E. grandis</i> Hill ex-Maiden	Coff's Harbour NSW	03	30°09'	153°07'
<i>E. saligna</i> Smith	Coff's Harbour NSW	03	30°09'	153°07'
<i>E. propinqua</i> Deane ex-Maiden	Casino NSW	25	28°52'	152°44'
<i>E. dunnii</i> Maiden	Moleton NSW	600	30°12'	153°00'
<i>E. robusta</i> Smith	Taree NSW	06	31°54'	152°29'



### 3.2. Clima

Segundo VENTURA *et alii* (1965/66), e baseado na classificação do Köppen, o clima da região de Itirapina (SP) é do tipo mesotérmico úmido, com inverno seco, temperatura do mês mais quente superior a 22°C, e a do mês mais frio inferior a 17°C. Há ocorrência de geadas esporádicas. A precipitação média anual está entre 1200 e 1400 mm, sendo os meses mais chuvosos os de novembro a março.

O diagrama climático da região de Itirapina, construído segundo o método de WALTER (1977), foi preparado a partir dos dados compilados por VEIGA (1975) e está representado na Figura 2.

O experimento está situado na estação experimental de Itirapina, pertencente ao Instituto Florestal de São Paulo. Esta região localiza-se a 22°15' de latitude Sul e 47°49' de longitude a Oeste de Greenwich e a uma altitude de 760 m.

ITIRAPINA:

LAT. 22° 15' S

LONG. 47° 49' W

ALT. 760m

.19.

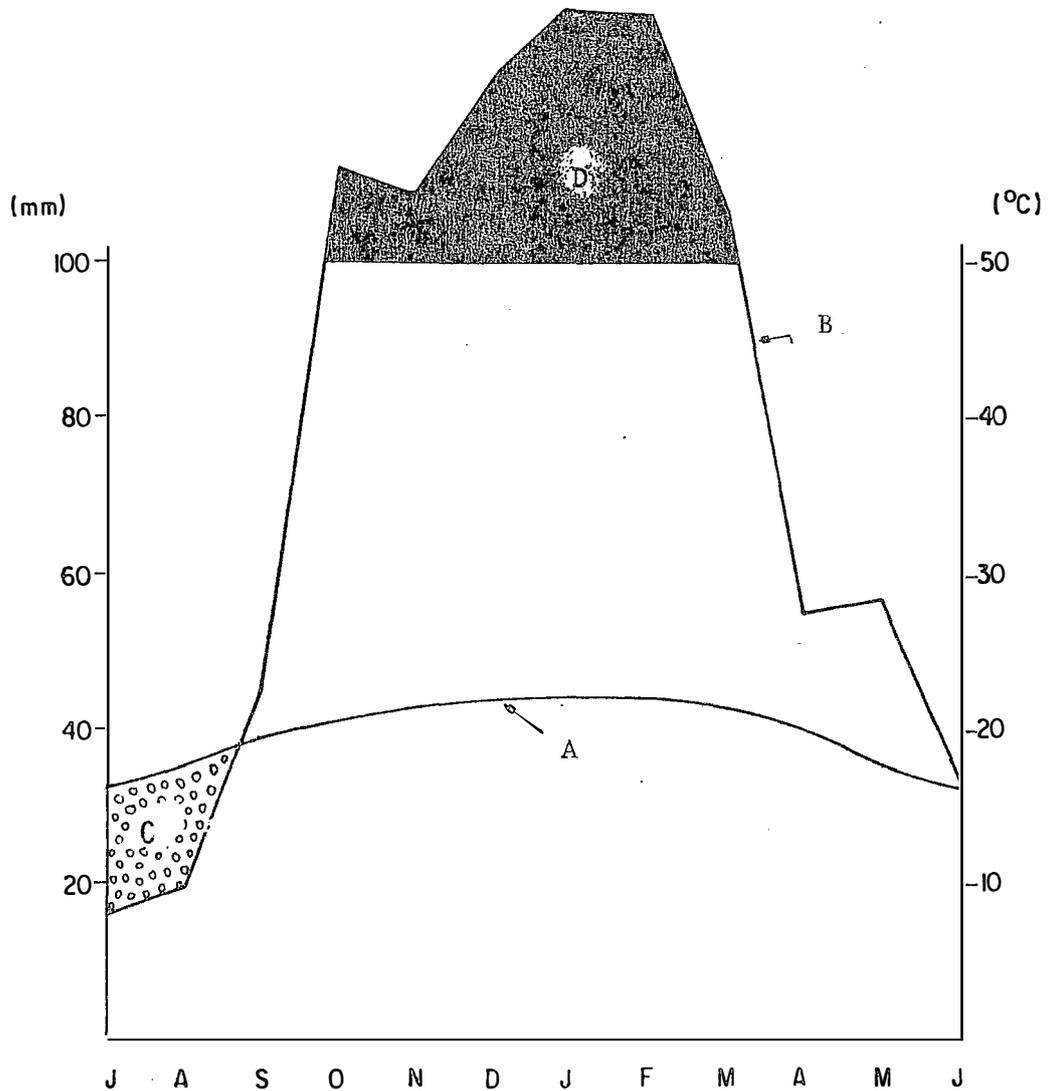


Figura 2. Diagrama climático representativo da região de Itirapina - SP.

Precipitação anual (média) = 1425 mm

Temperatura média do mês mais frio = 16,2°C

Temperatura média do mês mais quente = 22,3°C

A - curva de temperatura

B - curva de pluviosidade

C - período seco

D - período com chuva acima de 100 mm.

### 3.3. Características do solo

A amostragem do solo, para as análises físicas e químicas da área onde estão implantados os talhões, consistiu de amostras simples de cada bloco experimental coletadas a 0,10; 0,50 e 1,00 m de profundidade, transformadas posteriormente em uma amostra composta para cada profundidade, de acordo com RAIJ (1981). As amostras foram analisadas pelo Departamento de Solos, Geologia e Fertilizantes da ESALQ-USP em Piracicaba.

O experimento está instalado em um solo classificado como areia quartzosa, cujas características físico-químicas apresentadas na Tabela 2 revelam, para as três profundidades analisadas, um solo pobre para todos os nutrientes, com alto teor de alumínio e pH ácido.

Tabela 2. Resultados das análises de solo da área experimental.

Análise Química													
Profun.	pH	C(org.)	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	Al <sup>+3</sup>	H <sup>+</sup>	Cu	Fe	Mn	Zn	
		— % —	meq/100 ml de terra						ppm				
0,10 m	5,0	0,72	0,04	0,04	0,13	0,11	1,23	3,68	0,4	36,5	1,0	0,49	
0,50 m	5,4	0,33	0,02	0,02	0,09	0,09	0,75	2,64	0,5	18,8	0,6	0,39	
1,00 m	4,4	0,15	0,03	0,03	0,05	0,05	0,56	2,27	0,6	17,0	0,6	2,45	

Análise Mecânica									
Profun.	Areia mui to grossa	Areia grossa média	Areia fina	Areia to fina	Areia mui to fina	Areia	Limo	Argila	Disp. H <sub>2</sub> O
0,10 m	0,2	2,0	25,0	50,4	9,9	87,5	2,9	9,4	5,5
0,50 m	0,2	3,0	30,6	42,5	7,6	83,9	3,5	12,6	8,5
1,00 m	0,4	3,1	30,8	41,3	8,3	83,9	3,5	12,6	9,4

### 3.4. Coleta de materiais vegetais

Para as análises químicas, as amostras dos diferentes componentes das plantas foram obtidas a partir de três árvores por parcela, totalizando doze árvores por espécie.

A escolha das árvores foi feita com base na medição prévia de todas as árvores das parcelas separadas em três classes de altura: dominantes, codominantes e dominadas. Para as coletas das amostras, foram utilizadas árvores representativas da média de cada classe de altura.

Das árvores abatidas, foram tomados dados de altura comercial do fuste (altura que vai da base até o diâmetro de 6 cm) e a cada segmento de 3 metros foi anotado o diâmetro do tronco e a espessura da casca. A determinação do volume real do tronco com casca, sem casca e volume da casca, foi feita através da fórmula de Smalliam.

$$V = \frac{1}{2} \left( \frac{\pi D^2}{4} + \frac{\pi d^2}{4} \right) h$$

onde:

V = volume do segmento (com casca e sem casca)

D = diâmetro maior do segmento (com casca e sem casca.

d = diâmetro menor do segmento (com casca e sem casca.

$h$  = comprimento do segmento.

O volume real do tronco é dado pelo somatório dos segmentos que compõem a árvores.

Para determinar a concentração média dos nutrientes na biomassa, foram retiradas amostras das folhas e ramos da parte intermediária da copa, em cada um dos pontos cardeais, e também do lenho e da casca a partir de um disco localizado na parte intermediária do fuste (YOUNG e CARPENTER, 1976). Foram ainda retiradas amostras das folhas do ano localizadas no ápice da copa para análise nutricional.

### 3.5. Determinações da densidade básica da madeira e da casca do tronco das árvores abatidas

A densidade básica média da madeira e da casca do tronco foi determinada pelo método da balança hidrostática, segundo as normas da ABCP M14/70\*. Foi utilizado um disco retirado da parte intermediária do tronco de cada árvore das doze amostradas por espécie. Os discos foram levados para o laboratório do Setor de Química, Celulose e Energia do Departamento de Silvicultura da ESALQ-USP, onde foi determinada a densidade básica média utilizando-se da seguinte fórmula:

---

\* Normas de ensaio da Associação Técnica Brasileira de Celulose e Papel.

$$db = PS / (PU - PI)$$

Onde:

db = densidade básica média do disco

PS = peso seco do disco em estufa a  $105 \pm 3^{\circ}C$ .

PU = peso úmido saturado do disco

PI = peso ímerso

### 3.6. Determinação do volume com casca, sem casca e peso sê co do tronco da árvore em pê

#### 3.6.1. Volume real com casca e sem casca

Para determinação do volume real com casca e sem casca da árvore em pê de cada espécie, empregou-se a equação de determinação de volume usualmente utilizada no Departamento de Silvicultura da ESALQ/USP\*, para diferentes espécies de *Eucalyptus* plantadas na região do cerrado.

$$VR = 0,05 \times (D^2 H)^{0,9631}$$

onde:

VR = volume real com casca e sem casca

D = diâmetro a altura do peito com casca e sem casca

H = altura total do tronco

..... 0,9631 = constante

---

\* Dados fornecidos pelo Prof. Hilton Thadeu Zarate do Couto

### 3.6.2. Peso seco dos troncos das árvores

O peso dos troncos das árvores foi estimado a partir do volume real, determinado em 3.6.1., utilizando-se a fórmula:

$$P = VR \times d$$

onde:

P = peso total do tronco da árvore

VR = volume real total da parcela em pé

d = densidade básica média dos discos obtidos nas doze árvores abatidas.

### 3.7. Análise química das amostras

As amostras de folhas, ramos, casca e lenho foram colocadas para secar em uma estufa de ventilação forçada, a 70-75°C, até alcançar peso constante. Em seguida, para determinação das concentrações dos nutrientes, o material foi triturado em moinho tipo Wiley e peneirado com malha 20.

As determinações de K, Ca, Mg, Fe, Zn, Cu e Mn foram efetuadas com espectrofotômetro de absorção atômica, o fósforo pelo método Vanado-molibdato de amônio e o nitrogênio pelo método do Micro Kjeldahl, de acordo com SARRUGE e HAAG (1974).

### 3.8. Determinação do conteúdo de nutrientes no lenho e na casca

Os conteúdos de nutrientes na biomassa do lenho e casca de cada espécie foram estimados multiplicando-se os valores dos teores de nutrientes encontrados no lenho e na casca pelos valores de biomassa de cada componente das árvores.

### 3.9. Índice de eficiência de utilização de nutrientes

O índice de eficiência de utilização de nutrientes foi calculado em kg de matéria seca produzida por kg de nutriente utilizado, de acordo com os conceitos fundamentados nos trabalhos de HANSEN e BAKER (1979).

### 3.9. Índice de eficiência de utilização de nutrientes

Os valores foram analisados através do teste de Tukey e curvas de regressão, relacionando os parâmetros: altura (H), diâmetro à altura do peito (D) e diâmetro à altura do peito ao quadrado x altura ( $D^2H$ ), com os teores de nutrientes nas folhas do ápice, parte intermediária da copa, ramos, lenho e casca.

## 4. RESULTADOS

### 4.1. Características dendrométricas

As características de altura, diâmetro, volume, densidade, peso e sobrevivência podem ser observadas na Tabela 3. O *E. grandis* teve um crescimento em altura mais acentuado. Em volume, as duas espécies que apresentaram performance melhor do que as demais foram *E. grandis* e *E. saligna*. As espécies que apresentaram menor crescimento em altura, diâmetro e volume, tiveram maiores valores para densidade, destacando-se o *E. propinqua*, com uma densidade no lenho de 0,634 g/cm<sup>3</sup>.

Tabela 3. Características dendrométricas das cinco espécies de *Eucalyptus*.

Espécies	Altura (m)	Diâmetro (cm)	Volume real (m <sup>3</sup> )	Volume		Casca Lenho %	Densidade casca lenho g/cm <sup>3</sup>	Peso da casca lenho		Peso Total casca + lenho t/ha	Sobrevivência %		
				Casca	lenho			casca	lenho				
<i>E. grandis</i>	23,40 a	15,10 a	379,39 a	74,3	323,1	18,7	81,3	0,312 ab	0,496 a	23,3	160,3	183,5	85,4 a
<i>E. saligna</i>	21,83 ab	15,08 a	371,81 a	55,8	316,0	15,0	85,0	0,278 ab	0,534 ab	15,5	168,7	184,2	86,8 a
<i>E. propinqua</i>	16,98 c	11,88 b	186,52 b	51,3	135,2	27,5	72,5	0,342 b	0,634 b	17,5	85,7	113,2	87,5 a
<i>E. dunnii</i>	18,40 bc	13,65 ab	266,13 ab	50,3	215,8	18,9	81,1	0,296 ab	0,582 ab	14,9	125,6	140,5	72,9 a
<i>E. robusta</i>	19,60 abc	14,18 a	272,95 ab	73,7	199,3	27,0	73,0	0,227 a	0,589 ab	16,7	117,4	134,1	78,5 a

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

#### 4.2. Concentrações médias de nutrientes nas folhas

As concentrações médias de nutrientes nas folhas do ápice da copa de cada uma das espécies estudadas encontram-se na Tabela 4. A seguir, na Tabela 5 são apresentadas as concentrações médias de nutrientes nas folhas da parte intermediária da copa.

O *E. grandis* é a espécie que apresenta as menores concentrações de N e P nas folhas do ápice da copa, sendo que as concentrações de K não apresentam diferenças significativas entre as espécies. Ainda na Tabela 4, observa-se que o *E. dunnii* tem maiores concentrações de N e P. O *E. dunnii* e o *E. robusta* destacam-se pela alta concentração de Mn.

Em termos médios, os valores das concentrações de nutrientes encontrados nas folhas da parte intermediária da copa, são menores do que aqueles encontrados nas folhas do ápice. Sabe-se que o material oriundo do ápice da copa reflete melhor as condições nutricionais das espécies. Como exceção deve-se assinalar que, de maneira geral, a concentração de cálcio é maior nas folhas da parte intermediária da copa do que no ápice.

**Tabela 4.** Concentração de nutrientes nas folhas do ápice das copas das cinco espécies de *Eucalyptus*.

Espécies	Nutrientes									
	N	P	K	Ca	Mg	Mn	Fe	Cu	Zn	
	%									
	ppm									
<i>E. grandis</i>	1,87 ab	0,117 ab	0,880 a	0,432 a	0,217ab	829 b	178 a	11 a	2 a	
<i>E. saligna</i>	1,66 b	0,088 bc	0,805 a	0,472 a	0,286 a	900 b	186 a	9 b	12 a	
<i>E. propinqua</i>	1,39 c	0,101 abc	0,820 a	0,480 a	0,283 a	558 b	81 b	9 b	10 a	
<i>E. dunnii</i>	2,04 a	0,125 a	0,836 a	0,467 a	0,208 ab	1367 a	122 b	10 ab	10 a	
<i>E. robusta</i>	1,65 b	0,079 c	0,773 a	0,302 b	0,117 b	1312 a	177 a	11 a	10 a	

(\*) Valores seguidos da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

**Tabela 5.** Concentrações de nutrientes nas folhas da parte intermediária da copa das cinco espécies de *Eucalyptus*.

Espécies	Nutrientes					ppm				
	N	P	K	Ca	Mg	Mn	Fe	Cu	Zn	
<i>E. grandis</i>	1,738 ab	0,0908 ab	0,834 a	0,497 ab	0,200 b	1008 bc	213 a	13 a	10 ab	
<i>E. saligna</i>	1,643 bc	0,0825 ab	0,832 a	0,437 b	0,200 b	875 c	193 ab	12 ab	8 b	
<i>E. propinqua</i>	1,448 c	0,0856 ab	0,829 a	0,558 a	0,311 a	883 c	145 c	10 bc	10 ab	
<i>E. dunnii</i>	1,926 a	0,0938 a	0,740 a	0,443 ab	0,158 bc	1375 a	153 bc	11 abc	9 b	
<i>E. robusta</i>	1,633 bc	0,0783 b	0,838 a	0,306 c	0,118 c	1267 ab	188 abc	9 c	12 a	

(\*) Valores seguidos da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

#### 4.3. Concentração de nutrientes nos ramos

As concentrações de nutrientes nos ramos encontram-se na Tabela 6, onde se observa que de maneira geral, são mais baixas do que as concentrações observadas nas folhas. O *E. dunnii* possui a maior concentração de N e o *E. propinqua* as maiores concentrações de P, K, Ca e Mg. As elevadas concentrações de Mn observadas nas folhas das espécies de *E. dunnii* e *E. robusta* não são observadas nos ramos.

#### 4.4. Concentração de nutrientes na casca

Na Tabela 7 são apresentadas as concentrações médias de nutrientes para as cinco espécies de *Eucalyptus* estudadas. De um modo geral, a casca apresenta concentrações de nutrientes mais baixas do que as folhas e os ramos. Todavia, deve ser salientado que o cálcio, de maneira geral, apresenta concentrações mais elevadas na casca do que nas folhas, destacadamente o *E. saligna*. O *E. dunnii* apresenta o teor mais elevado de potássio. Dentre os micronutrientes, deve-se assinalar que a casca de *E. propinqua* apresenta uma concentração de Fe cerca de dez vezes mais elevada do que nas folhas.

**Tabela 6.** Concentrações de nutrientes nos ramos das cinco espécies de *Eucalyptus*.

Espécies	Nutrientes									
	N	P	K	Ca	Mg	Mn	Fe	Cu	Zn	
	%									
	ppm									
<i>E. grandis</i>	0,348 ab	0,024 a	0,253 b	0,205 ab	0,0850 a	575 a	62 a	9 bc	9 a	
<i>E. saligna</i>	0,388 ab	0,026 a	0,211 bc	0,153 b	0,0792 a	492 a	56 a	5 d	10 a	
<i>E. propinqua</i>	0,331 b	0,030 a	0,317 a	0,280 a	0,0875 a	592 a	63 a	16 a	11 a	
<i>E. dunnii</i>	0,424 a	0,026 a	0,257 ab	0,165 b	0,09725 a	496 a	63 a	12 b	9 a	
<i>E. robusta</i>	0,403 ab	0,028 a	0,178 c	0,182 b	0,0875 a	446 a	53 a	6 cd	8 a	

(\*) Valores seguidos da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Tabela 7. Concentrações de nutrientes na casca das cinco espécies de *Eucalyptus*.

Espécies	Nutrientes											
	N	P	K	%			Mg	Mn	Fe	Cu	Zn	
				Ca								ppm
<i>E. grandis</i>	0,290 b	0,0265 a	0,296 bc	0,306 b	0,097 b	621 b	33 c	5 a	9 ab			
<i>E. saligna</i>	0,373 a	0,0260 a	0,334 ab	0,661 a	0,155 ab	959 a	30 c	5 a	11 a			
<i>E. propinqua</i>	0,301 b	0,0246 a	0,224 c	0,173 b	0,208 a	571 b	302 a	5 a	9 ab			
<i>E. dunnii</i>	0,288 b	0,0243 a	0,410 a	0,469 ab	0,152 ab	679 ab	40 c	5 a	11 a			
<i>E. robusta</i>	0,224 c	0,0279 a	0,262 bc	0,316 ab	0,202 a	829 ab	122 b	5 a	7 b			

(\*) Valores seguidos da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

#### 4.5. Concentrações de nutrientes no lenho

As concentrações de nutrientes no lenho das cinco espécies em questão são apresentados na Tabela 8. Pode-se observar nesta tabela, que as concentrações dos elementos são em geral menores do que aquelas encontradas nas folhas, ramos e casca das árvores. Para o fósforo e potássio, as concentrações no lenho são, em média, respectivamente 17; 14 e 8 vezes mais baixas do que nas folhas.

#### 4.6. Conteúdo de nutrientes no lenho e na casca

A distribuição dos nutrientes nos vários componentes das árvores tem grande importância na nutrição de povoamentos florestais manejados em rotações sucessivas. O manejo intensivo das plantações pode aumentar significativamente a produção de biomassa, mas também, aumenta a remoção de nutrientes do sítio, a qual é influenciada basicamente por três fatores: o volume, a densidade e a concentração de nutrientes.

As maiores concentrações de nutrientes em árvores estão nos tecidos das copas. No entanto, a maior quantidade de biomassa encontra-se no tronco (POGGIANI *et alii*, 1979), que é a parte normalmente mais explorada. O conteúdo de nutrientes (kg/ha) de biomassa do lenho das cinco espécies

Tabela 8. Concentrações de nutrientes de lenho de cinco espécies de *Eucalyptus*.

Espécies	Nutrientes						Fe	Cu	Zn
	N	P	K	Ca	Mg	Mn			
	%						ppm		
<i>E. grandis</i>	0,080 b	0,0023 b	0,061 b	0,165 a	0,048 a	425 cd	18 c	3 b	4 a
<i>E. saligna</i>	0,120 ab	0,0038 b	0,072 b	0,188 a	0,043 a	387 d	30 bc	5 a	4 a
<i>E. propinqua</i>	0,120 ab	0,0094 a	0,130 a	0,144 a	0,023 b	617 bc	39 ab	5 a	5 a
<i>E. dunnii</i>	0,076 b	0,0053 b	0,111 a	0,211 a	0,033 ab	675 b	26 bc	5 a	4 a
<i>E. robusta</i>	0,158 a	0,0088 a	0,115 a	0,179 a	0,025 b	925 a	52 a	6 a	4 a

(\*) Valores seguidos da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

de *Eucalyptus* encontra-se na Tabela 9, onde pode ser observado que o *E. dunnii* é o que menos acumula nitrogênio, o *E. grandis* é o que tem maior produtividade com menor acúmulo de P e K e o *E. robusta* é o que mais acumula fósforo.

Tabela 9. Biomassa e conteúdo de nutrientes no lenho de cinco espécies de *Eucalyptus*.

Espécies	Biomassa t/ha	Nutrientes				
		N	P	K	Ca	Mg
		kg/ha				
<i>E. grandis</i>	160,3	128,2	3,7	97,8	264,5	76,9
<i>E. saligna</i>	168,7	202,4	6,4	121,5	317,2	72,5
<i>E. propinqua</i>	85,7	102,8	8,0	111,4	123,4	19,7
<i>E. dunnii</i>	125,6	95,5	6,7	199,4	265,0	41,4
<i>E. robusta</i>	117,4	185,5	10,3	135,0	210,1	29,3

Na Tabela 10, analisando o conteúdo de nutrientes na casca das árvores que compõem os talhões das cinco espécies de *Eucalyptus*, pode-se ressaltar que o talhão de *E. grandis* é o que acumula mais N, P e K e o que tem menor acúmulo de Mg. Os demais elementos são acumulados em menores quantidades nos talhões de *E. robusta* (N); *E. dunnii* (P) e *E. pro*

*pinqua* (K e Ca).

Tabela 10. Biomassa e conteúdo de nutrientes na casca das cinco espécies de *Eucalyptus*.

Espécie	Biomass. (t/ha)	Nutrientes					
		N	P	K	Ca	Mg	
		kg/ha					
<i>E. grandis</i>	lenha	160,3	122,2	3,7	94,3	264,5	76,9
	casca	23,3	67,6	6,2	70,0	71,3	22,6
<i>E. saligna</i>		183,6	189,8	9,9	168,8	335,8	99,5
<i>E. saligna</i>		15,5	57,8	4,0	51,8	102,4	24,0
<i>E. propinqua</i>		17,5	52,7	4,3	39,2	30,3	36,4
<i>E. dunnii</i>		24,9	42,0	3,6	61,1	69,9	22,6
<i>E. robusta</i>		16,7	37,4	4,7	43,7	52,8	33,7

A Tabela 11, permite a comparação dos totais de biomassa e de nutrientes no tronco das cinco espécies de *Eucalyptus*. Observa-se que o *E. saligna* produz maior quantidade de biomassa e tem maiores conteúdos de nutrientes. O *E. propinqua* é a espécie que tem menor conteúdo de nutrientes no tronco, porém, é a menos produtiva, em termos de biomassa.

Tabela 11. Conteúdo de N, P, K, Ca e Mg no tronco (lenho + casca) das cinco espécies de *Eucalyptus*.

Espécies	Biomassa Tronco t/ha	Nutrientes		
		Lenho	Casca kg/ha	Tronco
<i>E. grandis</i>	183,6	571,1	236,6	897,8
<i>E. saligna</i>	184,2	720,0	240,1	960,1
<i>E. propinqua</i>	103,2	365,4	162,8	528,3
<i>E. dunnii</i>	150,5	548,0	200,1	748,2
<i>E. robusta</i>	134,1	570,3	172,3	742,6

#### 4.7. Índice de eficiência de utilização dos nutrientes

Os troncos das árvores incluem o maior percentual de biomassa produzida por uma plantação florestal. Esta proporção tende a aumentar a medida que envelhece o povoamento (ANDRAE, 1976). O aumento desta biomassa está relacionado com a eficiência de utilização dos nutrientes por cada espécie que, segundo HANSEN e BAKER (1979), é a quantidade de matéria seca (kg) produzida por kg de nutriente utilizado.

Na Tabela 12, estão representados os índices de eficiência das cinco espécies de *Eucalyptus*, para a produção de biomassa do lenho.

**Tabela 12.** Índice de eficiência de utilização de nutrientes para a produção do lenho em cinco espécies de *Eucalyptus*.

Espécie	kg de biomassa/kg de nutriente utilizado				
	N	P	K	Ca	Mg
<i>E. grandis</i>	1250	43441	1639	606	2083
<i>E. saligna</i>	833	26318	1389	532	2326
<i>E. propinqua</i>	833	10645	769	694	4348
<i>E. dunnii</i>	1316	18858	901	474	3030
<i>E. robusta</i>	633	11365	869	559	4000

Observa-se que a espécie mais eficiente para utilização de N é o *E. dunnii*, para o P é o *E. grandis* e para o Ca e Mg é o *E. propinqua*.

Os índices de eficiência, para a produção da casca, estão representados na Tabela 13, onde se observa que o *E. dunnii* tem destacadamente alta eficiência de utilização de N, P e Mg e o *E. propinqua* alta eficiência de utilização de K e Ca.

**Tabela 13.** Índice de eficiência de utilização de nutrientes para a produção de casca em cinco espécies de *Eucalyptus*.

Espécie	kg de biomassa produzida/ kg de nutriente utilizado				
	N	P	K	Ca	Mg
<i>E. grandis</i>	345	3776	333	327	1031
<i>E. saligna</i>	268	3846	299	151	426
<i>E. propinqua</i>	332	4070	446	578	729
<i>E. dunnii</i>	580	6878	408	356	1099
<i>E. robusta</i>	446	3584	382	316	495

Na Tabela 14, são apresentados os índices de eficiência para produção de biomassa no tronco (lenho + casca), e destaca-se como mais eficiente para utilização de nitrogênio o *E. dunnii*, para utilização de fósforo e potássio o *E. grandis* e para utilização de cálcio e magnésio o *E. propinqua*.

**Tabela 14.** Índice de eficiência para produção de biomassa no tronco (lenho + casca) das cinco espécies de *Eucalyptus*.

Espécie	kg de biomassa produzida/ kg de nutriente utilizado				
	N	P	K	Ca	Mn
<i>E. grandis</i>	1595	47217	1972	933	3114
<i>E. saligna</i>	1101	30164	1688	683	2752
<i>E. propinqua</i>	1165	14715	1215	1272	5077
<i>E. dunnii</i>	1896	25736	1309	830	4129
<i>E. robusta</i>	1079	14948	1251	875	4485

#### 4.8. Variações das concentrações de nutrientes em função do tamanho da árvore

Com a finalidade de se detectar variações nas concentrações de nutrientes em função do tamanho das árvores, foram testadas diversas equações, relacionando-se parâmetros de crescimento tais como: altura (H); D (diâmetro à altura do peito) e  $D^2H$  (diâmetro a altura do peito ao quadrado x altura), em relação às concentrações de nutrientes nas folhas do ápice da copa, folhas da parte intermediária da copa, ramos, casca e lenho.

Dentre as equações testadas foram selecionadas como representativas aquelas que apresentaram o coeficiente de correlação mais alto, sendo que algumas se correlacionaram significativamente apenas para o diâmetro, outras para a altura e outra para  $D^2_H$ .

#### 4.8.1. Nitrogênio

Nas Figuras 3, 4, 5 e 6 podem ser visualizadas as tendências das concentrações de nitrogênio nos ramos, lenho e casca de *E. grandis*, *E. dunnií* e *E. propínqua*. Observa-se que o nitrogênio apresenta concentrações mais elevadas nas árvores dominadas. As concentrações diminuem a medida que aumenta o tamanho das árvores.

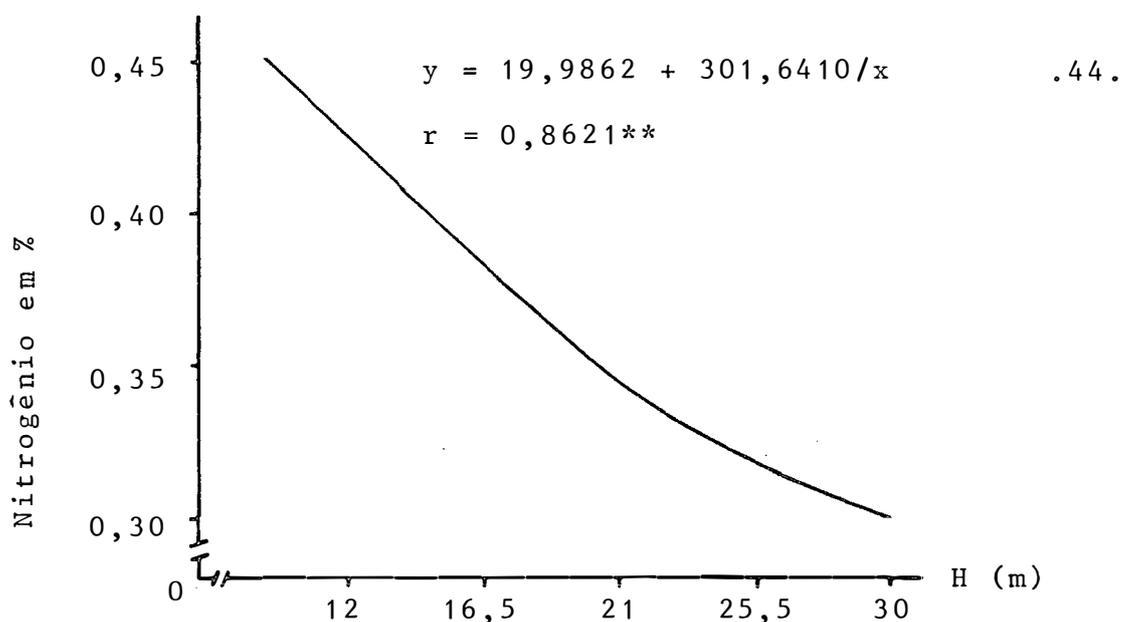


Figura 3. Representação gráfica da equação de regressão da altura versus concentração de nitrogênio nos ramos de *E. grandis*.

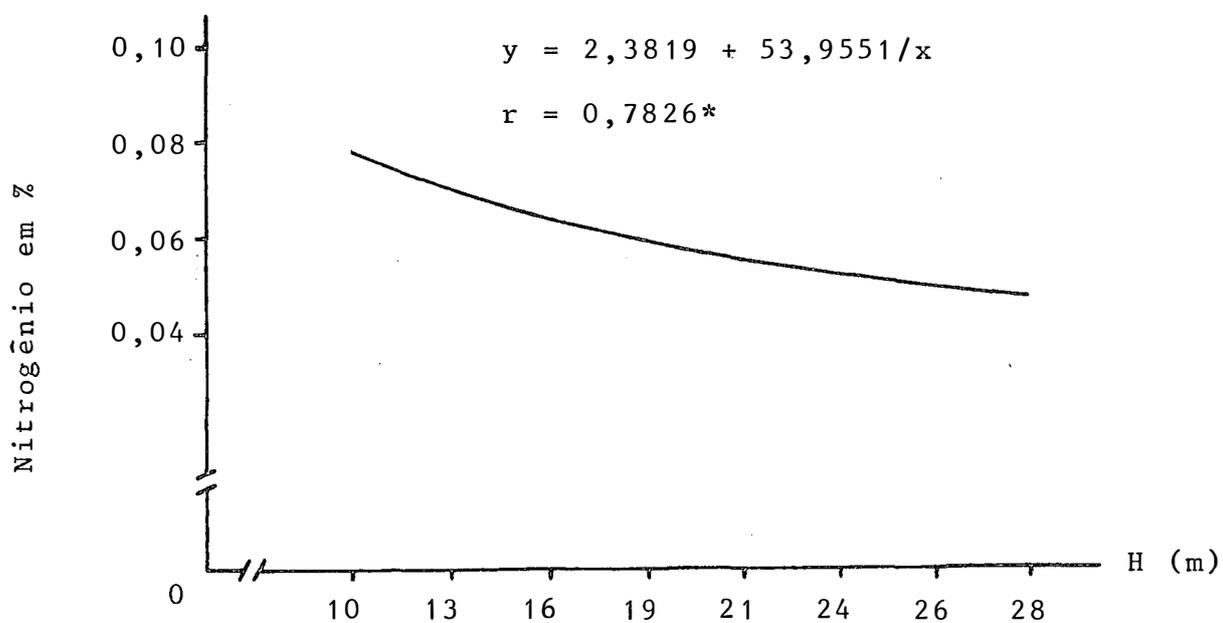


Figura 4. Representação gráfica da equação de regressão da altura versus concentração de nitrogênio no lenho de *E. dunnii*.

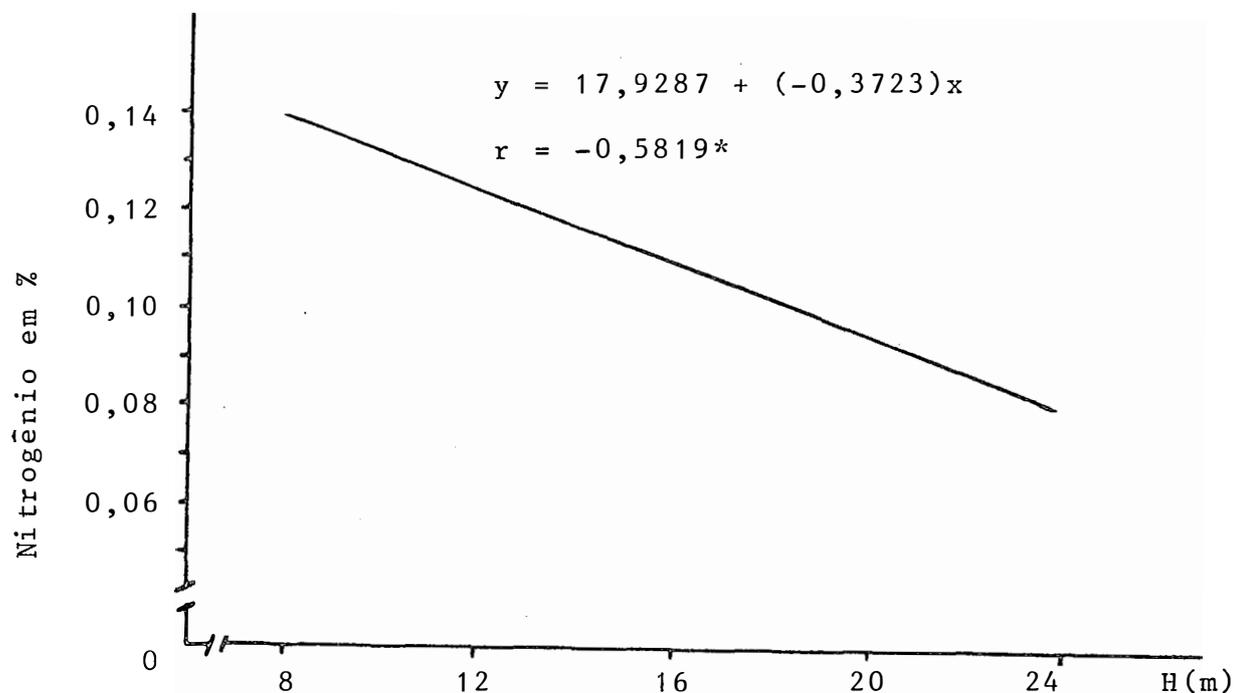


Figura 5. Representação gráfica da equação de regressão da altura versus concentração de nitrogênio no lenho de *E. propinqua*.

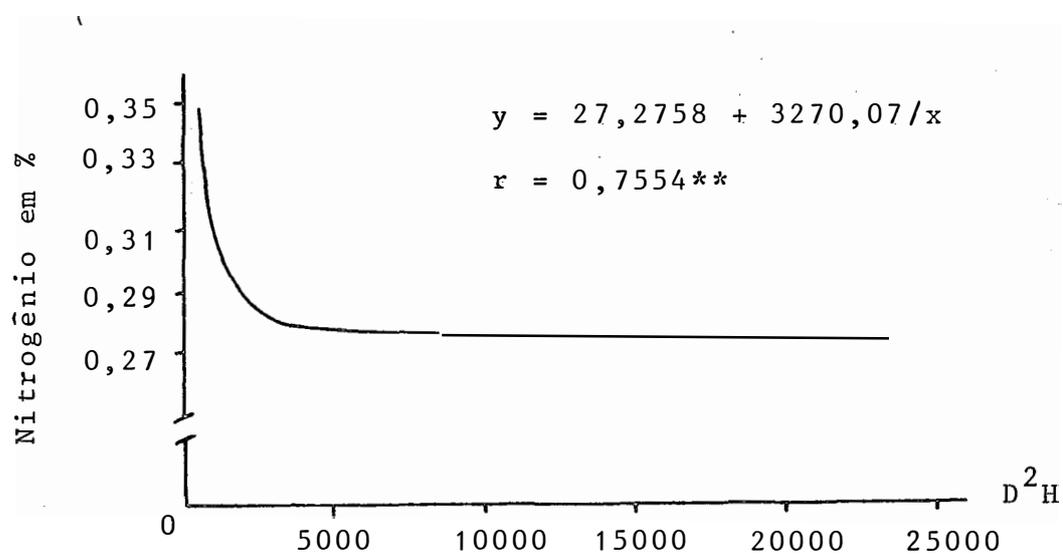


Figura 6. Representação gráfica da equação de regressão do  $D^2H$  versus concentração de nitrogênio na casca de *E. grandis*.

#### 4.8.2. Fósforo

As concentrações de fósforo nas folhas da parte intermediária da copa e ramos, de *E. grandis* e *E. saligna* apresentam tendências que podem ser observadas nas Figuras 7, 8 e 9. Observa-se que o fósforo tem concentrações que aumentam com o tamanho das árvores. Entretanto, a concentração de fósforo, no lenho de *E. grandis*, diminui com o aumento do tamanho das árvores.

#### 4.8.3. Potássio

No lenho de *E. grandis* e nas folhas de ápice da copa de *E. propinqua* (Figuras 11 e 12) observa-se que as maiores concentrações de potássio encontram-se nas árvores do minadas de decrescem a medida que as árvores apresentam um porte maior.

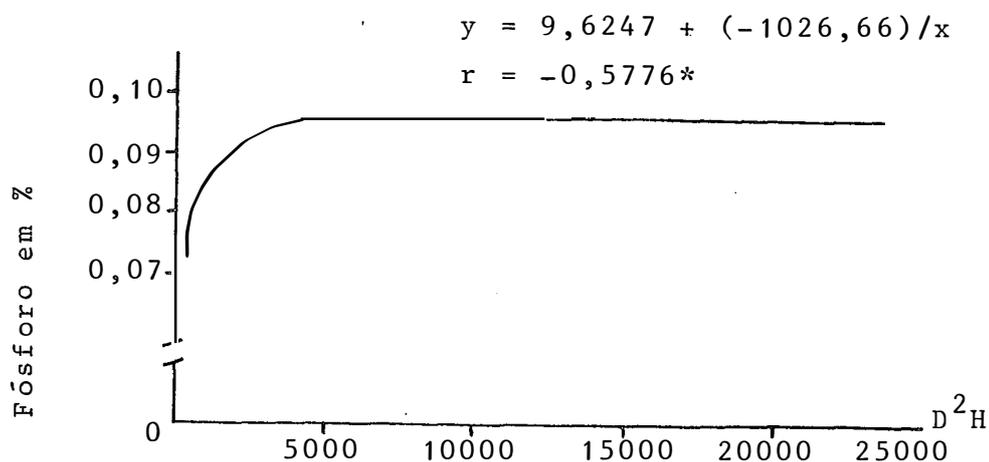


Figura 7. Representação gráfica da equação de regressão do  $D^2H$  versus concentração de fósforo nas folhas da parte intermediária da copa de *E. grandis*.

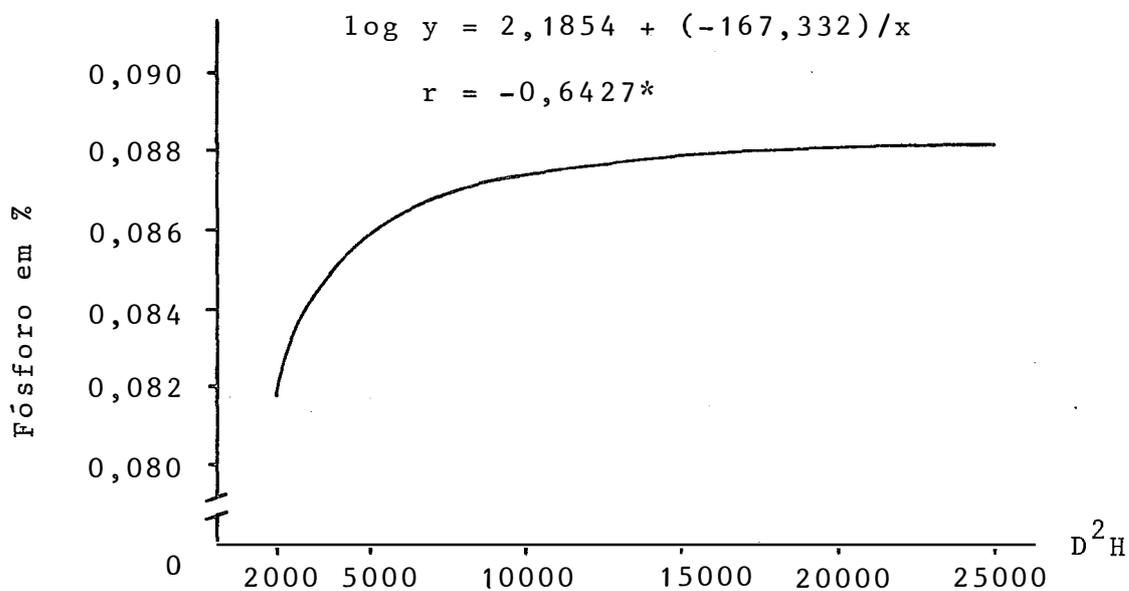


Figura 8. Representação gráfica da equação de regressão do  $D^2H$  versus concentração de fósforo das folhas da parte intermediária da copa de *E. saligna*.

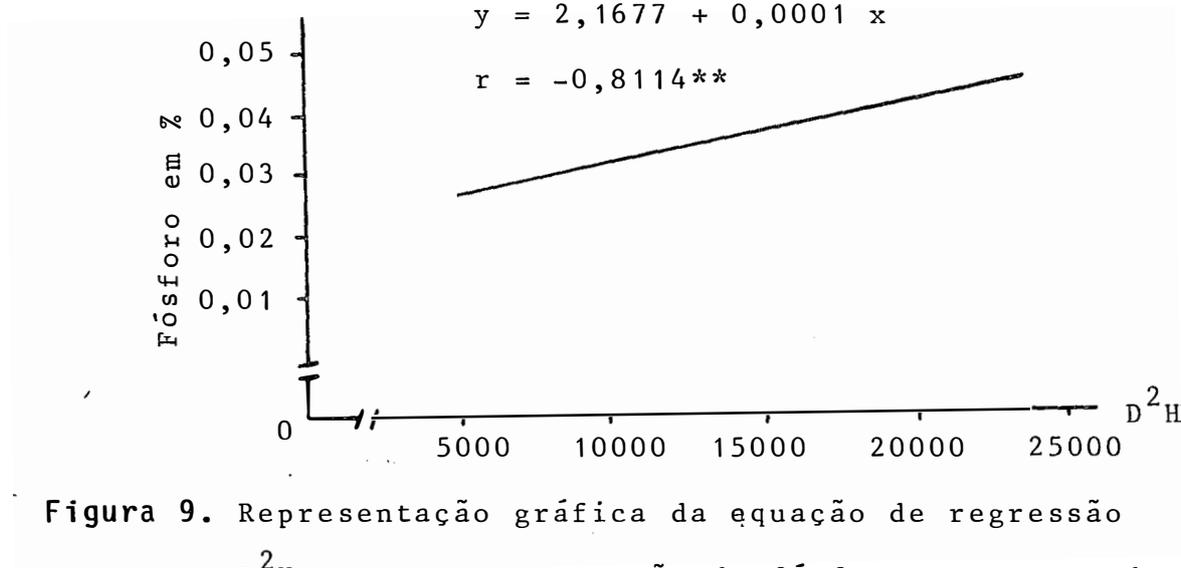


Figura 9. Representação gráfica da equação de regressão do  $D^2H$  versus concentração de fósforo nos ramos de *E. grandis*.

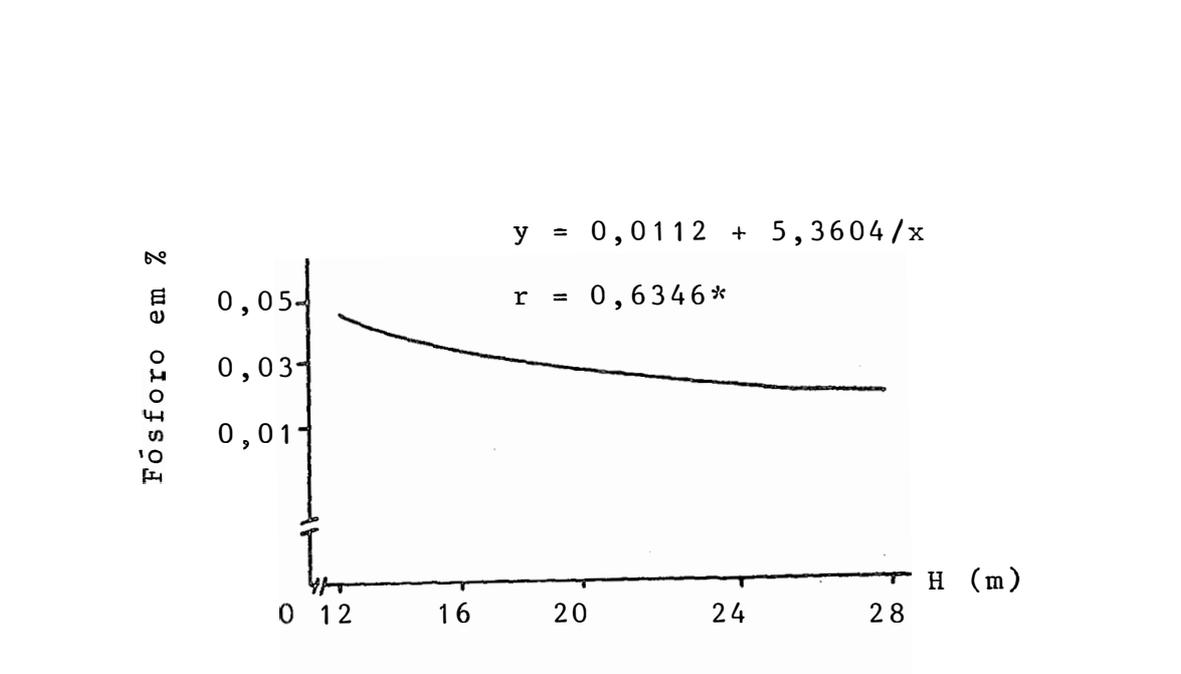


Figura 10. Representação gráfica da equação de regressão da altura versus concentração de fósforo no lenho de *E. grandis*.

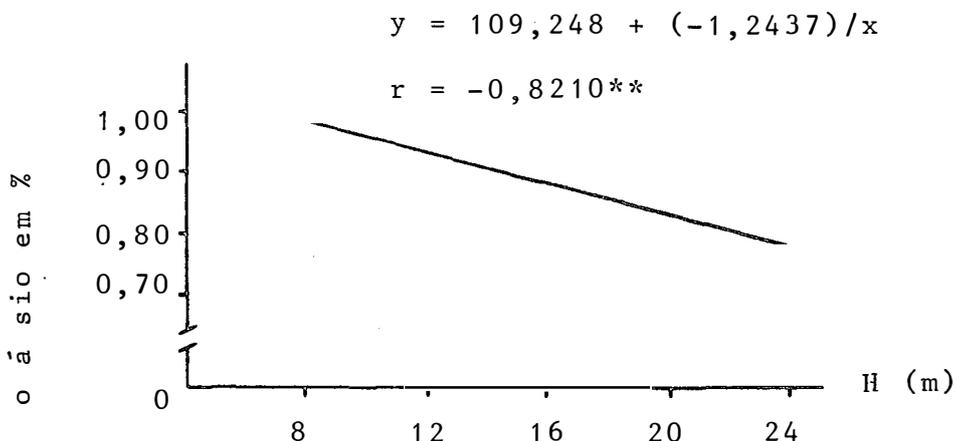


Figura 11. Representação gráfica da equação de regressão da altura versus concentração de potássio nas folhas do ápice da copa de *E. propinqua*.

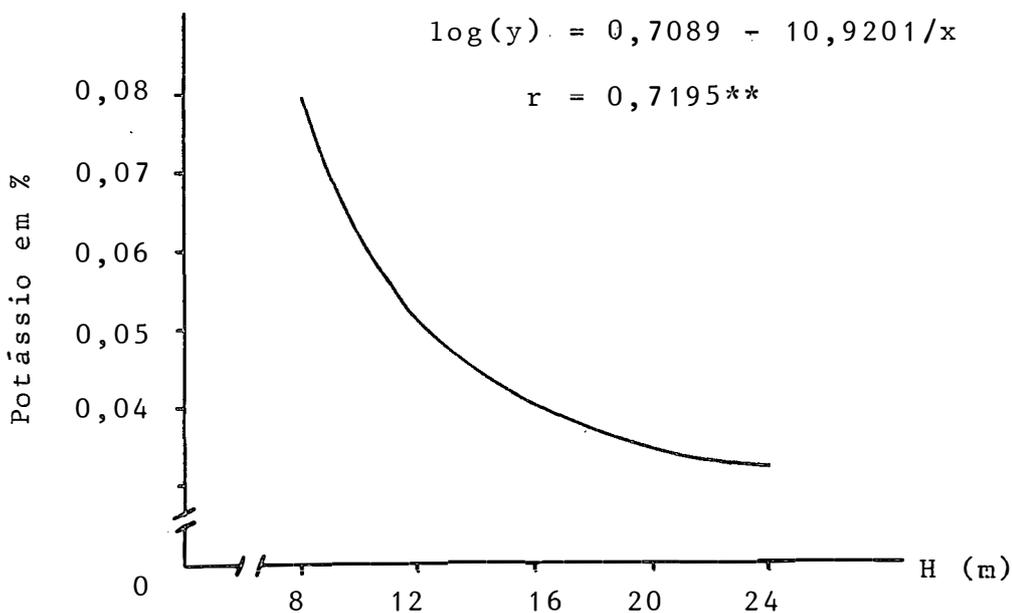


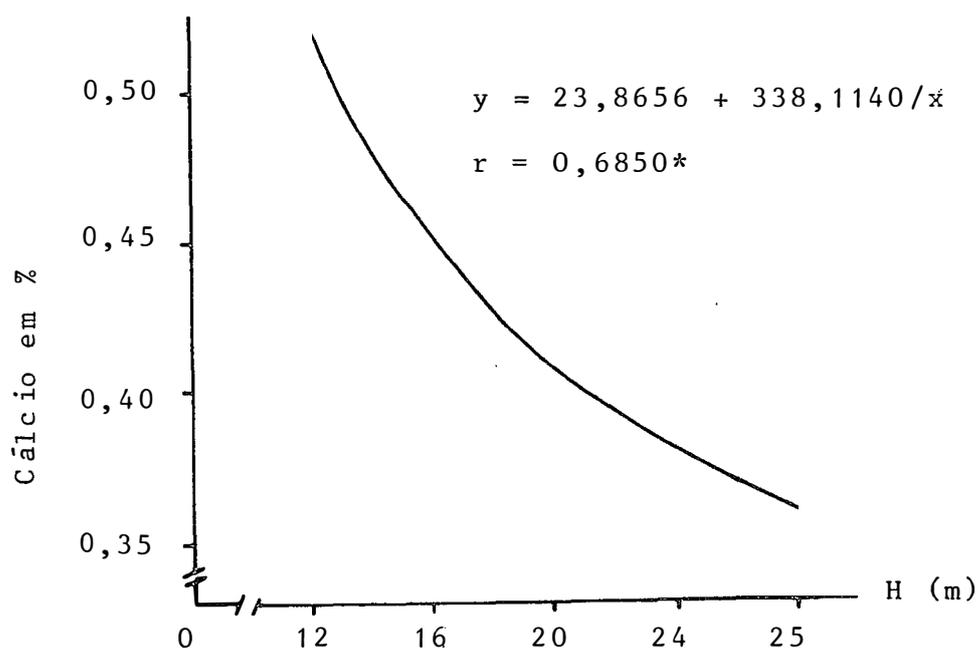
Figura 12. Representação gráfica da equação de regressão da altura versus concentração de potássio no lenho de *E. grandis*.

#### 4.8.4. Cálcio

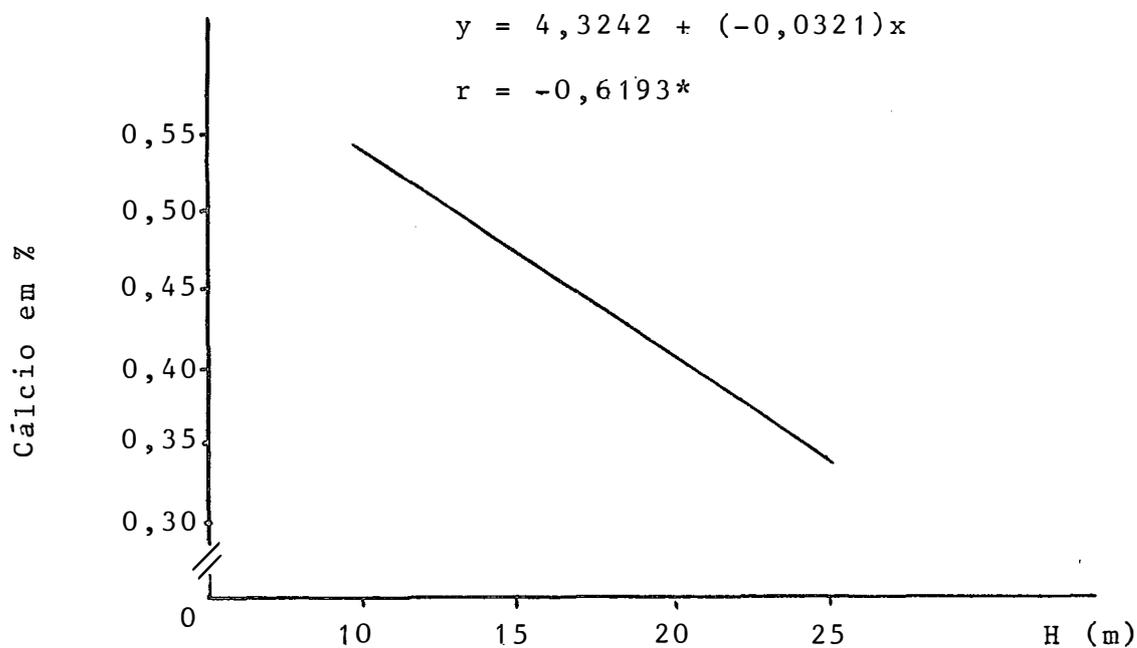
As tendências das concentrações de cálcio nas folhas do ápice da copa de *E. saligna*, nas folhas da parte intermediária da copa de *E. dunnii* e na casca de *E. saligna* são apresentadas nas Figuras 13, 14 e 15 . Observa-se que na casca de *E. saligna* as concentrações de cálcio são mais altas nas árvores de maior porte. Entretanto, nas folhas do ápice de *E. saligna* e nas folhas da parte intermediária de *E. dunnii* as concentrações de cálcio diminuem com o aumento do tamanho das árvores.

#### 4.8.5. Magnésio

Nas Figuras 16 e 17 observa-se que nos ramos de *E. propinqua* e no lenho de *E. robusta* o elemento magnésio concentra-se mais nas árvores dominantes.



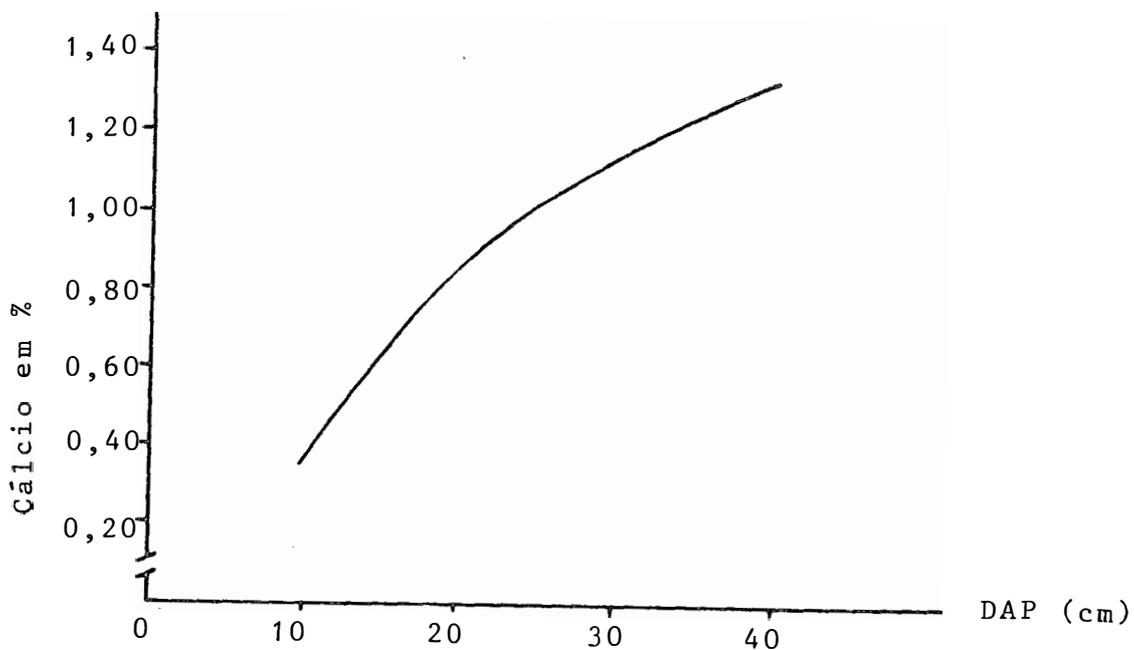
**Figura 13.** Representação gráfica da equação de regressão da altura versus concentração de cálcio nas folhas do ápice da copa de *E. saligna*.



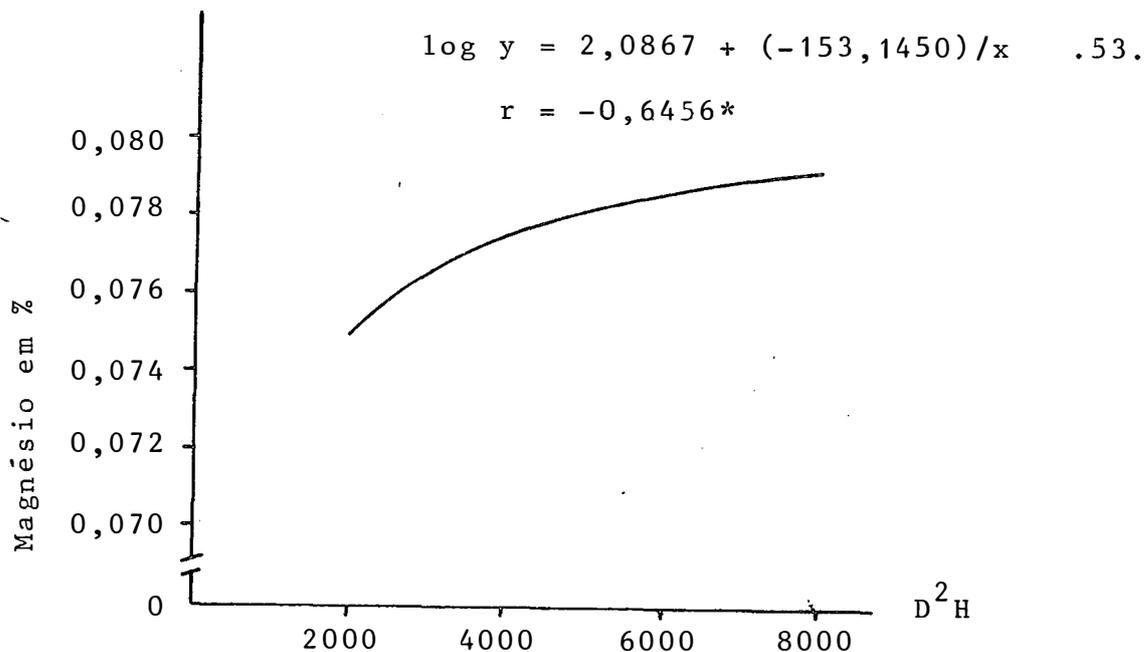
**Figura 14.** Representação gráfica da equação de regressão da altura versus concentração de cálcio nas folhas da parte intermediária da copa de *E. dunni*.

$$\log y = 5,3394 + (-17,7759)/x$$

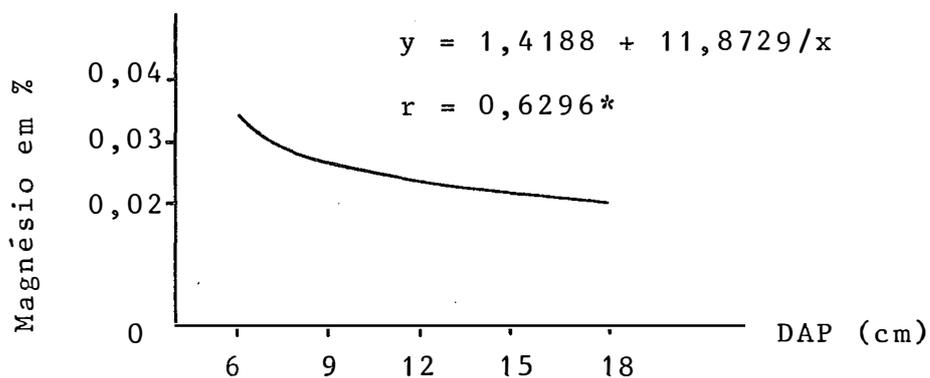
$$r = -0,7075^{**}$$



**Figura 15.** Representação gráfica da equação de regressão do DAP versus concentração de cálcio na casca de *E. saligna*.



**Figura 16.** Representação gráfica da equação de regressão de D<sup>2</sup>H versus concentração de magnésio nos ramos de *E. propinqua*.



**Figura 17.** Representação gráfica da equação de regressão do DAP versus concentração de magnésio no lenho de *E. robusta*.

## 5. DISCUSSÃO

### 5.1. Características dendrométricas

Além do potencial genético que cada espécie apresenta para o crescimento, de um modo geral, os eucaliptos possuem capacidade de desenvolvimento em diversas condições de climas e solos, demonstrando uma grande plasticidade do gênero (FIERROS e MUSALEM, 1978).

O Brasil e a Austrália têm áreas situadas dentro da mesma faixa de latitude, abrangendo condições climáticas que variam do tropical ao sub-tropical. Esta semelhança faz com que seja facilitada a introdução, no Brasil, de eucaliptos apropriados para a formação de plantações florestais.

Na Austrália, as áreas de ocorrência das espécies utilizadas nesta pesquisa, apresentam latitudes variando

de 27 a 36°S (HALL *et alii*, 1970), abrangendo uma faixa de latitude situada mais ao sul do que Itirapina, localizada a 22°15' S e numa altitude de 760 m. As procedências em estudo (Tabela 1) ocorrem entre 28°52' e 31°54' S e dentre elas, o *E. saligna* e o *E. grandis* possuem na Austrália maior distribuição geográfica do que o *E. propinqua* e o *E. robusta*, os quais se distribuem na faixa litorânea, enquanto que, o *E. dunnii* tem sua área de ocorrência natural mais restrita, entre 29° e 31° S e em locais de maior altitude.

Do ponto de vista ecológico sabe-se que, até certo ponto, as variações de latitude podem ser compensadas pelas variações de altitude. Assim sendo, é possível que os *E. grandis* e *E. saligna*, cujos locais de origem na Austrália se situam ao sul, mais ao nível do mar, tenham sua adaptação climática favorecida pela maior altitude de Itirapina (760 m).

As espécies de *E. propinqua* e *E. robusta*, que na Austrália têm seus locais de origem em zonas de baixa altitude, podem sofrer interferências no seu crescimento, devido às maiores flutuações climáticas que ocorrem em Itirapina. Quanto ao *E. dunnii*, em se tratando de uma espécie de distribuição geográfica muito restrita e procedente de uma zona situada, na Austrália, a 30°10' S, é possível que as condições ecológicas de Itirapina sejam pouco favoráveis ao seu ritmo de crescimento.

Os resultados obtidos evidenciam que o *E. gran*

*dis* e o *E. saligna* possuem melhor potencial para o desenvolvimento em solos pobres. Esta potencialidade também foi assinalada por ATTIWILL (1980), em estudo realizado na Austrália com várias espécies de *Eucalyptus* e por GOMES *et alii* (1980), no Brasil, que elegeram os *E. grandis*, *E. saligna* e *E. dunnii* como espécies promissoras para o crescimento em solos de baixa fertilidade.

Além da maior produtividade de biomassa observada, entre as espécies estudadas, os *E. grandis* e *E. saligna* tiveram as menores percentagens de casca em relação ao *E. robusta* e *E. propinqua*.

Os valores de densidade básica para o *E. grandis* ( $0,496 \text{ g/m}^3$ ), *E. saligna* ( $0,534 \text{ g/cm}^3$ ), *E. propinqua* ( $0,634 \text{ g/cm}^3$ ), *E. dunnii* ( $0,582 \text{ g/cm}^3$ ) e *E. robusta* ( $0,589 \text{ g/cm}^3$ ), observada nesta pesquisa, diferem dos resultados apresentados por FOELKEL (1974). Este autor, que analisou a densidade básica a partir de cavados de árvores formadas de sementes procedentes de Rio Claro, cortadas aos sete anos de idade, assinalou os seguintes valores de densidade básica: *E. grandis* ( $0,575 \text{ g/cm}^3$ ), *E. saligna* ( $0,562 \text{ g/cm}^3$ ), *E. propinqua* ( $0,643 \text{ g/cm}^3$ ) e *E. robusta* ( $0,452 \text{ g/cm}^3$ ). Esta diferença pode ser atribuída a origem genética do material aliada a fatores ambientais.

FERREIRA e KAGEYAMA (1978), concluram que, de 5 a 7 anos de idade, o *E. saligna*, *E. grandis*, *E. dunni* e *E. botryoïdes* apresentaram densidade básica média muito semelhante, ficando entre  $0,430 \text{ g/cm}^3$  e  $0,500 \text{ g/cm}^3$ . As espécies de *E. pí-lularis*, *E. resinífera*, *E. urophylla* e *E. propínqua* pertencem ao grupo em que a densidade básica da madeira varia de 0,500 a  $0,580 \text{ g/cm}^3$ . Os *E. microcorys* e *E. cloeziana* destacam-se por possuírem densidades básica da madeira superiores a  $0,580 \text{ g/cm}^3$ .

A densidade básica da madeira de cada espécie pode ser afetada diretamente por diversos fatores como: tipo de célula, espessura da parede celular, quantidade de materiais não estruturais (FOELKEL, 1974), tamanho e posição da amostra no tronco (SOUZA *et alii*, 1979 e BRASIL *et alii*, 1977).

Os maiores valores de densidade básica foram encontrados nas espécies que apresentaram menor crescimento. Além de ser uma característica de comportamento particular para cada espécie, a densidade básica pode estar sendo influenciada pelo ritmo de crescimento das árvores. BRASIL (1972) verificou em talhões de *E. propínqua*, plantados em locais distintos, que havia uma diferença altamente significativa na densidade básica da madeira. Aos cinco anos de idade, os valores de densidade básica foram maiores entre os talhões que haviam apresentado um menor ritmo de crescimento.

Devemos assinalar que, do ponto de vista ecológico, nem sempre o crescimento volumétrico reflete a melhor adaptação às condições do habitat. Do ponto de vista silvicultural, devemos levar em consideração que a densidade básica é uma característica importante que determina a qualidade da madeira.

## 5.2. Concentração e conteúdo de nutrientes nos diversos componentes das árvores

As concentrações de nutrientes, nos diversos componentes das árvores, variam de espécie para espécie e sofrem influências do solo, da umidade, da capacidade de absorção de nutrientes, da época do ano, do tipo de amostragem, e também da parte da árvore onde foi coletada a amostra.

Os resultados obtidos, apresentados nas Tabelas 4 e 5, demonstram que as folhas do ápice, de um modo geral, têm maiores concentrações de nutrientes do que as folhas da parte intermediária da copa, exceto para cálcio. Resultado semelhante foi detectado por Duvigneaud e Denaeyer-De Smet, citados por PRITCHETT (1979), num estudo em florestas decíduas.

Observando-se as Tabelas 5 a 8, verifica-se que, em geral, as concentrações de nutrientes apresentam a se-

guinte ordem decrescente: folhas do ápice da copa, folhas da parte intermediária da copa, ramos, casca e lenho. Este resultado está de acordo com os observados, em florestas decíduas dos Estados Unidos, por PRITCHETT (1979), em florestas de *Platanus occidentalis* por WOOD *et alii* (1977) e em povoamentos florestais de *E. grandis*, por POGGIANI *et alii* (1983).

As maiores concentrações de nutrientes encontram-se na copa que é a região responsável por grande parte da atividade metabólica da árvore.

A transferência dos nutrientes, entre os tecidos das árvores, é um processo que pode ser avaliado periodicamente. Remeyow, citado por PRITCHETT (1979), aponta para as florestas, dois tipos de ciclos de nutrientes: um externo e outro interno. O ciclo externo ou geoquímico é aquele que envolve as transferências de nutrientes para dentro e para fora do ecossistema florestal. O ciclo interno ou biológico é aquele que abrange a ciclagem interna dos nutrientes no ecossistema. SWITZER e NELSON (1972) propuseram que o ciclo biológico fosse dividido em duas partes: o ciclo bioquímico, que se refere à movimentação dos nutrientes dentro da própria árvore e o ciclo biogeoquímico, que abranje a ciclagem de nutrientes entre o solo e a biomassa arbórea.

As variações nas concentrações de nutrientes, que ocorrem nas diversas partes da planta, podem ser devidas às

transferências que se processam entre os diferentes tecidos. Os nutrientes absorvidos pelas plantas podem ser devolvidos ao solo através da queda de folhas ou transferidos internamente, permanecendo na árvore por períodos mais prolongados. Duvigneaud e Denaeyer-De Smet, citados por PRITCHETT (1979), demonstraram que em florestas decíduas, durante o ciclo vegetativo, havia uma variação nas concentrações de cálcio e potássio na seiva do xilema, sugerindo uma translocação que em geral ocorria dos tecidos senescentes para as regiões de crescimento.

SWITZER e NELSON (1972) ressaltam que 25 a 39% do nitrogênio requerido por uma plantação de *Pinus*, de idade entre 17 a 20 anos, é fornecida pela ciclagem interna. Através de estudos realizados com folhas de maçã, Oland, citado por KRAMER e KOZLOWSKI (1979), estimou que, nas 3 ou 4 semanas antes da abscisão, as folhas perderam 16% de matéria seca, 52% de nitrogênio, 27% de fósforo e 37% de potássio. A concentração de magnésio permaneceu a mesma e a de cálcio aumentou. Grigal, citado por KRAMER e KOZLOWSKI (1979), verificou em cinco espécies decíduas, que as concentrações do nitrogênio, fósforo e potássio decresceram nas folhas durante o outono, ao passo que aumentaram nos ramos. Nestas espécies, o cálcio aumentou em todos os componentes e a concentração de magnésio foi variável.

Devido à natureza conservadora dos ciclos de nutrientes, os povoamentos florestais maduros necessitam uma de

manda relativamente pequena de elementos do solo para o seu crescimento (PRITCHETT, 1979).

O aumento da biomassa, geralmente, provoca também um acúmulo de nutrientes e os dados apresentados nas Tabelas 9 e 10 demonstram que uma grande quantidade de nitrogênio, potássio e cálcio é armazenada na casca e no lenho dos eucaliptos. Na Tabela 11, observa-se que as árvores de *E. grandis* e *E. saligna*, as espécies que tiveram maior crescimento, também apresentam no tronco conteúdo de nutrientes 18% maior do que *E. dunnii* e *E. robusta* e aproximadamente 50% maior do que *E. propinqua*.

A potencialidade que algumas espécies de eucaliptos apresentam para se desenvolverem em solos pobres, reflete uma alta capacidade de utilização de nutrientes, notadamente o elemento fósforo. O conteúdo diferenciado de nutrientes nas diversas partes das plantas, se reflete na quantidade de nutrientes exportados por ocasião da exploração florestal.

Um programa florestal prevê o plantio de árvores com grande potencial de crescimento e a exploração em rotações curtas. A diminuição do ciclo da rotação e a exploração das outras partes das plantas, além do tronco, aumentam consideravelmente a taxa de nutrientes que são removidos do sítio. A análise de solo do local onde foram implantados os talhões utilizados nesta pesquisa, evidenciou uma fertilidade muito

baixa (vide Tabela 2). No entanto, todas espécies de eucaliptos apresentaram alta produtividade, quando comparadas com a vegetação autóctone.

Este fato leva a crer que, os eucaliptos possuam um sistema radicular capaz de explorar grandes volumes de solo, e devem apresentar mecanismos simbióticos de fixação de nitrogênio e de absorção de outros elementos minerais.

A elevada quantidade de nutrientes, contida na biomassa do lenho e da casca das diferentes espécies, mostra que a exploração dos talhões florestais provoca uma grande remoção dos nutrientes do sítio. Os resultados obtidos evidenciam que a casca das árvores, que representam apenas 15% da biomassa do tronco, armazena quase 30% dos nutrientes.

Neste sentido, seria conveniente que tanto a casca como os ramos e folhas das árvores, que possuem elevadas concentrações de elementos químicos, fossem deixadas no campo por ocasião da exploração florestal.

POGGIANI *et alii* (1983) estimaram que um solo de uma região de cerrado de Minas Gerais apresenta por hectare, até a profundidade de 120 cm, as seguintes quantidades de elementos químicos disponíveis às plantas: 33 kg de fósforo, 99 kg de potássio, 312 kg de cálcio e 220 kg de magnésio. Estes valores, se comparados com as quantidades de nutrientes conti-

dos no lenho e na casca das diferentes espécies de eucaliptos (Tabelas 9 e 10), evidenciam que nas plantações florestais existe a necessidade de se manter a fertilidade do solo através da utilização de adubos e que as diferentes espécies arbóreas podem exportar quantidades muito variáveis de cada elemento.

Neste sentido, há necessidade de se implementar os estudos relativos à eficiência de utilização de nutrientes por parte das diversas espécies arbóreas.

Pode-se concluir também que as rotações mais longas se tornam necessárias, a fim de "otimizar" o processo de ciclagem bioquímica e biológica, mormente em se tratando de solos de baixa fertilidade.

### 5.3. Índice de eficiência de utilização dos nutrientes

A alta produtividade dos *Eucalyptus*, em solos pobres, pode estar relacionada com uma grande capacidade de utilização de nutrientes. A análise do conteúdo de nutrientes em relação à biomassa produzida fornece subsídios para o cálculo dos índices de eficiência para produção de biomassa no lenho e na casca, das cinco espécies de *Eucalyptus* envolvidas neste estudo (Tabelas 12, 13 e 14). Observa-se que o fósforo é um elemento utilizado com muita eficiência, notadamente, pelo *E. grandis* que produz 43.411 kg de biomassa/kg de nutriente (P).

Ashton, citado por ATTIWILL (1980), encontrou alto índice de eficiência dos *E. regnans* e *E. siberi* para utilização do fósforo. Estas espécies produziram respectivamente : 49.000 e 66.000 kg de biomassa por kg de fósforo acumulado. Os resultados obtidos referentes à utilização do fósforo pelas espécies do gênero *Eucalyptus* confirmam as observações de ATTIWILL (1980), o qual concluiu que as florestas de eucaliptos têm baixo requerimento deste elemento.

Na Tabela 14, encontram-se os índices de eficiência para a produção de biomassa no lenho, na casca e tronco de cada espécie.

É preciso assinalar que neste caso os índices foram calculados com base na eficiência de cada um dos elementos isoladamente (conforme Tabela 12 e 13) e representados na Tabela 14 como a quantidade total de biomassa produzida por kg de cada um dos elementos: nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio.

HANSEN e BAKER (1979) demonstraram que as árvores mais jovens de *Populus* e *Platanus* tendem a ser menos eficientes do que as árvores mais velhas. Resultado semelhante foi observado por POGGIANI (1983), quando comparou o índice de eficiência entre talhões de *E. saligna*, *E. grandis* e *Pinus oocarpa*, em diferentes idades.

Tabela 14. Índice de eficiência para produção de biomassa no lenho, casca e tronco em cinco espécies de *Eucalyptus*.

Espécie	Índice de eficiência		
	Lenho	Casca	Tronco
<i>E. grandis</i>	49019	5812	54831
<i>E. saligna</i>	31399	4990	36389
<i>E. propinqua</i>	16989	6155	23444
<i>E. dunnii</i>	24579	9321	33900
<i>E. robusta</i>	17426	5223	22639

Os dados apresentados na Tabela 14 permitem comparações entre as cinco espécies de eucaliptos estudadas. Aos 10 anos de idade, os resultados destacam o *E. grandis* como a mais eficiente, produzindo 34% a mais de biomassa e utilizando 15% a menos de nutrientes quando comparado com o *E. saligna* que é a segunda espécie em termos de eficiência de utilização de nutrientes. Dentre as espécies estudadas, o *E. grandis* seria, portanto, a melhor opção para plantios em solos pobres, notadamente, em fósforo e potássio.

HANSEN e BAKER (1979) justificaram que a baixa eficiência das plantas jovens de *Populus* e *Platanus* deve-se à grande produção de ramos e casca, componentes das árvores que possuem altas concentrações de nutrientes. Zavitkovoski et

além citados por HANSEN e BAKER (1979), verificaram que, com o aumento da idade da árvore, a proporção de ramos e casca decrece e há um aumento significativo na biomassa do lenho.

Estas considerações deixam claro que, com a expansão da silvicultura para regiões de solos de baixa fertilidade, será preciso aprofundar os estudos quanto à escolha correta de espécies que tenham maior índice de eficiência de utilização de nutrientes.

#### 5.4. Variação na concentração de nutrientes em função do tamanho das árvores

As comparações das concentrações de nutrientes em talhões, onde existem árvores de diferentes tamanhos, não é um assunto amplamente estudado e normalmente, quando abordado, as comparações são feitas entre árvores de idades diferentes.

Árvores de mesma idade e plantadas em povoamentos puros apresentam ao longo do tempo tamanhos diferentes, que podem relacionar-se ou não com o conteúdo de nutrientes nos diferentes tecidos vegetais. Estas variações podem ser justificadas por vários fatores, tais como: mobilidade do nutriente nos tecidos, estágio de crescimento, efeito de diluição, espaçamento disponível e variações na fertilidade do solo.

Deve-se considerar todavia, que as correlações entre os teores de nutrientes e tamanho das árvores, devido a fatores inerentes a metodologia empregada e ao número de árvores amostradas, nem sempre apresentaram coeficientes elevados. Assim sendo, apenas algumas equações de regressão testadas tiveram um coeficiente de correlação satisfatório e foram incluídas nos resultados.

#### 5.4.1. Nitrogênio

O nitrogênio é um elemento altamente móvel e suas concentrações nos tecidos vegetais variam com a idade, tipo de tecido, estágio de desenvolvimento e estação do ano. As mais altas concentrações do nitrogênio são encontradas nos tecidos de maior atividade fisiológica, como as folhas e os tecidos meristemáticos. É um elemento essencial na constituição dos aminoácidos e proteínas, ocorrendo em uma grande variedade de compostos como as enzimas, a clorofila, as membranas celulares, etc.

As árvores podem utilizar o nitrogênio na forma de nitratos, nitritos, sais de amônio e compostos orgânicos como a uréia. Entretanto, o nitrogênio é absorvido na maioria das vezes na forma de nitrato ou amônio. As principais fontes do nitrogênio utilizadas pelas árvores são aque-

las existentes no solo, onde este elemento é fixado diretamente da atmosfera através da ação de microorganismos ou resultante da decomposição do material orgânico acumulado na serrapilheira.

Os resultados observados nas variações das concentrações de nitrogênio em função do tamanho das árvores são representados nas Figuras (3, 4, 5 e 6), onde se nota que nos ramos e casca de *E. grandis* e no lenho de *E. dunni* e *E. propinqua*, o nitrogênio apresenta concentrações mais elevadas nas árvores de menor porte.

Segundo alguns autores citados por KRAMER e KOZLOWSKI (1979), o decréscimo da concentração de nitrogênio, a medida que aumenta o tamanho da árvore, pode ser explicado pelo aumento do peso seco dos tecidos vegetais. RAIJ (1981) ressalta que um decréscimo na concentração de nutrientes, quando aumenta a biomassa, deve-se provavelmente a um efeito de diluição, onde a quantidade de nutrientes permanece constante, mas o aumento da biomassa provoca um decréscimo na concentração.

#### 5.4.2. Fósforo

O fósforo é um elemento constituinte das nucleoproteínas e fosfolipídeos; é essencial no processo de

transferência de energia que é vital para a vida e crescimento das plantas. Ocorre na forma orgânica e provavelmente transloca-se nas plantas em ambas as formas. É derivado primariamente do fosfato de cálcio, fosfato de alumínio e fosfato de ferro.

A disponibilidade de fósforo depende, grandemente, da acidez do solo e seus efeitos na solubilidade do ferro, alumínio e manganês; da disponibilidade de cálcio e da atividade dos microorganismos que controlam a taxa de decomposição.

É um elemento relativamente móvel nas plantas e, quando ocorre uma deficiência, ele é rapidamente transferido dos tecidos mais velhos para aqueles de atividade meristemática mais intensa.

Nas Figuras 7, 8 e 9 observa-se as variações das concentrações de fósforo em função do tamanho das árvores e nota-se que nas folhas da parte intermediária da copa de *E. grandis*, *E. saligna* e os ramos de *E. grandis* as concentrações tendem a aumentar com o tamanho das árvores. Todavia, é preciso ressaltar que o lenho de *E. grandis* (Figura 10) a concentração diminui com o aumento da altura das árvores.

Além dos fatores genéticos que podem determinar a maior ou menor capacidade de absorção de fósforo pelas

plantas, a concentração mais elevada deste elemento nas árvores dominantes pode estar relacionada com a maior atividade metabólica e a capacidade de reciclagem interna apresentada pelas árvores de maior porte, transferindo o fósforo dos tecidos velhos para os metabolicamente mais ativos.

A tendência apresentada na Figura 11, para a concentração de fósforo no lenho de *E. grandis*, é provavelmente justificada pela mobilidade deste elemento, que tem capacidade de transferir-se rapidamente dos tecidos mais velhos para as regiões de maior atividade meristemática. O *E. grandis*, conforme está evidenciado na Tabela 12, apresenta um alto índice de eficiência de utilização de fósforo, o que, de certo modo, confirma a sua capacidade de reciclagem.

#### 5.4.3. Potássio

O potássio, ao contrário do nitrogênio, fósforo e outros elementos, aparentemente não é parte integrante do protoplasma, gorduras e outros componentes das plantas e nem é essencial para muitas funções, sendo provavelmente envolvido principalmente na atividade enzimática (PRITCHETT, 1979 e KRAMER e KOZLOWSKI, 1979). É muito utilizado nos tecidos de crescimento, principalmente nas folhas e ramos (LADIGES e ASHTON, 1977 e ANDRAE e KRAPPENBAUER, 1979).

Origina-se primariamente dos feldspatos e micas, e existe no solo sob a forma de compostos inorgânicos. É um elemento altamente móvel nas plantas e parece ser rápido e eficientemente ciclado dentro do ecossistema florestal.

Nas Figuras 11 e 12 observa-se, nas folhas de *E. propinqua* e no lenho de *E. grandis*, que o potássio tem maiores concentrações nas árvores de menor porte. Deve ser assinalado que, o solo da região de Itirapina é extremamente pobre em potássio e conseqüentemente o fenômeno da ciclagem bioquímica, dentro das plantas, assume um aspecto fisiológico ainda mais importante. Desta forma, a rápida translocação deste elemento, dos tecidos mais velhos para as regiões em crescimento, torna mais evidente o fenômeno de diluição observado nas Figuras 11 e 12.

#### 5.4.4. Cálcio

A função específica do cálcio nas plantas é ainda pouco compreendida (PRITCHETT, 1979). Ele se envolve no desenvolvimento dos tecidos meristemáticos, na alongação dos caules e raízes e talvez, na formação de proteínas. É um ativador de várias enzimas, incluindo a amilase. É considerado um elemento imóvel nas plantas e ocorre em consideráveis quantidades nas paredes celulares influenciando a sua

elasticidade.

Nos solos, ocorre na forma inorgânica e geralmente, os solos situados em regiões de baixa precipitação contêm mais cálcio do que os solos de regiões mais úmidas. Além disso, os horizontes mais profundos possuem maior quantidade de cálcio do que os superficiais. O sistema radicular das árvores é capaz de explorar os solos a grandes profundidades, retirando o cálcio das reservas mais profundas e depositando-o na superfície, através da queda do folheto (PRICHETT, 1979).

Nas Figuras 13, 14 e 15 estão representadas as tendências das concentrações de cálcio nas folhas do ápice da copa de *E. saligna* e *E. dunnii*, e na casca de *E. saligna*. Observa-se que, nas folhas do ápice da copa, as concentrações são maiores nas árvores dominadas. Como se trata de um elemento praticamente imóvel, o aumento da biomassa foliar com a diminuição da concentração do cálcio, sugere um efeito de diluição..

Por outro lado, na Figura 15, nota-se que a casca de *E. saligna* possui maiores concentrações nas árvores com diâmetro mais desenvolvidos. Sabe-se que o cálcio tem pouca mobilidade e os eucaliptos são árvores que acumulam grandes quantidades deste elemento (Tabelas 9 e 10). Deve-se assinalar que o *E. saligna* é altamente acumulador de cálcio na

casca. Isto sugere que a ciclagem bioquímica do cálcio deve ser prejudicada. Este fato poderia explicar a diminuição na concentração de cálcio observada nas folhas do ápice da copa das árvores dominantes.

#### 5.4.5. Magnésio

O magnésio é o único mineral constituinte da molécula de clorofila e é essencial para a fotossíntese. É um elemento extremamente móvel, que pode se deslocar dos tecidos velhos para as partes mais novas das plantas.

Nas Figuras 16 e 17, observa-se nos ramos de *E. propínqua* e no lenho de *E. robusta* respectivamente um acréscimo e um decréscimo na concentração deste constituinte em função do tamanho das árvores. A diminuição no lenho das árvores dominantes pode estar ligada à alta capacidade de reciclagem deste elemento. A alta concentração de magnésio encontrada nas folhas do ápice da copa e a baixa concentração observada no lenho, para todas as espécies de eucaliptos, reforça a idéia da importância que o fenômeno da ciclagem interna de nutrientes representa para as espécies arbóreas e notadamente, para aquelas de rápido crescimento.

## 6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

1. As espécies de *Eucalyptus* estudadas demonstram os seguintes níveis de produtividade aos 10 anos de idade: *E. grandis* (379 m<sup>3</sup>/ha); *E. saligna* (372 m<sup>3</sup>/ha); *E. robusta* (273 m<sup>3</sup>/ha); *E. dunnii* (266 m<sup>3</sup>/ha) e *E. propinqua* (186 m<sup>3</sup>/ha).

2. Os valores de densidade básica da madeira, em ordem decrescente, foram: *E. propinqua* (0,634 g/cm<sup>3</sup>); *E. robusta* (0,589 g/cm<sup>3</sup>); *E. dunnii* (0,582 g/cm<sup>3</sup>); *E. saligna* (0,534 g/cm<sup>3</sup>) e *E. grandis* (0,496 g/cm<sup>3</sup>).

3. As concentrações de nutrientes nas cinco espécies estudadas foram maiores nas folhas do ápice da copa, a seguir em ordem decrescente, nas folhas da parte intermediária da copa, ramos, casca e lenho.

4. O *E. grandis* é a espécie que apresentou o mais elevado índice de eficiência de utilização do fósforo e potássio.

O *E. grandis* é a espécie mais eficiente na utilização de nutrientes; produzindo 34% a mais de biomassa e utilizando 15% a menos de nutrientes do que o *E. saligna* que é a segunda mais produtiva em termos de eficiência de utilização.

O *E. saligna* apresenta-se como uma espécie acumuladora de cálcio na casca.

É recomendável a adoção de rotações mais longas para otimizar o processo de ciclagem bioquímica e biológica, notadamente em solos de baixa fertilidade.

Há necessidade de se implantar estudos relativos à eficiência de utilização de nutrientes em espécies arbóreas.

## 7. LITERATURA CITADA

ANDRAE, F., 1976. Wachstum, wasser-und nahrsto Ffhaushalt von *Araucaria angustifolia* O. Kuntze, *Cordia trichotoma* Arrab. und *Eucalyptus saligna* Smith. Wien, Universitat fur Bodenkultur. 140 p. (tese Doutoramento US)(Resumo em portugûês).

ANDRAE, F. e A. KRAPPENBAUER, 1979. Untercuchungen uber biomassen-und Neahrstolffverhaeltnisse in einer vierjahigen Aufforstung mit *Eucalyptus saligna* Smith in Santa Maria, RS, brasilien. *Centralblatt fur das Gesamte Forstwesen*, Wien 96(1): 1-29.

ATTIWILL, P.M., 1980. *Energy, nutrient flow and biomass*. In: AUSTRALIAN FOREST NUTRITION WORKSPHOP PRODUCTIVITY IN PERPETUITY. *Proceedings*, Canberra, p. 131-58.

BARTOS, D.L. e R.S. JOHSNTON, 1978. Biomass and nutrient content of quaking aspen at two sites in the Western Unites States. *Forest Science*, Washington 24(2):283-80.

- BATES, T.E., 1971. Factors affecting critical nutrient concentrations in plants and their evaluation: a review. *Soil Science*. Baltimore. 112(2): 116-30.
- BELLOTE, A.F.I., 1979. Concentração e exportação de nutrientes pelo *Eucalyptus grandis* (Hill ex Maiden) em função da idade. Piracicaba, 129 p. (Tese - Mestrado - ESALQ)
- BOWERSOX, T.W. e W.W. WARD, 1977a. Soil fertility, growth, and yield of young hybrid poplar plantations in Central Pennsylvania. *Forest Science*, Washington, 23(4): 463-9.
- BOWERSOX, T.W. e W.W. WARD, 1977b. Seasonal variation in foliar nutrient concentrations of black cherry. *Forest Science*, Washington, 23(4): 429-32.
- BRASIL, M.A.M., 1972. Variação da densidade básica da madeira de *Eucalyptus propinqua* Deane ex Maiden em função do local e do espaçamento. Piracicaba. (Tese - Mestrado - ESALQ).
- BRASIL, M.A., R.A. de A. VEIGA e M. FERREIRA, 1977. Variação da densidade básica nas secções transversais do caule da base do tronco para a copa de eucalipto. *IPEF*, Piracicaba, (15): 73-82.

- BURR, G.O., 1961. Growth and composition of sugar cane as influenced by nitrogen. In: RENTHER, W. *Plant Analysis and Fertilization, Problems*. Washington. American Institute Biological Sciences. p. 227-37.
- CANNELL, G.H., K.B. TYLER e C.W. ASBELL, 1959. The effects of irrigation and fertilizers on yield, black heart and nutrient uptake of celery. *Proceedings of the American Society of Horticultural Sciences*, 74: 539-45.
- CZAPOWSKYJ, M.M., 1979. Foliar nutrient concentrations in Balsam fir as affected by soil drainage and methods of slash disposal. Broomall, USDA, Forest Service, 4 p.
- EVANS, J., 1979. The effects of leaf position and leaf age in foliar analysis of *Gmelina arborea*. *Plant Soil*, The Hague, 52(4): 547-52.
- FERREIRA, M. e P.I. KAGEYAMA, 1978. Melhoramento genético da desnidade da madeira de eucalipto. *Boletim Informativo*. IPEF, Piracicaba, 6(20): A-1/A-14.
- FIERROS, A.M. e M.A. MUSALEM, 1978. Ensayos de introduccion del genero *Eucalyptus* en algunas regiones de Mexico. *Ciência forestal*, Chapingo. (19): 3-13.
- FOELKEL, C.E.B., 1974. Rendimentos em cclulose sulfato de *Eucalyptus* spp. em função do grau de deslignificação e da densidade da madeira. IPEF, Piracicaba, (9): 61-77.

- FORREST, W.G. e J.D. OVINGTON, 1971. Variation in dry weight and mineral nutrient content of *Pinus radiata* progeny. *Silvae Genetica*, Frankfurt, 20(5/6): 174-9).
- GOMES, J.M., R.M. BRANDI, J.F. CÂNDIDO e L.M. de OLIVEIRA, 1977. Competição de espécies e procedências de eucalipto na região de Viçosa, Minas Gerais. *Revista Árvore*, Viçosa, 1(2): 72-88.
- HAAG, H.P., J.R. SARRUGE, G.D. de OLIVEIRA, F. POGGIANI e C. A. FERREIRA, 1976. Análise foliar em cinco espécies de Eucaliptos. *IPEF*, Piracicaba, (13): 99-115.
- HAAG, H.P., J.W. SIMÕES, G.D. de OLIVEIRA, J.R. SARRUGE e F. POGGIANI, 1977. Distúrbios nutricionais em *Eucalyptus citriodora*. *IPEF*, Piracicaba (14): 59-68.
- HAGNER, S., 1971. The present standard of practical forest fertilization in diferent parts of the world. In: IUFRO CONGRESS, 15, Gainsville. *Proceedings*. 16 p.
- HALL, N., R.D. JOHNSTON e G.M. CHIPENDALE, 1970. *Forest trees of Australia*. 3ª ed. Canberra, Australian Government Publishing Service. 330 p.
- HANSEN, E.A. e J.B. BAKER, 1979. Biomass and nutrient removal in short rotation intensively cultured. *Annual meeting North American Poplars Council*, Thompsonville, p. 130-51.

- HOYLE, M.C. e D.L. MADER, 1964. Relationships of foliar nutrients to growth of red pine in Western Massachusetts. *Forest Science*, Washington, 10(3): 337-47.
- ISIK, K., 1978. White fir growth and foliar nutrient concentration in California plantations. *Forest Science*, Washington, 24(3): 374-84.
- JACOB, A. e H. WEXKULL, 1961. Nutricion y abonado de los cultivos tropicales y subtropicales. Wageningen, Veenman I Zonen. 625 p.
- KRAMER, P.J. e T.T. KOZLOWSKI, 1979. Physiology of Wood Plants. New York, Academic Press. 811 p.
- LADIGES, P. e D.H. AHSTON, 1977. A comparison of some population of *Eucalyptus viminalis* Labill, growing on calcareous and acid sets in Victoria, Australia. *Australian Journal of Ecology*, Canberra 2: 161-78.
- LAVENDER, D.P. e R.L. CARMICHAEL, 1966. Effect of three variables on mineral concentrations in Douglas-fir needles. *Forest Science*, Washington, 12(4): 441-6.
- LUBRANO, L., 1972. Ricerche sulle esigenze nutritive di alcune species di Eucalitti. *Pubblicazioni del Centro di Sperimentazione Agricola e Forestale*, Rome, 11: 1-15.

- Mc COLL, J.G. e F.R. HUMPHREYS, 1967. Relationships between some nutritional factors and the distributions of *Eucalyptus gummiifera* and *Eucalyptus maculata*. *Ecology*, Durham 48 (5): 766-71.
- MELLO, H.A., J.W. SIMÕES, J. MASCARENHAS SOBREINHO e H.T.Z. do COUTO, 1971. Influência do espaçamento na produção de madeira de eucalipto em solos de cerrado. *IPEF*, Piracicaba, (2/3):3-30.
- MERGEN, F. e J. WORRALL, 1964. Effect of environment and seed source on mineral content of Jack Pine seedlings. *Forest Science*, Washington, 11(4): 393-400.
- POGGIANI, F., H.T.Z. do COUTO e J.W. SIMÕES, 1979. Aspectos ecológicos das mini-rotações e do aproveitamento dos resíduos florestais. *Circular técnica*, IPEF, Piracicaba, (74): 1-7.
- POGGIANI, F., H.T.Z. do COUTO e W. SUITER FILHO, 1983. Biomass and nutrient estimates in short rotation intensively cultured plantation of *Eucalyptus grandis*. *IPEF*, Piracicaba, (23):37-42.
- PRITCHETT, W.L., 1979. Site preparation and fertilization of slash pine on Wet Savana Soil. *Southern Journal of Applied Forestry*, Washington, 3(3): 86-90.

- RAIJ, B., 1981. *Avaliação da fertilidade do solo*. Piracicaba, Instituto da Potassa & Fosfato. 142 p.
- RENNIE, P.S., 1955. The uptake of nutrients by mature forest growth. *Plant Soil*, The Hague, 7: 49-95.
- SARRUGE, J.R. e H.P. HAAG, 1974. *Análises químicas em plantas*. Piracicaba, ESALQ/USP. 58 p.
- SILVICULTURE, 1964/65. Tree nutrition and soil fertility. *Reprint Forest Research Institute New Zealand forestry Service*. Nº 25/26. Apud: *Forestry Abstracts*. Oxford, 27 (4): 623.
- SOUZA, A.P. de, R.M. DELLA LUCIA e G.C. de RESENDE, 1979. Estudo da densidade básica da madeira de *Eucalyptus microcorys* F. Muell, cultivado na região de Dionísio, MG. *Revista Arvore*, Viçosa, 3(1): 16-27.
- SWITZER, P.S. e NELSON, L.E., 1972. Nutrient Accumulation and cycling in Loblolly Pine (*Pinus taeda* L.) Plantations Ecosystems: The First Twenty years. *Soil Science Society American Proceedings*, Madison, 36(1): 143-7.
- TEMES, S.B., 1970. Study of *Eucalyptus globulus*. Mineral constituent of the leaves in relation to their position on the tree. *Soil Constituente and tree*. *Age. Comum. Inst. For Invet. Exp.* Madrid nº 67, p. 48.

- VEIGA, A.A., 1975. *Balanços hídricos das dependências da divisão de florestas e estações experimentais*. São Paulo, Instituto Florestal, v. 1.
- VENTURA, A., G. BERENGUT e M.A.M: VICTOR, 1965/66. Características edafo-climáticas das dependências do Serviço Florestal do Estado de São Paulo. *Silvicultura em São Paulo*, São Paulo, 4/5(4): 57-140.
- WALKER, L.C. e R.D. HATCHER, 1965. Variation in the ability of slash pine progeny groups to absorb nutrients. *Proceedings of Soil Science Society of America*. 29: 616-21.
- WALTER, H., 1977. *Vegetation of the Earth*: in relation to climate and the eco-physiological conditions. New York, Springer-Verlag. 237 p.
- WEETMAN, G.E. e B. WEBBER, 1972. The influence of wood harvesting on the nutrient status of two spruce stands. *Canadian Journal of Forest Research*, Ottawa, 2: 351-59.
- WHITE, R.O., 1960. *Crop production and environment*. London, Faber and Faber. 392 p.
- WOOD, B.W., R.F. WITWER e S.B. CARPENTER, 1977. Nutrient element accumulation and distribution in an intensively cultured American sycamore plantation. *Plant and Soil*, The Hague, 48(2): 417-33.

- WRITE, D.P., 1954. Variation in the nitrogen, phosphorus and potassium contents of pines needles with season, crown position and samples treatment. *Proceedings of Soil Science Society of America*. 18(3): 326-30.
- YOUNG, H.E. e P.N. CARPENTER, 1976. Samplig variation of nutrient element content within and between trees of the same species. In: OSLO BIOMASS STUDIEE, Oslo. p. 75-99.
- ZEN, S., F. POGGIANI e 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. *Circular Técnica IPEF*, Piracicaba, (136):1-7.

8. A P E N D I C E

Equação	Espécie	Parte da planta	R	Sign.	X	Y
$y = 94,7539 + (-0,8747)x$	<i>E. propínqua</i>	folhas novas	-0,6813	*	DAP	K
$y = 68,1657 + 163,9210/x$	"	"	0,7433	**	"	"
$\log(y) = 4,8162 + (-0,1610)\log x$	"	"	-0,7265	**	"	"
$y = 116,4920 + (-13,3892)\log x$	"	"	-0,7332	**	"	"
$\log y = 4,2348 + 1,9751(1/x)$	"	"	0,7381	**	"	"
$\log y = 4,5545 + (-0,0205)x$	"	"	-0,6736	**	"	"
$y = 87,2164 + (-0,0008)x$	"	"	-0,6103	*	D <sup>2</sup> H	K
$y = 77,3812 + 8759,95/x$	"	"	0,6444	*	"	"
$\log(y) = 4,9324 + (-0,0647)\log x$	"	"	-0,7517	**	"	"
$y = 126,0870 + (-5,3743)\log x$	"	"	-0,7574	**	"	"
$\log y = 4,3456 + 106,0590(1/x)$	"	"	0,6430	*	"	"
$y = 18,1611 + 461,4890/x$	<i>E. dunnii</i>	folhas novas	0,5935	*	H	Ca
$\log(y) = 4,3724 + (-0,0497)x$	"	"	-0,5909	*	DAP	Ca
$y = 39,7920 + 7258,4/x$	<i>E. saligna</i>	"	0,6467	*	D <sup>2</sup> H	Ca
$y = 102,3520 + (-7,5232)\log(x)$	"	"	-0,5870	*	"	"
$\log(y) = 3,6755 + 144,7240(1/x)$	"	"	0,3634	*	"	"
$y = 25,8934 + 203,1710/x$	"	"	0,5789	*	DAP	"
$y = 73,3297 + (-1,6324)x$	"	"	-0,6374	*	H	"
$y = 23,6656 + 338,1140/x$	"	"	0,6850	*	H	"
$y = 57,9591 + (-0,0040)x$	<i>E. dunnii</i>	folhas novas	-0,5948	*	D <sup>2</sup> H	Ca
$\log y = 4,0655 + (-0,0001)x$	"	"	-0,6305	*	"	"
$y = 109,2480 + (-1,2437)x$	<i>E. propínqua</i>	folhas novas	-0,8210	**	H	K
$y = 60,1327 + 444,2650/x$	"	"	0,7727	**	"	"
$\log y = 5,3118 + (-0,2984)\log x$	"	"	-0,8053	**	"	"
$y = 157,1890 + (-24,6429)\log x$	"	"	-0,8070	**	"	"
$\log(y) = 4,1367 + 5,3807(1/x)$	"	"	0,7709	**	"	"
$\log y = 4,7313 + (-0,0151)x$	"	"	0,8190	**	"	"
$y = 10,3957 + (-0,0004)x$	<i>E. dunnii</i>	folhas	-0,6038	*	D <sup>2</sup> H	P
$y = 8,8708 + (-1259,91)/x$	<i>E. saligna</i>	"	-0,6070	*	"	"
$\log y = 2,1854 + (-167,332)1/x$	"	"	-0,6427	*	"	"
$y = 9,6247 + (-1026,66)/x$	<i>E. grandis</i>	"	-0,5776	*	D <sup>2</sup> H	P
$y = 44,9774 + 156,4090/x$	<i>E. propínqua</i>	"	0,5932	*	H	Ca
$y = 70,4317 + (-1,5057)x$	"	"	-0,6019	*	"	"

- continua -

- continuação -

Equação	Espécie	Parte da Planta	R	Sign.	X	Y
$y = 21,9488 + 362,3930/x$	<i>E. propinqua</i>	folhas	0,6024	*	H	Ca
$\log(y) = 5,1831 + (-0,5020)\log x$	"	"	-0,6110	*	"	"
$y = 111,4710 + (-23,8054)\log(x)$	"	"	-0,6009	*	"	"
$\log(y) = 3,3012 + 7,5459(1/x)$	"	"	-0,6048	*	"	"
$\log(y) = 4,3242 + (-0,0321)x$	<i>E. dunni</i>	folhas	-0,6193	*	H	"
$y = 51,8810 + 3789,61/x$	<i>E. propinqua</i>	"	0,6306	*	D <sup>2</sup> H	Ca
$\log y = 5,1920 + (-0,5021)\log x$	<i>E. saligna</i>	folhas	-0,6325	*	"	"
$y = 114,7660 + (-24,7842)\log x$	"	"	-0,6678	*	"	"
$\log y = 3,3542 + 6,7959(1/x)$	"	"	0,6437	*	"	"
$\log(y) = 4,3571 + (-0,0334)x$	"	"	-0,6089	*	"	"
$y = 8,1467 + (-1019,59)x$	<i>E. propinqua</i>	ramos	-0,6090	*	D <sup>2</sup> H	Mg
$\log y = 0,7776 + 0,1574\log(x)$	"	"	0,5794	*	"	"
$\log y = 2,0867 + (-153,1450)1/x$	"	"	-0,6456	*	"	"
$y = 3,9754 + (-0,0711)x$	<i>E. grandis</i>	ramos	-0,7749	**	H	P
$y = 1,2015 + 24,6888/x$	"	"	0,7079	**	"	"
$\log(y) = 2,7018 + (-0,6044)\log x$	"	"	-0,7247	**	"	"
$y = 6,6333 + (-1,3820)\log x$	"	"	-0,7466	**	"	"
$\log(y) = 0,3319 + 10,6798(1/x)$	"	"	-0,6796	*	"	"
$\log(y) = 1,5472 + (-0,0315)x$	"	"	-0,7607	**	"	"
$y = 3,3068 + (-0,0610)x$	"	"	-0,7844	**	DAP	P
$y = 1,6323 + 9,2944/x$	"	"	0,6952	*	"	"
$\log(y) = 1,8192 + (-0,3733)\log x$	"	"	-0,7484	**	"	"
$y = 4,5568 + (-0,8308)\log x$	"	"	-0,7506	**	"	"
$\log(y) = 0,5116 + 4,0998(1/x)$	"	"	0,6806	*	"	"
$\log(y) = 1,2657 + (-0,0280)x$	"	"	-0,7980	**	"	"
$y = 44,0645 + (-0,6331)x$	"	"	-0,8109	**	DAP	N
$y = 25,4796 + 110,8310/x$	"	"	0,8263	**	"	"
$\log(y) = 4,2228 + (-0,2651)\log x$	"	"	-0,8290	**	"	"
$y = 58,4526 + (-9,1687)\log x$	"	"	-0,8255	**	DAP	N
$y = 2,8371 + (-0,0001)x$	"	"	-0,8114	**	D <sup>2</sup> H	P
$\log y = 2,0501 + (-0,3255)\log x$	"	"	-0,75	**	"	"
$y = 5,0870 + (-0,3255)\log x$	"	"	-0,7567	**	"	P
$\log(y) = 2,3880 + (-6,6515)1/x$	<i>E. propinqua</i>	ramos	-0,6390	*	H	Mg

- continua -

- continuação

Equação	Espécie	Parte da Planta	R	Sign.	X	Y
$y = 10,1311 + (-43,9113)/x$	<i>E. propinqua</i>	ramos	-0,5977	*	H	Mg
$\log(y) = 0,6139 + 0,4826 \log x$	"	"	0,6166	*	"	"
$\log(y) = 2,4070 + (-4,5320)(1/x)$	"	"	-0,6083	*	DAP	"
$\log(y) = 3,2744 + 3,1442 (1/x)$	<i>E. grandis</i>	"	0,8141	**	"	"
$\log(y) = 3,8114 + (-0,0180) x$	"	"	-0,8285	**	"	"
$y = 38,8999 + (-0,0006)x$	"	"	-0,7823	**	D <sup>2</sup> H	N
$y = 31,3392 + 6626,9/x$	"	"	0,8015	**	"	"
$\log(y) = 4,3964 + (-0,1044) \log x$	"	"	-0,8403	**	"	"
$y = 64,6335 + (-3,6327) \log x$	"	"	-0,8415	**	"	"
$\log(y) = 3,444 + 184,684 (1/x)$	"	"	0,7631	**	"	"
$y = 51,99 + (-0,7831) x$	<i>E. grandis</i>	"	-0,85	**	H	N
$y = 19,9862 + 301,6410/x$	"	"	0,8621	**	"	"
$\log(y) = 4,9161 + (-0,4511) \log x$	"	"	-0,8436	**	"	"
$y = 83,6382 + (-15,9956) \log x$	"	"	-0,8613	**	"	"
$\log y = 3,1256 + 8,4155 (1/x)$	"	"	0,8353	**	"	"
$\log y = 4,0286 + (-0,0223)x$	"	"	-0,8411	**	"	"
$\log(y) = -1,8949 + 6,1571 (1/x)$	"	lenho	0,5919	*	DAP	P
$y = 2,9546 + 37,0729/x$	"	"	0,6378	*	"	K
$y = 8,9839 + (-0,1989(x))$	"	"	-0,5879	*	"	"
$\log(y) = 2,8807 + (-0,4398 \log(x))$	"	"	-0,6154	*	"	"
$y = 13,7899 + (-2,9915 \log(x))$	"	"	-0,6216	*	"	"
$\log(y) = 1,2934 + 5,3834 (1/x)$	"	"	0,6237	*	"	"
$\log(y) = 2,1830 + (-0,0299 x)$	"	"	-0,5942	*	"	"
$y = 7,4173 + (-30,6174)/x$	"	"	-0,5983	*	"	Mg
$\log(y) = 0,1124 + 0,6151 \log x$	"	"	0,5838	*	"	"
$\log(y) = 2,1704 + (-8,2733(1/x))$	"	"	-0,6502	*	"	"
$y = 0,5652 + (-0,0132 x)$	"	"	-0,5958	*	H	P
$y = 0,112 + 5,3604/x$	"	"	0,6346	*	"	"
$\log(y) = 1,3442 + (-0,8913 \log x)$	"	"	-0,6285	*	"	"
$y = 1,1293 + (-0,2800 \log x)$	"	"	-0,6247	*	"	"
$\log(y) = 2,2194 + 17,1513 (1/x)$	"	"	0,6315	*	"	"
$\log(y) = 0,4564 + (-0,0419 x)$	"	"	-0,5868	*	"	"
$y = 12,0498 + (-0,2723 x)$	"	"	-0,6818	*	"	K

continua -

- continuação

Equação	Espécie	Parte da Planta	R	Sign.	X	Y
$y = 0,7089 + 109,201/x$	<i>E. grandis</i>	lenho	0,7195	**	H	K
$\log(y) = 4,2442 + (-0,8182 \log(x))$	"	"	-0,6842	*	"	"
$y = 23,4482 + (-5,6911 \log(x))$	"	"	-0,7067	*	"	"
$\log(y) = 0,9768 + 15,6640(1/x)$	"	"	0,6950	*	"	"
$\log(y) = 2,6093 + (-0,0393 x)$	"	"	-0,6631	*	"	"
$y = 0,2676 + 0,2328 x$	"	"	0,6621	*	"	Mg
$y = 9,5032 + (-94,8852/x)$	"	"	-0,7101	**	"	"
$\log(y) = 2,5402 + 1,3150 \log(x)$	"	"	0,7460	**	"	"
$y = 10,1558 + 4,9125 \log(x)$	"	"	0,6929	*	"	"
$\log(y) = 2,7301 + (-25,5593(1/x))$	"	"	-0,7693	**	"	"
$\log(y) = 0,1171 + 0,0619x$	"	"	0,7075	**	"	"
$\log(y) = 0,2314 + (-0,1959 \log(x))$	"	"	-0,5851	*	D <sup>2</sup> H	P
$y = 0,7670 + (-0,0600 \log(x))$	"	"	-0,5760	*	"	"
$y = 4,8864 + 2270,8800/x$	"	"	0,6333	*	"	K
$\log(y) = 3,1997 + (-0,1770 \log(x))$	"	"	-0,6372	*	"	"
$y = 16,0153 + (-1,2107 \log(x))$	"	"	-0,6473	*	"	"
$\log(y) = 1,5743 + 329,0670 (1/x)$	"	"	-0,6180	*	"	"
$y = 5,9874 + (-2018,7500/x)$	"	"	-0,6395	*	D <sup>2</sup> H	Mg
$\log(y) = -0,6340 + 0,2568 \log(x)$	"	"	0,6271	*	"	"
$y = -1,9490 + 0,9487 \log(x)$	"	"	0,5761	*	"	"
$\log(y) = 1,7608 + (-547,5840 (1/x))$	"	"	-0,6976	*	"	"
$y = 17,9287 + (-0,3723 x)$	<i>E. propinqua</i>	lenho	-0,5819	*	H	N
$\log(y) = 2,0699 + 0,0295 x$	"	"	0,5796	*	"	K
$y = -1,0045 + 5,1472 \log(x)$	"	"	0,5778	*	"	"
$y = 12,9456 + (-0,4659 x)$	<i>E. dunni</i>	"	-0,7427	**	DAP	N
$y = 2,3819 + 53,9551/x$	"	"	0,7826	**	"	"
$\log(y) = 3,5981 + (-0,6751 \log(x))$	"	"	-0,7380	**	"	"
$y = 20,1759 + (-5,2630 \log(x))$	"	"	-0,7698	**	"	"
$\log(y) = 1,3189 + 6,8853 (1/x)$	"	"	0,7463	**	"	"
$\log(y) = 2,6739 + (-0,0601 x)$	"	"	-0,7154	**	"	"
$y = 15,0755 + (-0,4352 x)$	"	"	-0,8100	**	H	"
$y = 1,2173 + 103,0630/x$	"	"	0,8031	**	"	"
$\log(y) = 4,4604 + (-0,8785 \log(x))$	"	"	-0,7768	**	"	"

- continua -

- continuação

Equação	Espécie	Parte da Planta	R	Sign.	X	Y
$y = 26,8306 + (-6,8246 \log(x))$	<i>E. dunni</i>	lenho	-0,8075	**	DAP	N
$\log(y) = 1,1709 + 13,1425 (1/x)$	"	"	0,7653	**	"	"
$\log(y) = 2,9571 + (-0,0562 x)$	"	"	-0,7873	**	"	"
$y = 9,8351 + (-0,0008 x)$	"	"	-0,7186	**	D <sup>2</sup> H	N
$y = 5,6261 + 2609,3600/x$	"	"	0,7976	**	"	"
$\log(y) = 3,8758 + (-0,2489 \log(x))$	"	"	-0,7567	**	"	"
$y = 22,3255 + (-1,9383 \log(x))$	"	"	-0,7885	**	"	"
$\log(y) = 1,7358 + 329,1680 (1/x)$	"	"	0,7519	**	"	"
$\log(y) = 2,2771 + (-0,0001 x)$	"	"	-0,7021	*	"	"
$y = 1,4188 + 11,8729/x$	<i>E. robusta</i>	lenho	0,6296	*	DAP	Mg
$\log(y) = 1,8950 + (-0,4103 \log(x))$	"	"	-0,5894	*	"	"
$y = 5,2686 + (-1,1260 \log(x))$	"	"	-0,6015	*	"	"
$\log(y) = 0,4924 + 4,3229 (1/x)$	"	"	0,6164	*	"	"
$y = 4,3121 + (-0,0958 x)$	"	"	-0,6943	*	H	Mg
$y = 1,0715 + 24,9644/x$	"	"	0,7014	*	"	"
$\log(y) = 2,6273 + (-0,5997 \log(x))$	"	"	-0,7020	*	"	"
$y = 7,2126 + (-1,6231 \log(x))$	"	"	-0,7066	*	"	"
$\log(y) = 0,3589 + 9,2122(1/x)$	"	"	0,6960	*	"	"
$\log(y) = 1,5571 + (-0,0355 x)$	"	"	-0,6914	*	"	"
$y = 2,1541 + 511,8910/x$	"	"	0,6310	*	D <sup>2</sup> H	Mg
$\log(y) = 2,1039 + (-0,1557 \log(x))$	"	"	-0,6258	*	"	"
$y = 5,8168 + (-0,4254 \log(x))$	"	"	-0,6357	*	"	"
$\log(y) = 0,7593 + 187,5570(1/x)$	"	"	0,6217	*	"	"
$y = 25,0773 + 46,4799/x$	<i>E. grandis</i>	casca	0,6618	*	DAP	N
$\log(y) = 3,6455 + (-0,1095 \log(x))$	"	"	-0,5773	*	"	"
$y = 37,7640 + (-3,4021 \log(x))$	"	"	-0,5850	*	"	"
$\log y = 3,2367 + 1,5005 (1/x)$	"	"	0,6548	*	"	"
$y = 36,2626 + (-0,3315) x$	"	"	-0,6872	*	H	"
$y = 21,7526 + 147,2410/x$	"	"	0,8037	**	H	"
$\log(y) = 4,0835 + (-0,2360) \log(x)$	"	"	-0,7440	**	"	"
$y = 51,3289 + (-7,3182) \log(x)$	"	"	-0,7526	**	"	"
$\log(y) = 3,1292 + 4,7565 (1/x)$	"	"	0,7957	**	"	"
$\log(y) = 3,5971 + (-0,0107) x$	"	"	-0,6779	*	"	"

- continua -

- continuação

Equação	Espécie	Parte da Planta	R	Sign.	X	Y
$y = 27,2758 + 3270,07/x$	<i>E. grandis</i>	casca	0,7554	**	D <sup>2</sup> H	N
$\log(y) = 3,7392 + (-0,0458) \log x$	"	"	-0,6215	*	"	"
$y = 40,67 + (-1,4226) \log x$	"	"	-0,6295	*	"	"
$\log(y) = 3,3075 + 105,94 (1/x)$	"	"	0,75	**	"	"
$y = 44,9758 + (-0,5447)x$	<i>E. saligna</i>	casca	-0,5894	*	DAP	N
$\log(y) = 3,8323 + (-0,0158) x$	"	"	-0,6275	*	"	"
$\log(y) = 0,2983 + 1,3925 \log x$	"	"	0,6937	*	"	K
$\log(y) = 5,3394 + (-17,7759) 1/x$	"	"	-0,7075	**	"	"
$\log(y) = 2,5657 + 0,0932 x$	"	"	0,6519	*	"	"
$y = 48,4074 + (-0,5473) x$	"	"	-0,6026	*	H	N
$\log(y) = 4,4365 + (-0,2782) \log x$	"	"	-0,5861	*	"	"
$\log(y) = 3,9182 + (-0,0152) x$	"	"	-0,6142	*	"	"
$y = 41,0338 + (-0,0007) x$	"	"	-0,6844	*	B <sup>2</sup> H	N
$\log y = 3,7165 + (-0,0001)x$	"	"	-0,7180	**	"	"
$\log y = 0,1531 + 4970 \log x$	"	"	0,6670	*	D <sup>2</sup> H	Ca
$\log y = 4,3818 + (-1031,22) 1/x$	"	"	-0,6259	*	"	"
$y = 1,8675 + 0,0492 x$	<i>E. dunnii</i>	casca	0,5995	*	DAP	P
$\log y = 0,6724 + 0,0183 x$	"	"	0,6037	*	"	"
$y = 2,1687 + 0,0001 x$	"	"	0,6460	*	D <sup>2</sup> H	"
$\log(y) = 0,7852 + 0,0001x$	"	"	0,6465	*	"	"

\* F significativo a 5% de probabilidade

\*\* F significativo a 1% de probabilidade