

UFSM

Dissertação de Mestrado

PRODUÇÃO E PARTIÇÃO DE BIOMASSA E DE
NUTRIENTES E RECOMENDAÇÃO
DE FERTILIZANTES PARA O
Pinus taeda L. (NUTRIPINUS)

Nairam Félix de Barros Filho

PPGEF

Santa Maria, RS, Brasil

2003

PRODUÇÃO E PARTIÇÃO DE BIOMASSA E DE
NUTRIENTES E RECOMENDAÇÃO
DE FERTILIZANTES PARA O
Pinus taeda L. (NUTRIPINUS)

por

Nairam Félix de Barros Filho

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Engenharia Florestal.

PPGEF

Santa Maria, RS, Brasil

2003

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Rurais
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado

**PRODUÇÃO E PARTIÇÃO DE BIOMASSA E DE
NUTRIENTES E RECOMENDAÇÃO
DE FERTILIZANTES PARA O
Pinus taeda L. (NUTRIPINUS)**

elaborada por
Nairam Félix de Barros Filho

como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Engenharia Florestal

COMISSÃO EXAMINADORA:

**Mauro Valdir Schumacher
(Presidente/Orientador)**

Júlio César Lima Neves

Flávio Luiz Foletto Eltz

Santa Maria, 12 de dezembro de 2003

AGRADECIMENTOS

Ao professor Mauro Schumacher, pela orientação, amizade e incentivo;

À CAPES, pelo fornecimento da bolsa de estudos;

Aos meus pais, que tanto amo e que nunca mediram esforços para o meu sucesso;

Ao Rômulo, Andréa e Vítor, pelos momentos felizes em família;

Aos meus tios, tias e primos, pelo carinho;

Ao meu afilhado Gustavo, pela estima e paciência que teve devido a minha ausência em datas especiais;

Ao amigo José Luis Teixeira, que tanto contribuiu para a realização deste trabalho;

Aos amigos do DPS de Viçosa, pelo incentivo;

Ao Juliano, Silvinha e toda a turma do Juca do Gás, pela amizade;

À turma do futebol, que por meses marcou minha passagem aqui no sul;

Aos amigos Bacana, Bahia, Cris, Edinho, Eleandro, Fofa, Fafi, Geedre, Igor, Janize, Leonardo, Luis Henrique, Magda, Tonini, pelos momentos de descontração que passamos juntos;

À Vanessa, Juliana e Ana Paula pelo carinho, ajuda e incentivo durante o período de escrita da minha dissertação;

Aos amigos do Laboratório de Ecologia Florestal, pelos momentos de descontração.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	vii
LISTA DE FIGURAS	ix
RESUMO	xii
ABSTRACT	xiv
INTRODUÇÃO GERAL	1
CAPÍTULO 1	3
1. INTRODUÇÃO	3
2. MATERIAIS E MÉTODOS	5
2.1 Caracterização da Área Experimental	5
2.1.1 Localização	5
2.1.2 Clima	6
2.1.3 Relevo e Solo	6
2.1.4 Povoamentos e parcelas de amostragem	6
2.1.5 Coleta das amostras	7
2.1.6 Análise químicas	8
2.1.7 Conteúdo e eficiência de utilização de nutrientes (EU)	9
2.1.8 Ajuste e seleção dos modelos	9
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	9
3.1. Produção de biomassa	9
3.2. Concentração de nutrientes	15
4. CONCLUSÕES	26
CAPÍTULO 2	28
1. INTRODUÇÃO	28
2. MODELO CONCEITUAL	30
3. MATERIAL E MÉTODOS	33

3.1	Estimativa da Produção e Conteúdo de Nutrientes	34
3.2	Suprimento de Nutrientes	34
3.3	Balanço Nutricional	35
3.4	Quantidade de Adubo	35
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
4.1	Estimativa da Produção e do Conteúdo de Nutrientes	35
4.2	Quantidade de Nutrientes no Solo	43
4.3	Balanço Nutricional	43
4.4	Quantidade de Fertilizantes a Aplicar	44
4.5	Análise de Sensibilidade	44
4.6	Demonstrativo dos cálculos para recomendação de fertilizantes (exemplo prático)	46
5.	O PROGRAMA	50
6.	CONCLUSÕES	52
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Características do solo da camada de 0 a 20 cm de profundidade, nos povoamentos amostrados	8
Tabela 2	Volume (m^3 /arv.) e matéria seca (kg/arv.) em diversas idades do <i>P. taeda</i>	12
Tabela 3	Produção média de matéria seca ($t\ ha^{-1}$) de <i>P. taeda</i> nas idades de 2 e 4 anos em áreas da Georgia e do Paraná	13
Tabela 4	Incremento médio anual (IMA) de matéria seca de componentes de árvores de <i>P. taeda</i> em duas condições do estado do Paraná	14
Tabela 5	Equações de regressão para estimativa de matéria seca (MS), dos diversos componentes da árvore de <i>P. taeda</i> na região de Arapoti (PR)	14
Tabela 6	Equações estimadoras do peso de matéria seca dos componentes da árvore de <i>Pinus</i> sp. em função do volume e da idade	15
Tabela 7	Concentração de nutrientes nos diversos componentes das árvores de <i>P. taeda</i> aos 2, 4, 6 e 8 anos de idade	17
Tabela 8	Conteúdo médio de nutrientes nos diversos componentes da planta de <i>P. taeda</i> , aos dois e quatro anos de idade, em áreas da Georgia e do Paraná	19

Tabela 8	Conteúdo médio de nutrientes nos diversos componentes da planta de <i>P. taeda</i> , aos dois e quatro anos de idade, em áreas da Georgia e do Paraná (continuação)	20
Tabela 9	Equações estimadoras da EU do tronco da árvore de <i>Pinus taeda</i> para N, P, K, Ca e Mg em função da matéria seca do tronco (kg/árvore) e da idade (anos)	23
Tabela 10	Equações estimadoras do conteúdo de nutrientes dos componentes da árvore de <i>Pinus taeda</i> em função da matéria seca do tronco, copa, acículas, galhos e serapilheira, da eficiência de utilização de nutrientes do tronco (EU) e da idade (anos)	25

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

- Figura 1. Correlação entre volume cilíndrico e matéria seca do tronco em árvores de *Pinus taeda*..... 13
- Figura 2. Distribuição relativa de matéria seca e do conteúdo de nutrientes na parte aérea de árvores de *Pinus taeda* aos 2, 4, 6 e 8 anos de idade..... 21
- Figura 3. Distribuição relativa de matéria seca e, do conteúdo de nutrientes em árvores médias de *Pinus taeda* aos 2, 4, 6 e 8 anos de idade..... 22
- Figura 4. Conteúdo absoluto e relativo de nutrientes em árvores de *Pinus taeda* aos 2, 4, 6 e 8 anos de idade (a maior idade foi tomada como 100%)..... 23

CAPÍTULO 2

- Figura 1. Fluxograma do modelo conceitual utilizado no desenvolvimento do NUTRIPINUS..... 31
- Figura 2. Matéria seca observada e estimada dos componentes das árvores de *Pinus taeda*, em cada classe de DAP e idade..... 36
- Figura 3. Conteúdo de nitrogênio observado e estimada nos componentes das árvores de *Pinus taeda*, em cada classe de DAP e idade. 37

Figura 4.	Conteúdo de fósforo observado e estimada nos componentes das árvores de <i>Pinus taeda</i> , em cada classe de DAP e idade.....	38
Figura 5.	Conteúdo de potássio observado e estimada nos componentes das árvores de <i>Pinus taeda</i> , em cada classe de DAP e idade.....	39
Figura 6.	Conteúdo de cálcio observado e estimada nos componentes das árvores de <i>Pinus taeda</i> , em cada classe de DAP e idade.....	40
Figura 7.	Conteúdo de magnésio observado e estimada nos componentes das árvores de <i>Pinus taeda</i> , em cada classe de DAP e idade.....	41
Figura 8.	Eficiência de utilização biológica (EU) observada e estimada para nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio no tronco para o <i>Pinus taeda</i> , em função da idade.....	42
Figura 9.	Análise de sensibilidade para o K tendo-se como produção desejada, ao final de 8 anos, os volumes de 450, 500, 550, 600, 650, 700, 750 e 800 m ³	45
Figura 10.	Análise de sensibilidade para o P tendo-se como produção desejada, ao final de 8 anos, os volumes de 400, 450, 500, 550, 600, 650 e 700 m ³	45
Figura 11.	Tela de abertura do NUTRIPINUS.....	50

Figura 12.	Tela de entrada de dados	51
Figura 13.	Telas de saída de dados apresentando o balanço nutricional e recomendação de fertilizantes.....	51

RESUMO

PRODUÇÃO E PARTIÇÃO DE BIOMASSA E DE NUTRIENTES E RECOMENDAÇÃO DE FERTILIZANTES PARA O *Pinus taeda* L. (NUTRIPINUS).

Autor: Nairam Félix de Barros Filho

Orientador: Prof. Dr. Nat. techn. Mauro Valdir Schumacher

O estudo foi realizado em áreas próximas aos municípios de Arapoti e Curiúva, PR, pertencentes à empresa INTERNATIONAL PAPER, no período de novembro de 2002 a janeiro de 2003. Utilizaram-se povoamentos, não desbastados, de *Pinus taeda* L., nas idades de 2, 4, 6 e 8 anos. Foram demarcadas 3 parcelas de 20 m x 30 m em cada povoamento. Em cada parcela, foram escolhidas três árvores: uma primeira árvore, com o diâmetro médio da parcela; a segunda árvore, com o diâmetro correspondente à média menos um desvio padrão; e a terceira árvore, com diâmetro correspondente à média mais um desvio padrão. Fez-se a medição destas árvores, abatendo-as logo após e realizando a pesagem das acículas, galhos, casca e madeira. Amostras de cada compartimento da árvore foram retiradas objetivando estabelecer o peso seco e a concentração de nutrientes. Nas árvores médias de cada parcela, foi coletado também toda a biomassa de raízes, sendo retiradas amostras para a definição do peso seco e da concentração de nutrientes. Amostras de serapilheira foram coletadas em três pontos da parcela para também se proceder à determinação do peso seco e do conteúdo de nutrientes. O mesmo procedimento de amostragem foi realizado na coleta de solos para análise de nutrientes. Verificou-se que a contribuição relativa de acícula e raízes diminuiu, e a de tronco aumentou

com a idade das árvores. A concentração de nutrientes nas árvores apresentou-se abaixo dos níveis críticos citados pela literatura. As árvores de diferentes classes de DAP não apresentaram diferenças, entre si, quanto à concentração de nutrientes, sendo que esta decresceu com a idade em todos os componentes, exceto acículas. O volume do tronco e a idade permitiram estimar com precisão a biomassa dos vários componentes das árvores. As equações estimadoras de matéria seca, conteúdo e eficiência de utilização de nutrientes, apresentaram altos valores de R^2 . O sistema mostrou-se eficiente na estimação dos conteúdos de nutrientes na árvore, bem como na recomendação de fertilizantes.

ABSTRACT

BIOMASS PRODUCTION AND PARTITION AND NUTRIENT RECOMMENDATION FOR PINUS TAEDA L. (NUTRIPINUS).

The study was accomplished in close areas to the municipal districts of Arapoti and Curiúva, PR, belonging to the company INTERNATIONAL PAPER, in the period of November of 2002 to January of 2003. Stands, not thinned, of *Pinus taeda* L. in the ages of 2, 4, 6 and 8 years, were used. Three portions of 20 m x 30 m were demarcated in each stand. In each portion, there were chosen three trees: a first tree, with the medium diameter of the portion; the second tree, with the diameter corresponding to the less average a standard deviation; and the third tree, with diameter corresponding to the average one more deviation pattern. The measurement of these trees was made and abating them after taken the weight of needles, branches, peel and wood. Samples of each compartment of the tree were removed aiming at to establish the dry weight and the concentration of nutrients. In the medium trees of each portion, it was also collected the whole biomass of roots, being removed samples for the definition of the dry weight and a concentration of nutrient. Litterfall samples were collected in three points of the portion for also to proceed to the determination of the dry weight and a content of nutrient. The same sampling procedure was accomplished in the collection of soils for analysis of nutrient. It was verified that the relative contribution of needles and roots decreased, and of wood increased with the age of the trees. The nutrient concentration in the trees was below of the critical levels cited by literature. The trees with different DBH had not presented differences, between itself, to the nutrients concentration, but it was detect a decreased of concentration with the age in all the components, except needles. The wood

volume and the age had allowed esteem with precision the biomass of the components trees. The dry weight, content and nutrients efficiency equations, had presented high values of R^2 .

The system was shown efficient in the estimate of the contents of nutrients in the tree, as well as in the recommendation of fertilizers.

INTRODUÇÃO GERAL

Atualmente, a área plantada com Pinus no Brasil é de aproximadamente 1,8 milhões de hectares (S.B.S., 2001), incluindo espécies de Pinus tropicais e subtropicais (temperados). Das espécies de Pinus subtropicais, as maiores áreas são de *Pinus taeda* (S.B.S., 2001). Os plantios desta espécie se concentram na região sul do país, onde as condições climáticas contribuem para o seu bom desenvolvimento, apresentando temperaturas médias de aproximadamente 19°C e precipitações anuais em torno de 1.600 mm, com chuvas bem distribuídas durante todo ano (IAPAR, 2003). Essas condições permitem que o Pinus apresente um crescimento relativamente bom na região, constituindo-se na principal espécie florestal exótica plantada. Por ser uma espécie de baixa exigência nutricional, não se verificam deficiências nutricionais marcantes nesses plantios, uma vez que os solos são relativamente jovens e possuem reserva de nutrientes capazes de atender às demandas das plantas. Além disso, atualmente, poucas são as áreas submetidas a mais de duas rotações sucessivas.

Contudo, existe uma tendência de uso de técnicas de manejo florestal que propiciam o maior crescimento da planta em um menor período de tempo, resultando numa maior demanda nutricional, aumentando a chance de resposta à adubação. Em outras áreas do país, com solos mais intemperizados, como os de cerrado do norte de Minas Gerais, observa-se que em plantios de *Pinus oocarpa* e de *P. caribaea* var. *hondurensis*, implantados sem o emprego de fertilizantes, apresentam forte deficiência nutricional. Além disso, a má distribuição de chuvas contribui para que os sintomas de deficiência se acentuem, indicando, com isso, que a demanda de nutrientes pela planta é maior do que a disponibilidade dos mesmos no solo.

Diante desses fatos, é crescente a necessidade de informações que permitam a adoção, de forma racional, da técnica de adubação para a cultura de pinus. No entanto, as informações de pesquisa sobre este tema, disponíveis na literatura brasileira, são escassas e provenientes de estudos não-sistematizados. Assim, o objetivo geral deste trabalho foi o de desenvolver um sistema de recomendação de fertilizantes para o *Pinus taeda*, tendo como base o balanço nutricional do sítio florestal.

O trabalho está dividido em dois capítulos: no primeiro realizou-se o levantamento da produção e partição de biomassa e de nutrientes de *Pinus taeda* para se obter equações estimadoras da produção de biomassa e da demanda nutricional, ajustadas a partir de dados obtidos em plantações com idades de 2, 4, 6 e 8 anos; no segundo foi desenvolvido um sistema para recomendação de adubação baseado em filosofia de balanço nutricional.

CAPÍTULO I

PRODUÇÃO E PARTIÇÃO DE BIOMASSA E NUTRIENTES EM FLORESTAS DE PINUS COM DIFERENTES IDADES

1. INTRODUÇÃO

A taxa de crescimento de uma espécie florestal é controlada geneticamente e pelas condições de sítio, especialmente, a disponibilidade de água e nutrientes na região tropical e sub-tropical (Brown et al., 1997). Existe estreita relação positiva entre a taxa de crescimento e a demanda nutricional (Miller, 1984), que é muito acentuada na fase II de crescimento das espécies florestais (Miller, 1995).

Com a intensificação das técnicas de manejo das plantações de pinus no sul do Brasil, ocorre aumento na demanda de nutrientes pelas plantas, a qual poderá não ser satisfeita temporal e espacialmente pelo solo, requerendo uma suplementação de nutrientes por meio de fertilizantes. Há, contudo, no país poucas informações sobre a técnica de adubação em pinus.

No Brasil, o uso da adubação como prática silvicultural é amplamente difundido para a cultura do eucalipto. Em geral, a recomendação de fertilizantes se baseia em vários estudos que foram conduzidos e nos quais respostas significativas de aumento da produção foram obtidas. Por ser uma espécie florestal que se adaptou muito bem ao nosso país, mostrando um crescimento rápido em rotações relativamente curtas, o volume de informações acumuladas sobre o eucalipto é grande. O mesmo não se verifica com o pinus, cujas plantações são cortadas, geralmente, quando atingem cerca de 22 anos de idade. Assim, a duração dos ciclos justifica o pequeno número de experimentos de adubação de pinus publicados no país.

Nos Estados Unidos, de onde o *Pinus taeda* é originário, os trabalhos sobre adubação de plantios da espécie só foram iniciados nos anos 60 (Pritchett, 1979). Nesses estudos, em geral, verifica-se que a adubação dessa cultura apresenta resultados positivos, podendo haver maior ou menor resposta dependendo do tipo e da fertilidade do solo, do clima, do conjunto de técnicas silviculturais adotadas, dentre outras. Trabalhos conduzidos em outros países, como Austrália, Nova Zelândia e África do Sul, mostram também que a fertilização é o principal meio de se obter ganhos de produtividade de pinus.

Na falta de experimentos específicos sobre a adubação de pinus, a recomendação e a aplicação de fertilizantes aos plantios dessa espécie podem ser baseadas em curvas de crescimento e de acúmulo de nutrientes nas plantas e na disponibilidade de nutrientes do solo, conforme preconizado por Barros et al. (2001). Essas informações podem servir de base para a estimativa do balanço nutricional e para o desenvolvimento de modelos preditivos de recomendação de adubos.

A modelagem da recomendação de corretivos e fertilizantes visa suprir nutrientes de acordo com a demanda da planta, considerando o manejo, a produtividade desejada, o material genético cultivado, a distribuição do sistema radicular e a disponibilidade de nutrientes no solo (Rosa, 2003). Esses modelos são uma importante ferramenta no auxílio à tomada de decisões quanto à quantidade e ao tipo de adubo a ser utilizado, bem como à época e à forma de aplicação, etc. Com base neste princípio e em informações de trabalhos conduzidos na Universidade Federal de Viçosa e empresas associadas à Sociedade de Investigações Florestais, Barros et al. (1995) desenvolveram o NUTRICALC, um software que calcula o balanço nutricional e recomenda corretivos e fertilizantes para a cultura do eucalipto. Para a estimativa da demanda nutricional do povoamento, é necessário definir-se a produção esperada e a eficiência nutricional da espécie cultivada.

Este capítulo objetiva determinar a produção e partição de biomassa e de nutrientes para estabelecer regressões estimadoras da produção de biomassa, do conteúdo e da eficiência de utilização de nutrientes do *Pinus taeda* L. no Estado do Paraná.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Caracterização da Área Experimental

2.1.1 Localização

O estudo foi conduzido em plantios de *P. taeda* na Fazenda São Nicolau, no município de Arapoti, e na Fazenda Caetê, no município de Curiúva (PR), pertencentes à Empresa International Paper S.A. A Fazenda São Nicolau situa-se nas coordenadas geográficas 24° 11' S e 49° 58' e altitude média de 733 m. A Fazenda Caetê localiza-se nas coordenadas 24° 2' S e 50° 27' e altitude média de 785 m.

2.1.2 Clima

O clima da região é do tipo Cfb, pela classificação de Köppen (IAPAR, 2003), definido como mesotérmico, úmido e superúmido, sem estação seca, com verões frescos, em que a temperatura média do mês mais quente é inferior a 22°C e as geadas são severas e freqüentes. A precipitação média anual no período de crescimento das plantas amostradas foi de 1.500 mm.

2.1.3 Solo e Relevo

O local do estudo situa-se na região denominada de segundo planalto, planalto de Ponta Grossa ou planalto paleozóico, com escarpas voltadas para leste em cotas de 1100 a 1200 m (Ministério da Agricultura, 1981).

Mineralogicamente a região é formada por sedimentos paleozóicos, compostos de arenitos, folhelhos, filitos, xistos carbonosos e betuminosos e calcário (Ministério da Agricultura, 1981). O solo do local das coletas é classificado como Latossolo Vermelho Distrófico típico (EMBRAPA, 1999).

2.1.4 Povoamentos e Parcelas de Amostragem

Os dados foram coletados em quatro povoamentos de *P. taeda*, com idades de 2, 4, 6 e 8 anos, em plantios não desbastados, nos meses de novembro e dezembro de 2002 e janeiro de 2003. Com base nos dados de inventário da International Paper, utilizaram-se talhões pertencentes às unidades de manejo III (Faz. Caetê) e IV (Faz. São Nicolau), classificados de acordo com a altura dominante aos 20 anos, com 27,3 e 26 m, respectivamente. O espaçamento entre as árvores do povoamento de 2 anos era 2 x 3 x 4,5 m, tendo duas entrelinhas de 3 m separada por uma entrelinha de 4,5 m, e nos demais, de 2 x 3 m. Foram selecionados talhões, e, em cada um,

foram demarcadas três parcelas de 20 x 30 m, possuindo estas, aproximadamente, cento e cinco árvores. Em cada parcela, foram escolhidas três árvores: uma árvore, com o diâmetro médio da parcela; outra com o diâmetro correspondente à média menos um desvio padrão; e a terceira árvore, com diâmetro correspondente à média mais um desvio padrão. A seleção de três árvores de diferentes diâmetros em cada parcela foi para verificar se as diferenças de crescimento estão associadas a distintas eficiências de uso e partição de nutrientes. As árvores selecionadas tiveram sua altura total medida, e, após isso, foram abatidas.

2.1.5 Coleta das Amostras

Das árvores abatidas, foram retiradas amostras de 200 g de acícula, de galhos e de casca para realização de análises químicas, sendo que as acículas e os galhos foram retirados a 50% da altura da copa em razão dos teores de nutrientes nas folhas variarem em função da posição que estas ocupam na copa (Bellote & da Silva, 2000). Segundo White, 1954, essas variações são devidas às diferenças na atividade fotossintética existente entre as folhas dos ramos da base da copa com folhas do ápice da copa. As acículas, os galhos, o tronco com casca e o tronco sem casca foram pesados, na sua totalidade, em balança de gancho. As raízes foram extraídas até a profundidade de 1,50 m, através do método de escavação, e pesadas em balança de gancho. Amostras de 200 g de raízes foram colhidas para a realização de análises químicas. Amostras compostas de solo foram retiradas, na camada de 0 a 20 cm de profundidade (Tabela 1), a partir de 3 amostras simples coletadas aleatoriamente de cada parcela. A profundidade de coleta baseou-se no fato dessa camada apresentar a maior concentração de nutrientes no solo, de onde as radículas retiram grande parte destes para seu crescimento

(Gonçalves et al., 1997). Foram também retiradas, de forma aleatória, três amostras de serapilheira, utilizando-se gabarito de 20 x 20 cm, em cada parcela. Todo material amostrado foi levado para laboratório, pesado em balança de precisão e levado à estufa com circulação e renovação de ar, à temperatura de 75°C, por um período de 72 horas. Após este procedimento, as amostras foram pesadas novamente para determinar o peso de matéria seca. Na determinação do peso da matéria seca na planta, multiplicou-se o quociente da razão peso da amostra seca/peso da amostra úmida pelo peso total da matéria úmida. Após a determinação do peso de matéria seca, as amostras foram moídas e armazenadas em frascos de vidro para a realização de análises de macro e micronutrientes.

Tabela 1 - Características do solo da camada de 0 a 20 cm de profundidade, nos povoamentos amostrados

Povoamento	Argila	Nutriente									
		P	K	Al	Ca	Mg	Cu	Zn	Fe	Mn	MO
	%	mg dm ⁻³		cmol _c dm ⁻³				mg dm ⁻³			g kg ⁻¹
2 anos	48	4,0	32,0	4,5	1,0	0,3	2,8	0,9	252,1	0,7	34
4 anos	60	4,0	30,0	3,1	0,9	0,3	2,7	0,6	201,8	1,1	43
6 anos	50	3,2	34,0	2,1	1,0	0,3	2,8	1,1	189,8	7,3	37
8 anos	54	4,8	28,0	3,4	0,8	0,3	3,6	0,5	212,5	7,3	42

2.1.6 Análises Químicas

Determinou-se, nas amostras de cada componente da árvore, a concentração de N, P, K, Ca e Mg. As amostras foram digeridas pela mistura H₂O₂ + H₂SO₄ para a determinação de N (Bremner, 1965) e pela mistura nítrico-perclórica para os outros nutrientes (Johnson & Ulrich, 1959). O P foi determinado por espectrofotometria, o de K, por fotometria de emissão de chama, e Ca e Mg, por espectrofotometria de absorção atômica.

2.1.7 Conteúdo e Eficiência de Utilização de Nutrientes (EU)

A partir dos teores de nutrientes e do peso de matéria seca dos componentes, obtiveram-se os conteúdos dos nutrientes na planta. A eficiência de utilização dos nutrientes (EU) foi calculada pelo quociente entre peso de matéria seca e conteúdo de nutrientes no componente da árvore avaliado.

2.1.8 Ajuste e Seleção dos Modelos

Equações de regressão foram ajustadas considerando as dimensões e peso de todas as árvores amostradas. O volume cilíndrico e a idade das árvores foram utilizados como variáveis independentes no ajuste das equações de regressão. Guimarães (1985) cita que as estimativas de volume, utilizando-se o diâmetro à altura do peito (DAP), sem considerar a forma da árvore, poderão expressar o volume médio das árvores.

Os modelos foram escolhidos com base na significância dos coeficientes e nos valores de significância do coeficiente de determinação (R^2).

Para a verificação das regressões, foi realizado o teste de aplicabilidade dos modelos, recomendado por Ahrens (1980) para minimizar os efeitos da dispersão dos resíduos e viabilizar o uso dos modelos em locais diferentes daqueles nos quais os dados foram gerados.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Produção de Biomassa

A produção de biomassa acima do solo e dos seus componentes aumentou com a idade das árvores e mostrou boa relação com o

volume cilíndrico do tronco (Tabela 2). A correlação entre o volume cilíndrico e a matéria seca do tronco foi positiva e bastante estreita ($R = 0,99$) (Figura 1).

Nas árvores de menor classe de DAP, a produção de matéria seca de acículas e galhos tendeu, respectivamente, a diminuir e a estabilizar com o aumento da idade. A explicação para isto deve-se ao fato dessas árvores apresentarem suas copas dominadas por árvores maiores, havendo, assim, menor crescimento de copa, limitando a captação de luz. Na idade de dois anos, as acículas rivalizam com o lenho na constituição da biomassa da parte aérea da planta. Nesta idade, também as raízes contribuem de modo considerável para a biomassa total. A relação raiz/parte aérea é de 0,42.

Em povoamentos jovens, grande proporção dos fotoassimilados é investida nos componentes responsáveis pela captura de recursos de crescimento, isto é, raízes para a aquisição de água e nutrientes e acículas para a captura de radiação solar e CO_2 . Isto é confirmado por Waring & Schlesinger (1985), que sugerem uma hierarquia para a alocação desses fotoassimilados, tendo a prioridade maior os novos lançamentos de brotos pela copa imediatamente seguido das raízes novas. Neste trabalho, à idade de 8 anos, as acículas representam cerca de 7,4% da biomassa total e as raízes, 11,2%, contra 21,0 e 29,7% respectivamente, na idade de dois anos. A relação raiz/parte aérea decresce de 0,42 para 0,12. Assim, à medida que o povoamento envelhece, há forte alteração na alocação dos fotoassimilados, sendo estes destinados em maior proporção ao tronco, que representa a estrutura mais estável da floresta. Este tipo de mudança é comum em povoamentos florestais, principalmente nas plantações com fins comerciais, para as quais as técnicas de manejo privilegiam o rápido crescimento. Em plantações de eucalipto nas idades de 2, 4, 6 e 8 anos, havendo um aumento na biomassa de

madeira e diminuição na biomassa de folhas, galhos, casca e raízes com o aumento da idade (Schumacher et al., 2003).

Em plantações de eucalipto no Brasil, Santana (2000) relata que o tronco constitui cerca de 85% da biomassa da parte aérea à idade de 8 anos. Considerando a biomassa total da árvore, incluindo as raízes, Neves (2000) encontrou que o tronco de clones de eucalipto, aos 8 anos de idade, no litoral do Espírito Santo, representa 84,9%, as folhas, 1,0%, e as raízes, 13,0%. A relação raiz parte aérea foi de 0,15.

De acordo com Lambers et. al. (1998), a relação raiz/parte aérea é relativamente elevada em povoamentos com idades jovens e em sítios onde há restrições nutricionais e, ou, na disponibilidade de água. Reis et al. (1987), ao estudarem a partição de biomassa em plantações de eucalipto aos 6 anos de idade, encontraram a relação de 0,46 em um sítio com maiores restrições quanto a água e nutrientes e de 0,25 onde a restrição era menor.

No presente trabalho, verifica-se que o peso de matéria seca das árvores aos 2 anos é menor do que o encontrado por Adegbidi et al. (2002) para *P. taeda* intensivamente manejado (capina e adubação – 120 kg ha⁻¹ de N, 58 kg ha⁻¹ de P, 40 kg ha⁻¹ de K e 1,5 kg ha⁻¹ de B) em solos arenosos e de baixa fertilidade da Georgia, USA. Na idade de 4 anos, ocorre que, os valores encontrados neste trabalho (Tabela 3) são praticamente duas vezes maiores. Isso indica que provavelmente a qualidade do sítio onde estão situadas as plantações de pinus referentes a este trabalho é melhor. Aqui, o teor de argila dos solos é mais elevado, indicando um maior poder tampão para os nutrientes e uma maior retenção de umidade. Solos arenosos têm menor capacidade de retenção de nutrientes. O maior crescimento do plantio de 2 anos na Georgia parece ser decorrente do manejo mais intensivo, que influencia as plantas, principalmente na fase de estabelecimento.

Comparando-se o incremento médio anual em massa, relatado por Valeri (1988), para *P. taeda* na região de Telêmaco Borba (PR), com o presente trabalho (Tabela 4), verifica-se menores diferenças que as observadas na comparação com o *P. taeda* na Georgia (Tabela 3) à idade de 4 anos. Isto indica maior similaridade entre as condições de sítio do trabalho de Valeri (1988) com as aqui relatadas.

Tabela 2 - Volume do tronco e partição de biomassa seca nas diversas idades do *P. taeda*

Idade	Classe de DAP	VOL	Acículas	Galhos	Casca	Lenho	Raiz	Total
		m ³ /arv.						
2	M - s	0.001	0.533	0.258	0.109	0.679	*	1.579
2	M - s	0.001	0.929	0.735	0.130	0.929	*	2.723
2	M - s	0.002	1.090	0.598	0.112	2.588	*	4.388
2	M	0.003	0.891	0.602	0.203	1.501	1.350	3.197
2	M	0.003	0.803	0.288	0.197	1.305	0.998	2.592
2	M	0.003	0.958	0.461	0.159	1.491	1.392	3.069
2	M + s	0.004	1.126	0.812	0.164	1.786	*	3.888
2	M + s	0.004	2.077	0.934	0.229	1.938	*	5.178
2	M + s	0.005	2.717	1.835	0.507	2.403	*	7.463
4	M - s	0.038	2.384	3.171	1.340	4.990	*	11.885
4	M - s	0.039	3.782	2.979	0.892	7.388	*	15.041
4	M - s	0.060	5.905	6.264	1.426	9.830	*	23.424
4	M	0.067	9.295	13.803	6.462	11.571	7.334	41.131
4	M	0.078	4.882	5.846	2.782	14.059	7.681	27.569
4	M	0.096	5.563	8.590	3.254	13.325	14.577	30.732
4	M + s	0.103	7.469	7.920	3.808	16.601	*	35.798
4	M + s	0.116	14.164	12.457	2.924	14.252	*	43.797
4	M + s	0.145	19.268	21.685	6.429	25.530	*	72.911
6	M - s	0.109	4.868	5.946	3.594	17.640	*	32.048
6	M - s	0.111	7.419	10.394	4.734	21.734	*	44.281
6	M - s	0.111	4.440	5.544	3.915	14.671	*	28.570
6	M	0.156	7.454	8.500	4.483	22.814	9.298	43.252
6	M	0.161	6.723	10.478	3.057	25.260	9.298	45.518
6	M	0.161	6.694	7.168	1.646	20.107	9.298	35.615
6	M + s	0.237	8.534	14.783	6.749	31.448	*	61.514
6	M + s	0.241	14.143	22.626	6.761	31.945	*	75.476
6	M + s	0.241	7.914	12.781	5.878	31.828	*	58.400
8	M - s	0.232	2.841	10.149	3.960	32.813	*	49.763
8	M - s	0.261	1.705	7.440	4.982	35.854	*	49.980
8	M - s	0.262	3.497	6.544	7.758	34.158	*	51.957
8	M	0.414	9.102	18.468	7.824	56.115	14.624	91.510
8	M	0.436	6.704	21.510	10.264	68.213	11.744	106.691
8	M	0.439	7.552	10.567	14.580	47.082	8.775	79.780
8	M + s	0.605	16.718	37.888	13.233	83.800	*	151.639
8	M + s	0.639	18.262	44.398	17.073	92.525	*	172.258
8	M + s	0.650	12.888	23.513	16.770	79.502	*	132.672

M = média, s = desvio, (*) material não coletado.

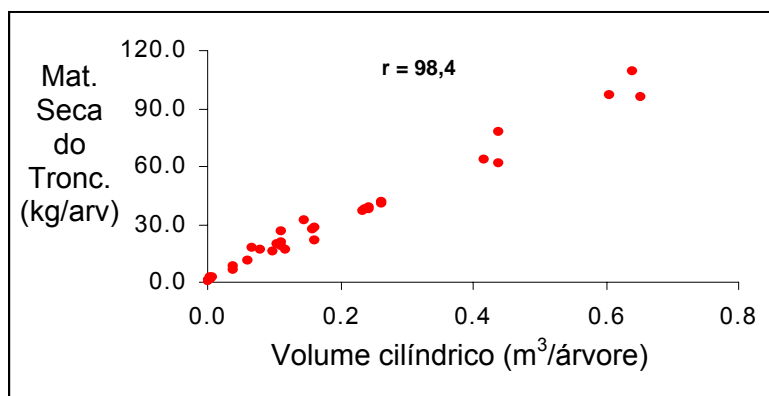


Figura 1 - Correlação entre matéria seca e volume cilíndrico do tronco em árvores de *Pinus taeda*.

Tabela 3 - Produção média de matéria seca ($t\ ha^{-1}$) de *P. taeda* nas idades de 2 e 4 anos em áreas da Georgia (Adegbidi et al., 2002) e do Paraná.

Idade	Árvores ha^{-1}	Acículas	Galhos	Casca	Lenho	Serapilheira	Total	Fonte
2	1.429	1,3	0,6	0,3	2,0	0,0	4,2	A
2	1.502	4,0	3,5	0,5	2,0	0,0	10,0	B
	Diferença (%)	-207,7	-483,3	-66,6	0	0	-138,1	
4	1.667	12,5	13,2	6,3	27,7	9,7	69,4	A
4	1.502	6,5	8,5	3,0	16,0	5,0	36,0	B
	Diferença (%)	48,0	35,6	52,4	42,2	48,5	48,1	

Fonte A: este trabalho. Fonte B: Adegbidi et al., (2002).

Equações de regressão foram ajustadas aos dados para estimar o peso da matéria seca de acículas, galhos, casca, lenho, raízes e serapilheira, baseadas no volume cilíndrico do tronco e na idade das árvores. Os coeficientes de determinação das regressões variaram de 0,83 a 0,98 (Tabela 5), todos significativos a 1% de probabilidade.

As equações ajustadas mostram que o peso de matéria seca dos componentes recicláveis da árvore aumentou com o crescimento do volume de tronco e diminuiu com a idade das plantas, o que é coerente com a distribuição proporcional de fotoassimilados segundo a idade da árvore, conforme já discutido neste trabalho. Já o peso de

matéria seca de casca e lenho do tronco pode ser melhor estimado pelo volume do tronco.

No intuito de se desenvolver equações de regressão que explicassem a produção de matéria seca para *Pinus* sp., além dos dados deste trabalho, foram utilizados dados de Valeri (1988) (*P. taeda*) e Miranda & Barros (1994) (*P. caribaea* var. *hondurensis* e *P. oocarpa*) (Tabela 6). Tentou-se também incluir dados de trabalhos conduzidos fora do país, não sendo possível ajustar regressões estatisticamente significativas.

Tabela 4 - Incremento médio anual (IMA) de matéria seca de componentes de árvores de *P. taeda* em duas condições do estado do Paraná.

Idade	Fonte	t ha ⁻¹				
		Acículas	Galhos	Casca	Lenho	Total
6	Este trabalho	11595,3	14510,8	5097,9	37868,1	69072,3
7	Valeri	12070,8	21435,8	7717,8	57930,8	99155,4
IMA	Este trabalho	1932,5	2418,4	849,6	6311,3	11512,0
IMA	Valeri	1724,4	3062,2	1102,5	8275,8	14165,0
	Diferença (%)	10,7	-26,6	-29,7	-31,1	-0,2

Tabela 5 - Equações de regressão para estimativa de matéria seca (MS), dos diversos componentes da árvore de *P. taeda* na região de Arapoti (PR).

Componente	Equação de Regressão	R ²
	kg/árvore	
Acícula (A)	LnMSA = 5,819 + 0,8482 Ln Vol – 0,39384 id	0,87
Galho (G)	LnMSG = 5,393 + 0,92662 Ln Vol – 0,22748 id	0,93
Casca (C)	MSC = 0,515 + 24,0231 Vol	0,90
Lenho (L)	MSL = 1,732 + 131,035 Vol	0,98
Raiz (R)	LnMSR = 5,90 + 0,85834 Ln Vol – 0,320731 id	0,94
	t ha ⁻¹	
Serapilheira (S)	MSS = 0,0823631 + 0,363112 Mscopa	0,83

Vol = Volume cilíndrico do tronco (m³ ha⁻¹); id = idade (anos).

Tabela 6 - Equações estimadoras do peso de matéria seca dos componentes da árvore de *Pinus* sp. em função do volume e da idade.

Componente	Regressão Ajustada	R ²
	kg/árvore	
Acícula (A)	$\text{LnMSA} = -0,415102 + 1,03584 \text{Ln Vol} - 0,484914 \text{id}$	0,87
Galho (G)	$\text{LnMSG} = -1,34278 + 1,13669 \text{Ln Vol} - 0,364137 \text{id}$	0,93
Casca (C)	$\text{LnMSC} = -2,51787 + 0,896257 \text{Ln Vol} - 0,102595 \text{id}$	0,90
Lenho (L)	$\text{LnMSL} = -0,622394 + 0,933288 \text{Ln Vol} - 0,134741 \text{id}$	0,98
Tronco (TR)	$\text{LnMSTR} = -0,465464 + 0,933076 \text{Ln Vol} - 0,136027 \text{id}$	0,94

3.2. Concentração de Nutrientes

Não foram observadas diferenças nos teores de N, P, K, Ca e Mg (Tabela 7) entre árvores de mesma idade. O mesmo não foi verificado entre árvores de idades diferentes.

Nota-se, em geral, que a concentração de N, P, K, Ca e Mg, nas partes mais ativas da planta, como acículas, tende a se manter estável, com certa oscilação, ou então aumentar conforme a idade. A explicação para este fato deve-se ao contínuo processo de renovação, crescimento e desenvolvimento (“turnover”) das partes mais ativas da planta, a fim de que ocorra captação de luz e CO₂ para produção de fotoassimilados pelas acículas e absorção de água e nutrientes pelas radículas.

Houve redução na concentração de N, P e K nos galhos, casca, lenho e raízes, que pode ter sido ocasionada pela retranslocação destes nutrientes para as acículas. A concentração de Ca e Mg teve um aumento nos galhos e raízes, enquanto que, na casca e no lenho, houve uma oscilação, não havendo alteração considerável ao final de 8 anos. Por ser um elemento pouco móvel na planta, o Ca tende a se manter estável ou então acumular com o passar dos anos.

Segundo Gonçalves et al. (1996), a faixa de teores de macronutrientes considerados adequados, na matéria seca de acículas de *Pinus* sp., é de 1,1 a 1,3 dag/kg para N; 0,08 a 0,12 dag/kg para P; 0,6 a 1,0 dag/kg para K; 0,3 a 0,5 dag/kg para Ca; e 0,13 a 0,20 dag/kg para Mg. O mesmo autor cita que a composição química dos tecidos é afetada por fatores internos e externos às árvores. A época de amostragem deve ser aquela em que haja maior estabilidade dos teores dos nutrientes no interior das árvores, preferencialmente ao final do inverno.

A coleta dos dados deste trabalho teve início em novembro (primavera), tendo terminado ao final do mês de janeiro (verão), período no qual a árvore está mais ativa. Este pode ser o motivo pelas maiores concentrações de P, K, Ca e Mg, obtidas no presente estudo, em comparação aos teores recomendados por Gonçalves et al. (1996).

Tabela 7 - Concentração de nutrientes nos diversos componentes das árvores de *P. taeda* aos 2, 4, 6 e 8 anos de idade.

Idade	Árvore ⁽¹⁾	Componente	N	P	K	Ca	Mg
2	M - s	Acícula	14,74	1,30	7,30	1,91	0,59
2	M - s	Galho	5,62	0,59	5,49	1,39	0,62
2	M - s	Casca	2,58	0,21	2,10	0,93	0,24
2	M - s	Lenho	2,07	0,24	2,34	0,38	0,29
2	M	Acícula	15,89	1,28	6,73	2,04	0,55
2	M	Galho	6,25	0,67	6,12	1,75	0,64
2	M	Casca	2,75	0,16	1,30	1,47	0,29
2	M	Lenho	1,89	0,21	1,81	0,41	0,28
2	M	Raiz	9,81	0,91	3,82	1,34	0,7
2	M	Radicela	4,99	0,3	2,00	0,54	0,41
2	M + s	Acícula	15,03	1,21	7,08	2,71	0,63
2	M + s	Galho	4,42	0,49	4,75	1,79	0,68
2	M + s	Casca	2,35	0,16	1,24	0,62	0,27
2	M + s	Lenho	1,89	0,20	1,85	0,70	0,32
4	M - s	Acícula	15,54	1,21	7,30	1,91	0,59
4	M - s	Galho	3,56	0,40	5,49	1,39	0,62
4	M - s	Casca	1,89	0,10	2,10	0,93	0,24
4	M - s	Lenho	1,26	0,06	2,34	0,38	0,29
4	M	Acícula	15,94	1,17	6,73	2,04	0,55
4	M	Galho	2,92	0,39	6,12	1,75	0,64
4	M	Casca	2,64	0,08	1,30	1,47	0,29
4	M	Lenho	0,78	0,06	1,81	0,41	0,28
4	M	Raiz	5,68	0,35	3,82	1,34	0,70
4	M	Radicela	7,46	0,45	2,00	0,54	0,41
4	M + s	Acícula	13,88	1,01	7,08	2,71	0,63
4	M + s	Galho	3,44	0,50	4,75	1,79	0,68
4	M + s	Casca	1,72	0,08	1,24	0,62	0,27
4	M + s	Lenho	0,98	0,07	1,85	0,70	0,32
6	M - s	Acícula	15,83	0,99	3,99	2,46	0,75
6	M - s	Galho	3,27	0,32	1,57	1,96	0,61
6	M - s	Casca	1,84	0,07	0,32	0,74	0,14
6	M - s	Lenho	0,69	0,04	0,49	0,38	0,24
6	M	Acícula	16,97	1,09	4,44	3,51	0,98
6	M	Galho	4,76	0,49	2,72	2,54	0,85
6	M	Casca	1,66	0,09	0,44	1,14	0,16
6	M	Lenho	0,63	0,04	0,37	0,45	0,24
6	M	Raiz	7,91	0,41	2,30	2,33	0,50
6	M	Radicela	8,26	0,47	1,95	2,10	0,76
6	M + s	Acícula	18,12	1,18	4,59	2,52	0,65
6	M + s	Galho	4,53	0,43	2,17	1,56	0,65
6	M + s	Casca	1,72	0,06	0,34	0,63	0,10
6	M + s	Lenho	0,40	0,04	0,42	0,35	0,22
8	M - s	Acícula	15,54	1,23	5,83	3,32	1,08
8	M - s	Galho	4,13	0,44	2,62	2,24	0,60
8	M - s	Casca	1,89	0,13	0,70	1,13	0,21
8	M - s	Lenho	0,60	0,05	0,63	0,43	0,21
8	M	Acícula	16,46	1,30	5,57	2,03	0,88
8	M	Galho	3,96	0,43	2,63	2,67	0,86
8	M	Casca	2,01	0,14	0,57	1,32	0,21
8	M	Lenho	0,63	0,03	0,42	0,42	0,19
8	M	Raiz	6,48	0,26	1,82	3,46	0,74
8	M	Radicela	6,65	0,31	1,71	2,46	0,70
8	M + s	Acícula	16,52	1,13	4,85	2,74	1,18
8	M + s	Galho	3,67	0,42	2,52	2,59	0,79
8	M + s	Casca	2,18	0,13	0,44	0,58	0,16
8	M + s	Lenho	0,60	0,04	0,46	0,52	0,20

⁽¹⁾ M = Média, s = Desvio.

Conforme mencionado anteriormente, existe tendência de aumento do conteúdo de nutrientes com o crescimento de matéria seca da árvore. A produção absoluta de matéria seca, neste estudo, tende a ser maior com o aumento da idade e do volume entre árvores de mesma idade. Conseqüentemente, houve aumento no conteúdo de nutrientes nas árvores de classe de DAP menor para as de classe maior, numa mesma idade, com o aumento da idade das árvores. A produção relativa de cada componente varia com a idade das árvores, havendo redução na proporção de acículas (Figura 2) e de raízes (Figura 3), ocorrendo o inverso para o lenho (Figura 2). A tendência de variação relativa de galhos e casca é a mesma. Em geral, a contribuição relativa dos galhos para a biomassa total diminui com a idade. Neste estudo, isto só foi observado a partir do quarto ano, em razão de, até esta idade, os galhos mortos permanecerem aderidos ao tronco.

Em geral, quando a floresta está em idade mais jovem, o acúmulo relativo de nutrientes é maior do que o acúmulo relativo de biomassa, visto serem os nutrientes recursos necessários para que ocorra o crescimento (Barros et al., 2001). Além disso, nessas idades mais jovens, há uma proporção de biomassa de folhas, galhos novos e raízes finas, que são os componentes nos quais a concentração de nutrientes é maior (Barros et al., 2001).

A figura 4 mostra o conteúdo absoluto (gráfico de linhas) e relativo (gráfico de barras) de N, P, K, Ca e Mg até a idade de 8 anos. Observa-se que, em média, 60% dos nutrientes são absorvidos pela árvore antes que esta atinja a idade de 4 anos. Isto significa que, a adubação, quando necessária, deve ser feita antes que o povoamento atinja a idade de 4 anos. Esta informação é suportada pelos dados relatados por Miranda & Barros (1994), que, em experimento de adubação de *Pinus caribaea* var. *caribaea*, envolvendo seis tratamentos, obtiveram maior crescimento em volume no tratamento

no qual o fertilizante foi todo aplicado até a idade de 3 anos. O efeito do tratamento foi mais acentuado em idades mais jovens das plantas. O ganho em relação à testemunha foi de 13,6%, o que corresponde a 42 m³ de madeira por hectare.

Comparando-se novamente o presente trabalho com o estudo de Adegbidi et al. (2002), verifica-se que, o conteúdo de nutrientes encontrado no pinus aos dois anos de idade pelos autores, é maior do que o encontrado neste trabalho. Já aos quatro anos, quando o efeito da adubação é menor no experimento da Georgia, o papel do solo no fornecimento de nutrientes se acentua nesta pesquisa, havendo o aumento do conteúdo de nutrientes nos componentes da planta, fazendo com que este seja maior dos que os encontrados no experimento da Georgia (Tabela 8). A tendência de acúmulo de nutrientes é semelhante ao de matéria seca vistos nas tabelas 1 e 3.

Para plantações de eucalipto, nos espaçamentos usualmente utilizados no Brasil, cerca de 70 a 80% da demanda de cada nutriente ocorre nos primeiros 4 a 5 anos de crescimento do povoamento (Santana et al., 1999), isto se assemelha aos dados encontrados por Miranda & Barros (1994) e pelo presente trabalho.

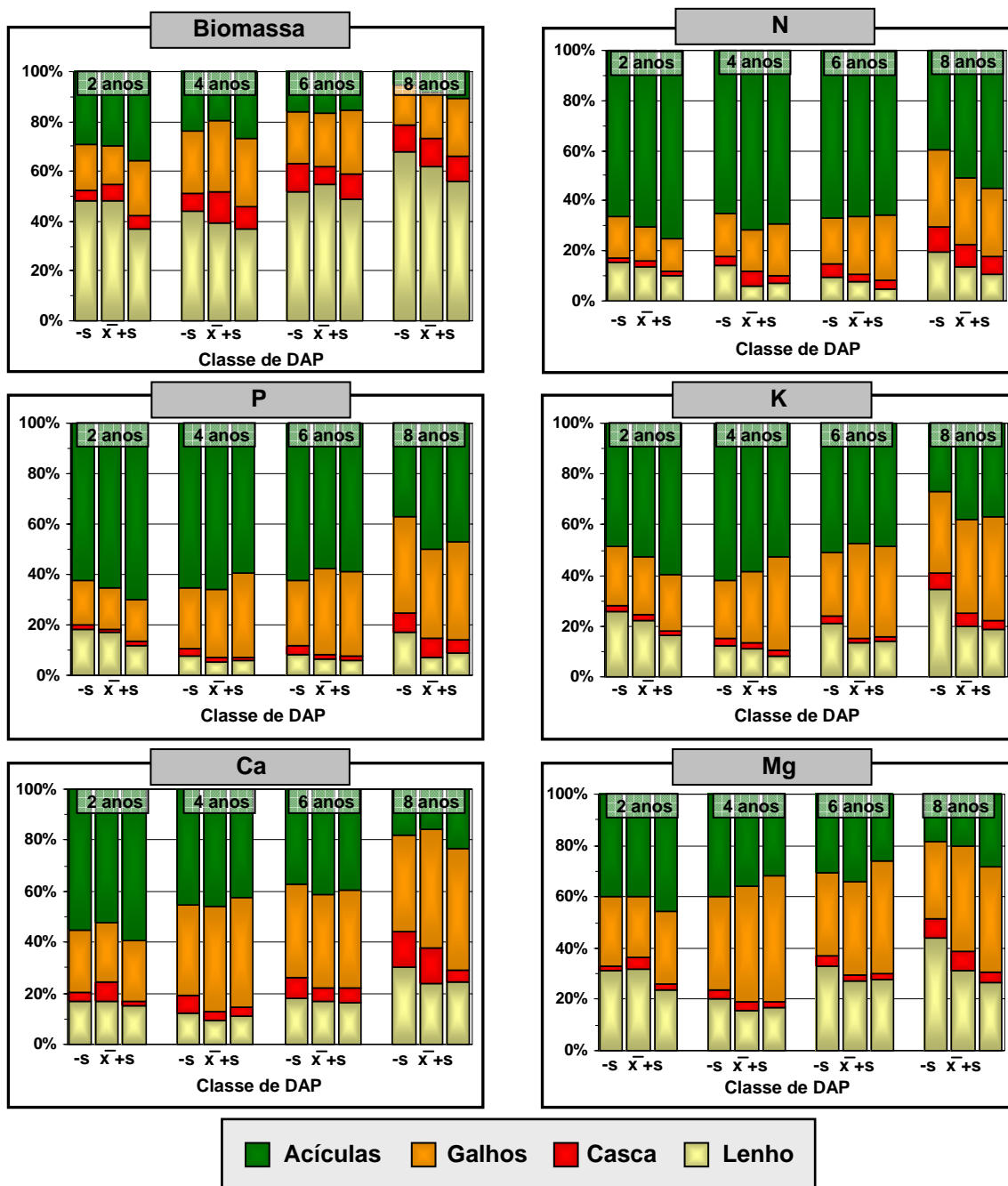
Tabela 8 - Conteúdo médio de nutrientes nos diversos componentes da planta de *P. taeda*, aos dois e quatro anos de idade, em áreas da Georgia (Adegbidi et al., 2002) e do Paraná.

Idade	Componente	N	P	K	Ca	Mg	Fonte	
		kg ha ⁻¹						
2	Acícula	19,2	1,6	8,9	2,8	0,8	A	
2	Galho	3,4	0,4	3,5	1,1	0,4	A	
2	Casca	0,7	0,1	0,4	0,3	0,1	A	
2	Lenho	3,9	0,4	4,1	1,0	0,6	A	
2	Acícula	52,2	5,6	15,2	10,7	5,3	B	
2	Galho	13,7	1,8	7,1	7,2	2,8	B	
2	Casca	2,5	0,3	1,1	1,1	0,4	B	
2	Lenho	5,1	0,6	2,2	1,4	0,9	B	

continuação

Idade	Componente	N	P	K	Ca	Mg	Fonte
kg ha ⁻¹							
4	Acícula	189,7	14,3	63,1	39,5	9,3	A
4	Galho	49,1	6,9	36,4	36,1	11,4	A
4	Casca	13,7	0,3	3,1	4,9	0,9	A
4	Lenho	22,2	1,6	10,7	8,6	4,1	A
4	Serapilheira	32,0	6,4	15,2	38,3	4,1	A
4	Acícula	82,5	8	29,5	14,9	7,3	B
4	Galho	32,4	3,5	16,2	19,9	5,9	B
4	Casca	10,6	1	5	5,9	1,6	B
4	Lenho	25	3	9,3	10,7	4,7	B
4	Serapilheira	28,2	2,9	5,1	15,6	4,3	B

Fonte A: este trabalho. Fonte B: Adegbidi et al. (2002).



-s = árvore média menos desvio; x = árvore média; +s = árvore média mais desvio

Figura 2 - Distribuição relativa de matéria seca e do conteúdo de nutrientes na parte aérea de árvores de *Pinus taeda* aos 2, 4, 6 e 8 anos de idade.

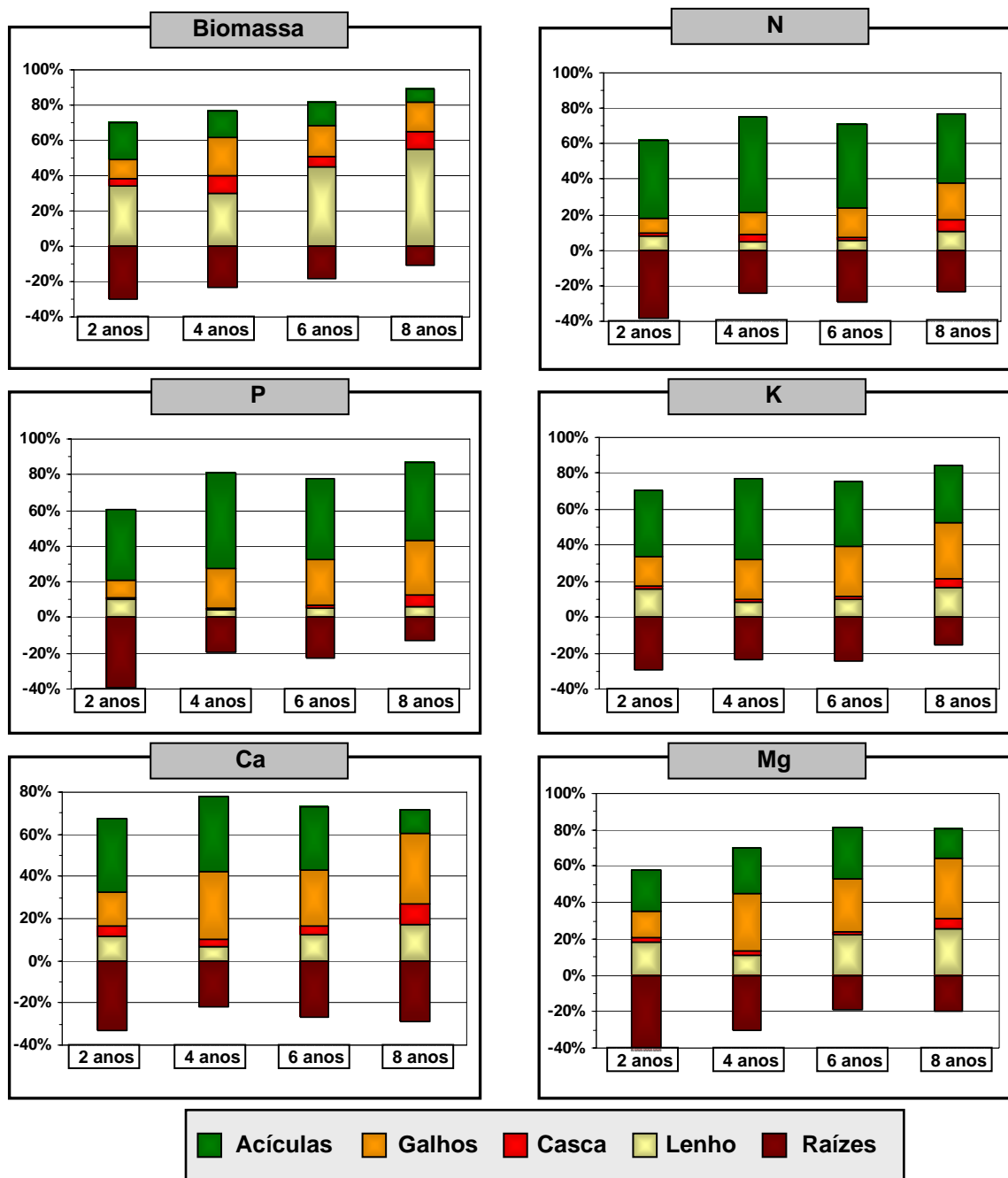


Figura 3 - Distribuição relativa de matéria seca e do conteúdo de nutrientes em árvores médias de *Pinus taeda* aos 2, 4, 6 e 8 anos de idade.

A eficiência de utilização de nutrientes (EU) é uma importante característica que influencia a demanda de nutrientes da planta. Existem várias maneiras de se expressar essa eficiência em árvores

ou povoamentos florestais (Vitousek, 1982; Shaver & Melillo, 1984; Hiremath, 1999), sendo uma delas representada pelo quociente entre a massa de matéria seca e seu conteúdo de nutriente (Shaver & Melillo, 1984). Neste trabalho, também foram obtidas equações estimadoras da EU do tronco (Tabela 9).

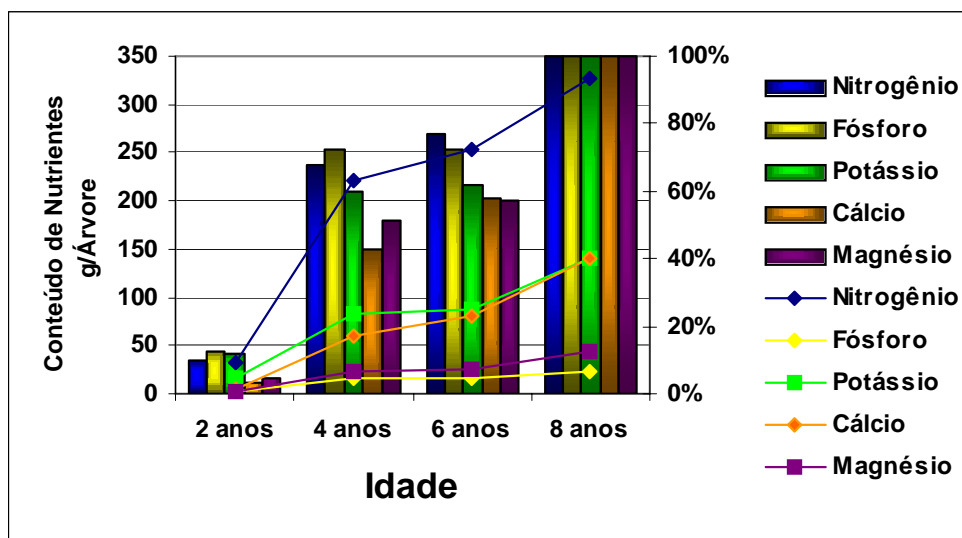


Figura 4 - Conteúdo absoluto e relativo de nutrientes em árvores de *Pinus taeda* aos 2, 4, 6 e 8 anos de idade (a maior idade foi tomada como 100%).

Tabela 9 - Equações estimadoras da EU do tronco da árvore de *Pinus taeda* para N, P, K, Ca e Mg em função da matéria seca do tronco (kg/árvore) e da idade (anos).

Elemento	Equação estimadora	R ²
	$t \text{ ha}^{-1}$	
N	$\text{LnN} = 5,279 + 0,6145 \text{ id} - 0,03884 \text{ id}^2 - 0,108746 \text{ Ln MSTR}$	0,86
P	$\text{LnP} = 6,71312 + 1,0200 \text{ id} - 0,084058 \text{ id}^2 + 0,090069 \text{ Ln MSTR}$	0,87
K	$\text{LnK} = 4,4449 + 0,96715 \text{ id} - 0,087483 \text{ id}^2 + 0,2278 \text{ Ln MSTR}$	0,80
Ca	$\text{LnCa} = 7,2246 + 0,213232 \text{ id} - 0,020843 \text{ id}^2 - 0,0096606 \text{ Ln MSTR}$	0,77
Mg	$\text{LnMg} = 7,8883 + 0,09738 \text{ id} - 0,013220 \text{ id}^2 + 0,157726 \text{ Ln MSTR}$	0,84

Equações de regressão foram ajustadas aos dados para estimar o conteúdo de N, P, K, Ca e Mg nos diversos componentes da árvore (Quadro 10). As equações foram baseadas na matéria seca estimada do tronco, serapilheira, copa, acículas e galhos, no EU e na idade. Não foi possível ajustar uma equação com elevado coeficiente de determinação para o K na serapilheira. Isto porque o K, um nutriente que não participa de estrutura ou compostos nas plantas, é facilmente lixiviado de tecidos, especialmente os senescentes ou mortos.

Tabela 10 - Equações estimadoras do conteúdo de nutrientes dos componentes da árvore de *Pinus taeda* em função da matéria seca do tronco, copa, acículas, galhos e serapilheira, da eficiência de utilização de nutrientes do tronco (EU) e da idade (anos).

Componente	Equação	R ²
<u>kg/árvore</u>		
Acículas	LnN = 2,37838 + 1,76662 Ln MSTR – 0,612868 id	0,86
	LnP = -0,095414 + 1,66829 Ln MSTR – 0,584454 id	0,87
	LnK = 1,6573 + 1,51461 Ln MSTR – 0,547946 id	0,80
	LnCa = 0,5138 + 1,77146 Ln MSTR – 0,605546 id	0,77
	LnMg = -0,9937 + 1,611807 Ln MSTR – 0,463626 id	0,84
Galhos	LnN = 0,3302 + 1,66555 Ln MSTR – 0,381933 id	0,92
	LnP = -1,8408 + 1,82145 Ln MSTR – 0,473748 id	0,93
	LnK = 0,36516 + 1,61461 Ln MSTR – 0,438423 id	0,90
	LnCa = -0,8562 + 1,93987 Ln MSTR – 0,434144 id	0,90
	LnMg = -1,7735 + 2,02725 Ln MSTR – 0,515048 id	0,92
Casca	LnN = -1,6018 + 1,37031 Ln MSTR – 0,0007253 EU N	0,90
	LnP = -4,5362 + 1,32448 Ln MSTR – 0,00003907 EU P	0,94
	LnK = -2,2111 + 1,05021 Ln MSTR – 0,0002710 EU K	0,88
	LnCa = -4,6661 + 1,16892 Ln MSTR + 0,00092484 EU Ca	0,87
	LnMg = -5,05684 + 1,01382 Ln MSTR + 0,0002609 EU Mg	0,90
Lenho	LnN = 0,6210 + 0,941434 Ln MSTR – 0,0008812 EU N	0,74
	LnP = -1,7646 + 0,78398 Ln MSTR – 0,00004159 EU P	0,78
	LnK = 0,33746 + 0,893684 Ln MSTR – 0,0004188 EU K	0,87
	LnCa = -1,56828 + 1,10363 Ln MSTR + 0,00007164 EU Ca	0,93
	LnMg = -2,8845 + 0,8897 Ln MSTR + 0,0003124 EU Mg	0,96
Raízes	LnN = -69,0908 – 1,11323 MSTR + 0,158283 EU N	0,91
	LnP = -0,2289 – 0,195538 Ln MSTR + 0,0001127 EU P	0,93
	LnK = 1,0028 + 0,047893 Ln MSTR + 0,0009609 EU K	0,89
	LnCa = -4,0748 + 1,0011 Ln MSTR + 0,0018485 EU Ca	0,97
	LnMg = -4,3093 + 0,27679 Ln MSTR + 0,0010928 EU Mg	0,97
<u>t ha⁻¹</u>		
Serapilheira	N = 0,0496 + 10,8783 MSS	0,95
	P = 0,4254 + 0,6077 MSS	0,82
	K = 0,7731 + 0,9860 MSA	0,50
	Ca = -5,5556 + 1,8970 MSCO	0,80
	Mg = -0,9017 + 0,2934 MSG	0,85

MSTR = matéria seca estimada do tronco (kg/árvore), id = idade (anos), EU = eficiência de utilização de nutrientes, MSS = matéria seca estimada de serapilheira, MSA = matéria seca estimada de acícula, MSCO = matéria seca estimada de copa, MSG = matéria seca estimada de galho.

4. CONCLUSÕES

- ◆ O volume do tronco e a idade permitiram estimar com precisão a biomassa dos vários componentes das árvores.
- ◆ A contribuição relativa de acículas e raízes diminui, e a de tronco aumenta com a idade das árvores.
- ◆ As concentrações de nutrientes na árvore foram bastante variáveis, e no geral, apresentaram-se abaixo dos níveis críticos citados na literatura.
- ◆ Árvores de diferentes classes de DAP não apresentam diferenças quanto à concentração de nutrientes.
- ◆ A concentração dos nutrientes, em todos os componentes da árvore, exceto nas acículas, decresceram com a idade.
- ◆ Há uma estreita correlação positiva entre matéria seca e conteúdo de nutrientes.
- ◆ As equações estimadoras de matéria seca, conteúdo e EU, apresentaram, com poucas exceções, valores de R^2 acima de 0,80.

CAPÍTULO 2

DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE RECOMENDAÇÃO DE FERTILIZANTES PARA O PINUS

1. INTRODUÇÃO

O uso racional de fertilizantes tem sido uma preocupação freqüente nas atividades agrícolas e florestais por sua implicação econômica e ambiental (Barros & Comerford, 2002). Por uso racional subentende-se a definição da dosagem correta, do melhor modo e época de aplicação dos fertilizantes para que sua absorção pelas plantas seja máxima.

Com a expansão das áreas de plantio de Pinus no Brasil, em solos que não são capazes de atender à demanda de nutrientes das plantas, por serem de baixa fertilidade natural ou por terem sido cultivados por algumas rotações, a aplicação de fertilizantes é necessária para atender às necessidades das plantas e levar a ganhos de crescimento.

Tradicionalmente, a recomendação de fertilizantes tem se baseado em tabelas de recomendação preparadas em nível regional

ou estadual. Essas tabelas são construídas levando-se em conta resultados experimentais e experiências pessoais de pesquisadores e de extensionistas. Dependendo da cultura, a interpretação dos resultados de análise de solo e a recomendação de fertilizantes são feitas considerando-se faixas de níveis ou teores críticos e de doses dos nutrientes, em muitos casos, independentemente da produção desejada. A combinação dessas duas características pode levar a uma dose maior ou menor para uma mesma expectativa de produção.

No Brasil, as informações sobre a adubação de Pinus são poucas, o que dificulta a extrapolação de resultados de uma região para outra. Até então, somente no estado de São Paulo, há tabelas de interpretação de resultados de análise de solo e recomendação de adubação para Pinus. Em geral, essas tabelas são de aplicação regional e seu uso para outras condições pode não ser recomendado. Além disso, as tabelas não consideram as diferenças entre espécies, que podem ser significativas para as espécies de Pinus (Binkley, 1986), as fases de crescimento do povoamento, profundidade de exploração radicular, etc. O conhecimento da relação entre taxa de crescimento e demanda de nutrientes, em cada fase de desenvolvimento, e do teor de nutrientes disponíveis no solo permite estabelecer o balanço de nutrientes e a recomendação de fertilizantes (Barros et al., 2000).

Quanto à área florestal, no Brasil, uma primeira tentativa de considerar a demanda nutricional do eucalipto de maneira contínua surgiu com a elaboração do NUTRICALC (Barros et al., 1995). Este software realiza a recomendação de corretivos e fertilizantes para eucalipto com base no balanço nutricional calculado em função da demanda da planta para atingir determinado crescimento e da disponibilidade de nutrientes no solo e sítio.

Este trabalho teve como objetivo elaborar um sistema de recomendação de fertilizantes para Pinus (NUTRIPINUS), tendo como

base o balanço de nutrientes em plantações de *Pinus taeda* da região Noroeste do estado do Paraná.

2. MODELO CONCEITUAL

O modelo conceitual utilizado neste estudo (Figura 1) é o que foi adotado no desenvolvimento do NUTRICALC (Barros et al., 2002). Este modelo envolve conceitos empíricos e mecanísticos, relacionados ao crescimento e nutrição de plantas e ao comportamento de nutrientes no solo. A estimativa da demanda de nutrientes é obtida considerando-se o crescimento da árvore e a eficiência com que ela converte nutrientes em biomassa. O crescimento esperado pode ser obtido com base na classe de sítio, extrapolação de dados de inventário ou modelos de predição de crescimento ou produção. A eficiência de utilização pode ser obtida, por aproximação, de dados da literatura ou por determinação feita no campo.

De acordo com a Figura 1, um fator de sustentabilidade pode ou não ser considerado na estimativa da demanda nutricional. Este fator corresponde a um percentual que é acrescentado à demanda real de nutrientes da planta de forma a se ter no sítio, um excedente de nutrientes após a colheita.

Os nutrientes podem ser supridos por reservas naturais do solo, por resíduos vegetais deixados ou aplicados à área e por meio de inputs atmosféricos.

Tendo-se a estimativa da demanda de nutrientes da árvore ou do povoamento e conhecendo-se a capacidade de suprimento do solo, obtém-se o balanço nutricional. Quando o balanço é positivo, não há necessidade de aplicar adubos. Quando é negativo, nutrientes devem ser aplicados para que seja obtida a produção desejada.

Embora esse modelo pareça simples, vários aspectos são ou devem ser considerados na recomendação final de fertilizantes, como, por exemplo, a dinâmica dos nutrientes no solo e na planta.

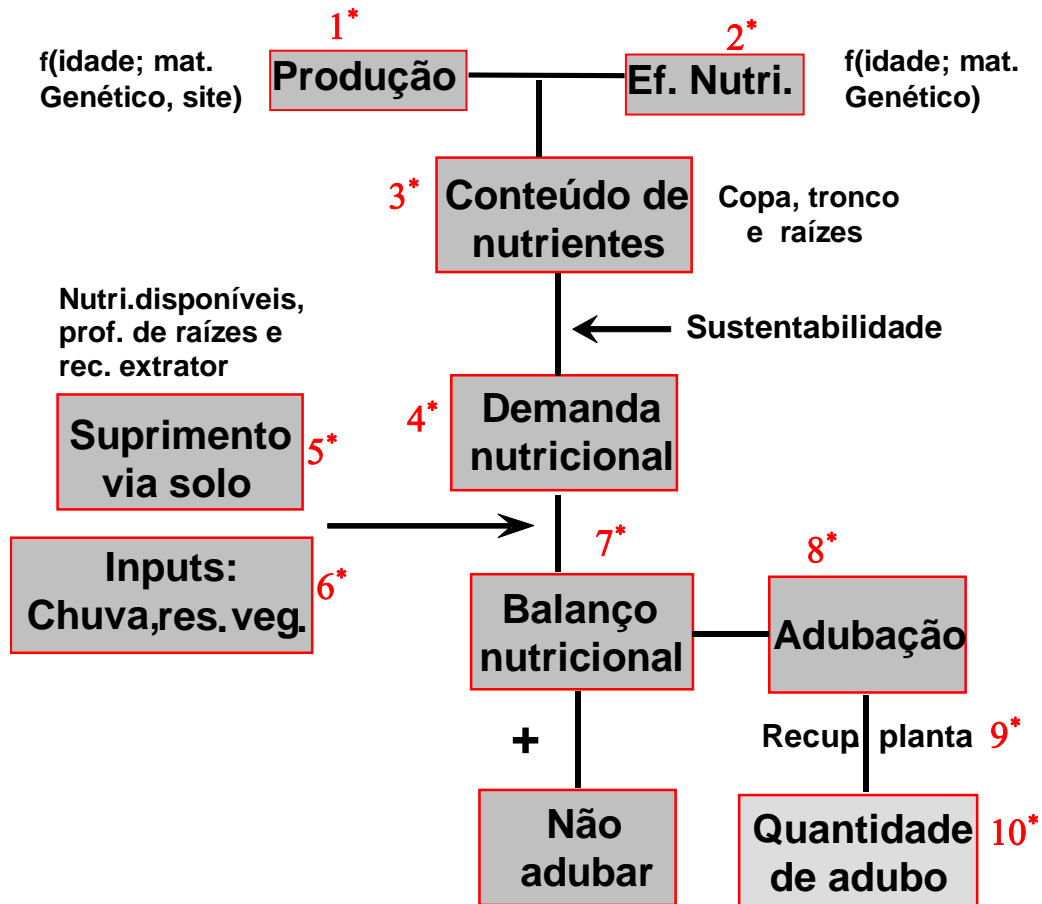


Figura 1 - Fluxograma do modelo conceitual utilizado no desenvolvimento do NUTRIPINUS (adaptado de Barros et al., 2002). * Cálculo pag. 46.

Os nutrientes podem ser supridos pelo solo, por resíduos vegetais deixados ou aplicados à área e por meio de inputs atmosféricos. Os nutrientes do solo são determinados por análises químicas, para formas consideradas disponíveis, embora um fator possa ser acrescentado para levar em conta formas não-prontamente disponíveis. Nesta versão, se consideram apenas as formas disponíveis, o que contribui para a sustentabilidade do meio, uma vez

que os nutrientes posteriormente disponibilizados não serão contabilizados pelo programa. A primeira camada de solo amostrada deve ter pelo menos 20 cm de espessura. Nesta camada, o programa integra cada centímetro, calculando a quantidade de nutrientes disponível para as raízes. As camadas seguintes podem ser consideradas pelo programa, sem que elas tenham que ter a espessura de 20 cm. O programa considera valores diferentes de 20 cm, maior ou menor. Essa espessura é definida pela profundidade explorada pelo sistema radicular. Assim, o programa considera a profundidade de solo explorada pelo sistema radicular da superfície até o valor estabelecido pelo técnico como explorada pelas raízes. A quantidade de nutrientes nos 20 cm superiores do solo é considerada como passível de total absorção pelas plantas. Para as camadas de 20 a 40 cm, considera-se que 75% podem ser absorvidos. Abaixo de 40 cm, considera-se que apenas 50% podem ser absorvidos. Esses valores percentuais, são considerados tendo em vista a redução da densidade radicular com a profundidade do solo. Dispondo-se de dados mais específicos ou determinados no campo para uma condição específica, podem-se utilizar valores mais apropriados para o local em questão.

O programa considera que a quantidade de nutrientes nos resíduos será toda liberada para o solo instantaneamente. Sabe-se que, na realidade, a velocidade (taxa) de liberação depende do resíduo considerado (acículas, galhos, etc) e do nutriente. Por exemplo, o potássio é liberado muito mais rapidamente que o N. Numa versão futura as constantes de decomposição dos resíduos e de liberação dos nutrientes podem ser acrescentadas ao programa.

O input de nutrientes pela chuva pode ser ou não considerado, dependendo se a informação é disponível ou não.

Tendo-se a estimativa da demanda de nutrientes da árvore ou do povoamento e conhecendo-se a capacidade de suprimento do solo,

obtém-se o balanço nutricional. Quando o balanço é positivo, não há necessidade de aplicar adubos. Mas se o balanço é negativo, nutrientes devem ser aplicados para que a produção desejada seja obtida. O programa considera que nem todo nutriente aplicado é absorvido pelas plantas. Por isso, se considera a recuperação de cada nutriente pela planta como sendo inferior a 100%. Para potássio, cálcio e magnésio o programa assume que 80% do aplicado vai fertilizante podem ser absorvidos pelas plantas. Para nitrogênio este valor é de 60%. Para fósforo, o percentual de recuperação depende da textura do solo e da solubilidade do fertilizante. Para solos arenosos e fontes solúveis de P, a recuperação considerada é de 40%; se a fonte for de baixa solubilidade (fosfatos naturais) este percentual é de 35%. Para solos de textura média, a recuperação será de 35% e 30% respectivamente, se solúvel ou pouco solúvel. Para solos argilosos, a recuperação considerada é de 30% e 25%, respectivamente. Os percentuais acima citados foram obtidos através de trabalhos conduzidos pela empresa International Paper e devem ser determinados para cada condição, de modo a elevar a acurácia das recomendações. Esses percentuais podem ser facilmente modificados no programa.

Embora esse modelo pareça simples, vários aspectos são ou devem ser considerados na recomendação final de fertilizantes, como a dinâmica dos nutrientes no solo e na planta e as características dos fertilizantes, o resíduo florestal deixado na área, etc.

3. MATERIAL E MÉTODOS

Parte das informações e as equações utilizadas no modelo foram obtidas no Capítulo 1 e no trabalho relatado por Barros et al. (2002)

para eucalipto. Para validar as equações obtidas com base nas avaliações de campo e laboratório, selecionaram-se duas parcelas de *Pinus taeda* nas idades de 2, 4, 6 e 8 anos.

3.1 Estimativa da Produção e Conteúdo de Nutrientes

A verificação do Sistema foi feita comparando-se suas estimativas, obtidas com as equações estabelecidas no Capítulo 1, com os valores verificados (em termos da média de cada grupo de árvores com diferentes classes de DAP) nas idades estudadas. A produtividade desejada foi aquela efetivamente verificada. As comparações foram feitas para a produção de matéria seca dos diversos componentes da árvore, conteúdo de nutrientes e eficiência de utilização de nutrientes (EU). O fator de sustentabilidade foi considerado como 1, isto é, a estimativa de demanda nutricional foi realizada para apenas uma rotação de oito anos de idade, uma vez que esta foi a maior idade de coleta de dados em campo.

3.2 Suprimento de Nutrientes

Utilizaram-se os resultados da análise do solo (Tabela 1), obtidos para as áreas amostradas durante a coleta de dados de campo, para alimentar o Sistema. A profundidade considerada foi de 0-20 cm, para a qual se assume que 100% dos nutrientes disponíveis são absorvíveis pelo sistema radicular do *Pinus* (Barros et al., 2002). É nesta camada onde se encontra a maior concentração de nutrientes disponível no solo, e onde há também maior absorção de nutrientes pelas radículas (Gonçalves et al., 1997).

Não se incluíram nos cálculos as possíveis entradas de nutrientes via chuva. Os resíduos vegetais só são considerados como

fonte de nutrientes em áreas que serão reformadas. Neste trabalho se considerou que a operação seria a de implantação do povoamento.

3.3 Balanço Nutricional

O balanço nutricional foi obtido pela diferença entre a estimativa de demanda e suprimento de nutrientes via solo.

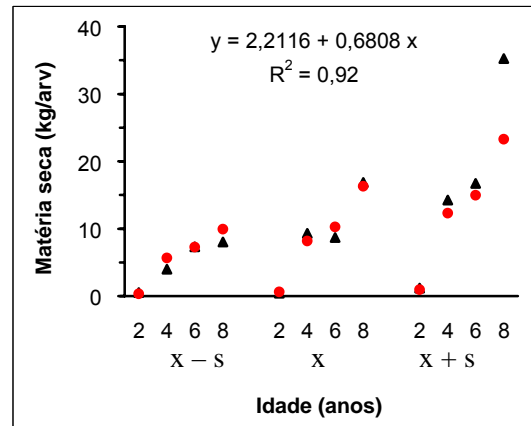
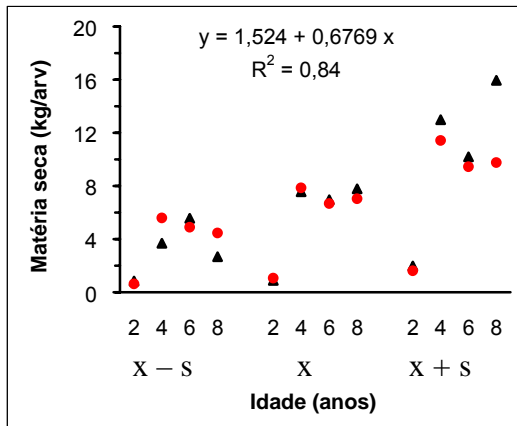
3.4 Quantidade de Adubo

Quando o balanço de nutrientes é negativo, há necessidade de aplicar fertilizantes para que se obtenha a produção desejada. Para chegar à quantidade de adubo se considerou que a recuperação dos nutrientes pelas plantas é inferior a 100%, conforme explicitado no item 2.

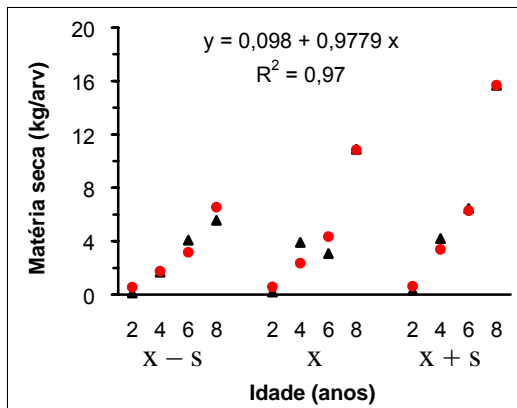
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Estimativa da Produção e do Conteúdo de Nutrientes

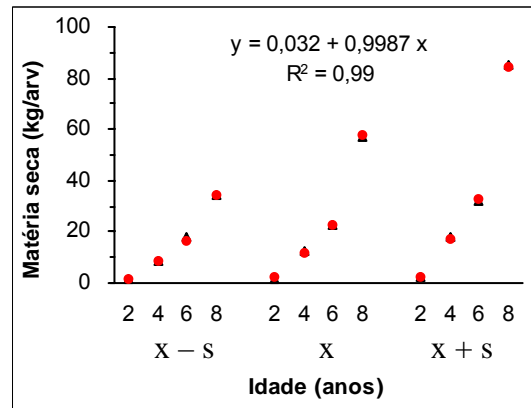
As comparações feitas entre os valores estimados e os observados de biomassa dos componentes da árvore mostram que os modelos ajustados apresentam boa capacidade preditiva (Figuras 2 a 7). Os valores dos coeficientes de determinação (R^2) são relativamente elevados e todos significativos ao nível de 1% de probabilidade. A única exceção foi observada para a eficiência de utilização de cálcio. Isso mostra que a relação massa/conteúdo de Ca é muito variável. Este fato pode ser decorrente do alto teor de Ca do solo, o que permite a maior absorção do nutriente do solo sem a proporcional conversão em matéria seca.



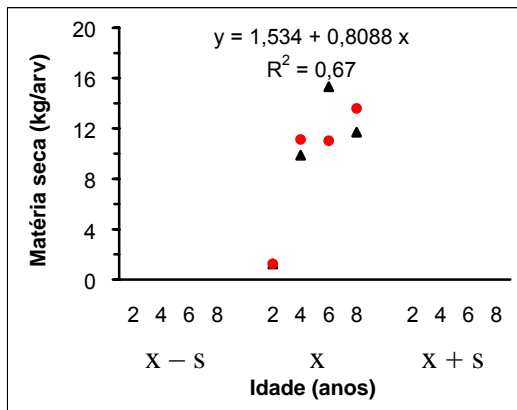
Acícula



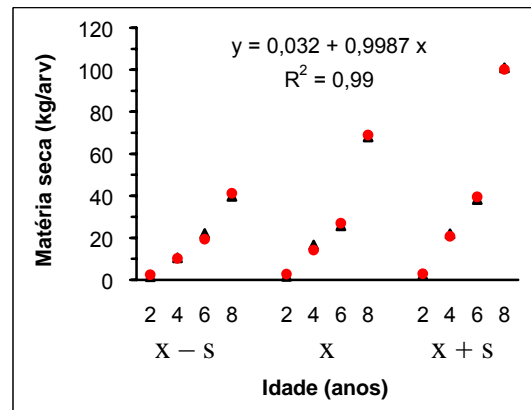
Galho



Casca



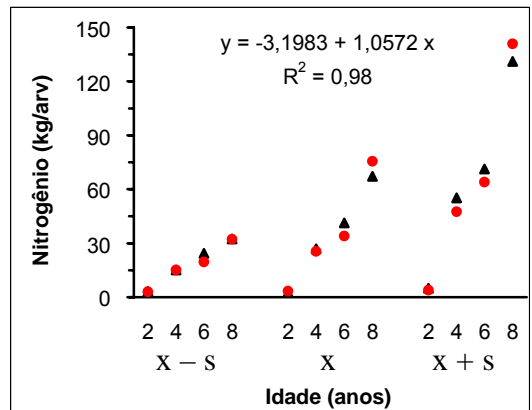
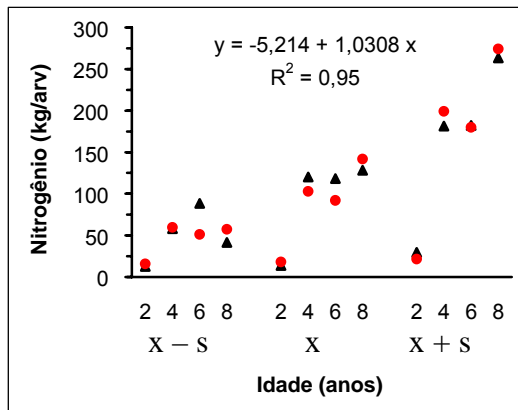
Lenho



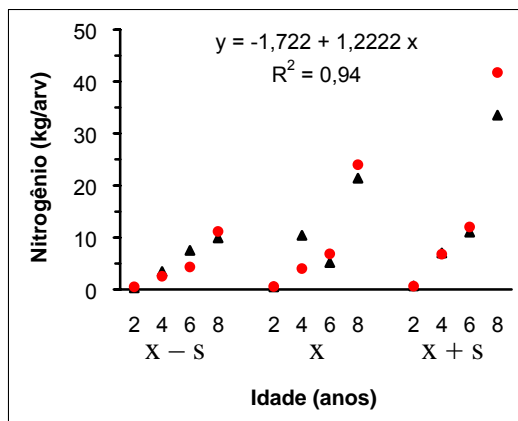
Raiz

Tronco

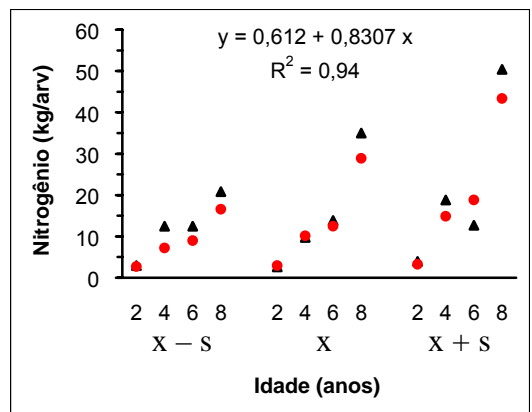
Figura 2 - Matéria seca (kg/arv.) observada (▲) e estimada (•) dos componentes das árvores de *Pinus taeda*, em cada classe de DAP e idade. X= árvore média, s = desvio.



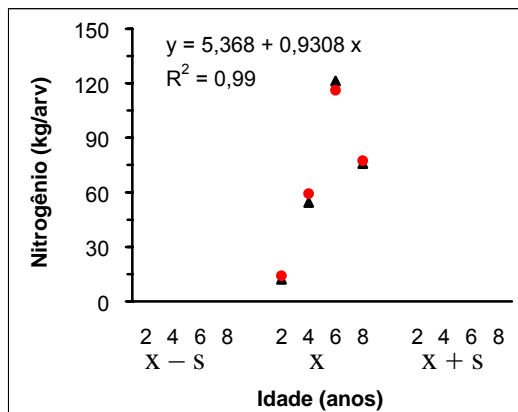
Acícula



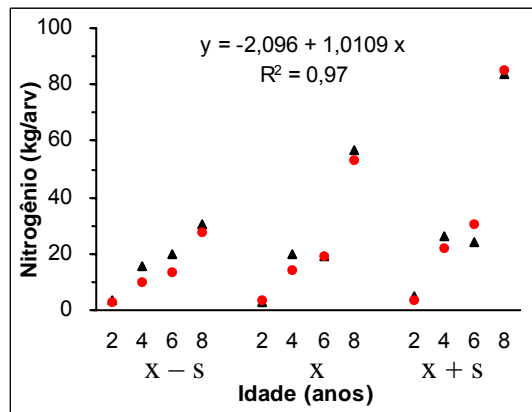
Galho



Casca



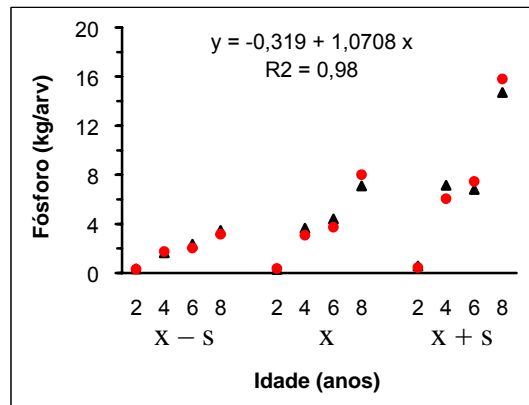
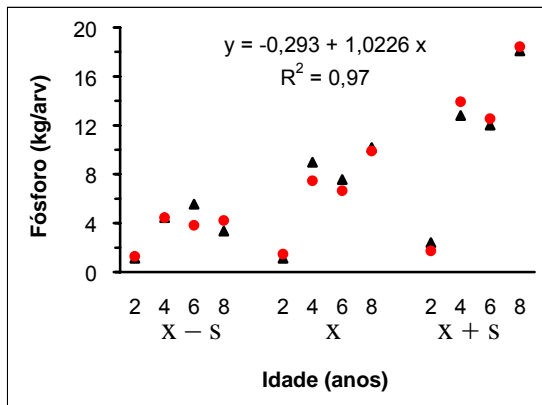
Lenho



Raiz

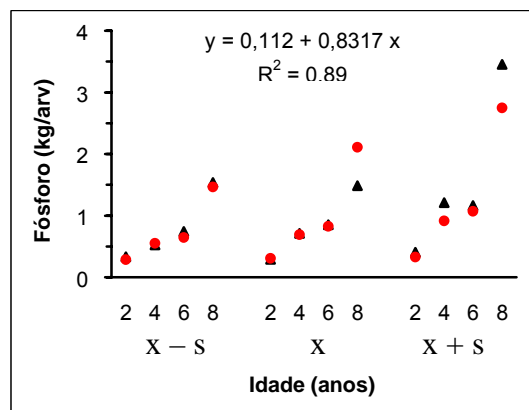
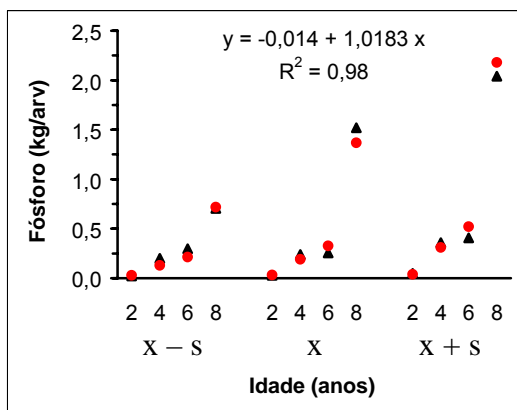
Tronco

Figura 3 - Conteúdo de nitrogênio (kg/arv.) observado (▲) e estimado (●) nos componentes das árvores de *Pinus taeda*, em cada classe de DAP e idade. X= árvore média, s = desvio.



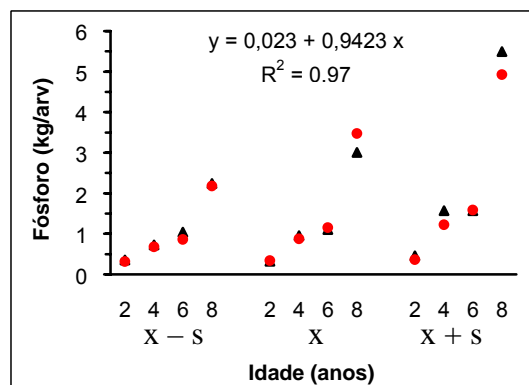
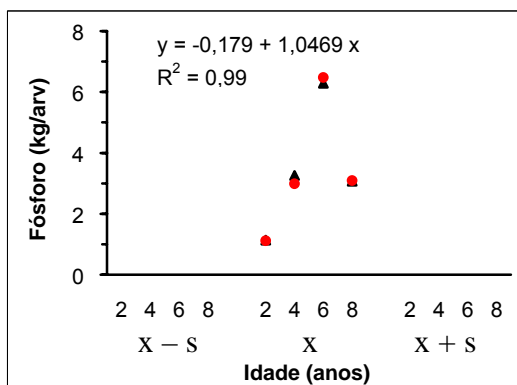
Acícula

Galho



Casca

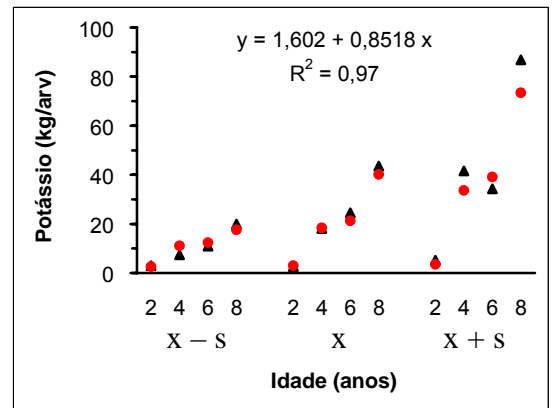
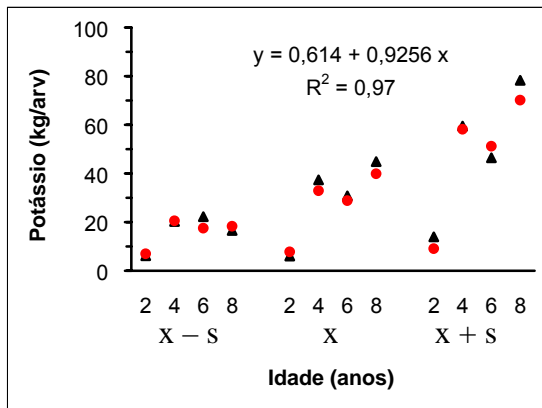
Lenho



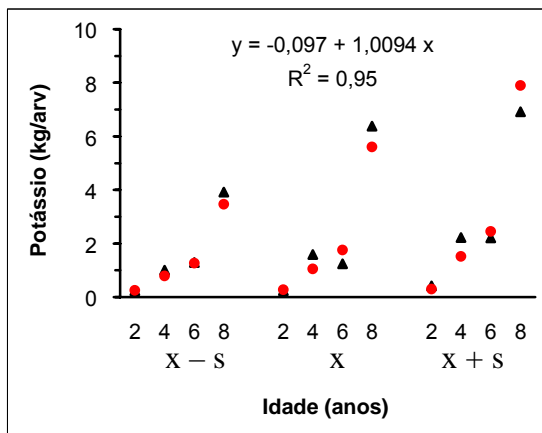
Raiz

Tronco

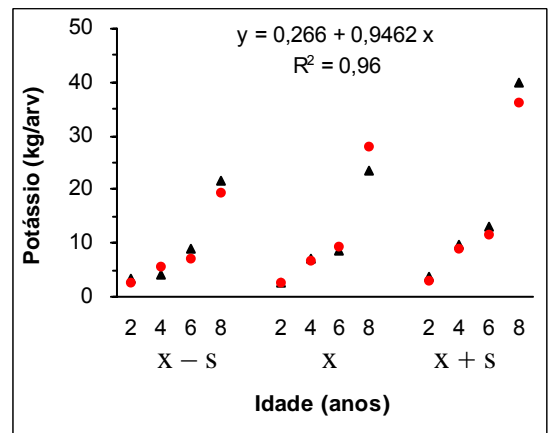
Figura 4 - Conteúdo de fósforo (kg/arv.) observado (\blacktriangle) e estimado (\bullet) nos componentes das árvores de *Pinus taeda*, em cada classe de DAP e idade. X= árvore média, s = desvio.



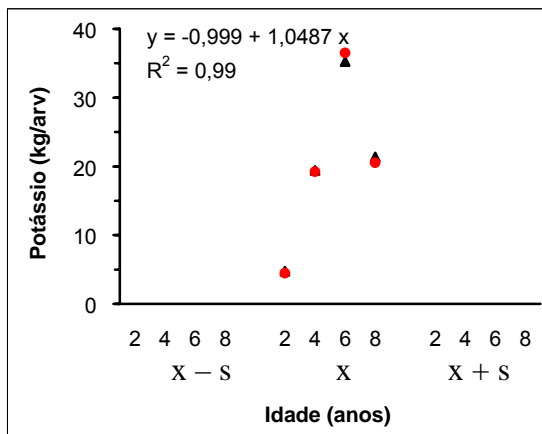
Acícula



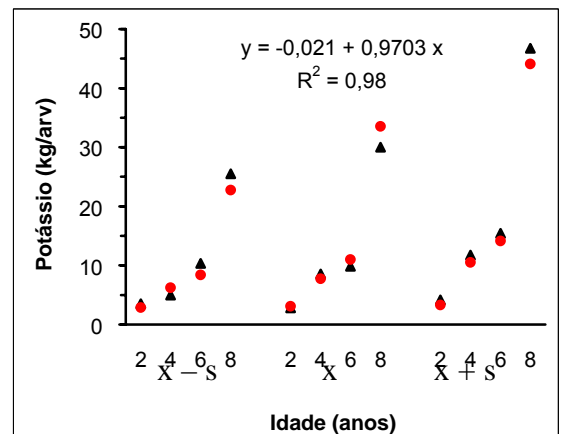
Galho



Casca



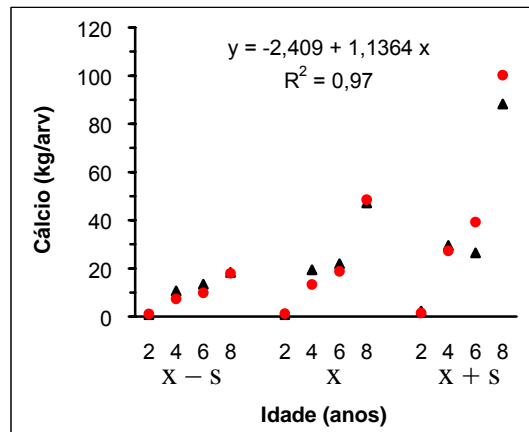
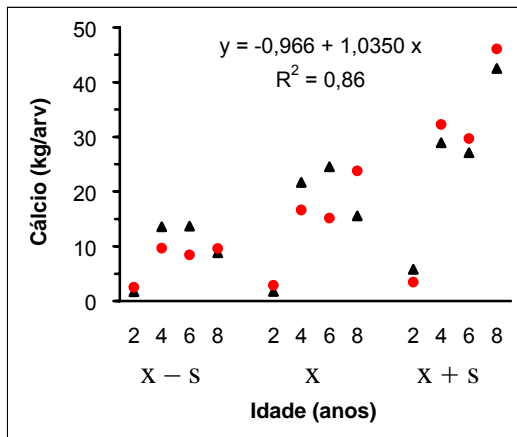
Lenho



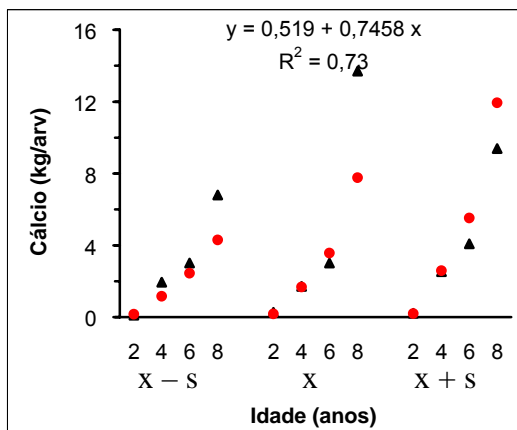
Raiz

Tronco

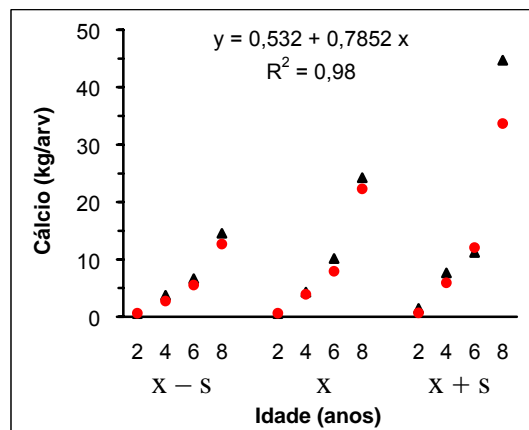
Figura 5 - Conteúdo de potássio (kg/arv.) observado (▲) e estimado (●) nos componentes das árvores de *Pinus taeda*, em cada classe de DAP e idade. X= árvore média, s = desvio.



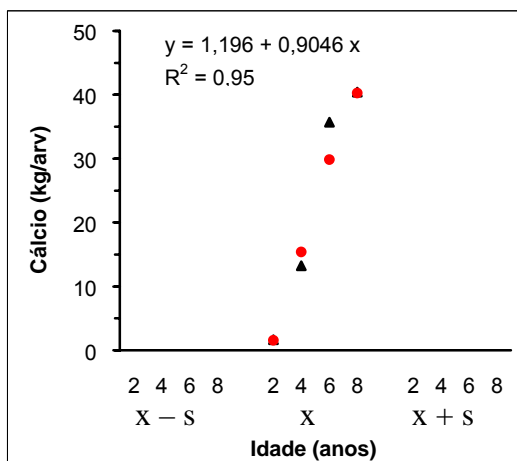
Acícula



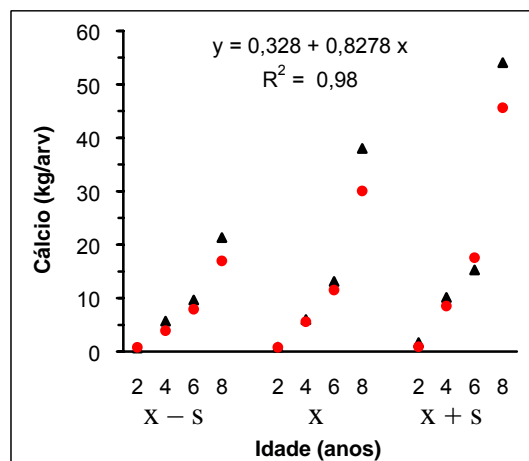
Galho



Casca



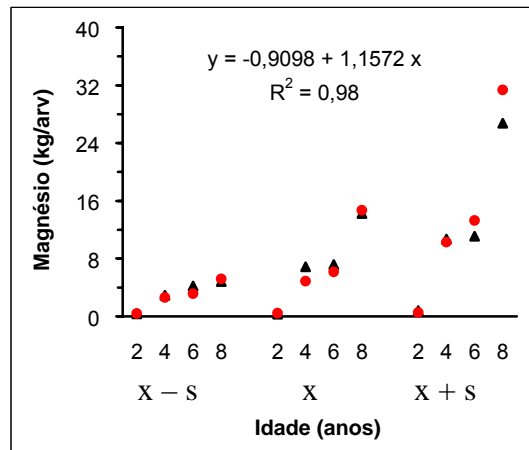
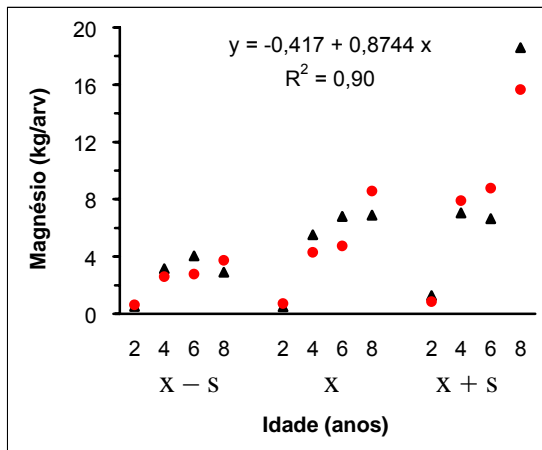
Lenho



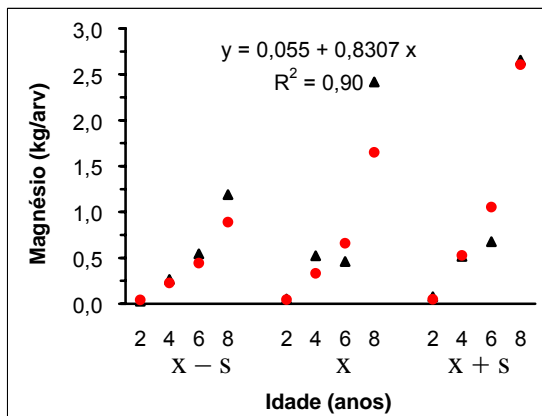
Raiz

Tronco

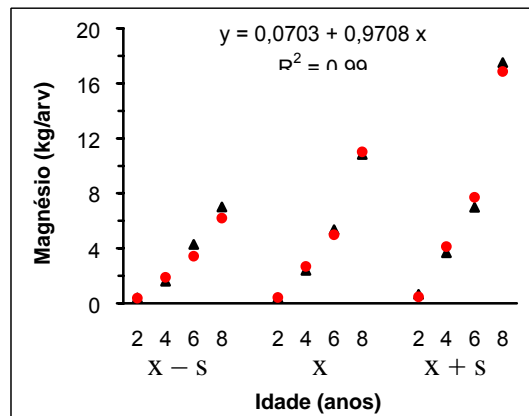
Figura 6 - Conteúdo de cálcio (kg/arv.) o observado (\blacktriangle) e estimado (\bullet) nos componentes das árvores de *Pinus taeda*, em cada classe de DAP e idade. X= árvore média, s = desvio.



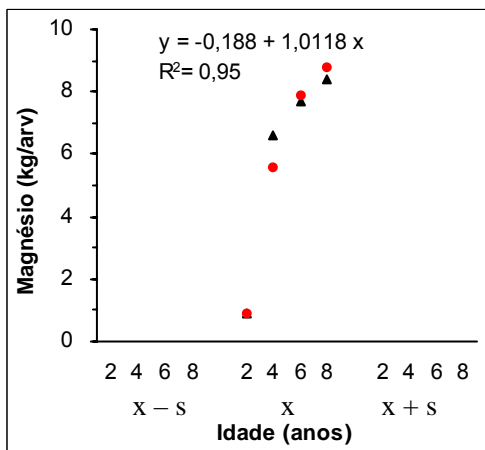
Acícula



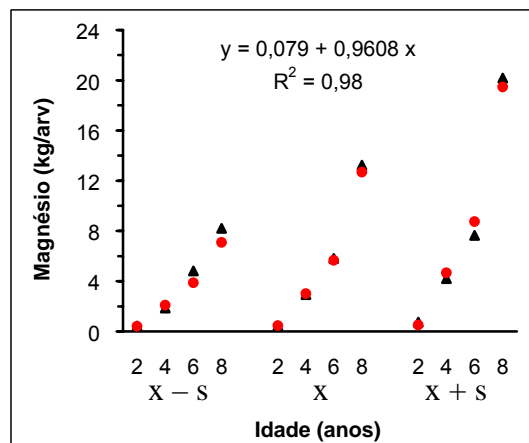
Galho



Casca



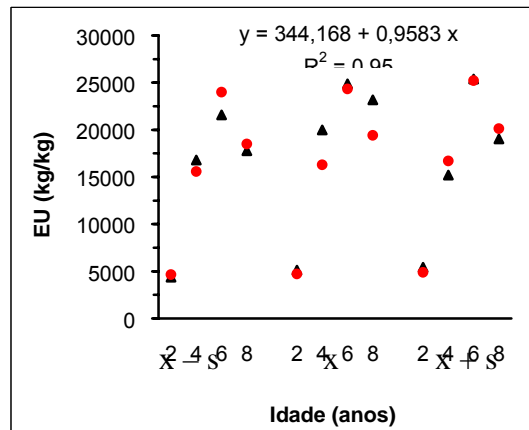
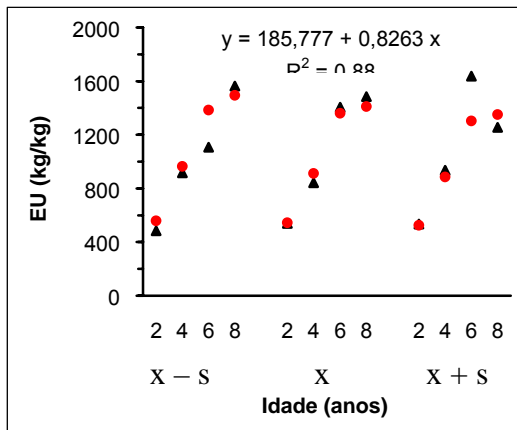
Lenho



Raiz

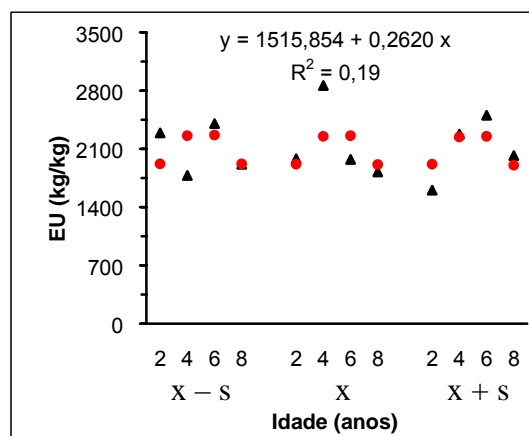
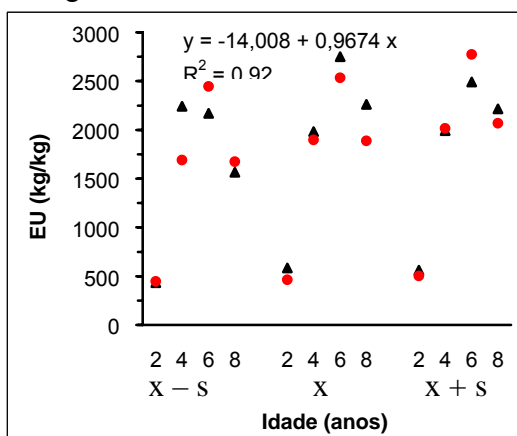
Tronco

Figura 7 - Conteúdo de magnésio (kg/arv.) observado (▲) e estimado (●) nos componentes das árvores de *Pinus taeda*, em cada classe de DAP e idade. X= árvore média, s = desvio.



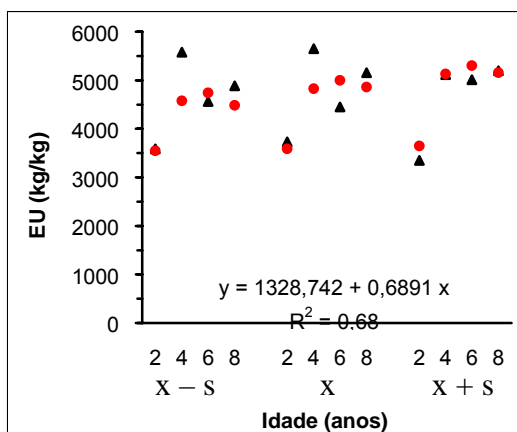
Nitrogênio

Fósforo



Potássio

Cálcio



Magnésio

Figura 8 - Eficiência de utilização biológica (EU = kg de matéria seca/conteúdo do nutriente) observada (\blacktriangle) e estimada (\bullet) para nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio na produção de tronco para o *Pinus taeda*, em função da idade. X= árvore média, s = desvio.

4.2 Quantidade de Nutrientes no Solo

Para demonstração, foram calculadas as quantidades de P e K disponíveis no solo para absorção pelas raízes, usando o sistema interno de equações do Programa. A quantidade de P absorvível na camada de 0-20 cm seria de 8 kg ha⁻¹ e a de K de 60 kg ha⁻¹. Admitindo-se que seria realizado a reforma de uma área esperando-se uma produção de 240 m³ ha⁻¹ aos 8 anos, essas quantidades seriam suficientes para atender à demanda das árvores de *Pinus taeda*. Portanto, para esses dois nutrientes o balanço nutricional seria positivo, dispensando a aplicação de fertilizantes.

4.3 Balanço Nutricional

Para as condições de solo consideradas, o balanço de nutrientes é positivo, isto é, o solo dispõe de quantidade suficiente para atender à demanda de P e de K das plantas, ficando, ainda, uma sobra de 14,42 kg ha⁻¹ de P e 137,78 kg ha⁻¹ de K, que seriam suficientes para mais uma rotação de 8 anos antes que fertilizantes sejam necessários. Para evitar que a fertilidade do solo caia além do nível requerido para se obter pelo menos uma rotação sem adubação, poder-se-ia, após a segunda rotação, adotar o nível de sustentabilidade de 1, de tal forma que sempre seriam deixadas no solo, após a colheita florestal, quantidades de P e K para obter os mesmos 240 m³ ha⁻¹ ao final de 8 anos.

4.4 Quantidade de Fertilizantes a Aplicar

Como o balanço nutricional foi positivo, não há necessidade de aplicar fertilizantes. Caso a fertilidade do solo fosse mais baixa haveria necessidade de adubação para se conseguir a produção desejada. De modo contrário, haveria redução da produção. No item seguinte, efetuou-se uma análise de sensibilidade da quantidade de P e K à variações de produção e de teor desses nutrientes no solo.

4.5 Análise de Sensibilidade

A análise de sensibilidade é usada para determinar a sensibilidade dos resultados de um estudo ou de uma revisão sistemática quando suas premissas são alteradas (Clark et. al, 2001). Com a análise de sensibilidade é possível avaliar o grau de confiança dos resultados em situações de decisões incertas ou suposições sobre os dados e resultados usados. Em outras palavras, a análise de sensibilidade é fundamental para investigar a heterogeneidade dos estudos incluídos.

Com o objetivo de testar a sensibilidade do NUTRIPINUS às mudanças quanto à entrada de dados, foi realizada uma simulação alterando-se valores da produção esperada (volume cilíndrico), teores de K e P no solo (destaque Figura 12). Os resultados expressos em kg ha^{-1} de KCl e P_2O_5 são apresentados nas Figuras 9 e 10. As quantidades de fertilizantes fosfatados e potássicos são bem sensíveis às variações na produção de madeira e teores desses nutrientes no solo. Para cada $10 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ de madeira a ser produzida em solo com, por exemplo, 4 mg dm^3 de P, o aumento na quantidade de fertilizante fosfatado é de $2,76 \text{ kg ha}^{-1}$. Já no caso de K, para essa

mesma produção e o teor no solo de 30 mg dm^{-3} , o aumento de cloreto de potássio é de $3,6 \text{ kg ha}^{-1}$.

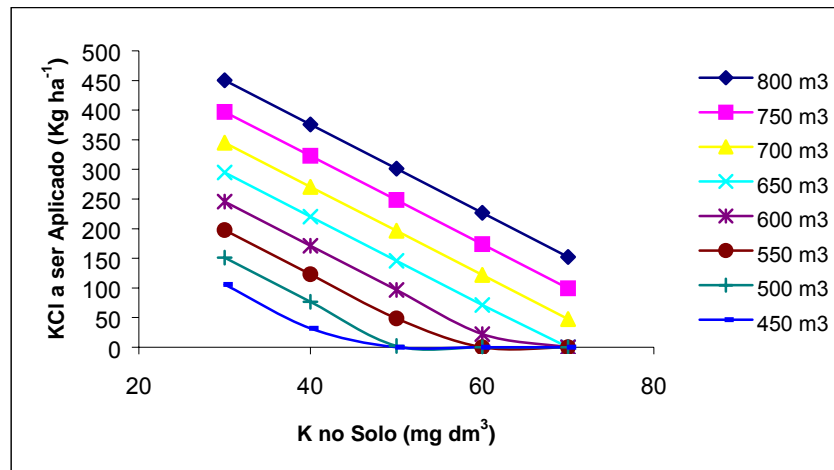


Figura 9- Análise de sensibilidade para o K tendo-se como produção desejada, ao final de 8 anos, os volumes cilíndricos de 450, 500, 550, 600, 650, 700, 750 e 800 m^3 .

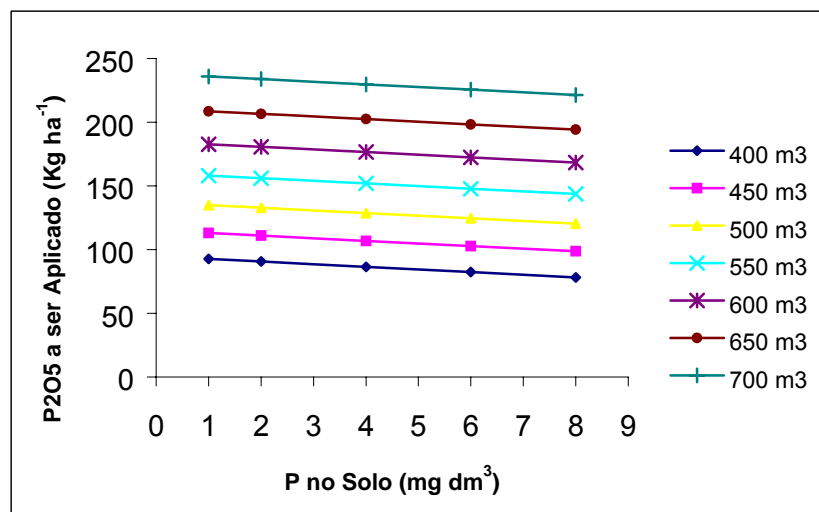


Figura 10- Análise de sensibilidade para o P tendo-se como produção desejada, ao final de 8 anos, os volumes cilíndricos de 400, 450, 500, 550, 600, 650 e 700 m^3 .

4.6 Demonstrativo dos Cálculos para a Recomendação de fertilizantes (Exemplo prático)

Para demonstrar os passos que o programa utiliza para realização de uma recomendação de K, realizou-se um exemplo prático. A seqüência dos cálculos, apresentados abaixo, segue a ordem apresentada no fluxograma da figura 1.

Considerações:

$$\text{IMA} = 30 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{ano}$$

$$\text{Idade de Corte} = 7 \text{ anos}$$

$$\text{Volume} = 210 \text{ m}^3/\text{ha}$$

$$\text{Número de árvores/ha} = 1200$$

$$\text{Prof. Raiz} = 30 \text{ cm}$$

$$\text{Teor de argila (0-20 cm)} = 30 \%$$

$$\text{K no solo (0-20 cm)} = 10 \text{ mg dm}^3$$

$$\text{K no solo (20-40 cm)} = 5 \text{ mg dm}^3$$

$$\text{MSTR} = \text{Matéria seca do tronco por árvore (kg/árvore)}$$

$$\text{MSTRHA} = \text{Matéria seca do tronco por hectare (t/ha)}$$

$$\text{Fator de sustentabilidade} = 1.$$

Cálculos:

$$\mathbf{1} = \text{Volume (m}^3/\text{ha)} = \text{IMA} \times \text{Idade} = 30 \times 7 = 210/1200 = \text{Vol} = 0,175 \text{ m}^3/\text{árvore}$$

Cálculo da Biomassa:

$$\text{Acícula} = \text{EXP}(5,819 + 0,8482 \cdot \text{Ln}(\text{Vol}) - 0,39384 \cdot \text{Idade})$$

$$= \text{EXP}(5,819 + 0,8482 \cdot \text{Ln}(0,175) - 0,39384 \cdot 7)$$

$$= 4,87 \text{ kg/árvore} \cdot 1200 = 5,85 \text{ t/ha}$$

$$\text{Galho} = \text{EXP}(5,393 + 0,92662 \cdot \text{Ln}(\text{Vol}) - 0,22748 \cdot \text{Idade})$$

$$= \text{EXP}(5,393 + 0,92662 \cdot \text{Ln}(0,175) - 0,22748 \cdot 7)$$

$$= 8,90 \text{ kg/árvore} \cdot 1200 = 10,67 \text{ t/ha}$$

$$\begin{aligned}
\text{Casca} &= 0,515 + 24,0231 \cdot \text{Vol} \\
&= 0,515 + 24,0231 \cdot 0,175 \\
&= 4,72 \text{ kg/árvore} \cdot 1200 = 5,663 \text{ t/ha} \\
\text{Lenho} &= 1,732 + 131,035 \cdot \text{Vol} \\
&= 1,732 + 131,035 \cdot 0,175 \\
&= 24,66 \text{ kg/árvore} \cdot 1200 = 29,596 \text{ t/ha} \\
\text{Tronco} &= \text{Casca} + \text{Lenho} \\
&= 4,72 + 24,66 = 29,38 \text{ kg/árvore} \cdot 1200 = 35,26 \text{ t/ha}
\end{aligned}$$

2 = EU de K no tronco

$$\begin{aligned}
\text{EU K} &= \text{EXP}(4,445 + 0,96716 \cdot \text{Idade} - 0,087483 \cdot \text{Idade}^2 + \\
&0,2278 \cdot \text{Ln}(\text{MSTRHA})) \\
&= \text{EXP}(4,445 + 0,96716 \cdot 7 - 0,087483 \cdot 7^2 + 0,2278 \cdot \text{Ln}(35,26)) \\
&= 2298 \text{ kg/kg}
\end{aligned}$$

3 = Cálculo do conteúdo de K nos componentes da árvore

$$\begin{aligned}
\text{Acícula} &= \text{EXP}(1,6573 + 1,51461 \cdot \text{Ln}(\text{MSTR}) - 0,54794 \cdot \text{Idade}) \\
&= \text{EXP}(1,6573 + 1,51461 \cdot \text{Ln}(29,38) - 0,54794 \cdot 7) \\
&= 18,94 \text{ g/árvore} \cdot 1200 = 22,73 \text{ kg/ha}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Galho} &= \text{EXP}(0,36516 + 1,61461 \cdot \text{Ln}(\text{MSTR}) - 0,438423 \cdot \text{Idade}) \\
&= \text{EXP}(0,36516 + 1,61461 \cdot \text{Ln}(29,38) - 0,438423 \cdot 7) \\
&= 15,71 \text{ g/árvore} \cdot 1200 = 18,85 \text{ kg/ha}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Casca} &= \text{EXP}(-2,211 + 1,05021 \cdot \text{Ln}(\text{MSTR}) - 0,000271 \cdot \text{CUB K}) \\
&= \text{EXP}(-2,211 + 1,05021 \cdot \text{Ln}(29,38) - 0,000271 \cdot 2298) \\
&= 2,046 \text{ g/árvore} \cdot 1200 = 2,456 \text{ kg/ha}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Lenho} &= \text{EXP}(0,3375 + 0,89368 \cdot \text{Ln}(\text{MSTR}) - 0,0004188 \cdot \text{CUB K}) \\
&= \text{EXP}(0,3375 + 0,89368 \cdot \text{Ln}(29,38) - 0,0004188 \cdot 2298) \\
&= 10,97 \text{ g/árvore} \cdot 1200 = 13,17 \text{ kg/ha}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Raiz} &= \text{EXP}(1,0028 + 0,04789 \cdot \text{Ln}(\text{MSTR}) - 0,0009609 \cdot \text{CUB K}) \\
&= \text{EXP}(1,0028 + 0,04789 \cdot \text{Ln}(29,38) - 0,0009609 \cdot 2298) \\
&= 29,1601 \text{ g/árvore} \cdot 1200 = 34,99 \text{ kg/ha}
\end{aligned}$$

4 = Demanda Total (DT) = (Acícula + Galho + Casca + Lenho + Raiz)

$$\begin{aligned}
&= (22,73 + 18,85 + 2,4557 + 13,174 + 34,99) \\
&= 92,20 \text{ kg/ha}
\end{aligned}$$

5 = Suprimento via solo

TA = Taxa de absorção pelas raízes do K disponível: Na primeira camada (0-20 cm) = 100% e na segunda camada (20-40 cm) = 75 %.

TRE = Taxa de recuperação pelo extrator = 76,78%

$$\begin{aligned}\text{Volume de solo em 20 cm de Profundidade} &= \text{Área} * \text{Profundidade} \\ &= 10.000 \text{ m}^2/\text{ha} * 0,20 \text{ m} \\ &= 2.000 \text{ m}^3/\text{ha} = 2.000.000 \text{ kg/ha}\end{aligned}$$

Cálculo da quantidade de K no solo (kg/ha)

$$\begin{aligned}\text{K solo (0-20)} &= \text{Conc.} * \text{Massa de solo}/1.000.000 \text{ (mg dm}^3\text{)}/\text{TRE} * \text{TA} \\ &= 10 * 2.000.000/1.000.000/0,7678*1.00 \\ &= 26,04 \text{ kg de K/ha}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{K solo (20-30)} &= \text{Conc.} * \text{Massa de solo}/1.000.000 \text{ (mg dm}^3\text{)}/\text{TRE} * \text{TA} \\ &= 5 * 1.000.000/1.000.000/0,7678*0.75 \\ &= 4,884 \text{ kg/ha}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{K solo (0-30)} &= \text{K solo (0-20)} + \text{K solo (20-30)} \\ &= 26,04 + 4,884 \\ &= 30,92 \text{ kg de K/ha}\end{aligned}$$

6 = Cálculos dos Inputs

Chuva = 0 kg/ha

Resíduo = 0 kg/ha (Implantação)

7 = Balanço nutricional (BN)

$$\begin{aligned}\text{BN} &= (\text{Inputs} + \text{Suprimento via solo}) - \text{Demanda nutricional} \\ &= (0 + 30,92) - 92,1998\end{aligned}$$

= -61,28 (sinal negativo = necessidade de adição de nutrientes via adubo)

8 = Adubação

Recomendação de K = 61,28 kg/ha

9 = Recuperação do fertilizante pela planta

$$\begin{aligned}\text{Recuperação de P} &= 32 - 0,2 * \text{Teor de argila} \\ &= 32 - 0,2 * 30 \\ &= 26 \%\end{aligned}$$

Recuperação de K = 80 %

10 = Cálculo da quantidade de Adubo a ser aplicado

No Nutriplus, o primeiro elemento a ser calculado (fechar o balanço) é o Fósforo e o segundo é o Potássio, por isso, mesmo fazendo o balanço de K é necessário fechar o balanço de P primeiro.

Exemplo: 6-30-6 (plantio)

20-0-20 (cobertura)

Plantio = 17 + 0,3 * teor de argila (0-20 cm)

$$\begin{aligned}
 &= 17 + 0,3 * 30\% \\
 &= 26,0 \text{ g P}_2\text{O}_5/\text{cova} \\
 &= 26,0 \text{ g P}_2\text{O}_5/\text{cova (convertendo para a formula 6-30-6}
 \end{aligned}$$

teremos):

$$= 86,7 \text{ g 6-30-6/cova.}$$

Cálculo do quanto de K há nos 86,7 g do adubo 6-30-6

$$= \text{Dose 6-30-6} * (\text{N. arv./1000}) * (\text{Teor no adubo/100}) * (\text{K}_2\text{O para K}) * \text{REC}_K$$

$$= 86,7 * 1.200/1000 * 6/100 * 0,833 * 0,80$$

$$= 4,16 \text{ kg/ha de K}$$

Cálculo da quantidade de K_2O a ser aplicada para fechar o balanço de K.

$$= \text{Demanda K} - \text{Quantidade de K aplicado no plantio}$$

$$= 61,28 - 4,16$$

$$= 57,12 \text{ kg/ha de K (convertendo para K}_2\text{O)}$$

$$= 68,54 \text{ kg/ha de K}_2\text{O}$$

Cálculo da quantidade de adubo (20-0-20)

$$= \text{Quantidade de K}_2\text{O} * 100/\text{Teor de K}_2\text{O no adubo}$$

$$= 68,54 * 100/20$$

$$= 342,7 \text{ kg/ha de 20-0-20}$$

Se a recuperação do K pela planta e de 80%, teremos

$$= 342,7 * 100/80$$

$$= 422 \text{ kg/ha de 20-0-20 (Quantidade aplicada para suprir toda demanda de K)}$$

5. O PROGRAMA

Após terem sido obtidas todas as equações estimadas da produção de biomassa e conteúdo de nutrientes do presente trabalho e as taxas de recuperação de nutrientes pelo *Pinus taeda*, advindo de trabalhos conduzidos pela INTERNATIONAL PAPER, utilizou-se o NUTRICALC (Barros et al., 2002) como base para o desenvolvimento do NUTRIPINUS. As figuras 8, 9 e 10 apresentam as telas de abertura, entrada e saída de dados e de recomendação de fertilizantes do programa.

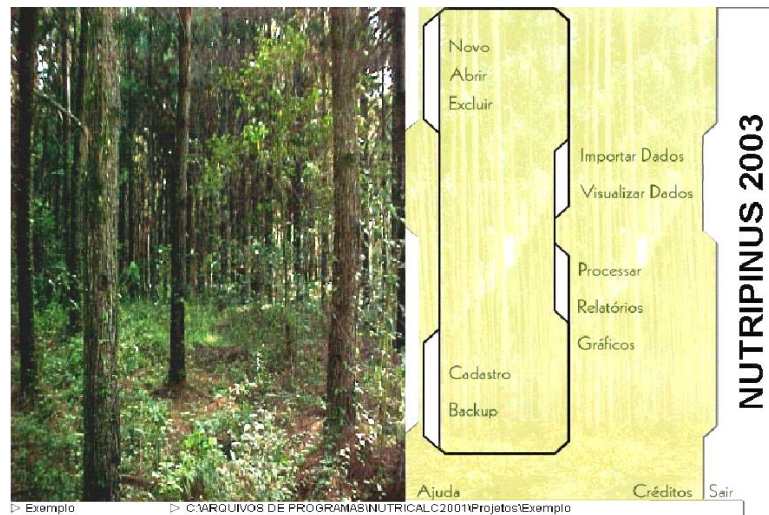


Figura 11 - Tela de abertura do NUTRIPINUS.

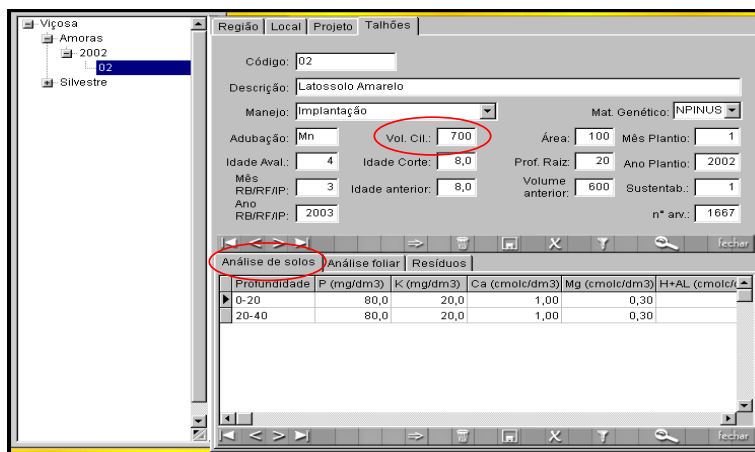


Figura 12 - Tela de entrada de dados (em destaque a entrada para produção desejada, em volume cilíndrico, e entrada para os teores de nutrientes do solo).

Cálculo	N	P	K	Ca	Mg
Nutrientes (kg/ha)	32,3418	18,5655	153,0934	0	8,998
Balanco do Sistema (kg/ha)	-32,3418	-18,5655	-153,0934	292,1863	8,998
Balanco de Nitrogênio (kg/ha)	-32,3418				
CUB do Tronco (kg MS/kg Nutriente)	1333,8761	10305,1234	2118,882	1902,4462	5249,524
Demanda para Copa (kg/ha)	348,02	28,6448	128,6352	115,3976	37,122
Demanda para Casca (kg/ha)	40,8868	2,1332	8,5602	12,498	2,980
Demanda para Lenho (kg/ha)	50,4043	3,3285	41,4104	41,4857	20,330
Demanda para Raiz (kg/ha)	103,6547	5,739	42,5845	64,5575	22,280
Demanda Total (kg/ha)	542,9658	39,8455	221,1903	233,9388	82,713
Idade de Corte (ano)	8	8	8	8	8
Suprimento via Chuva (kg/ano)	3	0,1	2	0,5	0
Suprimento Via chuva (kg/ciclo)	24	0,8	16	4	1
Suprimento via Solo (kg/ha)	486,624	20,48	62,0969	522,125	90,112

Região	Local	Projeto	Talhões	Área (ha)	N	P	K	Ca	Mg
Viçosa	Amoras	2002	02	100	-32,34	-18,57	-153,09	292,19	9
Viçosa	Silvestre	2002	03	10	-305,44	-30,64	-238,49	-435,83	-79,55

Fertilizante	Utilizar	Volume
NPK (10-0-30)	<input type="checkbox"/>	
KCL	<input checked="" type="checkbox"/>	0,00
SA	<input checked="" type="checkbox"/>	401,82
06-30-06	<input checked="" type="checkbox"/>	81,67

Figura 13 - Telas de saída de dados apresentando o balanço nutricional e recomendação de fertilizantes.

6. CONCLUSÕES

- A comparação entre os dados obtidos em campo e os dados estimados pelo programa mostrou que, com exceção do elemento Ca, os coeficientes de determinação apresentaram-se altamente significativos. Isso implica que o NUTRIPINUS pode ser utilizado para estimar o conteúdo de nutrientes e a recomendação de fertilizantes com alto índice de acerto no estado do Paraná.
- A realização da análise de sensibilidade do NUTRIPINUS confirmou a confiabilidade de seus resultados quanto a recomendação de fertilizantes.
- O NUTRIPINUS está adaptado apenas para as condições semelhantes ao estado do Paraná. Há a necessidade de se realizar mais estudos em outras situações de clima e solo diferentes para compor e melhorar o programa.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adegbidi, H. G.; Jokela, E. J.; Comerford, N. B.; Barros, N. F. Biomass development for intensively managed loblolly pine plantations growing on Spodosols in the southeastern USA. *Forest Ecology and Management*, 167. p 91 a 102. 2002.
- Ahrens, S. A mathematical expression of stem form for loblolly pine in southern Brazil. Tese (Mestrado) – Oklahoma State University. Oklahoma, 1980.
- Barros, N.F.; Neves, J.C.L.; Novais, R.F. Recomendação de fertilizantes minerais em plantios de eucaliptos. p.270-283. In: Gonçalves, J.L.M.; Benedetti, V. (eds) *Nutrição e Fertilização Florestal*. Piracicaba: IPEF, 2000.
- Barros, N.F.; Novais, R.F.; Teixeira, J.L & Fernandes Filho, E.I. NUTRICALC 2.0 – Sistema para calculo del balance nutricional y recomendacion de fertilizantes para el cultivo de eucalipto. *Bosque*, 16:129-131. 1995.
- Barros, N.F. & Comerford, N.B. Sustentabilidade da produção de florestas plantadas na região tropical. *Tópicos em Ciência do Solo, Viçosa*, 2:487-592. 2002.
- Barros, N.F.; Neves, J.C.L.& Novais, R.F. Eucalypt nutrition management for sustainable production: modeling and existing database on which model is based. *International Workshop on Sustainable Bioenergy Production Systems: Environmental, Operational and Social Implications*. Belo Horizonte, International Energy Agency., 25/10 a 4/11. 2002
- Bellote, A. F. J; da Silva, H, D.; Técnicas de amostragem e avaliações nutricionais em plantios de *Eucalyptus spp*. In: Gonçalves, J.L.M.; Benedetti, V. (eds) *Nutrição e Fertilização Florestal*. Piracicaba: IPEF, 2000.
- Binkley, D. *Forest nutrition management*. New York. John Wiley & Sons, Inc.1986. 290 p.
- Bremner, J.M. Isotope ratio analysis of nitrogen in nitrogen-15 tracer investigations. In: C.A. Black (Ed), *Methods of Soil Analysis*.

American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, pp. 1256-1286, 1965

- Brown, A.G.; Nambiar, E.K.S. & Cossalter, C. Plantations for the Tropics-Their Role, Extent and Nature. p.1-23. In: Nambiar, E.K.S. & Brown, A.G. (eds) Management of Soil, Nutrients and Water in Tropical Plantation Forests. Canberra, ACIAR 1997.
- Clark, K.L.; Cropper JR., W. P; Gholz, H. L. Evaluation of modeled carbon fluxes for a slash pine ecosystem: SPM2 simulations compared to eddy flux measurements. Forest Science, v.47, n.1, p.52-9, fev.2001.
- Embrapa. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. 412p. Rio de Janeiro, 1999.
- Guimarães, D.F. Estimativa do Volume de *Eucalyptus* spp. através de posições absolutas no tronco. Tese (Mestrado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Florestais, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 1985.
- Gonçalves, J. L. M; Raij, B. Van; Gonçalves, J. C. Florestas. In: Raij, B. Van.; Cantarella, H.; Quaggio, J.A. & Furlani, A.M.C. (eds.) Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. p.247-258, 2.ed. Campinas, Instituto Agrônomo & Fundação IAC, 1996.
- Gonçalves, J. L. M.; Barros, N. F.; Nambiar, E. K. S.; Novais. R. F. Soil and Stand Management for Short-rotation Plantations. In: Nambiar, E. K. S; Brown, A. G. (eds.) Management of Soil. Nutrientes and Water in Tropical Plantation Forests. ACIAR Monograph N^o 43, 571 p., 1997.
- Hiremath, A.J. Nutrient use efficiency in simplified tropical ecosystems. Gainesville, University of Florida, 1999. 184. (Tese de Doutorado)
- Instituto Agrônomo do Paraná - IAPAR. Dados meteorológicos do Paraná. Disponível em: <http://www.pr.gov.br/iapar/hpage>. Acesso em: 03 maio 2003.

- Johnson, C. M & Ulrich, A. Analytical methods for use in plant analysis. California Agricultural Experiment Bulletin No. 766. pp. 30-33, 1959.
- Lambers, H.; Stuart Chapin, F.; Pons, T.L. Plant physiological ecology. 540 p, 1998.
- Miller, H.G. Dynamics of Nutrient Cycling in Plantation Ecosystems. p.53-78. In Bowen, G. D. & Nambiar, E. K. S. (eds) Nutrition of Plantation Forests. London, Academic Press, 1984.
- Miller, H.G. The Influence of Stand Development on Nutrient Demand, Growth and Allocation. Plant and Soil 168/169:225-232, 1995.
- Ministério da Agricultura, Secretaria Nacional de Planejamento Agrícola – Área de Recursos Naturais. Aptidão Agrícola das Terras do Paraná. 140 p. Brasília, 1981.
- Miranda, G. A. & Barros, N. F. Adubação mineral e balanço de nutrientes em povoamentos de *Pinus spp.* na Duraflora S.A. 122 p. 1994.
- Neves, J. C. L. Produção e partição de biomassa, aspectos nutricionais e hídricos em plantios clonais de eucalipto na região litorânea do Espírito Santo (Tese de doutorado). 191 f., 2000.
- Pritchett, W.L. Site preparation and fertilization of slash pine on a wet savanna soil. Southern Journal of Applied Forestry, v.3, n.3, p.86-90, ago.1979.
- Raij, B. Van.; Cantarella, H.; Quaggio, J.A. & Furlani, A.M.C. (eds.) Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. p.247-258, 2.ed. Campinas, Instituto Agrônomo & Fundação IAC, 1996.
- Reis, M.G.F.; Barros, N.F.; Kimmins, J.P. Acúmulo de nutrientes em uma seqüência de idade de *Eucalyptus grandis* W. Hill (ex-Maiden) plantado no cerrado, em duas áreas com diferentes produtividades, em Minas Gerais. Revista Arvore, v.11, n.1, p.1-15, jan./jun. 1987.

- Rosa, G. N. G. P. Sistema de recomendação de fertilizantes para a cultura do coqueiro. Tese de Mestrado. 73 p. Viçosa, 2003.
- Santana, R.C.; Barros, N.F. & Comerford, N.B. Aboveground biomass, nutrient content, and nutrient use efficiency of eucalypt plantations growing in different sites in Brazil. 15p. Charston, IEA Bioenergy Conference, 1999.
- Santana,R.C.; Barros,N.F.; Comerford,N.B. Above-ground biomass, nutrient content, and nutrient use efficiency of eucalypt plantations growing in different sites in Brazil. New Zealand Journal of Forestry Science, v.30, n.1/2, p.225-36, 2000.
- Schumacher, M. V.; Hoppe, J, M,; Witschoreck, R.; Salvadego, M. Quantificação do Carbono e dos Nutrientes em Florestas de Eucalipto de Diferentes Idades (Relatório de Pesquisa). Santa Maria, 2003.
- Shaver, G.R. & Melillo, J.M. Nutrient budgets of marsh plants: efficiency concepts and relation to availability. Ecology, 65:1491-1510, 1984.
- Sociedade Brasileira de Silvicultura - SBS. Estatísticas. Disponível em: <http://www.sbs.br>. Acesso em: 03 maio 2003.
- Valeri, S. V. Exportação de biomassa e nutrientes de povoamentos de *Pinus taeda* l. debastados em diferentes idades. Tese de mestrado. 164 p. Curitiba, 1988.
- Vitousek, P.M. Nutrient Cycling and nutrient use efficiency. Am. Natur., 119:553-572, 1982.
- Waring, R. H.; Schlesinger, W. H. Forest Ecosystems *Concepts and Management*. Pp 7 a 37, 1985.
- White, D. P. Variation in the nitrogen, phosphorus and potassium contents of pine needles with season, crow position, and sample treatment. Soil Sc. Sc. Am. Proc., 18, p. 326 a 330, 1954.