

LUIZ MORO

**EXPORTAÇÃO DE NUTRIENTES EM POVOAMENTOS DE *Pinus taeda* L.
BASEADA EM VOLUME ESTIMADO PELO SISTEMA SISPINUS**

Tese apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, do Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Ciências Florestais.

Orientador: Prof. Carlos Bruno Reissmann

CURITIBA

2005



Universidade Federal do Paraná
Setor de Ciências Agrárias – Centro de Ciências Florestais e da Madeira
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal

P A R E C E R

Defesa n°. 621

A banca examinadora, instituída pelo colegiado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, do Setor de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Paraná, após arguir o doutorando *Luiz Moro* em relação ao seu trabalho de tese intitulado ***“Exportação de nutrientes em povoamentos de *Pinus taeda* L. baseada em volume estimado pelo sistema SISPINUS”***, é de parecer favorável à APROVAÇÃO do acadêmico, habilitando-o ao título de *Doutor* em Engenharia Florestal, área de concentração em SILVICULTURA.

Dr. José Leonardo Moraes Gonçalves
Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz
Primeiro examinador

Dr. Antonio Francisco Jurado Bellote
Embrapa/Florestas
Segundo examinador

Dr. Guilherme de Castro Andrade
Embrapa/Florestas
Terceiro examinador

Dr. Osmir José Lavoranti
Universidade Federal do Paraná/Embrapa/Florestas
Quarto examinador

Dr. Carlos Bruno Reissmann
Universidade Federal do Paraná
Orientador e presidente da banca examinadora

Curitiba, 01 de setembro de
2005.

Graciela Inês Bolzon de Muniz
Coordenadora do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal
Carlos Roberto Sanqueta
Vice-Coodenador do Curso

Aos meus pais:

José Moro (in memoriam)

e Olímpia Bortoluzzi Moro

pela formação básica e exemplo
de vida.

Aos meus irmãos e

meus amigos.

Dedico

À minha esposa Marilza

e as minhas filhas:

Ana Carolina, Marina e Larissa

pela compreensão e apoio

em todos os momentos.

Ofereço

AGRADECIMENTOS

A Embrapa pela oportunidade e apoio concedido no desenvolvimento deste trabalho, com custeio das análises químicas, apoio logístico em suas instalações, coleta e preparação das amostras.

Ao Professor Dr. Carlos Bruno Reissmann pela orientação e estímulo durante o desenvolvimento deste trabalho.

Aos Drs. Carlos Alberto Ferreira e Helton Damin da Silva, pela co-orientação, incentivo, amizade e valiosas sugestões.

Ao Dr. Antonio Francisco Jurado Bellote, pelo companheirismo e sugestões no decorrer deste trabalho.

Ao Dr. Osmir José Lavoranti, pela elaboração das análises estatísticas e sugestões valiosas na interpretação das mesmas.

Ao Dr. Edílson Batista de Oliveira, pela grande contribuição na interpretação e conectividade das equações desenvolvidas ao SisPinus.

Aos engenheiros florestais, Edson Antonio Balloni e Carlos Henrique Panek, da Valor Florestal, pela disponibilização do tempo necessário para a finalização desta tarefa.

A Marlene Paoli de Oliveira, pela preparação e elaboração do material para apresentação na Banca de Defesa.

As empresas Manasa Madeireira Nacional S. A., e Santa Maria Papel S. A., pela concessão das áreas florestais e apoio na coleta das amostras.

A Engenheira Florestal Fabiana Maia, pelo apoio irrestrito na coleta das amostras e pela disponibilização de pessoal de campo, principalmente na colaboração prestada por Pedro Bueno de Oliveira e sua equipe.

A Engenheira Simone Galucha e sua equipe de campo em nome de Reinaldo kukla, pelo serviço prestado na coleta de material.

Aos Senhores Jacir Faber, pela ajuda nas coletas de campo, Onécimo Nunes da Veiga, Luiz Carlos Coelho e Cláudia Mara Pereira pela preparação e análises químicas das amostras.

Ao Imério Luza pelo convívio, amizade e tradução do resumo.

A Ana Carolina e Larissa Moro, pela dedicação na impressão dos exemplares.

Aos colegas do curso de Pós-Graduação da UFPR, pela amizade e convívio.

Ao CNPq, pela Bolsa de Estudos concedida.

As demais pessoas que de alguma forma tenham contribuído para realização deste trabalho e que por esquecimento não foram mencionadas, minha escusas e meus agradecimentos.

BIOGRAFIA

Luiz Moro nasceu, em Laranjeiras do Sul - PR, em 07 de abril de 1953.

Em 1975, ingressou no curso de Engenharia Florestal na Universidade Federal do Paraná, graduando-se em 1980. Iniciou suas atividades profissionais na empresa Champion Papel e Celulose Ltda. (Atual International Paper do Brasil Ltda), na cidade de Mogi Guaçu – SP, em 1980.

Desenvolveu atividades relacionadas à silvicultura e pesquisa de eucalipto até 1997.

Realizou o curso de mestrado na ESALQ-USP no Departamento de Ciências Florestais, no período de 1990 a 1994.

No período de 1997 a 2000 desenvolveu atividades de consultoria como autônomo em silvicultura de *Pinus* e *Eucalyptus*.

Em 2001 iniciou o curso de Doutorado em Ciências Florestais, Área de Concentração Silvicultura, na Universidade Federal do Paraná.

Em 2003 retornou à iniciativa privada, exercendo suas funções na Valor Florestal - Gestão de Ativos Florestais Ltda., - como gerente de silvicultura, em Jaguariaíva Paraná, onde atua até hoje.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	vii
LISTA DE TABELAS	ix
RESUMO	xii
ABSTRACT	xiii
1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO DE LITERATURA	5
2.1 POVOAMENTO DE <i>Pinus taeda</i>	5
2.2 ASPECTOS NUTRICIONAIS.....	7
2.3 PROGNÓSE DE ACÚMULO E EXPORTAÇÃO DE NUTRIENTES.....	20
2.4 ASPECTOS TEÓRICOS DA ANÁLISE DE REGRESSÃO.....	23
3 MATERIAL E MÉTODOS	29
3.1 SELEÇÃO DAS ÁREAS FLORESTAIS	29
3.2 CARACTERIZAÇÃO DO MATERIAL GENÉTICO	29
3.3 SELEÇÃO DAS ÁRVORES EM CAMPO	30
3.4 CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA	32
3.5 DESCRIÇÃO GEOLÓGICA E GEOMORFOLÓGICA	33
3.6 COLETA DAS AMOSTRAS	35
3.7 PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS EM LABORATÓRIO	37
3.8 ANÁLISES QUÍMICAS	40
3.9 DETERMINAÇÃO DOS CONTEÚDOS DE NUTRIENTES	41
3.10 ANÁLISE DE REGRESSÃO E DEFINIÇÃO DOS MODELOS	42

4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	45
4.1	CONCENTRAÇÕES DE NUTRIENTES NO LENHO	45
4.2	CONCENTRAÇÕES DE NUTRIENTES NA CASCA	48
4.3	ESTIMATIVA DA BIOMASSA E DO CONTEÚDO DE NUTRIENTES NO LENHO	51
4.4	ESTIMATIVA DA BIOMASSA E DO CONTEÚDO DE NUTRIENTES NA CASCA	61
5	CONCLUSÕES	70
6	RECOMENDAÇÕES.....	71
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	72
	ANEXOS.....	85

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1.	Distribuição diamétrica das árvores selecionadas.....	32
FIGURA 2.	Esquema ilustrativo da posição de retirada dos discos nas árvores.....	37
FIGURA 3.	Comparação gráfica da densidade básica pelos métodos da balança hidrostática e do máximo teor de umidade	38
FIGURA 4.	Valores preditos do nutriente N_T no lenho de <i>P. taeda</i>	105
FIGURA 5.	Distribuição de resíduos do nutriente N_T no lenho de <i>P. taeda</i>	105
FIGURA 6.	Valores preditos do nutriente P_T no lenho de <i>P. taeda</i>	106
FIGURA 7.	Distribuição de resíduos do nutriente P_T no lenho de <i>P. taeda</i>	106
FIGURA 8.	Valores preditos do nutriente K_T no lenho de <i>P. taeda</i>	107
FIGURA 9.	Distribuição de resíduos do nutriente K_T no lenho de <i>P. taeda</i>	107
FIGURA 10.	Valores preditos do nutriente Ca_T no lenho de <i>P. taeda</i>	108
FIGURA 11.	Distribuição de resíduos do nutriente Ca_T no lenho de <i>P. taeda</i>	108
FIGURA 12.	Valores preditos do nutriente Mg_T no lenho de <i>P. taeda</i>	109

FIGURA 13. Distribuição de resíduos do nutriente Mg_T no lenho de <i>P. taeda</i>	109
FIGURA 14. Valores preditos do nutriente N_T na casca de <i>P. taeda</i>	110
FIGURA 15. Distribuição de resíduos do nutriente N_T na casca de <i>P. taeda</i>	110
FIGURA 16. Valores preditos do nutriente P_T na casca de <i>P. taeda</i>	111
FIGURA 17. Distribuição de resíduos do nutriente P_T na casca de <i>P. taeda</i>	111
FIGURA 18. Valores preditos do nutriente K_T na casca de <i>P. taeda</i>	112
FIGURA 19. Distribuição de resíduos do nutriente K_T na casca de <i>P. taeda</i>	112
FIGURA 20. Valores preditos do nutriente Ca_T na casca de <i>P. taeda</i>	113
FIGURA 21. Distribuição de resíduos do nutriente Ca_T na casca de <i>P. taeda</i>	113
FIGURA 22. Valores preditos do nutriente Mg_T na casca de <i>P. taeda</i>	114
FIGURA 23. Distribuição de resíduos do nutriente Mg_T na casca de <i>P. taeda</i>	114

LISTA DE TABELAS

TABELA 1.	Quantidade de biomassa e nutrientes exportados pela exploração de madeira com casca nos desbastes em plantios de <i>P. taeda</i> com diferentes idades.....	15
TABELA 2.	Análise de solo dos locais de coletas nas idades de 8, 18 e 23 anos.....	34
TABELA 3.	Concentração média (6 árvores por idade), da base até altura comercial de nutrientes no lenho de <i>P. taeda</i> , aos 8, 12, 18 e 23 anos de idade e erro padrão da média	46
TABELA 4.	Concentração média (6 árvores por idade), da base até altura comercial, de nutrientes na casca de <i>P. taeda</i> , aos 8, 12, 18 e 23 anos de idade e erro padrão média.....	49
TABELA 5.	Acúmulo médio de nutrientes (g) e peso da biomassa (kg) por árvore, no lenho, nas idades de 8, 12, 18 e 23 anos e erro padrão da média.....	53
TABELA 6.	Equações para determinação indireta dos nutrientes (g) acumulados no lenho de <i>Pinus taeda</i> , coeficientes de determinação (R^2), erro padrão da estimativa (S_{xy} %), valores de F da análise de regressão, teste de Shapiro Wilks (W) e valores de $P < W$	55
TABELA 7.	Conteúdo de nutrientes no lenho (g/árvore) por classe de diâmetro, calculado em função das equações selecionadas, para <i>Pinus taeda</i>	57
TABELA 8.	Equações para estimativa de exportação de nutrientes no lenho de <i>P. taeda</i> , para conexão ao estimador SisPinus.....	58

TABELA 9.	Simulação de exportação de nutrientes pelo lenho (kg/ha) com utilização das equações selecionadas e de posse do simulador SisPinus para <i>P. taeda</i> , em função da idade de desbaste (8, 12, 16 anos e corte final, aos 20 anos).....	59
TABELA 10.	Acúmulo médio de nutrientes (g) por árvore e peso da biomassa (kg) por árvore, na casca, nas idades de 8, 12, 18 e 23 anos e erro padrão da média.....	61
TABELA 11.	Equações para determinação indireta dos nutrientes (g) acumulados na casca de <i>P. taeda</i> , coeficientes de determinação(R^2), erro padrão da estimativa (S_{xy} %) e valores de F da análise de regressão.....	65
TABELA 12.	Conteúdo de nutrientes na casca (g/árvore) por classe de diâmetro, calculado em função das equações selecionadas, para <i>P. taeda</i>	66
TABELA 13.	Equações para estimativa de nutrientes na casca de <i>P. taeda</i>	67
TABELA 14.	Exportação de nutrientes pela casca (kg/ha) com utilização das equações selecionadas, de posse do simulador SisPinus para <i>P. taeda</i> , em função da idade de desbaste (8, 12, 16 anos e corte final aos 20 anos).....	68
TABELA 15.	Informações solicitadas para a operação do SisPinus	85
TABELA 16.	Dados de crescimento e produção de <i>P. taeda</i>	86
TABELA 17.	Dados de volumes remanescentes e removidos	87
TABELA 18.	Frequência de árvores removidas no desbaste de 8 anos	87
TABELA 19.	Frequência de árvores removidas no desbaste de 12 anos	87

TABELA 20.	Freqüência de árvores removidas no desbaste de 16 anos	88
TABELA 21.	Freqüência de árvores removidas no corte final (19 anos).....	88
TABELA 22.	Matriz de coeficientes de correlação para os nutrientes N, P, K, Ca e Mg nos segmentos de 1 a 5 no lenho de <i>P. taeda</i>	89
TABELA 23.	Matriz de coeficientes de correlação para os nutrientes N, P, K, Ca e Mg nos segmentos de 1 a 5 da casca de <i>P. taeda</i>	92
TABELA 24.	Modelos matemáticos para as variáveis dependentes de N_T, P_T, K_T, Ca_T, e Mg_T no lenho de <i>P. taeda</i>	96
TABELA 25.	Modelos matemáticos para as variáveis dependentes de N_T, P_T, K_T, Ca_T, e Mg_T na casca de <i>P. taeda</i>	100
TABELA 26.	Conteúdos de nutrientes (g/árvore) nas classes de diâmetros e posições em relação à altura da árvore, para o lenho, nos segmentos das equações selecionadas.....	103
TABELA 27.	Conteúdos de nutrientes (g/árvore) nas classes de diâmetros e posições em relação à altura da árvore, para a casca, nos segmentos das equações selecionadas.....	104

RESUMO

A demanda aquecida por madeira de *Pinus*, fato nunca ocorrido no passado em tal magnitude, vem impulsionando a implantação de novas áreas, principalmente no sul do país, com o propósito de atender as necessidades futuras do mercado. Os plantios ocorrem preferencialmente em regiões com menores preços de terras e por isso muitas vezes são localizados em áreas com solos de baixa fertilidade natural e conseqüentemente baixa produtividade. Esta condição, associada ao fato da não fertilização dos plantios de *Pinus*, via de regra, e a exportação de nutrientes nos desbastes e colheita final, leva invariavelmente a perdas de produtividades futuras dos povoamentos. Diante desta realidade, algumas pesquisas como manejo, nutrição, melhoramento genético e tecnológico passou a assumir importância fundamental para o aumento do potencial produtivo e sustentabilidade florestal. Neste contexto, este trabalho teve como objetivo geral quantificar a exportação de biomassa e nutrientes, desenvolver e avaliar a aplicabilidade de modelos matemáticos ao SisPinus para estimativa de nutrientes e biomassa exportados na colheita da madeira, nas ocasiões dos desbastes e colheita final de floresta de *Pinus*. Para a realização do presente estudo, foram selecionados plantios de *P. taeda* com 8, 12, 18 e 23 anos de idade, localizados em povoamentos comerciais, situados na região de Guarapuava – PR. As amostras das árvores foram retiradas na base, 1,0 m, 1,3 m, 2,0 m de altura e deste ponto em diante a cada metro até altura comercial. Destas amostras foram determinados os teores dos nutrientes, nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio, do lenho e casca no laboratório da EMBRAPA - Florestas - Colombo - PR. De acordo com os resultados obtidos, conclui-se que os nutrientes exportados nos desbastes ou colheita final da floresta podem ser avaliados através da inserção das equações desenvolvidas ao estimador de biomassa Sispinus. Amostras obtidas à altura máxima de 4,0 metros permitiu a estimativa da exportação dos nutrientes com alta precisão e confiabilidade, sem a necessidade de amostragens nos segmentos em posições mais elevadas.

ABSTRACT

A height request for *Pinus* wood, which never occurred in the past in such magnitude, is forcing the development of plantation of new areas, mainly in the south of the country, in order to answer for the market future demands. Plantations are located in regions where land prices are low, so, these lands have a very poor natural soil fertility and also low productivity. This condition connected to the fact no fertilization of *Pinus* plantations, as a rule, and nutrients exportation that occurs on thinning and final harvest, conducts to future loss of productivities on planted areas. Facing this condition, some researches such as management, nutrition, genetic, and technological improvement are having a fundamental importance to increase productive potential and forest sustainability. In this context, this case study had as general goal to quantify the exportation of biomass and nutrients, develop and assess the applicability of mathematical models on SisPinus, for the estimation of nutrients and biomass exported on wood harvesting, on thinning situations, and final harvesting of *Pinus* forest. For the study of this case, *Pinus taeda* plantations of ages of 8, 12, 18 and 23 were selected, located on commercial areas in the Guarapuava - Paraná state region - Brazil. The samples from the trees were obtained in the base, 1,0 m, 1,3 m, 2,0 m high, and from this extent of meter by meter until reach to the commercial height. From these samples the nutrients like nitrogen, phosphor, potassium, calcium and magnesium were determined, extracting them from wood and bark in the EMBRAPA Laboratory - Florestas - Colombo - Paraná - Brazil. According to the obtained results, we concluded that the nutrients exported on thinning, or forest final cutting, can be evaluated through insertion of developed equations using the SisPinus biomass estimator. Samples obtained on 4,0 m height permit the high precision and reliable estimate of nutrients exportation, without need of extracting samples on more elevated segments.

1 INTRODUÇÃO

O setor florestal brasileiro teve seu grande impulso, a partir das décadas de sessenta e setenta, mediante a promulgação da lei dos incentivos fiscais, que propiciou a expansão dos plantios com espécies dos gêneros *Pinus* e *Eucalyptus*.

Hoje os plantios de *Pinus* no Brasil ocupam extensas áreas que compõem aproximadamente 1.800.000 hectares. Na região sul, estima-se em 1.060.000 ha em áreas plantadas com *Pinus* que muito vem contribuindo com o desenvolvimento da economia brasileira, constituindo base das atividades industriais, como produção de celulose e papel, embalagens, aglomerados, compensados, chapas, entre outros (SBS, 1998).

A cultura do *Pinus* teve como objetivo inicial abastecer o setor de papel e celulose. Entretanto, com a crescente demanda de madeira e a forte pressão pela preservação das florestas nativas, sua produção também se voltou para atender a demanda de madeira serrada e laminação.

Por essa e outras razões, tais como condições de mercado interno, ausência de exportação em escala significativa naquele período e até por questões de preconceito sobre o uso da madeira de *Pinus*, a pesquisa e o desenvolvimento tecnológico, não ostentaram os mesmos níveis de investimentos e resultados como aconteceu com as espécies do gênero *Eucalyptus*.

Com o desenvolvimento de mercado, estabilidade da economia e implantação de um parque industrial moderno e competitivo, o consumo de madeira de *Pinus* nos últimos anos tem crescido de forma até preocupante, uma vez que a implantação das florestas não ocorreu na mesma ordem da colheita, fato que ocasionou e poderá se agravar ainda mais num descompasso em abastecimento de madeira oriunda dessa espécie. Mantendo-se a demanda atual, o déficit de madeira de *Pinus* será acentuado entre 2007 e 2016, alcançando um pico máximo por volta de 2011 com déficit estimado em 12 milhões de metros cúbicos com casca (VALOR FLORESTAL 2004).

Diante dessa realidade, com a valorização da madeira de *Pinus* e a crescente necessidade de expansão da área plantada para atender a demanda futura, algumas questões que estavam, relegadas em segundo plano, tais como o manejo das florestas, melhoramento genético e tecnológico, passaram a receber investimentos quase que espontaneamente, com intuito de aumentar o potencial produtivo e a sustentabilidade das florestas de *Pinus*. As técnicas de manejo como espaçamentos, idade de desbastes, fertilizações e melhoramento genético, são pré-requisitos indispensáveis e que podem contribuir de forma decisiva na questão de atender a demanda futura do mercado.

As extensas áreas plantadas evidentemente ocorreram numa variação muito grande de classes de solos, como descritos por (REISSMANN e WISNIEWSKI 2000), e clima. Como consequência, observa-se acentuada diferença de

produtividade em função do tipo de solo em que está estabelecido o plantio, como relatado por (CARVALHO et al. 1999), entre outros autores.

Essa condição, associada ao fato da não fertilização dos plantios de *Pinus*, de modo geral, e da exportação de nutrientes do sítio pela retirada da madeira (lenho e casca), nos desbastes e colheita final, leva invariavelmente a perda de produtividade futura dos sítios florestais e conseqüentemente das florestas plantadas.

A exportação de nutrientes pode ser considerada como um fluxo de caixa em um investimento, em que qualquer retirada no tempo presente poderá deixar de proporcionar os dividendos almejados no futuro.

Diante da necessidade de se garantir a viabilidade do negócio florestal através do abastecimento dos parques industriais estabelecidos, atender a demanda crescente e promover a sustentabilidade dos sítios florestais, para usufruto das gerações futuras, estudos que abordem questões relacionadas à exportação de biomassa e nutrientes, são assuntos que merecem destaque.

Neste sentido, os objetivos deste trabalho foram:

- a) quantificar os valores de exportação de biomassa e nutrientes, nas ocasiões de intervenções de colheita florestal em desbastes ou corte final da floresta de *Pinus*;

- b) desenvolver modelos matemáticos que permitam a estimativa do acúmulo e exportação de nutrientes no lenho e na casca do *Pinus* e,
- c) avaliar a aplicabilidade de modelos matemáticos do SisPinus como estimador de nutrientes exportados na colheita da madeira em diferentes estágios e condições de manejo em que se encontre a floresta;

As hipóteses testadas foram:

- a) a determinação de um ou mais nutrientes em um determinado segmento do tronco, pode estimar um ou mais nutrientes no âmbito total da árvore.
- b) o estimador SisPinus, ferramenta amplamente utilizada para avaliar exportação de biomassa, têm também aplicabilidade para estimar nutrientes na retirada de madeira mediante os desbastes e/ou corte final da floresta.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Povoamento de *Pinus taeda*

O *Pinus taeda* tem sua ocorrência natural do sul dos Estados Unidos, ao leste do estado do Texas, distribuindo-se pelo vale do Rio Mississippi ao extremo sudeste de Oklahoma, Arkansas central e sul do estado do Tennessee (USDA FOREST SERVICE, 2000).

HOCKER JÚNIOR (1956) estudando a influencia de algumas variáveis climáticas em relação à distribuição de *Pinus taeda*, chegou a conclusão que a média da temperatura, a frequência e a intensidade da precipitação, parecem ser os principais fatores que contribuem para a delimitação de sua distribuição. O crescimento das árvores é influenciado pelos fatores genéticos da espécie, que interagem com o meio ambiente, sendo: climáticos (temperatura, precipitação, vento e insolação), edáficos (atributos físicos, químicos e biológicos), topográficos (altitude, inclinação e exposição) e competição (FINGER, 1992).

Nos estados do sul do Brasil, concentram-se os maiores plantios do gênero *Pinus*, representado por *P. taeda* e *elliottii* como as principais espécies cultivadas (REISSMANN, 2000). Essas espécies são preferidas pelo setor florestal e industrial

brasileiro por apresentar bom crescimento, baixa exigência nutricional (PRITCHETT; ZWINDORF, 1961) e por apresentarem boas características físicas e tecnológicas que atendem plenamente as exigências industriais na produção de madeira para serraria, celulose e papel, aglomerados, laminados e outros derivados.

Os primeiros estudos comparando tecnologicamente as espécies do gênero *Pinus* de rápido crescimento em condições brasileiras, foram conduzidos por MORESCHI (1976), FOELKEL (1976a), BARRICHELO E BRITO (1978), BARRICHELO (1979) E TOMASELLI e CASTRO (1980), para relacionar a qualidade da madeira com a produção de celulose e propriedades do papel.

A influência das técnicas silviculturais na qualidade da madeira, foi estudada por muitos pesquisadores, tais como: FIELDING (1967), NICHOLLS (1971), COWN (1974b), RUDMAN e MCKINNELL (1975), OHTA (1981), entre outros. Entre os fatores estudados estão a poda, desbaste, fertilização, irrigação e espaçamento.

A partir da década de 60, já havia preocupações conseqüentes da adoção de rotações curtas e sucessivas, além de possíveis distúrbios dos sítios submetidos às explorações constantes e alterações que comprometessem a manutenção da produtividade, principalmente nas áreas marginais que concentram a maioria dos solos de baixa fertilidade (SILVA 1996).

Um dos problemas da grande maioria das empresas florestais é a falta de informações precisas sobre o potencial do solo em produzir madeira. Estas informações são de elevada importância para a execução de um plano de manejo, o qual é essencial ao bom desenvolvimento de qualquer empreendimento florestal (RIGATTO, 2002).

2.2 Aspectos Nutricionais

As espécies *Pinus taeda* e *P. elliottii* var. *elliottii* são consideradas de baixa exigência nutricional (PRITCHETT & ZWINFORD, 1961). A rapidez de crescimento e ausência de sintomas de deficiências, via de regra, particularmente nas primeiras rotações, condiciona a idéia de que as plantações de *Pinus* dispensariam a prática da fertilização mineral. Diversos estudos têm demonstrado aumento na produtividade em resposta à elevação do nível de fertilidade do solo. VOGEL (2003), verificou que houve resposta positiva para de fósforo e potássio, demonstrando a importância desses nutrientes no crescimento inicial de *P. taeda*. Em condições de solos arenosos e de baixa fertilidade (SILVA et al. 2003), verificaram que o *Pinus taeda* apresentou resposta positiva à aplicação de potássio, magnésio e boro.

Os fatores de solo (físicos, químicos e biológicos) e as relações com o estado nutricional e a produtividade das espécies, demonstram estreita

interdependência entre essas variáveis. Ademais, os maciços florestais, via de regra, são estabelecidos sob condições de solos marginais e de baixa fertilidade natural, sendo facilmente visível, nestas condições, o grande acúmulo da serapilheira sobre o solo, sinais claros de decomposição lenta, que por sua vez reduz a liberação de nutrientes às plantas.

LASO GARICOITS (1990), REISSMANN & ZÖTTL (1987), constataram que o crescimento do *P. taeda* foi fortemente afetado mediante limitações de disponibilidades na oferta de P, K, Mg e Zn, destacando como mais limitantes K e Zn, o que em parte, está de acordo com (REISSMANN, 1981¹ citado por REISSMANN e WISNIEWKI, 2000), que em situações de extrema pobreza de nutrientes no solo o elemento N apresentou restrições à nutrição e ao crescimento de *Pinus elliottii*.

Um conjunto de experimentos de adubação em *Pinus elliottii* e *Pinus taeda*, conduzidos em diversas empresas do IPEF, foi analisado por (BALLONI; JACOB; SIMÕES, 1978). Concluíram que havia respostas positivas para a adubação fosfatada, mas ausência de resposta aos outros nutrientes.

VAN GOOR (1965) aponta a existência de problemas nutricionais em *Pinus elliottii*, e destaca a alta correlação entre a qualidade do sítio e a soma de bases trocáveis do solo, em especial a quantidade de Ca mais Mg e o teor total de P.

¹ REISSMANN, C. B. Nährlementversorgung und Wuchsleistung von Kiefernbeständen in Süd-Brasilien. Friburg i. Br. Alemanha, 1981, 169 p. (Tese de Doutorado).

Teores foliares baixos de Mg e Zn foram associados com baixo crescimento em altura de *Pinus elliottii* na região de Telêmaco Borba e considerados como limitantes ao crescimento dessa espécie por (MENEGOL, 1991). Os teores foliares de N, Mg, Cu, K e Zn foram os mais correlacionados com a altura dominante aos 15 anos de idade.

O manejo químico, práticas de reposição dos nutrientes, conforme a necessidade da cultura, em plantações de *Pinus* requer estudo detalhado, sobretudo, levando-se em consideração o aspecto da fertilidade natural do solo, capacidade deste em atender em quantidade e qualidade a demanda dos nutrientes pela planta, necessidade e níveis críticos da espécie, época, formulação e forma de aplicação dos nutrientes.

O simples fato da possibilidade de uma fertilização ser efetuada em um período inadequado, como por exemplo, no período de inverno quando a atividade metabólica da planta é baixa, ou num período em que o solo se encontre em condições de umidade abaixo daquela que permita o fluxo normal dos solutos do solo, pode condicionar ao insucesso a prática da fertilização mineral.

Ao se elaborar um programa de manejo químico para uma população florestal é importante não apenas o estudo dos nutrientes individualizados, mas,

contudo é primordial levar em consideração a relação entre os nutrientes. REISSMANN & WISNIEWSKI (2000), discutem as relações entre os teores de N/K e P/Zn, nas acículas de *Pinus taeda*, e sua relação com a produtividade da espécie. A importância de cada nutriente e a ação bioquímica deles também são abordadas pelos referidos autores.

Dentre os levantamentos de solo, estados nutricionais, e sua relação com a produtividade, destacam-se os trabalhos relatados por (REISSMANN; KOEHLER; PAULA SOUZA, 1990), conduzidos na região de Ponta Grossa e Telêmaco Borba, para *Pinus taeda*. Destacam que esta espécie apresenta ser mais sensível às propriedades do solo e mais exigente em nutrientes, quando comparado à espécie de *P. elliottii*. Chamam inclusive a atenção às concentrações extremamente baixas de K, Mg, e Zn nos sítios menos produtivos.

As discussões dos resultados experimentais publicados no Brasil demonstraram que os *Pinus*, de uma forma geral, respondem menos à adubação que os *Eucalyptus*. Melhores resultados com espécies do gênero *Pinus* foram obtidos com a aplicação de P, K, e de Ca mais Mg na forma de calcário. Por vezes a aplicação de N tem se mostrado prejudicial ao desenvolvimento das árvores (HAAG, 1983).

A redução de produtividade em rotações sucessivas não tem sido comumente relatada. Possivelmente, no curto prazo, a troca de material propagativo por genótipos mais eficientes na extração e aproveitamento de nutrientes, e melhores cuidados de implantação e manutenção dos povoamentos, tenham encoberto as perdas de produtividade pela redução da oferta de alguns nutrientes. No entanto, torna-se claro que, a médio e longo prazo, a manutenção da produtividade de povoamentos florestais dependerá da reposição do sítio, dos nutrientes contidos na madeira e exportados no processo de exploração florestal (FERREIRA et al. 2001).

A ciclagem biológica de nutrientes é um processo importante na nutrição do *Pinus*, sobretudo nos sítios mais pobres. Portanto os fluxos de entrada, saída e o armazenamento de nutrientes na serapilheira acumulada devem ser estudados e levados em consideração nas decisões de manejo.

O conhecimento da ciclagem de nutrientes é extremamente importante para avaliar-se o impacto e as implicações das ações de manejo na disponibilidade de nutrientes no solo e produtividade futura dos povoamentos florestais. A preocupação com a exaustão de nutrientes dos sítios florestais já existia no século XIX, quando silvicultores alemães recomendavam que a reposição dos nutrientes extraídos pela madeira, e outros produtos florestais deveria ser no mínimo igual às retiradas; caso contrário à produtividade seria prejudicada (FERREIRA et al. 2001).

Trabalho desenvolvido por SMITH et al. (1971), indica que a acumulação anual de nutrientes parece ser maior na primeira década de desenvolvimento do povoamento e é justamente neste período que o mesmo deve estar bem suprido de nutrientes. COPE², citado por LUTZ & CHANDLER (1961), demonstrou em 1925 a importância da manta orgânica no crescimento de *P. taeda*. O autor verificou num povoamento de 55 anos de idade, que a remoção da manta orgânica, durante vários anos, resultou numa diminuição no crescimento em altura da árvore e no volume de madeira produzido.

SWITZER & NELSON (1972), constataram que durante o período dos primeiros meses após o plantio até o vigésimo ano de idade de povoamentos de *P. taeda*, o peso de matéria seca estimado acima do nível do solo mineral aumentou 10 vezes e as quantidades de N, P, K, Ca, Mg e S aumentaram cerca de 4; 4; 11; 7; 5 e 3 vezes respectivamente.

Segundo PRITCHETT (1979), a constituição química do material orgânico que compõe a manta orgânica seria em função do tipo do órgão da planta, da espécie, da idade do material e do tipo de solo onde foi produzido. Geralmente as acículas apresentam teores mais elevados de nutrientes, vindo em seguida a casca, os ramos e por último a madeira.

² COPE, J. A. *Loblolly pine in Maryland*, 2. ed. University of Maryland, State Dept. of Forestry, 1925. Vii + 96 pp.

Segundo CASTRO³ et al., citado por VALERI (1988), povoamentos de *P. oocarpa* aos 18 anos de idade produziram cerca de 172 t/ha de peso de matéria seca total da parte aérea das árvores, sendo que a distribuição desse peso foi de 14% na copa, 13% na casca e 73% na madeira do fuste. A distribuição dos nutrientes N, P, Ca, Mg, Fe, Mn, e Zn, foram em média de 37% na copa, 15% na casca e 48 % na madeira do fuste, em relação ao peso total.

Segundo SILVA (1996), o manejo intensivo das florestas plantadas pode aumentar significativamente a produção de biomassa, entretanto, aumenta-se também a remoção dos nutrientes do sítio. O acúmulo de nutrientes nos diferentes compartimentos das árvores, em geral, é maior na madeira que nas folhas e ramos, apesar das concentrações serem maiores nas folhas, casca, ramos, lenho e raízes (CASTRO, 1984). As concentrações de nutrientes geralmente mudam com a idade das árvores, da espécie, qualidade do solo, época de coleta e idade fisiológica das amostras (PRITCHETT, 1979 e POGGIANI; COUTO; SUITER FILHO 1983).

Trabalhos envolvendo a exportação de nutrientes, fluxos da ciclagem biológica de nutrientes, morfologia e química da serapilheira acumulada sobre o solo, foram desenvolvidos por (VALERI, 1988; KOEHLER, 1989; TREVISAN, 1992).

³ CASTRO, C. F. de A. et al. Distribuição da fitomassa e nutrientes em talhões de *Pinus oocarpa* com diferentes idades. **IPEF**, 20: 61-74, 1980.

A quantidade de nutrientes em componentes exportados, de modo geral, é muito maior para as espécies de *Eucalyptus* relativamente às de *Pinus*, principalmente para os nutrientes K, Ca, e Mg. Para o *Eucalyptus* observa-se a seguinte ordem: $\text{Ca} > \text{N} > \text{K} > \text{Mg} > \text{P}$, e para o *Pinus* $\text{N} > \text{K} > \text{Ca} > \text{Mg} > \text{P}$ (GONÇALVES, 1995).

O hábito comum entre a maioria das empresas florestais de se explorar o tronco das árvores (lenho e casca), e em casos mais extremos, o aproveitamento de ramos juntamente com as folhas e resíduos da colheita, para produção de energia, requer que sejam quantificados os nutrientes nos diferentes componentes que serão exportados, os quais serão imprescindíveis ao crescimento das populações futuras.

Alternativa adotada e que pode pelo menos em parte compensar estas perdas é a reposição dos nutrientes através do retorno da cinza, proveniente da queima dos resíduos florestais e outros componentes das árvores, BALLONI et al. (1982); MORO & GONÇALVES (1995); GONÇALVES & MORO (1995).

A colheita da madeira ao final do ciclo de produção ou em desbastes retira do sistema uma quantidade significativa de nutriente como foram estimados por VALERI (1988) e são apresentadas na Tabela 1.

TABELA 1. Quantidade de biomassa e nutrientes exportados pela exploração de madeira com casca nos desbastes em plantio de *P. taeda* com diferentes idades.

Idade	Biomassa	N	P	K	Ca	Mg
(anos)	t/ha	-----kg/ha -----				
7	11	21,5	1,7	9,5	9,7	2,1
10	36	52,8	5,2	24,0	31,9	6,3
14	49	53,8	4,4	22,7	41,3	8,1

Idade	Biomassa	Fe	Mn	Cu	Zn	B
(anos)	Mg/ha	-----g/ha -----				
7	11	533	528	50	70	103
10	36	2.019	1.233	120	204	296
14	49	2.237	1.592	181	221	362

Fonte: VALERI (1988)

A não reposição dos nutrientes exportados associado às perdas por processos erosivos e de lixiviação conduzirá, invariavelmente, a uma aceleração no depauperamento dos níveis de fertilidade química do solo, afetando diretamente a produtividade dos sítios florestais.

O tronco das árvores é um importante compartimento de armazenamento de nutrientes, que normalmente apresenta três divisões com características bastante

diferentes entre si, cerne, alburno e casca. Segundo BURGER & RICHTER (1991), a parte interna do tronco (cerne) se destaca por uma cor mais escura, devido ao fato que as partes internas, à medida que se distanciam do câmbio, perdem a atividade vital e adquirem coloração mais escura em decorrência da adição de tanino, resina, gorduras e carboidratos, resultantes da transformação das substâncias de reservas contidas nas células parenquimáticas do alburno interno.

MÄLKÖNEN (1976), estudando exploração de coníferas de diferentes espécies, concluiu que a retirada tradicional da madeira não empobrece o solo, uma vez que o teor de nutrientes da madeira é muito baixo, entretanto, sugere que os resíduos dos desbastes permaneçam no talhão com função de manter os nutrientes contidos neste material.

A quantidade de nutrientes exportados com a madeira retirada depende da idade das árvores. No início da formação do cerne, parte dos nutrientes móveis, como o N, P e K são translocados para outras partes da árvore, através da ciclagem interna dos nutrientes, enquanto que o Ca acumula-se no caule. Dependendo das condições do sítio, alguns destes nutrientes podem ser limitantes para o crescimento das árvores nas rotações futuras.

VALERI (1988), considera que com a retirada da madeira, uma quantidade considerável de nutrientes é exportada do sistema e sua reposição é tão mais importante quanto mais limitante nutricionalmente for o sítio.

Um outro fator a ser considerado é a manutenção da produtividade dos sítios, principalmente em condições de baixo suprimento de elementos essenciais às árvores, pelo solo. As explorações intensivas em rotações curtas, sem previsão de um período mínimo necessário para reposição de nutrientes, têm sido apontadas como as maiores responsáveis pela exaustão do solo (FERREIRA et al. 2001). Os autores ainda concluem pela inconveniência da exploração total da árvore e da importância da manutenção das galhadas e acículas no campo. Quando possível, recomenda-se o descascamento das toras no local de exploração, ou mesmo o retorno ao solo, da casca e ou da cinza proveniente de sua queima, devido à quantidade relativamente alta de nutrientes presentes nestes materiais.

Segundo WELLS & JORGENSEN (1979), a exploração convencional do fuste comercial exporta uma quantidade de nutrientes equivalente à que é introduzida no sistema anualmente, através da atmosfera, em povoamentos de rotação acima de 35 anos.

TIMONI & PAGANO (1986), verificaram em desbastes de *P. kesiya* com 16 anos de idade que quando foi removido o tronco, casca mais a madeira, o nutriente

mais exportado foi o P, em seguida o S, Mg, Ca K e N. Para os micronutrientes a ordem decrescente foi o Zn, Na, B, Mn e Fe.

Segundo SMITH (1962), as folhas não são as únicas partes da planta capazes de representarem o estado nutricional das árvores, entretanto, são recomendadas e utilizadas no monitoramento nutricional para a maioria dos elementos, principalmente aqueles que afetam diretamente a fotossíntese. As concentrações de nutrientes de outras partes da árvore, tais como tronco, a casca e os galhos, têm sido utilizados para os cálculos de exportações e estudo de eficiência de utilização dos nutrientes, nas espécies florestais.

A exemplo do que ocorre no caule, os teores de nutrientes na casca variam com a posição de que esta ocupa no fuste, sendo crescente no sentido da base ao ápice (ATTIWILL, 1979); (ZEN; POGGIANI; COUTO 1981); (LEMOINE; RANGER; GELPE 1988) e (LEMOINE; RANGER; GELPE 1990).

A quantidade total acumulada na madeira dos três desbastes, por exemplo, de K, corresponde a uma exportação de aproximadamente 31% da quantidade do elemento presente na biomassa do povoamento, incluindo a manta orgânica. Situação semelhante é verificada também para o Ca, Mg, Zn e B. A falta de reposição destes nutrientes pode levar à redução da produtividade dos povoamentos em médio prazo (FERREIRA, et al. 2001).

Para se avaliar as quantidades de nutrientes nos diferentes componentes das árvores o processo mais utilizado e preciso, tem sido o de abate das árvores, com determinação da biomassa seca e determinação dos teores de nutrientes em cada compartimento.

Dentro desta linha de trabalho o autor ALEMDAG (1980), recomenda abater no mínimo quatro árvores por classe de diâmetro com intervalo de 5 cm para proporcionar equações estimadoras do peso de matéria seca em cada componente. A variável DAP é a mais simples e empregada com bastante precisão, como no caso da utilização pelos autores CASTRO et al. (1980), PINHEIRO (1980) e VAN LEAR et al. (1984), obtendo resultados satisfatórios. Em estudos desenvolvidos por SINGH (1982), para estimar o peso de matéria seca dos componentes aéreos de diversas espécies no Canadá, foram revelados valores de R^2 variando de 0,96 a 0,99.

Segundo SATOO (1982), a fitomassa total não está diretamente correlacionada com a taxa de produção de matéria seca. O autor mostra ainda que o peso da madeira comercial mostra relação com os mesmos fatores ambientais e silviculturais que interagem na produção do volume comercial tradicionalmente analisado, em estudos florestais dentre eles, a idade, a densidade do povoamento e a qualidade do sítio.

2.3 Prognose de Acúmulo e Exportação de Nutrientes

Para exportação de biomassa é comum o uso de modelos matemáticos para estimar o volume individual do tronco, principalmente em florestas homogêneas plantadas. Os modelos também têm sido desenvolvidos para a estimativa dos pesos do tronco com e sem casca, da casca, galhos e folhas (REIS, 1985).

A avaliação econômica de alternativas de manejo, através de um processo de simulação, pode ser feita agregando-se critérios econômicos aos resultados volumétricos fornecidos por um modelo de crescimento e produção.

SCOLFORO (1976b) desenvolveu um simulador de crescimento e produção, denominado PISAPRO, para povoamentos de *Pinus taeda* e *P. elliottii* de toda a área pertencente à PISA Florestal S.A. A este simulador, foram associados critérios de análises de investimentos de alternativas de manejo, através do software denominado INVEST que permite a obtenção dos seguintes resultados:

- a) estimativa presente do volume total, sortimentos e demais características do povoamento florestal por classe diamétrica, sítio, idade, espécie e região;

- b) prognose do volume total, área basal, sortimentos, incremento médio anual e outras características do povoamento por classe diamétrica, sítio, idade, espécie e região; e,
- c) simulações de desbastes pré-comerciais; sistemático na sexta linha combinado com seletivo; sistemático na décima linha combinado com seletivo; seletivo, para diferentes idades, intensidade de remoção e número de desbaste, até no máximo o quarto e corte final.

Com o objetivo de se prognosticar o crescimento de florestas de *P. elliottii* Engel e *P. taeda* L, foi desenvolvido um software na Universidade Estadual da Carolina do Norte (NCSU), EUA, e posteriormente adaptado pelo seu autor, Dr. Willian L. Hafley e equipe do Centro Nacional de Pesquisa de Florestas – CNPF/EMBRAPA – para plantios de *Pinus* estabelecidos no sul do Brasil (OLIVEIRA, OLIVEIRA & HAFLEY, 1991).

A versão brasileira deste software passou a ser denominada SisPinus, que possibilita, através de avaliações de medições de determinadas variáveis, em povoamentos ainda jovens, predizer o crescimento em idades futuras, sendo, portanto, uma ferramenta de grande utilidade para técnicos florestais que atuam na área de manejo florestal nas tomadas de decisão das operações de desbastes.

O sistema SisPinus vem sendo utilizado em grande escala desde 1989 por diversas empresas que possuem plantios de *P. elliottii* e *P. taeda*, no sul do Brasil e países do Mercosul.

Segundo OLIVEIRA & OLIVEIRA (1991), o SisPinus pode ser operado em microcomputadores padrão IBM/PC com configuração mínima. Os inputs necessários são o número de árvores plantadas por hectare, porcentagem de sobrevivência com um ano após o plantio, tipos de desbastes previstos ou adotados (seletivo, sistemático ou misto), idades dos desbastes (ocorridos ou a serem simulados), índice de sítio, equação de volume (e unidades associadas) e idades selecionadas para os relatórios (Anexo 1).

Para estimativa das características de desenvolvimento do povoamento, o software utiliza-se da distribuição diamétrica de Johnson, mais conhecida como S_B (univariada, que descreve a distribuição marginal de diâmetro e altura) ou S_{BB} , (bivariada, que descreve a distribuição marginal conjunta de diâmetro e altura). O sistema apresenta como relatório de saída uma tabela de produção para as idades desejadas, considerando-se as atividades de manejo estipuladas pelo usuário, como por exemplo: desbaste sistemático aos 8 anos de idade, desbastes seletivo aos 12 e 18 anos e corte final aos 23 anos. Apresenta ainda, tabelas de frequência do número de árvores por hectare por classe de diâmetro para as idades em que foi simulado um desbaste, e para a idade de corte final (Anexo 2 ao Anexo 7).

O sistema SisPinus tem sido utilizado também na estimativa de perdas na produção de madeira provocadas por ataques de *Sirex noctilio*, e sua aplicação no planejamento da produção de povoamentos de *Pinus elliottii* e *P. taeda* atacadas. Diferentes níveis de ataques foram simulados e as perdas ocorridas na produção de madeira foram quantificadas, em termos de volume e em valores econômicos (OLIVEIRA et al. 1992).

2.4 Aspectos Teóricos da Análise de Regressão

DANIELS et al. (1979), em estudos desenvolvidos em *Pinus taeda*, efetuaram análise comparativa entre modelo em nível de povoamento, modelo por classe diamétrica e modelo para árvores individuais, e mostraram que os três tipos de modelos geraram estimativas acuradas de produção indicando que a escolha do modelo de produção depende basicamente do nível de detalhamento que se quer.

A teoria da modelagem, segundo BURKHART (1987), continua envolvente e aumentando em sofisticação, à medida que novas técnicas estatísticas e avanços na área de computação, incorporam-se aos problemas de crescimento e produção.

Existe um crescente interesse no emprego dos modelos de crescimento como um sistema de equações onde todos os coeficientes são estimados simultaneamente, desta forma, (MURPHI e STERNITZKE 1979), (MURPHI e

BELTZ 1981) usando métodos econométricos efetuaram ajustes usando regressão em três estágios para estimar o volume presente, futuro, e área basal futura. A maior eficiência foi para o modelo da regressão em três estágios com restrição, por ocasião do ajuste dos parâmetros de um sistema de equações compatíveis que faz a predição do crescimento e produção em volume, área basal e a altura dominante.

BURKHART (1987), cita que são muitos os métodos disponíveis para o ajuste simultâneo dos parâmetros das equações de um sistema e considera que devem ser observar vários pontos. Primeiramente, a finalidade de um sistema de crescimento e produção é efetuar estimativas e poucos trabalhos foram feitos para ilustrar a performance dos sistemas cujo ajuste dos parâmetros é simultâneo. Uma segunda consideração, é que estimativa simultânea envolve um compromisso, em que nenhum dos componentes do sistema seja ajustado pior do que se fosse estimado individualmente. Outro fato que deve ser considerado é que muitas das técnicas econométricas foram desenvolvidas para determinada hipótese de trabalho e elas podem não ser apropriadas, em sua plenitude, a sistemas biológicos onde o objetivo é a predição.

A estimativa do erro é outro ponto de grande interesse, assim como, a realimentação que Turnbull, em 1978, citado por BURKHART (1987), menciona como sendo necessários nos modelos de crescimento e produção, para corrigir as estimativas, devido a flutuações nas condições ambientais e na operacionalização

dos tratamentos.

Segundo Munro⁴ 1984, citado por BURKHART (1987) afirmou que a terceira geração dos modelos de crescimento e produção pode ser caracterizada pela realimentação. Definindo este conceito, diz que a realimentação (Feedback) é um sistema por meio do qual um modelo é capaz de monitorar os resultados de sua própria estimativa, comparando-os com as informações reais, fazendo ajustes e correções para a projeção dos ciclos subseqüentes.

Com relação aos procedimentos para estimar os parâmetros de regressão, pode-se citar a técnica de regressão não linear que devido a grande disponibilidade de “software” nesta área é amplamente usada no ajuste dos modelos de crescimento e produção (SCOLFORO, 1990).

SCOLFORO e MACHADO (1988) apresentam discussão pormenorizada de como selecionar equações de maneira adequada, enfatizando-se que a escolha dos modelos simplesmente por R^2 e por erro padrão da estimativa (EPE) pode levar a erros e, portanto, a análise visual dos resíduos expressos graficamente é fundamental.

⁴ MUNRO, D. D. Growth modeling for fast-growing plantation. In: IUFRO **Symposium on site and productivity of fast growing plantations, Pretoria and Pietermaritzburg**, South Africa, 333-44. 1984.

(SILVA 1996) estudando diversos modelos para estimativa de conteúdos de macro nutrientes na casca de *Eucalyptus grandis*, nas idades de 3, 5 e 7 anos, obteve as melhores estimativas, com exceção apenas para o fósforo aos três anos, com as amostragens de casca nos seguintes segmentos de altura do tronco: para o nitrogênio e magnésio 1,0 - 1,3 m; fósforo em 1,3 –2,0 m ; potássio e cálcio 1,3 – 2,0 m.

No alburno as melhores equações foram obtidas na idade de 7 anos, exceção apenas para o fósforo que foi no terceiro ano, apresentando as seguintes equações e coeficientes de determinação:

$$N = 6,8581 \times N_{1,3 \text{ m}} + 33,2438 \times N_{1 \text{ m}} \quad R^2 = 0,9929;$$

$$P = 39,0684 \times P_{1,3 \text{ m}} \quad R^2 = 0,9836;$$

$$K = 13,5624 \times K_{1 \text{ m}} \quad R^2 = 0,9922;$$

$$Ca = 15,3568 \times Ca_{1 \text{ m}} \quad R^2 = 0,9823;$$

$$Mg = 54,2122 \times Mg_{1,3 \text{ m}} \quad R^2 = 0,9874.$$

Os modelos obtidos apresentaram coeficientes de determinação que variaram entre 0,9823 a 0,9929, que sob a ótica da matemática apresentam alta representatividade estatística, e sob o aspecto prático, as seções ficaram compreendidas nas alturas máximas de 1,3 m, o que facilita sobremaneira a coletas das amostras, satisfazendo a condição técnico operacional.

SILVA (1996), obteve ainda as seguintes equações para a estimativa da biomassa e do volume de madeira de *E. grandis*, aos sete anos de idade: Volume de tronco = $0,000952 \times \text{DAP}^2$; volume de alburno = $0,000472 \times \text{DAP}^2$; Peso: a) casca = $37,7823 \times \text{DAP}^2$; b) alburno = $235,9570 \times \text{DAP}^2$; c) cerne = $P_{\text{total}} - (P_{\text{alburno}} + P_{\text{casca}})$; d) tronco = $442,6520 \times \text{DAP}^2$; e) Galhos = $28,4492 \times \text{DAP}^2 - 107,2099 \times \text{HT}$; f) folhas = $35,0359 \times \text{DAP}^2 - 134,8311 \times \text{HT}$.

VALERI (1988) utilizando equações estimadoras do peso de matéria seca total da casca do fuste de árvores de *P. taeda*, obteve boas estimativas em função da variável DAP, com base nos valores de R^2 (0,94, 0,95 e 0,90), syx% (erro padrão da estimativa) (31,68; 7,5 e 5,98) no primeiro, segundo e terceiro desbaste, respectivamente e F da análise de variância. Para a madeira, nas três idades, a variável DAP estimou o peso total do fuste com o valor de R^2 acima de 0,90 e de syx% abaixo de 10,0, ou seja, com precisão bastante aceitável. Entretanto, para as três idades, a variável escolhida pelo processo seletivo (DAP. Hc) estimou o peso de madeira do fuste com precisão sensivelmente superior, no 2º desbaste. No componente acícula, o coeficiente de determinação (R^2) da equação formada a partir da variável DAP diminuiu com o aumento do número de idade dos desbastes.

PINHEIRO (1980) recomenda o uso da variável DAP para as determinações dos pesos das copas e seus componentes de *P. caribaea* var. *hondurensis* e *P. oocarpa*, aos 7,5 anos de idade. VAN LEAR et al. (1984) obteve equações para

estimar os pesos dos componentes da parte aérea de *P. taeda* aos 41 anos de idade, em função do DAP, com valores de R^2 variando de 0,937, para as acículas e a 0,985 para o caule.

VALERI (1988) não encontrou relações de dependências entre os teores de nutrientes dos componentes das árvores e as classes de DAP. VAN LEAR et al. (1984) também observaram que não existe relação próxima entre os teores de nutrientes e o peso de matéria seca de um componente. ANDRAE & KRAPPENBAUER (1983), não encontraram relações significativas dos teores de Mn de qualquer um dos componentes das árvores com as variáveis DAP, H e suas combinações. Para os ramos vivos, constataram que as concentrações de N, P, K, Ca, e Mg diminuíram com o aumento da classe de DAP, o aumento da fração de madeira no total do material acarreta uma diminuição dos teores de nutrientes.

A utilização do DAP como variável independente nos modelos, também tem sido empregada nas estimativas dos pesos dos diferentes compartimentos de diferentes espécies de árvores, conforme proposto por (SOARES & HOSOKAWA, 1984, BRITO et al., 1984 e PINHEIRO 1980).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Seleção das Áreas Florestais

Para a realização do presente estudo, foram selecionados plantios de *P. taeda* com 8, 12, 18 e 23 anos de idade, localizados em povoamentos comerciais nas condições prévias de manejo de 1º, 2º, 3º desbastes e corte raso da floresta.

As áreas de estudo localizam-se nos municípios de Guarapuava e Campina do Simão, Estado do Paraná, Fazenda da Costa nos Projetos Manasa 62 e 58, respectivamente e Cantagalo, no Projeto Manasa 49 B, para os materiais provenientes da Manasa Madeireira Nacional S.A. e Guarapuava, Fazenda Xaxim Velho, Projeto 13, para os materiais coletados na Santa Maria Papel e Celulose.

3.2 Caracterização do Material Genético

Procurou-se selecionar áreas com espécies representativas dos plantios comerciais, utilizadas na industrialização pelas empresas locais da região de Guarapuava e cujas condições de manejo fossem aquelas similares às praticadas entre a maioria delas.

Os materiais genéticos foram procedentes de Áreas de Produção de Sementes (APS) e Pomar de Sementes Clonais (PSC), plantados em áreas próprias da Companhia Manasa Madeireira Nacional S.A. (para os materiais coletados nas idades de 8 e 18 anos). Os espaçamentos originais foram de 2,5 x 2,5 m. e 3 x 3 m., e ano de plantio de 1994 e 1984 para o projeto Manasa 62 e Manasa 58, respectivamente e classe de sítio III. O material proveniente do Projeto Manasa 49 B (corte final), localizado na Fazenda Cinco Voltas foi plantado em 1979, com espaçamento inicial de 2,5 x 2,5 m., com o segundo desbaste concluído, procedência das sementes provavelmente dos Estados Unidos da América e classe de sítio II.

Nas áreas seleccionadas da Santa Maria Papel e Celulose S.A. (para a idade de 12 anos), o material genético foi oriundo de Pomar Clonal de Sementes (PCS), primeira geração, procedência Rigesa.

As florestas encontravam-se em condição prévia e habilitada à execução do manejo a que se inseriu o estudo deste trabalho.

3.3 Seleção das Árvores em Campo

A amplitude dos diâmetros de cada povoamento foi obtida com auxílio prévio de dados obtidos de inventário florestal imediatamente antes das coletas,

estabeleceram-se três classes de diâmetro à altura do peito (DAP), que representassem as categorias das árvores dominantes, co-dominantes e dominadas. Para cada idade e classe diamétrica, foram selecionadas cinco árvores que apresentassem forma e estrutura bem definidas, sem bifurcações ou outras características que não aquelas inerentes às condições naturais da espécie e que condicionassem um crescimento normal das árvores.

As árvores representativas de cada classe diamétrica foram previamente identificadas e abatidas por pessoal próprio de cada empresa, com utilização de motosserra e coletadas as amostras de disco na seqüência: base; 1,0 m; 1,3m; 2,0m e a cada metro até a altura comercial de cinco centímetros de diâmetro.

Na figura 1 é apresentada a distribuição diamétrica das 24 árvores amostradas. A classe diamétrica de 15 a 20 cm não teve representatividade devido às árvores na idade de 8 anos não terem atingido o limite mínimo da classe (15 cm) ou devido a intensidade amostral, e para as idades mais avançadas apresentarem diâmetros acima do limite máximo da classe (20 cm), em função dos desbastes seletivos realizados onde houve a supressão das árvores de menor diâmetro, o que culminou na não localização destes diâmetros dentro da quantidade de árvores amostradas.

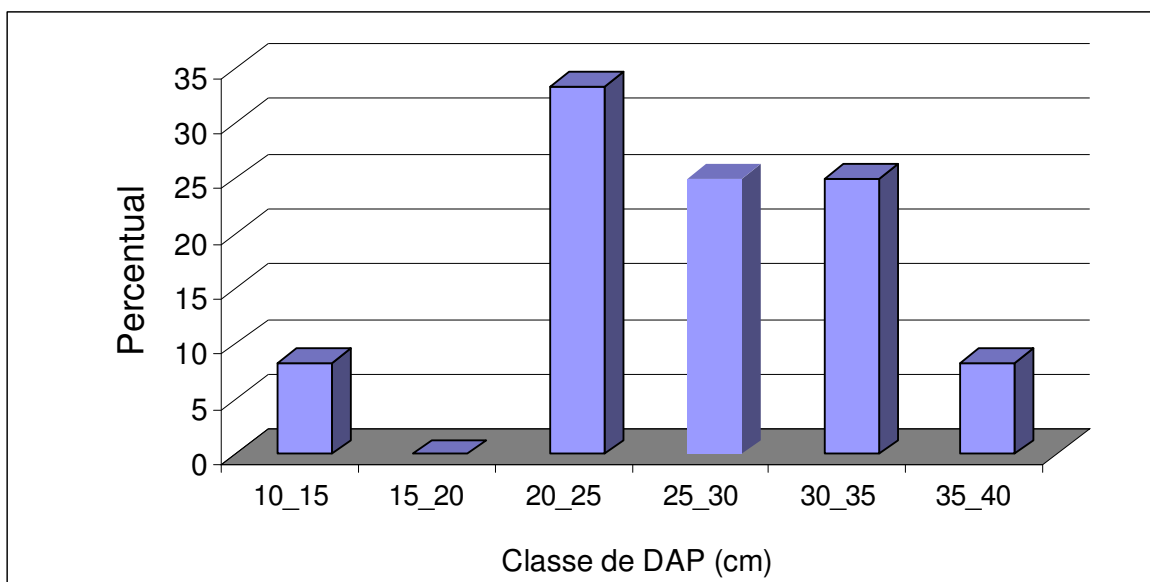


FIGURA 1 – Distribuição diamétrica das árvores selecionadas

3.4 Caracterização Climática

O clima da região de influência das empresas Manasa - Madeireira Nacional S.A. e Santa Maria Papel e Celulose é classificado segundo Köppen como sendo Cfb, com verões frescos de temperatura média do mês mais quente inferior a 22º C e do mês mais frio igual a 12º C, sendo durante onze meses maior que 10º C e com até cinco geadas por ano.

A temperatura média anual é de 16,7º C. A precipitação pluviométrica distribui-se regularmente durante o ano, variando entre 101,6 a 187,5 mm por mês com média anual de 1.674,8 mm. (SIMEPAR)⁵.

⁵ Informação recebida por e-mail da Engenheira Fabiana Maia (2005) – Ex -funcionária da Manasa S.A.

As áreas localizam-se aproximadamente nas Latitudes S 25°10'40" à 25°24'28", e longitude W 51°11'43" à 52°14'42" e altitude variando de 905 m à 1075 m.

3.5 Descrição Geológica e Geomorfológica

Segundo a Carta de Levantamento de Reconhecimento dos Solos do Estado do Paraná (EMBRAPA, 1984), ocorrem na região de Guarapuava, predominantemente os seguintes solos: Latossolo Bruno Álico e Associação de Latossolo Bruno Álico e Cambissolo Álico, em menores quantidades, os solos: Cambissolo Húmico Gleico, Glei pouco Húmico, Solos Orgânicos e Solos Litólicos.

Os solos predominantes das áreas de estudo são das classes de Latossolos Brunos e Cambissolos.

A região de Guarapuava é caracterizada, predominantemente, por relevo plano a ondulado, com biomas originais caracterizados pelos capões de mata de *Araucária angustifolia* (Floresta Ombrófila Mista), muito comum nesta região, entremeada e em conexões com bioma de extensos campos naturais (Estepe Gramíneo-lenhosa). Nas calhas dos rios a Oeste pode ser encontrado ecótonos de Floresta Estacional Semidecidual com Floresta Ombrófila Mista (FUPEF, 1990).

Na tabela 2 é apresentada a análise do solo onde foram coletadas as amostras do material vegetal nas idades de 8, 18 e 23 anos, nas áreas da Manasa S.A.

TABELA 2. Análise de solo dos locais de coletas nas idades de 8, 18 e 23 anos.

Idade anos	Profun- didade cm	pH CaCl ₂	K ⁺ -----cmol/dm ³ -----	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	M.O. g/kg	P mg/ dm ³	V% %
8	0 - 5	3,78	0,10	0,77	0,25	4,12	41,89	3,9	7,25
	5 - 10	3,77	0,07	0,55	0,08	4,83	27,08	1,5	4,33
	10 - 20	3,74	0,07	0,63	0,15	4,97	29,28	1,7	5,39
	20 -30	3,83	0,04	0,41	0,04	4,12	26,21	1,1	3,42
18	0 - 5	3,81	0,06	0,39	0,52	3,10	51,29	3,7	7,42
	05 -10	4,08	0,04	0,27	0,19	1,96	32,88	1,4	5,33
	10 - 20	4,11	0,03	0,31	0,15	1,70	23,48	1,0	5,15
	20 -30	4,16	0,02	0,40	0,07	1,23	17,34	0,7	5,72
23	0 - 5	4,75	0,21	7,29	2,36	0,29	31,68	3,5	56,94
	5 -10	4,82	0,12	6,38	1,97	0,29	25,88	2,3	55,95
	10 -20	4,56	0,07	5,01	1,78	0,45	19,14	1,3	50,71
	20-30	4,37	0,08	4,13	1,23	0,60	19,68	1,8	43,14

As áreas de coletas situam-se principalmente nos biomas da Floresta Ombrófila Mista (Floresta de Araucária), dos Estepes (Campos) e da Floresta Estacional Semidecidual (Floresta Pluvial Sub-Tropical Semi-Caducifólia),

característicos de áreas com predominância de solos de alta acidez.

As áreas de coleta do material foram utilizadas para cultura e exploração comercial de *Pinus* nos últimos 25 anos, para abastecimento do parque industrial local.

3.6 Coleta das Amostras

As amostras coletadas em campo constituíram-se de discos do tronco contendo lenho e casca, de todas as 5 árvores para cada estrato (dominante, co-dominante e dominada) da floresta e nas quatro idades definida, constituindo 60 árvores no total.

Após realização da análise estatística, do primeiro lote de amostras, árvores para as quatro idades, e, de posse dos modelos gerados, devido à obtenção de elevados e confiáveis coeficientes de determinação e baixo erro padrão da estimativa, optou-se por conclusão do trabalho com a utilização de apenas 24 árvores no total, como medida de redução dos custos de análises laboratoriais.

Os materiais foram coletados entre o período compreendido de maio de 2002 a fevereiro de 2003.

Após a derrubada das árvores, procedeu-se à medição da altura total, altura comercial (até diâmetro mínimo de cinco cm) a altura das copas e diâmetro aproximado de sua projeção, com auxílio de trena de 20 m de comprimento.

Após, tomado as medidas de alturas dos componentes de interesse do estudo, seguiu-se com o desgalhamento total das árvores até a altura comercial. Em seguida, procederam a medição da circunferência a altura do peito (CAP) com auxílio de fita métrica.

Realizada a medição das árvores e a preparação das mesmas, seguiu-se com a marcação dos locais de retirada dos discos, determinando sobre a casca um pequeno sinal, com auxílio de facão.

Para a amostragem do tronco, coletaram-se discos com lenho e casca a cada metro, a partir da base, incluindo o diâmetro a altura do peito (DAP), até à altura comercial, conforme metodologia utilizada por (SILVA 1996). Os discos foram imediatamente identificados, com lápis hidrocor, caracterizando-se a idade, estrato, árvore e secção a que pertencia o disco.



FIGURA 2. Esquema ilustrativo da posição de retirada dos discos nas árvores.

Os discos foram embalados separadamente por árvore, em sacos de ráfia e encaminhados até a Embrapa - Florestas, para em seguida medir os diâmetros nos discos e preparar as amostras para determinações químicas e de densidade dos componentes casca e lenho.

3.7 Preparação das Amostras em Laboratório

Dos discos coletados mediram-se os diâmetros com e sem casca, utilizando-se de régua graduada de 30 centímetros de comprimento. Na sequência da medição dos diâmetros procedeu-se à retirada de duas porções do disco, casca e lenho, em forma de cunha, representativas e necessárias para a rotina de procedimento das determinações das densidades e teores de nutrientes minerais.

A densidade básica do lenho e casca em cada secção do tronco foi determinada pelo método do máximo teor de umidade, devido à facilidade de execução em larga escala, pela dificuldade de imersão da casca e por não apresentar resultados significativamente diferentes entre este método e o da balança hidrostática conforme (FOELKEL; BRASIL; BARRICHELLO 1971).

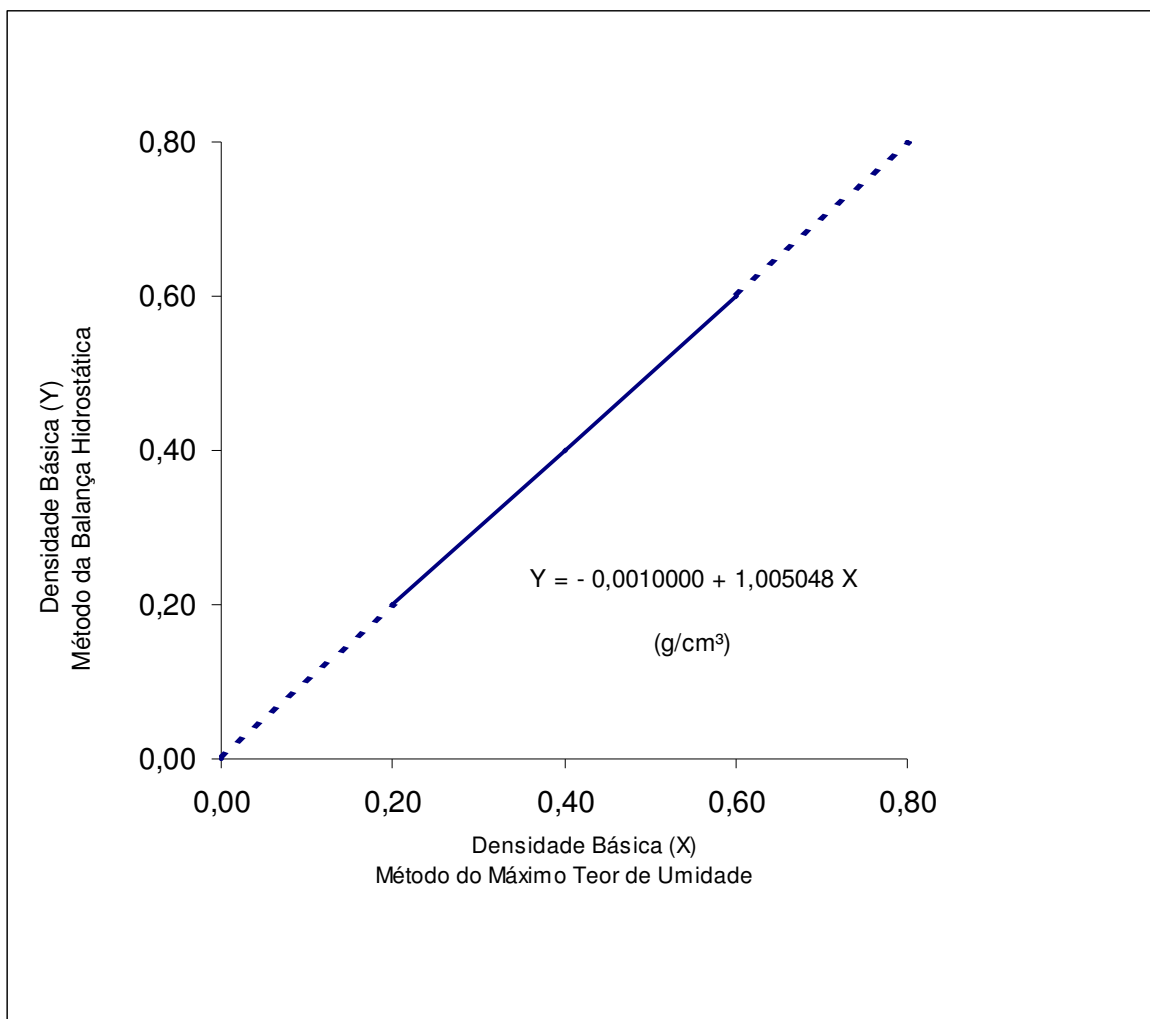


FIGURA 3. Comparação gráfica da densidade básica pelos métodos da balança hidrostática e do máximo teor de umidade.

A Densidade básica pelo método do máximo teor de umidade e o volume arbóreo foram calculados pelas seguintes expressões:

$$(1) \quad db = 1 / [((Pm - Pas) / Pas) + (1 / Gs)]$$

em que:

db: Densidade básica (g/cm³)

Pm: Peso saturado após a remoção, com papel absorvente, da água superficial

Pas: Peso absolutamente seco, conseguido através da secagem em estufa a 105 ± 3 °C, até peso constante

Gs: Densidade da substância madeira, admitindo-se 1,53 g/cm³ como média

$$(2) \quad V = \frac{1}{2} \times (\pi D^2 / 4 + \pi d^2 / 4) \times h$$

em que:

V: Volume do segmento (m³)

D: Diâmetro maior do segmento (m)

d: Diâmetro menor do segmento (m)

h: Comprimento do segmento (m)

O volume das árvores foi obtido empregando-se a equação de Smallian, que considera o somatório dos volumes de cada torete. A obtenção do volume dos toretes foi através da média do somatório do diâmetro maior com diâmetro menor multiplicado pelo comprimento de cada seção (o fator de multiplicação foi igual a

um, para os toretes com comprimento de um metro, 0,3 para o segmento imediatamente inferior ao DAP e 0,7 para o segmento imediatamente superior ao DAP e fator variável conforme o tamanho medido no último segmento da árvore).

Após a obtenção do volume total (lenho e casca), obteve-se o volume sem casca (lenho). Pela subtração do volume do lenho do volume total, obteve-se o volume da casca e com os valores de densidade e volume por segmento calculou-se o peso por segmento e o peso total para ambos os componentes.

$$P = db \times V$$

em que:

P: Peso (kg)

db: Densidade básica (kg/m³)

V: Volume do segmento (m³)

3.8 Análises Químicas

As amostras utilizadas para determinação dos nutrientes do componente lenho e casca foram secas em estufas de ventilação forçada (temperatura = 62,5 ± 2,5° C), até estabilização completa do seu peso, sendo em seguida, trituradas em

moinho tipo Wiley, passadas em peneira de malha 20 e armazenadas em vidros de utilizações convencionais para análises químicas.

Para a determinação dos teores de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg), as amostras foram submetidas à digestão nitroperclórica e determinados de acordo com a metodologia proposta por SARRUGE & HAAG (1974). O fósforo foi determinado pelo método Vanado-molibdato de amônia, o potássio por fotometria de chama, o cálcio e magnésio por absorção atômica. O nitrogênio foi obtido por digestão sulfúrica, seguida de determinação pelo método Micro Kjeldahl.

3.9 Determinação dos Conteúdos de Nutrientes

Os conteúdos de nutrientes da casca e lenho foram calculados a partir da média da concentração dos nutrientes determinados nas extremidades de cada segmento (diâmetro maior e menor de cada segmento) e multiplicados pelo peso seco correspondente ao segmento. O conteúdo de nutrientes total do lenho e casca foi obtido pelo somatório dos conteúdos de cada segmento, da base à altura comercial da árvore.

3.10 Análise de Regressão e Definição dos Modelos

Para a validação dos modelos, para todos os nutrientes adotou-se a amostragem nos segmentos em posições de altura máxima de 4,0 metros. Este procedimento teve o propósito de facilitar a coleta do material em campo e reduzir os custos de análise em laboratório, em função do menor número de segmentos amostrados.

Neste aspecto de redução de custos e menor dano econômico no povoamento, pode-se também proceder à coleta das amostras para a determinação dos nutrientes através da retirada de baguetes, com utilização de trado nas posições previamente selecionadas e determinadas sem a necessidade de amostragem pelo método destrutivo. Várias pesquisas foram desenvolvidas com técnicas não destrutivas para avaliação das propriedades da madeira, especialmente para propriedades físicas, mecânicas e defeitos (SHIMOYAMA, 2005). Por definição, avaliação não destrutiva é uma técnica de identificação das propriedades de um determinado material sem alterar sua capacidade de uso futuro, utilizando as informações para tomadas de decisões com relação às aplicações apropriadas do material avaliado (ROSS, et al., 1998).

Apesar das coletas terem sido realizadas levando-se em consideração os estratos (dominante, co-dominante e dominada) da floresta e quatro idades do povoamento, as análises estatísticas foram realizadas com o total dos dados amostrais, sem a distinção entre estas variáveis, pois o propósito do trabalho visa a

determinação dos nutrientes em qualquer situação cronológica e condição de manejo em que se encontre a floresta.

As análises foram executadas através da utilização do sistema estatístico SAS, licenciado para EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária.

Para a análise conjunta dos dados foi necessária a utilização da análise multivariada, que segundo (JOHNSON; WIECHERN 1998), apresenta três objetivos principais: excluir as variações devidas a erros não encontrados; sumarizar os dados e revelar a estrutura dos mesmos.

As técnicas de análises multivariada são estatisticamente mais complexas, além de, muitas vezes necessitarem de softwares específicos para o seu desenvolvimento, entretanto, permitem que as interpretações dos dados mostrem-se mais coerentes a realidade do material experimental (LAVORANTI, 2003).

A estatística básica foi empregada para a obtenção das médias dos teores dos nutrientes, desvio padrão, coeficiente de variação e intervalo de confiança.

Para seleção dos componentes principais, foram utilizados dois critérios: visando identificar problemas de multicolinearidade calculou-se a matriz de correlação para cada situação estudada. Entre as variáveis que apresentaram altas correlações entre si, foi relacionada aquela de maior coeficiente, e descartadas as

demais variáveis encontradas. Testaram-se os modelos lineares, seguidos pelos multiplicativos e exponenciais. No caso de regressão linear múltipla, efetuou-se a análise através do procedimento Stepwise.

Os componentes, volume, pesos do lenho e da casca e conteúdos de nutrientes totais, foram as variáveis dependentes.

Dentre os diversos modelos matemáticos apresentados (Anexo 10 e 11), a seleção foi com base nos coeficientes de determinação (R^2), erro padrão da estimativa do modelo, distribuição gráfica dos resíduos, ou seja, maior normalidade dos resíduos, em relação às respectivas equações, (GUIMARÃES, 1985), valores de F e facilidade na obtenção das amostras ao longo do tronco (limitando-se à altura máxima de 4,0 m em relação ao nível do solo), como medida de praticidade na operacionalização da coleta do material.

Os modelos matemáticos selecionados foram submetidos à análise gráfica para os valores preditos dos nutrientes e a distribuição da normalidade dos resíduos através do teste de Shapiro-Wilks (ROYSTON, 1992).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Concentrações de Nutrientes no Lenho

As folhas são os tecidos vegetais mais comumente utilizados para análises químicas e estudo nutricional de populações florestais, por serem órgãos que melhor expressam o teor de nutrientes na planta. Há, contudo, relativamente poucos trabalhos na literatura, onde são citados outros tecidos vegetais como casca e lenho, por exemplo, que dêem suporte para a determinação da nutrição de plantas, embora, possam ser utilizados na ausência de tecidos padrões.

O objetivo deste trabalho foi o dimensionamento da exportação de biomassa e nutrientes através de adaptação e desenvolvimento de equações ajustadas ao SisPinus. A concentração de nutrientes nos componentes casca e lenho, fornece informações úteis para se estimar a quantidade que é retirada do sistema pelas operações de desbastes e colheita final.

A composição química dos tecidos é afetada por fatores internos e externos às árvores. Por isso, a amostragem necessita ser bem definida quanto à época, tipo de tecido, posição na árvore e representatividade da população de árvores (GONÇALVES, 1995). A época de amostragem deve ser aquela onde a

estabilidade dos teores dos nutrientes no interior das árvores é maior.

Na Tabela 3, observa-se que a concentração dos nutrientes no lenho segue a seguinte ordem decrescente: N>Ca>K>Mg>P. Normalmente, esta mesma ordem de concentração dos nutrientes é verificada nas folhas das principais espécies florestais cultivadas, com alteração de posição, apenas para os elementos K e Ca. Essa mesma seqüência foi encontrada em árvores de *P. taeda* por (RODRIGUES 2004), diferindo quanto aos valores de cálcio e potássio, segundo a ordem verificada por (GONÇALVES 1995), que seria: N>K>Ca>Mg>P.

TABELA 3. Concentração média (6 árvores por idade), da base até altura comercial, de nutrientes no lenho de *P. taeda*, aos 8, 12, 18 e 23 anos de idade e erro padrão da média.

CONCENTRAÇÕES	N $\pm$ s ($\bar{y}$)	P $\pm$ s ($\bar{y}$)	K $\pm$ s ($\bar{y}$)	Ca $\pm$ s ($\bar{y}$)	Mg $\pm$ s ($\bar{y}$)
Idade (anos)	-----mg/g-----				
8	2,00 $\pm$ 0,04	0,08 $\pm$ 0,00	0,55 $\pm$ 0,01	0,63 $\pm$ 0,00	0,15 $\pm$ 0,01
12	1,23 $\pm$ 0,03	0,20 $\pm$ 0,02	0,57 $\pm$ 0,02	0,63 $\pm$ 0,01	0,15 $\pm$ 0,00
18	1,31 $\pm$ 0,02	0,08 $\pm$ 0,00	0,34 $\pm$ 0,01	0,53 $\pm$ 0,02	0,17 $\pm$ 0,01
23	0,91 $\pm$ 0,02	0,12 $\pm$ 0,01	0,34 $\pm$ 0,01	0,57 $\pm$ 0,01	0,17 $\pm$ 0,00

A inversão de concentração dos elementos K e Ca pode estar associada à mobilidade dos elementos em questão, nas folhas a maior concentração do potássio está relacionada à distribuição do elemento mais móvel dos órgãos mais velhos para os mais jovens e no caso do cálcio esta mobilidade praticamente não ocorre.

Ao contrário do nitrogênio e do potássio, o cálcio, por ser um elemento pouco móvel, apresentou-se praticamente estável nas diversas idades. Os elementos nitrogênio e o potássio, como são requisitados em grande quantidade nos tecidos mais jovens, são facilmente translocados para estes sítios de crescimento, e, portanto apresentam concentrações declinantes nos tecidos mais velhos. Outra hipótese dessa diminuição na concentração pode estar associada ao efeito diluição, que ocorre normalmente mediante a um incremento de biomassa nos tecidos, sem o aumento na mesma ordem dos nutrientes, devido à presença de alguma restrição ou limitação no fornecimento de determinado elemento.

As análises comparativas entre as concentrações dos nutrientes no lenho e casca contribuem para definição de quais nutrientes, em que componentes estão locados, que proporções se apresentam nos tecidos vegetais e, desta maneira, contribuindo na estimativa da exportação durante a colheita, com posterior efeito deletério nas condições da fertilidade natural dos solos, em plantações de *P. taeda*.

4.2 Concentrações de Nutrientes na Casca

Comparando as Tabelas 3 e 4, pode-se observar que as concentrações dos nutrientes, de modo geral, são em média aproximadamente duas vezes mais elevadas na casca que no lenho, o que indica que a casca é um sítio de acúmulo de nutrientes e que a sua retirada no momento da exploração exerce importante influência na fertilidade do solo. A casca nesse caso foi representada pela parte morta (suberificada) e pelo floema, cuja principal função é o transporte de nutrientes através da seiva elaborada, até os órgãos de crescimento.

Da mesma forma que no lenho, o componente casca, manteve a mesma relação de concentração dos nutrientes, obedecendo a seguinte ordem decrescente: $N > Ca > K > Mg > P$, havendo uma inversão apenas para o nutriente K pelo Ca nas idades de 8 e 12 anos. Esta evidência pode estar relacionada ao fato da mobilidade do elemento K, sendo translocado dos tecidos mais velhos para os mais jovens, onde sua presença é mais requisitada, como é o caso, principalmente nas folhas, durante o processo fotossintético das plantas. Pela composição da casca, juntamente com o floema, que apresenta a função de transporte de solutos e nutrientes absorvidos até as regiões de crescimento, sua concentração nutricional pode estar associada à condição em que se encontrava no momento da coleta do material em campo.

Pela análise das concentrações, na Tabela 4, pode-se inferir que, a casca seria o componente da planta, depois das folhas e galhos, que deveria permanecer no campo após a colheita, com o intuito de se manter um melhor equilíbrio dos nutrientes no solo e a disponibilidade desses às plantas, visando a sustentabilidade da produção florestal em rotações sucessivas. É interessante ressaltar o fato de que a relação da biomassa do lenho para casca é de aproximadamente 10:1, mas se compararmos os conteúdos dos nutrientes do lenho em relação aos da casca esta relação é de aproximadamente 5:1, portanto significa que analisando peso por peso, a casca concentra cerca de duas vezes mais nutrientes que o lenho.

TABELA 4. Concentração média (6 árvores por idade), da base até altura comercial, de nutrientes na casca de *P. taeda*, aos 8, 12, 18 e 23 anos de idade e erro padrão da média.

CONCENTRAÇÕES	N $\pm$ s ($\bar{y}$)	P $\pm$ s ($\bar{y}$)	K $\pm$ s ($\bar{y}$)	Ca $\pm$ s ($\bar{y}$)	Mg $\pm$ s ($\bar{y}$)
Idade (anos)	-----mg/g-----				
8	4,43 $\pm$ 0,51	0,30 $\pm$ 0,03	1,80 $\pm$ 0,21	1,27 $\pm$ 0,15	0,39 $\pm$ 0,04
12	3,74 $\pm$ 0,12	0,26 $\pm$ 0,02	1,79 $\pm$ 0,11	1,55 $\pm$ 0,08	0,32 $\pm$ 0,01
18	3,94 $\pm$ 0,14	0,24 $\pm$ 0,02	0,65 $\pm$ 0,04	0,96 $\pm$ 0,06	0,42 $\pm$ 0,02
23	3,21 $\pm$ 0,05	0,20 $\pm$ 0,01	0,90 $\pm$ 0,03	2,01 $\pm$ 0,08	0,48 $\pm$ 0,02

Os elementos K e Ca, macronutrientes essenciais ao crescimento das plantas, encontrados na casca, são exportados através da colheita em quantidades que, dependendo das condições naturais destas bases no solo podem comprometer a produtividade já na segunda rotação da cultura do gênero *Pinus*. A

concentração mais elevada do nutriente cálcio, no componente casca, em relação à maioria dos nutrientes, está associada a sua imobilidade, contrário dos demais elementos que são acumulados na casca como forma de estoque estratégico para serem utilizados em momentos de baixa oferta pelo solo, através da ciclagem bioquímica. A casca por se tratar de um órgão composto principalmente por tecidos mortos confere excelente capacidade higroscópica, alta concentração nutricional e baixa densidade básica, dessa forma, apresenta condições favoráveis ao desenvolvimento de agentes decompositores com rápida liberação dos nutrientes às plantas quando mantida sob o terreno. A quantidade de nutrientes disponibilizados é função da velocidade de decomposição dos resíduos florestais, que por sua vez, depende, dentre outros fatores, da composição da serapilheira, da quantidade de água da chuva, da temperatura e da qualidade do sítio (FERREIRA, 1993; REISSMANN & WISNIEWSKI, 2000).

Os nutrientes, nitrogênio, fósforo e potássio apresentam concentrações decrescentes com o avanço da idade, o que já não ocorre com tanta nitidez para o nutriente magnésio e cálcio. Esta evidência pode se justificar por se tratar dos três primeiros nutrientes serem mais móveis e são translocados para os sítios de maior crescimento e, portanto de maior necessidade. Quanto ao cálcio, sua imobilidade é citada por muitos autores, ficando mais concentrados justamente nos tecidos mais velhos devido à participação deste elemento na estrutura da parede celular (BURGER & RICHTER, 1991).

4.3 Estimativa da Biomassa e do Conteúdo de Nutrientes no Lenho

Embora a concentração dos nutrientes nos tecidos das plantas possa indicar deficiências nutricionais, muitas vezes observamos um fenômeno denominado efeito diluição, que levam a interpretação insatisfatória dos resultados. De acordo com (FERREIRA, 1989; REISSMANN & WISNIEWSKI, 2000), o emprego de conteúdos de nutrientes é uma abordagem mais consistente e freqüentemente mais relacionada com variações de fertilidade ou adição de nutrientes ao solo. Diversos autores defendem e justificam o uso de vários métodos e diagnósticos para determinarem as deficiências nutricionais em plantas, mesmo sabendo que isto demande maior complexidade e custos, porém lhes garantem maior confiabilidade e precisão em suas recomendações para correções das deficiências nutricionais.

A concentração dos nutrientes foi decrescente com o avanço da idade, em termos de conteúdo, esta condição apresenta-se de maneira inversa (Tabela 5), pois o aumento substancial no acúmulo de biomassa corrobora para esta constatação.

Observa-se na Tabela 5 que o nitrogênio é o nutriente que se acumula em maior quantidade na biomassa do lenho, representando sozinho, praticamente a mesma quantidade que o somatório do acúmulo dos elementos P, K, Ca e Mg. O

nitrogênio apresentou uma variação de acúmulo de aproximadamente três vezes, da idade de oito para 23 anos, para o fósforo, neste mesmo período a variação no acúmulo foi cerca de 12 vezes. Isto é um indicativo da maior necessidade do nutriente fósforo em relação ao nitrogênio, nas funções vitais e de crescimento, nas idades mais avançadas do povoamento. Os nutrientes potássio, cálcio e magnésio neste período tiveram seus conteúdos acrescidos cerca de 4,5, 7 e 8 vezes, respectivamente. Há de se considerar, contudo, que estes aumentos no acúmulo podem não estar totalmente vinculados somente ao fator idade, uma vez que a procedência do material de cada idade ocorreu em sítios de diferentes localidades e com diferentes disponibilidades de nutrientes.

O incremento percentual no acúmulo de biomassa do lenho de oito para 12 anos foi significativamente maior do que no período dos 12 para 18 anos e do 18º para o 23º ano, correspondendo respectivamente, a um acréscimo de biomassa de 131,7%, 84,8% e 64,2%, embora o incremento absoluto de biomassa tenha sido mais expressivo para as árvores com idade mais avançadas (Tabela 5).

Este fato pode estar associado às condições de manejo a que foram submetidas às árvores, respondendo, diretamente aos efeitos dos desbastes, onde com o passar do tempo e um menor número de árvores por hectare ocasionou uma melhor condição de crescimento em diâmetro que por sua vez resultou num maior incremento de volume.

TABELA 5. Acúmulo médio de nutrientes (g) e peso da biomassa (kg) por árvore, no lenho, nas idades de 8, 12, 18 e 23 anos e erro padrão da média.

Idade (anos)	N $\pm$s ($\bar{y}$)	P $\pm$s ($\bar{y}$)	K $\pm$s ($\bar{y}$)	Ca $\pm$s ($\bar{y}$)	Mg $\pm$s ($\bar{y}$)	Biomassa (Kg/árv.)$\pm$s ($\bar{y}$)
	-----g/árvore-----					
8	127,0 $\pm$ 22,2	4,4 $\pm$ 0,8	31,7 $\pm$ 4,3	37,8 $\pm$ 4,4	9,0 $\pm$ 1,1	62,5 $\pm$ 9,9
12	180,7 $\pm$ 24,4	28,4 $\pm$ 8,8	74,3 $\pm$ 6,6	93,0 $\pm$ 8,2	20,9 $\pm$ 2,3	144,9 $\pm$ 12,5
18	343,3 $\pm$ 30,4	19,3 $\pm$ 2,4	83,0 $\pm$ 6,6	142,4 $\pm$ 10,0	44,4 $\pm$ 4,9	267,8 $\pm$ 25,4
23	394,1 $\pm$ 52,4	48,5 $\pm$ 7,1	143,2 $\pm$ 16,2	249,5 $\pm$ 27,0	75,0 $\pm$ 10,3	439,7 $\pm$ 47,6

O fato do acúmulo de fósforo aos 18 anos ter sido inferior aos 12 anos pode estar associado às diferenças no grau de fertilidade dos solos onde foram coletadas as amostras. Fato semelhante pode ter ocorrido com o nutriente potássio, na idade de 18 anos, porém com menor intensidade do que o fósforo, uma vez que o esperado seria um acúmulo maior que às 83,0 g/árvore.

Na Tabela 6, são apresentados os modelos matemáticos que estimam o conteúdo dos nutrientes no lenho de *P. taeda*. Observa-se que os coeficientes de determinação (R^2), para os modelos que estimam os nutrientes ficaram compreendidos entre 0,9564 e 0,9996 e o maior valor do erro padrão da estimativa foi de 13,15 % para o modelo que estimou o potássio, enquanto que para o elemento fósforo foi de 7,93 %, demonstrando a precisão dos modelos estabelecidos.

Observa-se que os modelos que estimaram o elemento nitrogênio são mais complexos e demandará maior trabalho de amostragem em relação aos demais nutrientes, devido, provavelmente, ao maior grau de complexidade do N em manifestar sua resposta em *P. taeda*. HAAG (1983), afirma que às vezes a aplicação de N tem se mostrado prejudicial ao desenvolvimento das árvores. Essa afirmação pode ter relação com os efeitos negativos do nitrogênio sobre a associação da micorriza com a raiz quando aplicado em quantidades elevadas. Outra possibilidade é a disponibilidade do nitrogênio através de fontes alternativas de fornecimento às plantas, pela decomposição da matéria orgânica e entrada no sistema via precipitação pluviométrica. É interessante ressaltar o fato de que a relação da biomassa do lenho para casca é de aproximadamente 10:1, mas se compararmos os conteúdos dos nutrientes do lenho em relação aos da casca esta relação é de aproximadamente 5:1, portanto significa que analisando peso por peso, a casca concentra cerca de duas vezes mais nutrientes que o lenho.

O polinômio para a determinação do nitrogênio no lenho que gerou alto índice de precisão é composto por nove termos, indicando interação com todos os demais nutrientes, enquanto que para os elementos fósforo e magnésio, apenas dois e um termos são necessários, respectivamente, o que por si só traduz um maior grau de complexidade, demanda de tempo para coleta em campo, custos de análises e determinações em laboratório.

Na Tabela 6 observa-se que para a estimativa do conteúdo total de nitrogênio, o modelo matemático utilizou como variável independente, os conteúdos de nitrogênio, potássio cálcio e magnésio, em dois segmentos, e o fósforo, em apenas um segmento.

TABELA 6. Equações para determinação indireta dos nutrientes (g) acumulados no lenho de *Pinus taeda*, coeficientes de determinação (R^2), erro padrão da estimativa (Sxy %), valores de F da análise de regressão, teste de Shapiro Wilks (W) e valores de $P < W$.

Nutrientes	Equações	R^2	Sxy %	F	W	$P < W$
Nitrogênio	$N_T = 6,3720 \times N5 + 0,0238 \times (N \text{ base})^2 - 11,9336 \times K3 + 6,4713 \times Ca4 - 6,8791 \times Mg \text{ base} - 3,3301 \times (P3)^2 + 3,9417 \times (K2)^2 - 0,5030 \times (Ca3)^2 + 3,9465 \times MgT$	0,9996	10,03	4745,77	0,9831	0,9460
Fósforo	$P_T = 7,0845 \times P3 + 6,6692 \times P5$	0,9667	7,93	319,58	0,9402	0,1648
Potássio	$K_T = - 8,5675 + 9,1579 \times K5 + 0,2641 \times CaT$	0,9736	13,15	387,65	0,9522	0,3023
Cálcio	$Ca_T = 1,6387 + 7,5308 \times Ca4 - 28,1487 \times Mg4 + 0,0403 \times (Ca \text{ base})^2 - 0,1815 \times (Mg \text{ base})^2 + 3,2009 \times MgT$	0,9953	9,47	767,69	0,9526	0,3076
Magnésio	$Mg_T = 17,2470 \times Mg5$	0,9564	10,08	504,76	0,9425	0,1855

N_T = N Total; N 1 = N base - 1,0 m; N 2 = N 1,0 m - 1,3 m; N 3 = N 1,3 m - 2,0 m; N 4 = N 2,0 m - 3,0 m; N 5 = N 3,0 - 4,0 m.

Idem para P, K, Ca e Mg.

W: teste de Shapiro-Wilks para normalidade dos resíduos; $P < W$: P-valor do teste de Shapiro-Wilks

A maior simplicidade nos modelos utilizados para a determinação dos elementos fósforo, potássio e magnésio, deve estar relacionada com o grau de importância e necessidade destes nutrientes para o crescimento do *P. taeda*, por sua maior homogeneidade quantitativa nas diferentes posições das árvores e independências com relação aos demais nutrientes.

Os polinômios que estimam as variáveis dependentes, no caso os conteúdos de nutrientes, são compostos por modelos constituídos com ou sem constantes, para os casos de não possuírem a constante, as variáveis independentes devem apresentar valores superior a zero para que a equação não seja zerada.

A variável independente utilizada na estimativa do conteúdo total do fósforo foi o próprio conteúdo de P, no segmento a 1,3 m e 3,0 m, para o potássio, utilizou-se o conteúdo de K a 3,0 m e o Ca total. As variáveis independentes utilizadas para a determinação do conteúdo de cálcio total no lenho foram o Ca e Mg na base e a 2,0 m e Mg total, e, para a estimativa do conteúdo de magnésio total utilizou-se o Mg a 3,0 m. Nota-se que os coeficientes de determinação que estimaram os conteúdos de nutrientes no lenho apresentaram valores que dão boa confiabilidade aos modelos.

Os resultados apresentados na Tabela 7 foram obtidos com a utilização das equações apresentadas na Tabela 6, inserindo-se os valores das variáveis independentes. Esses valores foram calculados por classes de diâmetro, devido à

alta relação entre o diâmetro e o conteúdo de nutriente.

TABELA 7. Conteúdo de nutrientes no lenho (g/árvore) por classe de diâmetro, calculado em função das equações selecionadas, para *Pinus taeda*.

Classe de diâmetro	N	P	K	Ca	Mg
	----- g/árvore -----				
10,0 – 15,0	66,36	2,68	31,38	26,37	10,22
20,0 – 24,9	175,67	12,53	50,39	68,76	26,15
25,0 – 29,9	276,86	31,34	90,23	144,59	47,51
30,0 – 34,9	403,01	38,21	104,88	167,34	62,76
35,0 – 40,0	542,56	35,32	186,39	322,91	118,63
Média	292,89	24,02	92,66	145,99	53,05

Para o cálculo da exportação de nutrientes através do uso do SisPinus foi necessário relacionar o conteúdo de nutrientes na árvore com os respectivos diâmetros. Assim, foram ajustadas equações polinomiais de segundo grau e exponenciais. Com exceção do nitrogênio que apresentou uma ligeira superioridade, nas menores e maiores classes de diâmetros mediante a utilização da equação polinomial, para todos os demais nutrientes, os modelos exponenciais foram mais precisos.

Na Tabela 8 são apresentadas as equações desenvolvidas para a estimativa de nutrientes exportados, através da inserção dessas equações ao sistema SisPinus.

TABELA 8. Equações para estimativa de exportação de nutrientes no lenho de *P. taeda*, para conexão ao sistema SisPinus.

Nutrientes	Equações	R ²	Pr > F
Nitrogênio	$N = 0,2442 \times D^{2,1259}$	0,99	0,0001
Fósforo	$P = 0,1085 \times D^{1,6373}$	0,96	0,0080
Potássio	$K = 0,0333 \times D^{2,3649}$	0,98	0,0020
Cálcio	$Ca = 0,0068 \times D^{2,9573}$	0,99	0,0015
Magnésio	$Mg = 0,0015 \times D^{3,0517}$	0,99	0,0011

Devido a pouca superioridade na precisão na estimativa do nitrogênio com a equação polinomial e para padronização das equações, optou-se por utilizar para todos os nutrientes, as equações exponenciais.

As equações para estimativa dos nutrientes apresentaram coeficientes de determinação igual ou superior a 0,96, o que garante uma boa estimativa para os conteúdos dos nutrientes exportados.

De posse dos modelos selecionados e procedendo-se sua inserção ao estimador de biomassa do SisPinus, torna-se possível à obtenção da estimativa dos nutrientes exportados durante as intervenções de desbastes e colheita final da floresta.

Observa-se na Tabela 9 a exportação dos nutrientes, obtida através da utilização das equações desenvolvidas e inseridas ao SisPinus

TABELA 9. Simulação de exportação de nutrientes pelo lenho (kg/ha) com utilização das equações selecionadas e de posse do simulador SisPinus para *P. taeda*, em função da idade de desbaste (8, 12, 16 anos e corte final, aos 20 anos).

Idade (anos)	Situação	N	P	K	Ca	Mg
8	Total	148,4	16,8	39,5	42,4	12,2
	Remanescente	94,1	10,6	25,1	26,9	7,7
	Removido	54,3	6,2	14,4	15,5	4,5
12	Total	163,9	16,3	46,5	58,4	17,2
	Remanescente	129,3	12,5	37,2	48,1	14,2
	Removido	34,6	3,8	9,3	10,3	3,0
16	Total	184,0	16,4	55,1	79,0	23,8
	Remanescente	119,1	10,3	36,1	53,4	16,1
	Removido	64,9	6,1	19,0	25,6	7,7
20	Total	140,0	11,7	43,2	67,0	24,0
	Remanescente	-	-	-	-	-
	Removido	140,0	11,7	43,2	67,0	24,0
Total	Removido	293,2	27,8	85,9	118,4	39,2

A título de exemplificação, para estimativa de exportação de nutrientes fez-se uso das equações apresentadas na Tabela 8, em situação simulada de uma

floresta com índice de sítio de 21,0 m, e desbastes previstos para 8, 12, e 16 anos, com corte final aos 20 anos de idade. O planejamento para o exemplo previu a retirada de 577, árvores no primeiro desbaste e 291 para o segundo e terceiro desbaste. Os resultados dessa simulação estão apresentados na Tabela 9.

A exportação de nutrientes para a idade de 8 anos é cerca de 50% maior que para a idade de 12 anos, isso se explica devido a maior quantidade de árvores que são desbastadas naquela idade. Outra explicação para esta constatação deve-se, provavelmente, ao fato da maior presença de tecidos jovens, com maior concentração de nutrientes.

A maior exportação de nutrientes aos 16 anos em relação aos 12 anos deve-se também ao maior volume de biomassa acumulado, e, conseqüentemente ao maior acréscimo do conteúdo de nutrientes nas árvores.

Em termos de nutrientes exportados a seguinte ordem decrescente foi observada: nitrogênio, cálcio, potássio, magnésio e fósforo, esta ordem está de acordo com a encontrada por (VALERI 1988).

4.4 Estimativa da Biomassa e do Conteúdo de Nutrientes na Casca

O componente casca analisado foi constituído pela porção externa, tecidos mortos, e a casca interna composta por tecidos vivos, no qual está incluído o floema funcional.

Na tabela 10, são apresentados os acúmulos dos nutrientes e biomassa nas árvores nas diferentes idades em que se inseriu o estudo. Da mesma forma que no lenho, as concentrações dos nutrientes na casca são de modo geral decrescentes para as idades mais avançadas, mas em termos de acúmulo de nutrientes, estes são maiores nas árvores mais velhas.

TABELA 10. Acúmulo médio de nutrientes (g) por árvore e peso da biomassa (kg) por árvore, na casca, nas idades de 8, 12, 18 e 23 anos e erro padrão da média.

Idade (anos)	N $\pm$s ($\bar{y}$)	P $\pm$s ($\bar{y}$)	K $\pm$s ($\bar{y}$)	Ca $\pm$s ($\bar{y}$)	Mg $\pm$s ($\bar{y}$)	Biomassa (Kg/árv.)$\pm$s($\bar{y}$)
g/árvore						
8	22,6 $\pm$ 3,3	1,5 $\pm$ 0,3	7,5 $\pm$ 1,2	8,8 $\pm$ 1,8	1,7 $\pm$ 0,2	6,5 $\pm$ 1,0
12	65,9 $\pm$ 8,1	3,8 $\pm$ 0,5	25,7 $\pm$ 2,9	33,7 $\pm$ 5,7	5,2 $\pm$ 0,5	20,7 $\pm$ 2,1
18	73,4 $\pm$ 8,5	3,2 $\pm$ 0,2	8,7 $\pm$ 1,1	31,8 $\pm$ 11,5	5,8 $\pm$ 0,5	23,8 $\pm$ 4,1
23	112,3 $\pm$ 6,1	6,0 $\pm$ 1,2	23,7 $\pm$ 3,2	79,3 $\pm$ 13,5	13,7 $\pm$ 2,4	37,9 $\pm$ 8,4

Em termos de quantidade de biomassa no componente casca, os valores são muito aquém que os contidos no componente lenho, sendo encontrado basicamente 12% na casca contra 88% no lenho.

Na retirada de árvores de um povoamento num primeiro desbaste, o que ocorre em média aproximadamente aos oito anos de idade, é extraído do sistema um volume ou uma quantidade de biomassa de casca relativamente pequena em relação aos outros desbastes e principalmente em relação ao corte final.

Considerando-se que os desbastes, em muitos casos ocorrem em três etapas durante o ciclo da floresta e cuja intensidade é de aproximadamente 400 a 600 árvores por hectare, na primeira intervenção, ainda que se retire do sistema um pequeno volume de biomassa de casca, em termos de nutrientes, os valores são expressivos, e, portanto ambos deverão ser considerados nos planos de manejo nutricional, devido à rápida decomposição da casca e a imediata disponibilização dos nutrientes às plantas.

Contudo, é no corte final da floresta que as maiores quantidades de biomassa de casca e nutrientes são exportados do sistema florestal e a sua reposição é imprescindível para a sustentabilidade florestal.

Os nutrientes nitrogênio e cálcio são os elementos mais expressivamente exportados através da casca e no caso do cálcio, potássio e magnésio poderão expressar as maiores deficiências na nutrição do *Pinus*.

Para alguns nutrientes, o maior acúmulo de nutrientes na casca indica que provavelmente está sendo acumulado como forma de estoque estratégico e que serão utilizados para manutenção de novos crescimentos. Para o caso do cálcio, o seu maior acúmulo na casca deve-se provavelmente à sua participação na estrutura da parede celular, e pelo fato da casca conter parte do floema, uma estrutura especializada na condução de seiva elaborada aos órgãos das árvores (BURGER & RICHTER, 1991).

O maior acúmulo percentual de nutrientes na casca enfatiza as recomendações de diversos autores, como citado por (FERREIRA et al. 2001) que preconiza a necessidade da manutenção das cascas no campo, como medida de minimizar os efeitos de empobrecimento do solo pela extração florestal.

Na tabela 11 são apresentadas as equações que foram selecionadas entre tantas contidas no (Anexo 11) onde se levou em consideração além do coeficiente de correlação, o erro padrão da estimativa, a homogeneidade e distribuição dos resíduos e valor de F da análise de variância, significativo em nível de 1%.

Da mesma forma que no lenho, as equações selecionadas para estimativa dos nutrientes na casca, no caso do nutriente nitrogênio, mostrou-se ser mais complexa que para os demais nutrientes, entretanto mais simples que a similar equação para determinação do nitrogênio no lenho. Esta evidência pode estar associada a maior homogeneidade dos nutrientes ao longo das árvores e maior estabilidade dos nutrientes na casca, por ser constituída principalmente por tecidos mortos e, portanto com menor intensidade da ciclagem bioquímica.

Observa-se na Tabela 11 que para todos os nutrientes da casca, os coeficientes de correlação foram extremamente elevados variando de 0,9614 para o fósforo a 0,9925 para o nitrogênio, o que confere uma alta confiabilidade nos modelos. O erro padrão da estimativa para todos os nutrientes, também corrobora para essa constatação apresentando valores extremamente baixos, sendo 12,16 o maior erro para o elemento nitrogênio.

Nota-se na Tabela 11 que para todos os nutrientes as equações são muito simplificadas, no caso dos nutrientes magnésio e fósforo, a determinação de apenas um nutriente e em uma única posição da árvore possibilita uma alta confiabilidade na estimativa.

O polinômio para estimativa do nitrogênio total é representado pela variável independente do nitrogênio na base e 3 m e magnésio a 2 m, para o fósforo a variável independente foi o próprio fósforo a 2 m de altura, o potássio e o cálcio

determinados pelos próprios elementos representados nas alturas de 1 e 3 m, e o magnésio a 3 m.

TABELA 11. Equações para determinação indireta dos nutrientes (g) acumulados na casca de *Pinus taeda*, coeficientes de determinação (R^2), erro padrão da estimativa (Sxy %) e valores de F da análise de regressão.

Nutrientes	Equações	R^2	Sxy %	F	W	P<W
Nitrogênio	$N_T = 6,9187 \times N5 + 0,0566 \times (N \text{ base})^2 + 25,2277 \times Mg4$	0,9925	12,16	931,02	0,9605	0,4476
Fósforo	$P_T = 11,1199 \times P4$	0,9614	1,5E-06	572,56	0,9697	0,6570
Potássio	$K_T = 11,6991 \times K2 + 7,4758 \times K5$	0,9765	1,94	457,41	0,9595	0,4278
Cálcio	$Ca_T = 5,0936 \times Ca2 + 9,0312 \times Ca5$	0,9888	6,43	969,06	0,9482	0,2471
Magnésio	$Mg_T = 12,3608 \times Mg5$	0,9849	0,23	503,35	0,9794	0,8850

N_T = N Total; N 1 = N base - 1,0 m; N 2 = N 1,0 m - 1,3 m; N 3 = N 1,3 m - 2,0 m; N 4 = N 2,0 m - 3,0 m; N 5 = N 3,0 - 4,0 m.

Idem para P, K, Ca e Mg.

W: teste de Shapiro-Wilks para normalidade dos resíduos; P<W: P-valor do teste de Shapiro-Wilks

Para todas as equações selecionadas, os valores de F da análise de variância foram superiores a 450, o que evidencia a alta significância dos modelos. Outra grande constatação da confiabilidade dos modelos está demonstrada na normalidade dos resíduos com valores acima de 94%.

Na Tabela 12 são apresentados os conteúdos de nutrientes estimados através das equações selecionadas na Tabela 11 e em função dos conteúdos por classe dos diâmetros encontrados nas análises químicas determinadas nas árvores coletadas.

TABELA 12. Conteúdo de nutrientes na casca (g/árvore) por classe de diâmetro, calculado em função das equações selecionadas, para *Pinus taeda*.

Classe de diâmetro	N	P	K	Ca	Mg
	----- g/árvore -----				
10,0 – 15,0	14,63	0,65	5,07	5,39	1,69
20,0 – 24,9	34,08	2,27	10,76	16,57	3,10
25,0 – 29,9	63,37	3,16	15,14	31,08	6,04
30,0 – 34,9	93,67	4,34	23,22	59,71	9,44
35,0 – 40,0	183,16	9,08	25,53	107,85	17,67
Média	77,78	3,90	15,94	44,12	7,59

Na Tabela 13 são apresentadas as equações para estimativa de nutrientes desenvolvidas a partir dos dados da Tabela 12, constando o diâmetro, como a única variável independente.

Os valores dos coeficientes de correlação foram extremamente elevados, praticamente muito próximos de 1, o modelo que estima o fósforo apresentou o menor valor 0,98 que também confere alta confiabilidade na estimativa, indicando alta correlação entre as variáveis associadas. Para todos os modelos, o valor de F da análise de variância foi significativo em nível de 1%.

TABELA 13. Equações para estimativa de nutrientes na casca de *P. taeda*.

Nutrientes	Equações	R ²	Pr > F
Nitrogênio	$N = 0,0004 \times D^{3,6098}$	0,99	0,0006
Fósforo	$P = 0,0001 \times D^{3,3516}$	0,98	0,0021
Potássio	$K = 0,0760 \times D^{1,6148}$	0,99	0,0003
Cálcio	$Ca = 0,0001 \times D^{3,9058}$	0,99	0,0001
Magnésio	$Mg = 0,0001 \times D^{3,5435}$	0,99	0,0005

Para visualização de estimativa de exportação de nutrientes na casca de *P. taeda*, Tabela 14, utilizou-se das equações selecionadas da Tabela 13 acoplando-as ao sistema SisPinus e como exemplo ilustrativo considerou-se uma floresta com três desbastes (8, 12 e 16 anos e corte final aos 20 anos) com remoção de 577 árvores no primeiro desbaste e 291 para os demais.

TABELA 14. Exportação de nutrientes pela casca (kg/ha) com utilização das equações selecionadas, de posse do simulador SisPinus para *P. taeda*, em função da idade de desbaste (8, 12, 16 anos e corte final aos 20 anos).

Idade (anos)	Situação	N	P	K	Ca	Mg
		-----Kg/ha-----				
8	Total	15,5	1,9	11,0	8,9	3,2
	Remanescente	9,8	1,2	7,0	5,6	2,0
	Removido	5,7	0,7	4,0	3,3	1,2
12	Total	25,4	2,9	10,6	15,7	5,2
	Remanescente	21,7	2,4	8,2	13,6	4,4
	Removido	3,7	0,5	2,4	2,1	0,8
16	Total	39,7	4,2	10,7	26,3	8,0
	Remanescente	27,8	2,9	6,7	18,7	5,6
	Removido	11,9	1,3	4,0	7,6	2,4
20	Total	36,7	3,8	7,6	25,2	7,3
	Remanescente	-	-	-	-	-
	Removido	36,7	3,8	7,6	25,2	7,3
Total	Removido	58,0	6,3	18,0	38,2	11,7

A ordem de exportação dos nutrientes através da casca em *P. taeda* foi mais expressiva para o nutriente nitrogênio, cálcio, potássio, magnésio e fósforo, mantendo a mesma ordem encontrada para o lenho.

Apesar da quantidade de nutrientes exportados na casca ser inferior as do lenho, não se deve menosprezar a sua importância na nutrição e sustentabilidade florestal, uma vez que devido à constituição física daquele componente a decomposição e liberação dos nutrientes são mais aceleradas que as do lenho.

Quanto à variação dos nutrientes exportados nas diferentes idades, é válida a mesma explicação dada ao componente lenho, ou seja: a exportação dos nutrientes, para a idade de oito anos é cerca de 50% maior que para a idade de 12 anos isso se explica devido a maior quantidade de árvores que são desbastadas na idade de oito anos. A maior exportação de nutrientes aos 16 anos em relação aos 12 anos deve-se também ao efeito exponencial das equações e ao maior volume atingido, e conseqüente, ao maior acréscimo do conteúdo de nutrientes nas árvores.

5 CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos pode-se concluir que:

A utilização do estimador de biomassa SisPinus permite a estimativa dos nutrientes exportados para os diferentes regimes de manejo (desbastes e corte final), idades e produtividades, com pequenos ajustes, bastando apenas a inserção das equações previamente selecionadas ao sistema SisPinus.

A amostragem aleatória em povoamentos *de P. taeda* em diferentes idades, estratos vegetativos das árvores (dominante, co-dominante e dominada), diferentes condições de manejo e diferentes produtividades, permite obter equações de estimativa de acúmulo de nutrientes com altos índices de correlações e confiabilidade.

A obtenção de amostragem em segmentos até 4,0 metros de altura possibilita determinar o conteúdo total dos nutrientes nas árvores, sem necessidade de amostragens nos segmentos de posição mais elevada em relação ao topo da árvore.

A determinação do nutriente nitrogênio apresenta um maior grau de complexidade e requer basicamente que outros macros nutrientes também sejam determinados, o que demanda maiores custos amostrais e laboratoriais.

As concentrações de nutrientes em *P. taeda* são mais expressivas nas árvores com idade menor, porém é nas idades mais avançadas que estão contidos a maior quantidade de nutrientes e, é nestas idades que os nutrientes são exportados do sistema florestal com maior intensidade através da colheita.

6 RECOMENDAÇÕES

Estudar a viabilidade técnica de remodelação das planilhas do estimador SisPinus, contemplando a inserção de equações para que possibilitem também estimar os nutrientes exportados.

Manter os resíduos da colheita florestal, como galhos, acículas e casca no interior dos talhões como forma de se preservar a produtividade dos sítios florestais.

Avaliar os conteúdos de nutrientes exportados na colheita da madeira e estudar forma de reposição dos mesmos visando a sustentabilidade dos solos florestais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALEMDAG, I. S. Manual of data collection and processing for the development of forest biomass relationships. **Petawawa National Forestry Institute**, 38 p. 1980.

ANDRAE, F. & KRAPPENBAUER, A. Inventário de um reflorestamento de Araucária de 17 anos em Passo Fundo, RS. Parte II: Inventário de nutrientes. In: **Pesquisas áustro-brasileiras**. 1973 – 1982 sobre *Araucária angustifolia*, *Podocarpus lamberti* e *Eucalyptus saligna*. Santa Maria, Universidade de Santa

Maria, p. 30 -55, 1983.

ATTIWILL, P. M. Nutrient cycling in *Eucalyptus obliqua* (L'Herit.) forest. III Growth, biomass, and net primary production. **Australian Journal of Botany**, Melbourne, v.27, n. 4, p. 439-458, 1979.

BALLONI, E. A.; JACOB, W. S.; SIMÕES, J. W. Resultados parciais de experimentação desenvolvida pelo setor de implantação florestal com diferentes espécies de *Pinus*. **Boletim Informativo IPEF**. Piracicaba, v. 6, n. 18, p. 1-117, jul. 1978.

BALLONI E. A. et al. Estratégias para a formação de florestas para energia. In: **Seminário de Abastecimento Energético Industrial com Recursos Florestais, 2.** São Paulo, 1982. *Palestras apresentadas*. São Paulo, Secretaria da Industria, Comércio, Ciência e Tecnologia, p. 1-25, 1982.

BARRICHELO, L. E. G.; BRITO, J. O. A Madeira de *Pinus taeda* como matéria-prima para celulose kraft. I. Influência dos teores de lenho. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 1978, Manaus. **Anais**. Manaus. 1978, v.3, p. 1-18, 1978.

BARRICHELO, L. E. G. **Estudo das características físicas, anatômicas e químicas da madeira de *P. caribaea* Morelet var. *bahamensis* (Griseb) Barret et Golfari para a produção de celulose kraft**. Piracicaba, 1979. 167 f. Tese (Livro Docência) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo.

BRITO, J. O. de; BARRICHELO, L. E. G.; COUTO, H. T. Z. do; MENDES, C. J.;

REZENDE, G. C. de. Estudo do comportamento de madeiras de eucalipto frente ao processo de destilação seca. **Brasil Florestal**: Boletim Técnico, Brasília, n. 8 , p. 5-36, ago. 1984.

BURGER, L. M.; RICHTER, H.G. **Anatomia da Madeira**. São Paulo: Nobel, p. 154. 1991.

BURKHART, H. E. Data collection and modeling approaches for forest growth and yield prediction. In: **Predicting Forest Growth and Yield: Current issues, future prospects**. University Washington, Seattle, p. 3 – 16, 1987.

CARVALHO, A. P. de; MENEGOL, O.; OLIVEIRA, E. B. de; MACHADO, S. A.; POTTER, R. O.; FASOLO, P. J. ; FERREIRA, C. A., BARTOZESCK, A. Efeitos de características do solo sobre a capacidade produtiva de *Pinus taeda*. **Boletim de Pesquisa Florestal**. Colombo, n. 39, p. 51-66, jul./dez. 1999.

CASTRO, C. F. de A. et al. Distribuição da fitomassa e nutrientes em talhões de *Pinus oocarpa* com diferentes idades. **IPEF**, 20: 61-74, 1980.

CASTRO, C. F. de A. **Distribuição da fitomassa acima do solo e nutrientes em talhões de *Pinus oocarpa* Schiede plantados no estado de São Paulo**. Piracicaba, 1984. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Departamento de Ciências Florestais, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo.

COWN, D. J. Wood density of *radiata pine*: its variation and manipulation. **New Zealand Journal of Forestry Science**, Rotorua, v. 19, p. 84-94, 1974b.

DANIELS, R. F., BURKHART, H. E., SPITLE, G. D., SOMERS, G. L. **Methods for modeling individual tree growth and stand development in seeded Loblolly pine stands**. Virginia, 1979.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Carta de Levantamento de Reconhecimento dos Solos do Paraná. Brasília, 1984.

FERREIRA, C. A.; SILVA, H. D. da; REISSMANN, C. B.; BELLOTE, A. F. J.; MARQUES, R. Nutrição de Pinus no Sul do Brasil – Diagnóstico e Prioridades de Pesquisa. EMBRAPA: **Documentos**, n. 60. Colombo, 23 p. nov. 2001.

FERREIRA, C. A. **Nutritional aspects of the management of *Eucalyptus* plantations on poor sandy soils of the Brazilian cerrado region**. D. Phil, Thesis. Green College, Michaelmas Term, University of Oxford. 193 p. 1989.

FERREIRA, C. A. **Nutrição Mineral de Florestas Plantadas**: o estado atual e as tendências da pesquisa e da prática. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 7. Curitiba. **Anais**. São Paulo: Sociedade Brasileira de Silvicultura, v. 3, p. 157-162. 1993.

FIELDING, J. M. The influence of silvicultural practices on wood properties. **International Review of Forestry Research**, New York, v. 2, p. 95-126, 1967.

FINGER, C. A. G. **Fundamentos de biometria florestal**. Santa Maria: UFSM/CEPEF/FATEC, 262 p. 1992.

FOELKEL, C. E. B.; BRASIL, M. A. M.; BARRICHELO, L. E. G. Métodos para Determinação da Densidade Básica de Cavacos para Coníferas e Folhosas. **IPEF**, Piracicaba, (2/3): 65 – 74, 1971.

FOELKEL, C. E. B. Celulose Kraft de *Pinus* spp. **O Papel**, São Paulo, v. 18, p. 49-67, 1976a.

FUPEF – Fundação de Pesquisas e Estudos Florestais. Plano de Manejo, Parque Municipal das Araucárias. Curitiba, 60 p. 1990.

GONÇALVES, J. L. M. Recomendações de Adubação para *Eucalyptus*, *Pinus* e Espécies Típicas da Mata Atlântica. ESALQ/USP. **Documentos Florestais**. Piracicaba, (15): p. 1-23, 1995.

GONÇALVES, J. L. M. & MORO, L. Uso da “cinza” de biomassa florestal como fonte de nutrientes em povoamentos puros de *Eucalyptus grandis*. **IPEF**, Piracicaba (48/49): 28:37, 1995.

GUIMARÃES, D. F. **Estimativa do volume de *Eucalyptus spp.* através de posições absolutas no tronco**. Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Florestais. Curitiba, 1985. (Tese de Mestrado).

HAAG, H. P. (Ed.). **Nutrição Mineral de *Eucalyptus*, *Pinus*, *Araucária* e *Gmelina* no Brasil**. Campinas: Fundação Cargill, 1983. 202 p.

HOCKER JÚNIOR, H. W. Certain aspects of climate as related to the distribution of Loblolly pine. **Ecology**. Washington, v. 37, n. 4, p. 824-834, 1956.

JONHSON, R. A.; WIECHERN, D. W. **Applied multivariate statistical analysis**. New Jersey, USA: Prentice Hall, 1998.

KOEHLER, C. W. **Variação estacional da deposição da serapilheira e de nutrientes em povoamentos de *Pinus taeda* na região de Ponta Grossa – PR**. Curitiba, 1989. 148 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrônômica) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

LASO GARICOITS, L. S. Estado nutricional e fatores do solo limitantes do crescimento do *P. taeda* L. em Telêmaco Borba PR. Curitiba, 1990. 128 f. Dissertação (Mestrado) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

LAVORANTI, O. J. **Estabilidade e adaptabilidade fenotípica através da reamostragem “Bootstrap” no modelo AMMI**. Piracicaba, 2003. 166 f. Tese (Doutorado em Estatística) – Departamento de Estatística, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

LEMOINE, B; RANGER, J.; GELPE, J. Interprétation et modélisation de la distribution des éléments nutritifs dans les différents compartiments de la biomasse d’ un jeune peulment de pin maritime. **Annales des Sciences Forestieres**, Paris, v.47, n. 2, p. 101-115, 1990.

LEMOINE, B; RANGER, J.; GELPE, J. Distributions qualitative des elements nutritifs dans un jeune peuplement de Pin maritime. **Annales des Sciences Forestieres**; Paris. v. 45, n.2, p. 95-116, 1988.

LUTZ, H. J. & CHANDLER, R. F. Jr. **Forest soils**, 9^a ed. New York, John Wiley & Sons. 514 p. 1961.

MÄLKÖNEN, E. Effect of whole-tree harvesting on soil fertility. **Silva Fennica**, 10 (3): 157-64, 1976.

MENEGOL, O. **Índice de sítio e relação entre altura e teores nutricionais das acículas em povoamentos de *Pinus elliottii* var. *elliottii* no segundo planalto paranaense**. UFPR. Curitiba, 1991. 74 f. Dissertação (Mestrado em engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

MORESCHI, J. C. **Levantamento da qualidade da madeira com plantações artificiais de *Pinus elliottii* nos estados do sul do Brasil**. UFPR. Curitiba, 1976. 162 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

MORO, L. & GONÇALVES, J. L. M. Efeito da “cinza” de biomassa florestal sobre a produtividade de povoamentos puros de *Eucalyptus grandis* e avaliação financeira. **IPEF**. Piracicaba (48/49): 18:27, 1995.

MURPHI, P. A. & BELTZ, R.C. Growth and yield shortleaf Pine in the west gulf region. New Orleans, **Forest Service**, (Research Paper SO, 169) 15 p. 1981.

MURPHI, P. A. & STERNITZKE, H. S. **Growth and Yield estimation for Loblolly Pine in West Gulf Region**. New Orleans, Forest Service, (Research Paper SO, 169) 8 p. 1979.

NICHOLLS, J. W. P. The effect of environment on wood characteristics. **Silvae Genetica**, Frankfurt, v. 20, n. 3, p. 67-73, 1971.

OHTA, S. The observation of tree ring structure by soft x-ray densiometry (III). The influence of fertilization on ring structure of *Pinus pinaster*. **Moduzai Gakaishi**, (S.I.), v. 27, p. 157-162, 1981.

OLIVEIRA, E. B. & OLIVEIRA Y. M. M. SisPinus – Desenvolvimento e Perspectivas. In: Encontro Brasileiro de Economia e Planejamento Florestal, 2. Curitiba, 1991. **Anais**. Curitiba, EMBRAPA/CNPQ. 1991. (no prelo).

OLIVEIRA, E. B.; OLIVEIRA, Y. M. M.; HAFLEY, W. L. Um software para predição do crescimento e da produção de *Pinus elliottii* e *P. taeda* sob manejo no sul do Brasil. **Notas científicas**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, 26 (1): p. 149-151, 1991.

OLIVEIRA, E. B.; PENTEADO, S. R. C.; OLIVEIRA, Y. M. M. ; IEDE, E. T. A Utilização do Software SisPinus no Planejamento da Produção de Povoamentos de *Pinus elliottii* Engel e *Pinus taeda* L. com Ataque de *Sirex noctilio* Fabricius, 1793 (Hymenoptera: Siricidae). In: Conferência Regional da Vespa da Madeira, *Sirex noctilio*, na América do Sul. **Anais**. Colombo, EMBRAPA/CNPQ, p. 161-167, 1992.

PINHEIRO, G. S. **Estimativa do peso de copas de *Pinus caribaea* Morelet variedade *hondurensis* Barr. et Golf. e *Pinus oocarpa* Shiede, através de parâmetros dendrométricos.** Curitiba, 1980. 105 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

POGGIANI, F.; COUTO, H. T. Z. do; SUITER FILHO, W. Biomass and nutrient estimates in short rotation intensively cultured plantation of *Eucalyptus grandis*. **IPEF**, Piracicaba, n. 23, p. 37-42, 1983.

PRITCHETT, W. L.; ZWINFORD, K. R. Response of slash pine to colloidal phosphate fertilization. **Soil Science of America Proceedings**. Madison, v. 25, n. 5, p. 397-400, 1961.

PRITCHETT, W. L. **Properties and management of forest soils**. New York, John Wiley & Sons, 1979, 500 p.

REIS, M. G. F., KIMMINS, J. P., REZENDE, G. C., BARROS, N. F. Acúmulo de biomassa em uma seqüência de idade de *Eucalyptus grandis* plantado no cerrado em duas áreas com diferentes produtividades. **Revista Árvore** 9 (2), p.149-162. 1985.

REISSMANN, C. B.; WISNIEWSKI, C. Aspectos nutricionais de plantios de *Pinus*. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. (Eds.). **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, p. 135-166, 2000.

REISSMANN, C. B. & ZÖTTL, H. W. Problemas nutricionais em povoamentos de *Pinus taeda* em áreas do arenito da formação Rio Bonito-Grupo Guatá. Rev. Set. **Ciências Agrárias**. 9: 75-80, 1987.

REISSMANN, C. B. Nährelement Versorgung und Wuchsleistung von Kiefernbeständen in Süd Brasilien. Freiburg i. Alemanha, 1981. 169 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal).

REISSMANN, C. B.; KOEHLER, C. W.; PAULA SOUZA, M. L. de. *Classificação de sítio para Araucaria angustifolia, Pinus taeda e Pinus elliottii no 2º Planalto do Paraná*: Subprojeto I. Nutrição. [S.l.]: **UFPR / FUNPAR / FINEP**, 1990. p. 1-286.

RIFGATTO, P. A. **Influência dos Atributos do Solo sobre a Produtividade e a Qualidade da Madeira de *Pinus taeda* para Produção de Celulose Kraft**. Curitiba, 2002. 120 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

RODRIGUES, C. M. **Efeitos da Aplicação de Resíduos da Indústria de Papel e Celulose nos Atributos do Solo, na Nutrição e Biomassa do *Pinus taeda* L.** Curitiba, 2004. 112 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

ROYSTON, P. **Approximating the Shapiro-Wilk W-Test for normality**, **Statistics and Computing**, 2, pág. 117 – 119. 1992.

ROSS, R. J. BRASHAW, B. K.; PELLERIN, R. F. Nondestructive evaluation of wood. **Forest Products Journal**, Madison, v. 48, n. 1, p. 14-19, jan. 1998.

RUDMAN, P.; MCCKINNELL, F. H. Effect of fertilizers on wood density of young *radiata pine*. **Australian Forest Research**, Canberra, v. 34, p. 170-178, 1975.

SARRUGE, J. R.; HAAG, H. P. Análise química em plantas. Piracicaba: ESALQ/USP. 56 p. 1974.

SATOO, T. Forest biomass. The Hague. Martinus Nighoff/Dr W. Junk, 152 p. 1982.

SCOLFORO, J. R. S. **Sistema Integrado para Predição e Análise Presente e Futura do Crescimento e Produção, com Otimização de Remuneração de Capitais, para *Pinus caribaea* var. *hondurensis***. Curitiba, 1990. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

SCOLFORO, J. R. S. **O sistema PISAPRO**. Lavras –MG. UFLA/FAEPE. 99p. 1976b.

SCOLFORO, J. R. S. & MACHADO, S. A. Curvas de Índice de sítio para plantações de *Pinus elliottii* nos Estados do Paraná e Santa Catarina. **Revista Floresta**. Curitiba, 18 (1/2): 140-158, Jun. /dez. 1988.

SHIMOYAMA, V. R. S. **Estimativas de Propriedades da Madeira de *Pinus taeda* Através do Método não Destrutivo Emissão de Ondas de Tensão, Visando a Geração de Produtos de Alto Valor Agregado**. Curitiba, 2005 151 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

SILVA, H. D. da. **Modelos matemáticos para a estimativa da biomassa e do conteúdo de nutrientes em plantações de *Eucalyptus grandis* Hill (ex-Maiden) em diferentes idades**. Curitiba, 1996. Tese 101 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

SILVA, H. D. da; BELLOTE, A. F. J.; DEDECEK, R. A.; GOMES, F. S. dos. Adubação mineral e seus efeitos na produção de biomassa em árvores de *Pinus taeda* L. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 8. **Anais**. CD ROM. São Paulo. 2003.

SINGH, T. Biomass equations for ten major tree species of the prairie provinces. Environment Canada. **Canadian Forestry Service**, 35 p. 1982.

SMITH, P.F. Mineral Analysis of plant tissue. **Annual Review of Plant Physiology**, Palo Alto. v. 13, 81-108, 1962.

SMITH, W. H. et al. Development of the shoot system of young loblolly pine. II Dry matter and nitrogen accumulation. **Forest Science**, 17 (1): p. 55-62, 1971.

SOARES, R. V.; HOSOKAWA, R. T. Estimativa da biomassa energética de árvores de bracatinga. **Brasil Florestal**: Boletim Técnico, Brasília, n. 8 p. 37-48, ago. 1984.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE SILVICULTURA. **O Setor Florestal Brasileiro: fatos e números.** São Paulo, 18 p. 1998.

SWITZER, G. L. & NELSON, L. E. Nutrient accumulation and cycling in loblolly pine (*Pinus taeda* L.) Plantation ecosystems: the first twenty years. **Soil Science Society of America Proceedings**, 36: p. 143-7, 1972.

TIMONI, J. L. & PAGANO, S. N. Caracterização e quantificação de elementos minerais de um povoamento de *Pinus kesiya* Royle ex Gordon no município de Itirapina (SP). **Silvicultura**, 41: 69, 1986.

TOMASELLI, I.; CASTRO, N. S. Qualidade da madeira de *Pinus elliottii*, *Pinus taeda* e *Araucaria angustifolia*, e sua correlação com as propriedades do papel. In: PESQUISAS em recursos florestais do Estado do Paraná. **Relatório Final**. Curitiba: FINEP/UFPR, 1980.

TREVISAN, E. **Classificação e caracterização de horizontes orgânicos sob povoamentos de *Pinus taeda* L, na região de Ponta Grossa – PR.** 1ª Aproximação. Curitiba, 1992. 111 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

USDA FOREST SERVICE – **Technology transfer, *Pinus taeda***. Disponível em <<http://www2.fpl.fs.fed.us/techSeets/SoftwoodNA/htmlDocs/pinustaeda.html>> Acesso em: 16 out. 2005.

VALERI, S. V. **Exportação de Biomassa e Nutrientes de Povoamentos de *Pinus taeda* L. Desbastados em Diferentes Idades.** Curitiba, 1988. 164 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

VALOR FLORESTAL. **Mercado de toras**. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DO PINUS. Joinville, 24 a 26 de agosto, 2004.

VAN GOOR, C. P. Reflorestamento com coníferas no Brasil. Aspectos ecológicos dos plantios na Região Sul, particularmente com *Pinus elliottii* e *Araucária angustifolia*. **Boletim n. 9**. Ministério da Agricultura, D. R. N. R. Divisão Silvicultura. Seção de Pesquisas Florestais. 1965.

VAN LEAR, D. H. et al. Biomass and nutrient content of a 41-years-old loblolly pine (*Pinus taeda* L.) plantation on a poor site in South Carolina. **Forest Science**, 30 (2): p. 395-404, 1984.

VOGEL, H. L. M. Crescimento de *Pinus taeda* L. relacionado a doses de N, P e K e sua diagnose nutricional pelo DRIS. **Rev. Ciência Florestal**. Santa Maria, v. 13, n. 1, p. 182, 2003.

WELLS, C. G. & JORGENSEN, J. R. Effect of intensive harvesting on nutrient supply and sustained productivity. In: **IMPACT OF INTENSIVE HARVESTING ON FOREST NUTRIENT CYCLING**. New York, State University of New York, p. 212-30. v. 6. 1979.

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

ZÖTTL, H. W.; TSCHINKEL, H. Nutricion y Fertilizacion forestal: una guia pratica. Medellin: Universidad Nacional de Colombia. Dep. **Recursos Forestales**, 1971.

ANEXOS

ANEXO 1

TABELA 15. Informações solicitadas para a operação do SisPinus

<0> Espécie -----	<i>P. taeda</i> ou <i>P. elliottii</i>
<1> Índice de sítio-----	21 metros
<2> N. de árvores plantadas por hectare-----	1.666
<3> Porcentagem de sobrevivência no primeiro ano-----	95
<4> Outputs	
Idade inicial-----	3 (anos)
Idade final-----	20 (anos)
Intervalos de-----	2 (anos)
<5> Idade do primeiro desbaste-----	8 anos
<6> Equação altura/idade a ser utilizada-----	Embrapa Florestas
<7> Equação de volume a ser utilizada-----	N1

ANEXO 2

TABELA 16. Dados de Crescimento e Produção de *Pinus taeda*

Índice de Sítio (Idade Ind.15) 21.0 m		Densidade (Árvores/ha) 1666		Porcentagem de Sobrevivência 95			Sobrevivência Inicial (Árvores/ha) 1577	
Idade (anos)	Alt. Dominan. (m)	Num. árvores	Diâmetro médio (cm)	Altura Média(m)	Área Basal (m ²)	Volume (m ³)	I.M.A. (m ³ /ha/ ano)	I.C.A. (m ³ /ha/ ano)
3	4,7	1583	5,4	4,0	3,7	6,8	2,3	2,3
5	8,7	1582	11,1	7,6	15,3	53,6	10,7	23,4
7	12,0	1580	15,0	10,6	27,9	135,3	19,3	40,8
8	13,5	1577	16,5	11,8	33,5	182,5	22,8	47,2

DESBASTE PELA REMOÇÃO DE UMA EM CADA SETE LINHAS E, EM SEGUIDA , DESBASTE SELETIVO

O povoamento foi desbastado pela remoção de 580 Árvores.

Idade (anos)	Alt. Dominan. (m)	Num. árvores	Diâmetro médio (cm)	Altura Média(m)	Área Basal (m ²)	Volume (m ³)	I.M.A. (m ³ /ha/ ano)	I.C.A. (m ³ /ha/ ano)
9	14,7	996	18,0	13,1	25,4	153	24,5	37,6
11	17,0	992	20,5	15,1	32,6	227	26,7	37
12	18,1	988	21,5	16,0	35,8	263,9	27,6	36,9

O povoamento foi desbastado seletivamente pela remoção de 291 Árvores.

Idade (anos)	Alt. Dominan. (m)	Num. árvores	Diâmetro médio (cm)	Altura Média (m)	Área Basal (m ²)	Volume (m ³)	I.M.A. (m ³ /ha/ ano)	I.C.A. (m ³ /ha/ ano)
13	19,8	695	24,4	17,9	32,6	268,8	29,7	54,6
15	21,6	691	26,1	19,5	37	332,7	30	32
16	22,5	689	26,9	20,3	39	363,7	30	31

O povoamento foi desbastado seletivamente pela remoção de 291 Árvores.

Idade (anos)	Alt. Dominan. (m)	Num. árvores	Diâmetro médio (cm)	Altura Média (m)	Área Basal (m ²)	Volume (m ³)	I.M.A. (m ³ /ha/ ano)	I.C.A. (m ³ /ha/ ano)
17	23,4	398	28,7	22,1	25,7	260,5	29,3	17,6
19	24,9	397	30,6	23,5	29,2	314,9	29,1	27,2

NOTA: Equações de sítio, volume e sortimento: Embrapa

ANEXO 3

TABELA 17. Dados de volumes remanescentes e removidos.

Idade (anos)	N/ha	Área Basal (m ²)	Diâmetro médio (cm)	Alt. Média (m)	Volume Remanesc.	Volume Removido
8	580	12,3	16,5	11,8	115,4	67,1
12	291	7,8	22,6	16,6	214,2	49,7
16	291	13,9	28,3	21,1	242,9	120,8

ANEXO 4

TABELA 18. Frequência de árvores removidas no desbaste de 8 anos.

Lim. Classe	N/ha	Altura média (m)	Volume (m ³)	Lamin. Esp.	Lamin.	Serraria	Celulose	Energia
8,0-10,0	2	9,5	0,1	0	0	0	0	0
10,0-12,0	20	10,2	0,9	0	0	0	0,5	0,4
12,0-14,0	75	10,8	5,1	0	0	0	3,7	1,3
14,0-16,0	156	11,4	14,5	0	0	0	12,4	2,2
16,0-18,0	186	11,9	23,0	0	0	0	21,2	1,7
18,0-20,0	115	12,5	18,2	0	0	7,7	9,6	0,9
20,0-22,0	26	13,0	5,2	0	0	3,5	1,5	0,2
22,0-24,0	1	13,8	0,2	0	0	0,1	0,1	0
Totais		11,8	67,1	0	0	11,3	49,0	6,8

ANEXO 5

TABELA 19. Frequência de árvores removidas no desbaste de 12 anos.

Lim. Classe	N/ha	Altura média (m)	Volume (m ³)	Lamin. Esp.	Lamin.	Serraria	Celulose	Energia
10,0-12,0	1	12,9	0,1	0	0	0	0	0
12,0-14,0	8	13,6	0,9	0	0	0	0,7	0,2
14,0-16,0	35	14,2	5,9	0	0	0	5,0	0,9
16,0-18,0	97	14,8	21,7	0	0	8	11,2	2,5
18,0-20,0	87	15,3	0,5	0	0	0,2	0,3	0
20,0-22,0	41	12,4	12,9	0	0	9,1	2,8	1
22,0-24,0	18	13,0	6,8	0	0	4,7	1,9	0,2
24,0-26,0	4	13,7	1,7	0	0	1,5	0,2	0
Totais		14,9	49,7	0	0	23,0	21,7	4,8

ANEXO 6

TABELA 20. Frequência de árvores removidas no desbaste de 16 anos.

Lim. Classe	N/ha	Altura média (m)	Volume (m ³)	Lamin. Esp.	Lamin.	Serraria	Celulose	Energia
20,0-22,0	21	19	9,5	0	0	6,6	2,5	0,4
22,0-24,0	102	19,6	56,1	0	0	38,2	16,6	1,3
24,0-26,0	103	20,1	5,8	0	0	4,7	0,9	0,2
26,0-28,0	40	17,9	28,8	0	0	24,8	3,0	1,1
28,0-30,0	18	18,1	15,0	0	4,7	8,1	2,0	0,2
30,0-32,0	5	18,5	4,8	0	2,6	1,5	0,7	0,1
32,0-34,0	1	18,9	0,7	0	0,4	0,3	0	0
Totais		19,3	120,8	0	7,6	84,2	25,7	3,4

ANEXO 7

TABELA 21. Frequência de árvores removidas no corte final (19 anos).

Lim. classe	N/ha	Altura média (m)	Volume (m ³)	Lamin. Esp.	Lamin.	Serraria	Celulose	Energia
26,0-28,0	40	22,8	24,9	0	6,4	14,8	3,0	0,8
28,0-30,0	143	23,4	100,4	0	25,2	66,8	5,9	2,5
30,0-32,0	121	23,7	98,5	0	43,2	46,5	7,5	1,2
32,0-34,0	64	24,0	59,5	0	35,1	18,8	4,7	0,8
34,0-36,0	23	24,3	24,9	3,6	12,8	6,8	1,4	0,2
36,0-38,0	5	24,6	6,2	0,9	3,9	1	0,4	0
Totais		23,5	314,9	4,5	126,7	154,8	22,9	5,5

ANEXO 8

TABELA 22. Matriz de coeficientes de correlação para os nutrientes N, P, K, Ca e Mg nos segmentos de 1 a 5 do lenho de *P. taeda*.

	N_T	P_T	K_T	Ca_T	Mg_T	N1	N2	N3	N4	N5
N_T	100,000	0,48645	0,86358	0,89205	0,91552	0,74300	0,83335	0,86930	0,88950	0,93597
P_T	0,48645	100,000	0,72558	0,61711	0,61657	0,23772	0,31962	0,34010	0,36946	0,36751
K_T	0,86358	0,72558	100,000	0,93573	0,93335	0,52679	0,62341	0,64276	0,66917	0,70891
Ca_T	0,89205	0,61711	0,93573	100,000	0,96607	0,43839	0,55913	0,62530	0,68458	0,72560
Mg_T	0,91552	0,61657	0,93335	0,96607	100,000	0,50230	0,62328	0,65848	0,69363	0,76035
N1	0,74300	0,23772	0,52679	0,43839	0,50230	100,000	0,93888	0,91248	0,86831	0,87053
N2	0,83335	0,31962	0,62341	0,55913	0,62328	0,93888	100,000	0,97293	0,92251	0,92575
N3	0,86930	0,34010	0,64276	0,62530	0,65848	0,91248	0,97293	100,000	0,97799	0,96297
N4	0,88950	0,36946	0,66917	0,68458	0,69363	0,86831	0,92251	0,97799	100,000	0,96847
N5	0,93597	0,36751	0,70891	0,72560	0,76035	0,87053	0,92575	0,96297	0,96847	100,000
	P1	P2	P3	P4	P5	K1	K2	K3	K4	K5
N_T	0,19389	0,25456	0,36218	0,29795	0,29915	0,59312	0,73556	0,76055	0,76743	0,79450
P_T	0,80634	0,88324	0,88226	0,89444	0,92867	0,65072	0,66069	0,60803	0,60435	0,65193
K_T	0,44980	0,50358	0,63104	0,62601	0,56119	0,79061	0,90142	0,90617	0,92146	0,94477
Ca_T	0,30138	0,36202	0,48539	0,48263	0,44705	0,60507	0,74440	0,76025	0,79301	0,81645
Mg_T	0,30274	0,37703	0,51839	0,49779	0,44178	0,61326	0,78695	0,78679	0,80200	0,82738
N1	0,20506	0,20793	0,16886	0,04268	0,14252	0,62620	0,62800	0,64128	0,57210	0,58985
N2	0,16394	0,21263	0,25370	0,12832	0,16703	0,59257	0,66768	0,66768	0,62026	0,65779
N3	0,14924	0,19551	0,23464	0,12573	0,18834	0,56520	0,63236	0,64488	0,61773	0,64788
N4	0,14054	0,19071	0,23834	0,13789	0,20913	0,55377	0,60976	0,62945	0,61181	0,64427
N5	0,13216	0,19468	0,27636	0,17398	0,21340	0,55911	0,64897	0,68109	0,67804	0,70858
	Ca1	Ca2	Ca3	Ca4	Ca5	Mg1	Mg2	Mg3	Mg4	Mg5
N_T	0,81244	0,86688	0,90057	0,89065	0,85749	0,73870	0,89857	0,91847	0,91484	0,91070
P_T	0,52017	0,60795	0,58910	0,60292	0,63176	0,39008	0,57776	0,54554	0,60303	0,64680
K_T	0,83814	0,89394	0,90002	0,91861	0,91568	0,65452	0,90738	0,89283	0,92939	0,94669
Ca_T	0,90466	0,95156	0,93994	0,94100	0,94530	0,71095	0,90231	0,88983	0,91321	0,93011
Mg_T	0,86415	0,90818	0,91405	0,89389	0,89097	0,79952	0,96114	0,94610	0,95895	0,96957
N1	0,51974	0,54355	0,61016	0,53965	0,48792	0,51702	0,61034	0,64309	0,59921	0,59140
N2	0,55830	0,59679	0,67186	0,62491	0,56867	0,58675	0,68180	0,70824	0,69115	0,68705
N3	0,61699	0,66652	0,73769	0,68954	0,64727	0,61083	0,68933	0,72517	0,71072	0,70712
N4	0,68231	0,73343	0,78967	0,73619	0,69886	0,62551	0,71342	0,75225	0,73116	0,72349
N5	0,70388	0,75355	0,82315	0,77874	0,74430	0,70031	0,78180	0,82022	0,79986	0,79456

Cont.	Tab.22									
	N_T	P_T	K_T	Ca_T	Mg_T	N1	N2	N3	N4	N5
P1	0,19389	0,80634	0,44980	0,30138	0,30274	0,20506	0,16394	0,14924	0,14054	0,13216
P2	0,25456	0,88324	0,50358	0,36202	0,37703	0,20793	0,21263	0,19551	0,19071	0,19468
P3	0,36218	0,88226	0,63104	0,48539	0,51839	0,16886	0,25370	0,23464	0,23834	0,27636
P4	0,29795	0,89444	0,62601	0,48263	0,49779	0,04268	0,12832	0,12573	0,13789	0,17398
P5	0,29915	0,92867	0,56119	0,44705	0,44178	0,14252	0,16703	0,18834	0,20913	0,21340
	P1	P2	P3	P4	P5	K1	K2	K3	K4	K5
P1	100,000	0,95776	0,68001	0,69871	0,90000	0,68669	0,59204	0,50314	0,41474	0,44692
P2	0,95776	100,000	0,83147	0,79829	0,91149	0,65508	0,59778	0,50799	0,43283	0,49011
P3	0,68001	0,83147	100,000	0,95202	0,79551	0,59239	0,59769	0,54462	0,55310	0,62680
P4	0,69871	0,79829	0,95202	100,000	0,86171	0,56871	0,57474	0,52436	0,56102	0,61874
P5	0,90000	0,91149	0,79551	0,86171	100,000	0,61829	0,57503	0,52239	0,50689	0,53776
	Ca1	Ca2	Ca3	Ca4	Ca5	Mg1	Mg2	Mg3	Mg4	Mg5
P1	0,34279	0,37379	0,35818	0,33536	0,35827	0,25241	0,36763	0,32701	0,33586	0,37286
P2	0,34791	0,41985	0,40595	0,37336	0,40666	0,26465	0,42344	0,38061	0,39796	0,44762
P3	0,38156	0,46906	0,46926	0,47213	0,51483	0,31277	0,50019	0,46584	0,51597	0,56891
P4	0,36336	0,43479	0,42589	0,46161	0,50920	0,29727	0,44968	0,41209	0,47856	0,52584
P5	0,39921	0,47666	0,46372	0,46148	0,49634	0,29568	0,44377	0,41471	0,45355	0,48852
	N_T	P_T	K_T	Ca_T	Mg_T	N1	N2	N3	N4	N5
K1	0,59312	0,65072	0,79061	0,60507	0,61326	0,62620	0,59257	0,56520	0,55377	0,55911
K2	0,73556	0,66069	0,90142	0,74440	0,78695	0,62800	0,66768	0,63236	0,60976	0,64897
K3	0,76055	0,60803	0,90617	0,76025	0,78679	0,64128	0,66768	0,64488	0,62945	0,68109
K4	0,76743	0,60435	0,92146	0,79301	0,80200	0,57210	0,62026	0,61773	0,61181	0,67804
K5	0,79450	0,65193	0,94477	0,81645	0,82738	0,58985	0,65779	0,64788	0,64427	0,70858
	P1	P2	P3	P4	P5	K1	K2	K3	K4	K5
K1	0,68669	0,65508	0,59239	0,56871	0,61829	100,000	0,93214	0,90544	0,84482	0,84654
K2	0,59204	0,59778	0,59769	0,57474	0,57503	0,93214	100,000	0,96986	0,91724	0,93218
K3	0,50314	0,50799	0,54462	0,52436	0,52239	0,90544	0,96986	100,000	0,97401	0,95362
K4	0,41474	0,43283	0,55310	0,56102	0,50689	0,84482	0,91724	0,97401	100,000	0,97459
K5	0,44692	0,49011	0,62680	0,61874	0,53776	0,84654	0,93218	0,95362	0,97459	100,000

Cont.	Tab.22									
	Ca1	Ca2	Ca3	Ca4	Ca5	Mg1	Mg2	Mg3	Mg4	Mg5
K1	0,94121	0,67790	0,65823	0,69900	0,67157	0,52474	0,71406	0,69178	0,68753	0,70184
K2	0,97323	0,71677	0,74861	0,78477	0,76376	0,62495	0,85748	0,83204	0,84114	0,85501
K3	0,96470	0,72825	0,77087	0,81827	0,83099	0,59892	0,85350	0,85682	0,87577	0,86747
K4	0,95281	0,72832	0,77626	0,82844	0,87272	0,58513	0,82660	0,83787	0,87962	0,87414
K5	0,74233	0,80309	0,84227	0,86382	0,86050	0,59644	0,84132	0,83868	0,87612	0,89358
	N_T	P_T	K_T	Ca_T	Mg_T	N1	N2	N3	N4	N5
Ca1	0,81244	0,52017	0,83814	0,90466	0,86415	0,51974	0,55830	0,61699	0,68231	0,70388
Ca2	0,86688	0,60795	0,89394	0,95156	0,90818	0,54355	0,59679	0,66652	0,73343	0,75355
Ca3	0,90057	0,58910	0,90002	0,93994	0,91405	0,61016	0,67186	0,73769	0,78967	0,82315
Ca4	0,89065	0,60292	0,91861	0,94100	0,89389	0,53965	0,62491	0,68954	0,73619	0,77874
Ca5	0,85749	0,63176	0,91568	0,94530	0,89097	0,48792	0,56867	0,64727	0,69886	0,74430
	P1	P2	P3	P4	P5	K1	K2	K3	K4	K5
Ca1	0,34279	0,34791	0,38156	0,36336	0,39921	0,67790	0,71677	0,72825	0,72832	0,74233
Ca2	0,37379	0,41985	0,46906	0,43479	0,47666	0,65823	0,74861	0,77087	0,77626	0,80309
Ca3	0,35818	0,40595	0,46926	0,42589	0,46372	0,69900	0,78477	0,81827	0,82844	0,84227
Ca4	0,33536	0,37336	0,47213	0,46161	0,46148	0,67157	0,76376	0,83099	0,87272	0,86382
Ca5	0,35827	0,40666	0,51483	0,50920	0,49634	0,65873	0,74923	0,81103	0,86185	0,86050
	Ca1	Ca2	Ca3	Ca4	Ca5	Mg1	Mg2	Mg3	Mg4	Mg5
Ca1	100,000	0,93411	0,90389	0,85460	0,86321	0,79510	0,84150	0,81914	0,80837	0,82780
Ca2	0,93411	100,000	0,97778	0,92842	0,93906	0,67664	0,89061	0,88136	0,88759	0,91371
Ca3	0,90389	0,97778	100,000	0,95662	0,95325	0,70980	0,91840	0,92331	0,92879	0,94361
Ca4	0,85460	0,92842	0,95662	100,000	0,98702	0,64344	0,86200	0,88837	0,92496	0,91923
Ca5	0,86321	0,93906	0,95325	0,98702	100,000	0,63693	0,84194	0,86049	0,90523	0,91446
	N_T	P_T	K_T	Ca_T	Mg_T	N1	N2	N3	N4	N5
Mg1	0,73870	0,39008	0,65452	0,71095	0,79952	0,51702	0,58675	0,61083	0,62551	0,70031
Mg2	0,89857	0,57776	0,90738	0,90231	0,96114	0,61034	0,68180	0,68933	0,71342	0,78180
Mg3	0,91847	0,54554	0,89283	0,88983	0,94610	0,64309	0,70824	0,72517	0,75225	0,82022
Mg4	0,91484	0,60303	0,92939	0,91321	0,95895	0,59921	0,69115	0,71072	0,73116	0,79986
Mg5	0,91070	0,64680	0,94669	0,93011	0,96957	0,59140	0,68705	0,70712	0,72349	0,79456

Cont.	Tab. 22									
	P1	P2	P3	P4	P5	K1	K2	K3	K4	K5
Mg1	0,25241	0,26465	0,31277	0,29727	0,29568	0,52474	0,62495	0,59892	0,58513	0,59644
Mg2	0,36763	0,42344	0,50019	0,44968	0,44377	0,71406	0,85748	0,85350	0,82660	0,84132
Mg3	0,32701	0,38061	0,46584	0,41209	0,41471	0,69178	0,83204	0,85682	0,83787	0,83868
Mg4	0,33586	0,39796	0,51597	0,47856	0,45355	0,68753	0,84114	0,87577	0,87962	0,87612
Mg5	0,37286	0,44762	0,56891	0,52584	0,48852	0,70184	0,85501	0,86747	0,87414	0,89358
	Ca1	Ca2	Ca3	Ca4	Ca5	Mg1	Mg2	Mg3	Mg4	Mg5
Mg1	0,79510	0,67664	0,70980	0,64344	0,63693	100,000	0,79790	0,78139	0,74922	0,74402
Mg2	0,84150	0,89061	0,91840	0,86200	0,84194	0,79790	100,000	0,98739	0,96972	0,96820
Mg3	0,81914	0,88136	0,92331	0,88837	0,86049	0,78139	0,98739	100,000	0,98383	0,96272
Mg4	0,80837	0,88759	0,92879	0,92496	0,90523	0,74922	0,96972	0,98383	100,000	0,98525
Mg5	0,82780	0,91371	0,94361	0,91923	0,91446	0,74402	0,96820	0,96272	0,98525	100,000

N_T = N Total; N1 = N na base; N2 = N a 1,0m; N3 = N a 1,3m; N4 = N a 2,0m; N5 = N a 3,0m.

Idem para P, K, Ca e Mg.

ANEXO 9

TABELA 23. Matriz de coeficientes de correlação para os nutrientes N, P, K, Ca e Mg nos segmentos de 1 a 5 da casca de *P. taeda*.

	N_T	P_T	K_T	Ca_T	Mg_T	N1	N2	N3	N4	N5
N_T	100.000	0.89390	0.66874	0.71384	0.89136	0.90277	0.90958	0.94017	0.95922	0.96036
P_T	0.89390	100.000	0.70366	0.73795	0.89444	0.71047	0.74921	0.89049	0.87919	0.86443
K_T	0.66874	0.70366	100.000	0.55575	0.65211	0.56928	0.56059	0.70706	0.73920	0.74059
Ca_T	0.71384	0.73795	0.55575	100.000	0.71563	0.74358	0.78059	0.74018	0.70355	0.62809
Mg_T	0.89136	0.89444	0.65211	0.71563	100.000	0.73668	0.73943	0.83170	0.85085	0.81992
N1	0.90277	0.71047	0.56928	0.74358	0.73668	100.000	0.97326	0.83530	0.83752	0.83074
N2	0.90958	0.74921	0.56059	0.78059	0.73943	0.97326	100.000	0.86200	0.85484	0.84904
N3	0.94017	0.89049	0.70706	0.74018	0.83170	0.83530	0.86200	100.000	0.98135	0.93757
N4	0.95922	0.87919	0.73920	0.70355	0.85085	0.83752	0.85484	0.98135	100.000	0.97624
N5	0.96036	0.86443	0.74059	0.62809	0.81992	0.83074	0.84904	0.93757	0.97624	100.000

Cont.	Tab.23									
	P1	P2	P3	P4	P5	K1	K2	K3	K4	K5
N_T	0.46252	0.35428	0.63957	0.82541	0.74365	0.38575	0.49788	0.39217	0.46646	0.51472
P_T	0.60964	0.58428	0.81670	0.93421	0.87673	0.49151	0.55836	0.47111	0.47892	0.52902
K_T	0.35316	0.44821	0.54691	0.67064	0.66461	0.81894	0.89173	0.89839	0.92868	0.93760
Ca_T	0.24601	0.38313	0.60335	0.70538	0.64036	0.32330	0.49548	0.35524	0.37071	0.36440
Mg_T	0.44005	0.28985	0.62822	0.80610	0.70026	0.37531	0.48608	0.36789	0.40637	0.44592
N1	0.36838	0.26072	0.47920	0.63088	0.57355	0.36120	0.48348	0.31831	0.39080	0.42582
N2	0.38041	0.28614	0.49842	0.66356	0.60794	0.33491	0.50216	0.32398	0.39039	0.43423
N3	0.45192	0.47039	0.77003	0.89315	0.78420	0.45163	0.56168	0.50565	0.56867	0.56873
N4	0.42707	0.39015	0.69527	0.86577	0.76755	0.45553	0.56341	0.50822	0.60807	0.62707
N5	0.47978	0.37144	0.62166	0.81887	0.77536	0.46279	0.55998	0.49425	0.60536	0.66478
	Ca1	Ca2	Ca3	Ca4	Ca5	Mg1	Mg2	Mg3	Mg4	Mg5
N_T	0.57025	0.59310	0.66555	0.68793	0.71040	0.83605	0.83885	0.79734	0.86907	0.88626
P_T	0.50744	0.50737	0.72345	0.76347	0.80887	0.81521	0.82787	0.85088	0.86090	0.88299
K_T	0.35740	0.35088	0.58547	0.62893	0.67413	0.66214	0.67199	0.75097	0.74163	0.73528
Ca_T	0.87206	0.88409	0.93897	0.93705	0.95798	0.67660	0.76305	0.71504	0.67722	0.65253
Mg_T	0.49043	0.47543	0.64015	0.70330	0.73089	0.94746	0.93538	0.92083	0.96320	0.98024
N1	0.74555	0.77324	0.65990	0.64491	0.66504	0.74127	0.77956	0.65017	0.70318	0.72078
N2	0.78701	0.82460	0.70872	0.69544	0.70676	0.71766	0.80306	0.66249	0.69964	0.72226
N3	0.52446	0.58082	0.78274	0.78046	0.77433	0.79686	0.80275	0.84023	0.86640	0.83246
N4	0.49204	0.53644	0.72267	0.74426	0.74392	0.80335	0.80225	0.83060	0.88214	0.86161
N5	0.45790	0.49002	0.62001	0.64977	0.67548	0.77499	0.77206	0.76849	0.83816	0.85222
	N_T	P_T	K_T	Ca_T	Mg_T	N1	N2	N3	N4	N5
P1	0.46252	0.60964	0.35316	0.24601	0.44005	0.36838	0.38041	0.45192	0.42707	0.47978
P2	0.35428	0.58428	0.44821	0.38313	0.28985	0.26072	0.28614	0.47039	0.39015	0.37144
P3	0.63957	0.81670	0.54691	0.60335	0.62822	0.47920	0.49842	0.77003	0.69527	0.62166
P4	0.82541	0.93421	0.67064	0.70538	0.80610	0.63088	0.66356	0.89315	0.86577	0.81887
P5	0.74365	0.87673	0.66461	0.64036	0.70026	0.57355	0.60794	0.78420	0.76755	0.77536
	P1	P2	P3	P4	P5	K1	K2	K3	K4	K5
P1	100.000	0.40822	0.52738	0.49991	0.50383	0.32019	0.22219	0.14723	0.20562	0.31935
P2	0.40822	100.000	0.81698	0.71934	0.80131	0.50085	0.45530	0.50232	0.37582	0.33006
P3	0.52738	0.81698	100.000	0.92717	0.83447	0.45729	0.40990	0.43484	0.41290	0.36384
P4	0.49991	0.71934	0.92717	100.000	0.93227	0.48424	0.50964	0.50168	0.51543	0.49433
P5	0.50383	0.80131	0.83447	0.93227	100.000	0.54118	0.55860	0.54372	0.52794	0.53479
	Ca1	Ca2	Ca3	Ca4	Ca5	Mg1	Mg2	Mg3	Mg4	Mg5
P1	0.13622	0.13512	0.23267	0.22980	0.30323	0.45386	0.37573	0.35140	0.39578	0.45338
P2	0.24274	0.25420	0.48696	0.44616	0.49689	0.29710	0.28267	0.39518	0.33913	0.31198
P3	0.31132	0.34828	0.70557	0.68098	0.70064	0.60226	0.52606	0.66613	0.66755	0.61368
P4	0.43074	0.44907	0.75379	0.76321	0.78980	0.75874	0.71566	0.81956	0.83655	0.79836
P5	0.43852	0.43155	0.66635	0.67636	0.74532	0.68721	0.66374	0.73893	0.73030	0.72382

Cont.	Tab. 23									
	N_T	P_T	K_T	Ca_T	Mg_T	N1	N2	N3	N4	N5
K1	0.38575	0.49151	0.81894	0.32330	0.37531	0.36120	0.33491	0.45163	0.45553	0.46279
K2	0.49788	0.55836	0.89173	0.49548	0.48608	0.48348	0.50216	0.56168	0.56341	0.55998
K3	0.39217	0.47111	0.89839	0.35524	0.36789	0.31831	0.32398	0.50565	0.50822	0.49425
K4	0.46646	0.47892	0.92868	0.37071	0.40637	0.39080	0.39039	0.56867	0.60807	0.60536
K5	0.51472	0.52902	0.93760	0.36440	0.44592	0.42582	0.43423	0.56873	0.62707	0.66478
	P1	P2	P3	P4	P5	K1	K2	K3	K4	K5
K1	0.32019	0.50085	0.45729	0.48424	0.54118	100.000	0.85384	0.83515	0.79090	0.77476
K2	0.22219	0.45530	0.40990	0.50964	0.55860	0.85384	100.000	0.93199	0.85278	0.84210
K3	0.14723	0.50232	0.43484	0.50168	0.54372	0.83515	0.93199	100.000	0.93506	0.87456
K4	0.20562	0.37582	0.41290	0.51543	0.52794	0.79090	0.85278	0.93506	100.000	0.96075
K5	0.31935	0.33006	0.36384	0.49433	0.53479	0.77476	0.84210	0.87456	0.96075	100.000
	Ca1	Ca2	Ca3	Ca4	Ca5	Mg1	Mg2	Mg3	Mg4	Mg5
K1	0.22720	0.20129	0.36959	0.37832	0.47419	0.49160	0.43955	0.50481	0.46952	0.47947
K2	0.39905	0.40067	0.55434	0.58817	0.60341	0.52787	0.63442	0.65024	0.56058	0.56603
K3	0.19077	0.20167	0.47723	0.50040	0.50830	0.40924	0.46406	0.59154	0.50710	0.46718
K4	0.18725	0.20792	0.47452	0.50358	0.51192	0.44605	0.45476	0.57618	0.55913	0.51739
K5	0.20362	0.21295	0.42070	0.47015	0.50744	0.45884	0.48536	0.56017	0.55863	0.56404
	N_T	P_T	K_T	Ca_T	Mg_T	N1	N2	N3	N4	N5
Ca1	0.57025	0.50744	0.35740	0.87206	0.49043	0.74555	0.78701	0.52446	0.49204	0.45790
Ca2	0.59310	0.50737	0.35088	0.88409	0.47543	0.77324	0.82460	0.58082	0.53644	0.49002
Ca3	0.66555	0.72345	0.58547	0.93897	0.64015	0.65990	0.70872	0.78274	0.72267	0.62001
Ca4	0.68793	0.76347	0.62893	0.93705	0.70330	0.64491	0.69544	0.78046	0.74426	0.64977
Ca5	0.71040	0.80887	0.67413	0.95798	0.73089	0.66504	0.70676	0.77433	0.74392	0.67548
	P1	P2	P3	P4	P5	K1	K2	K3	K4	K5
Ca1	0.13622	0.24274	0.31132	0.43074	0.43852	0.22720	0.39905	0.19077	0.18725	0.20362
Ca2	0.13512	0.25420	0.34828	0.44907	0.43155	0.20129	0.40067	0.20167	0.20792	0.21295
Ca3	0.23267	0.48696	0.70557	0.75379	0.66635	0.36959	0.55434	0.47723	0.47452	0.42070
Ca4	0.22980	0.44616	0.68098	0.76321	0.67636	0.37832	0.58817	0.50040	0.50358	0.47015
Ca5	0.30323	0.49689	0.70064	0.78980	0.74532	0.47419	0.60341	0.50830	0.51192	0.50744
	Ca1	Ca2	Ca3	Ca4	Ca5	Mg1	Mg2	Mg3	Mg4	Mg5
Ca1	100.000	0.97904	0.72367	0.69757	0.74638	0.47576	0.63138	0.46198	0.41272	0.42587
Ca2	0.97904	100.000	0.78481	0.74571	0.76341	0.45918	0.61959	0.45544	0.41293	0.41118
Ca3	0.72367	0.78481	100.000	0.98289	0.94923	0.60883	0.68725	0.71577	0.65862	0.59198
Ca4	0.69757	0.74571	0.98289	100.000	0.96567	0.63988	0.73674	0.76294	0.70472	0.65474
Ca5	0.74638	0.76341	0.94923	0.96567	100.000	0.68605	0.75556	0.77466	0.72019	0.69358

Cont.	Tab. 23									
	N_T	P_T	K_T	Ca_T	Mg_T	N1	N2	N3	N4	N5
Mg1	0.83605	0.81521	0.66214	0.67660	0.94746	0.74127	0.71766	0.79686	0.80335	0.77499
Mg2	0.83885	0.82787	0.67199	0.76305	0.93538	0.77956	0.80306	0.80275	0.80225	0.77206
Mg3	0.79734	0.85088	0.75097	0.71504	0.92083	0.65017	0.66249	0.84023	0.83060	0.76849
Mg4	0.86907	0.86090	0.74163	0.67722	0.96320	0.70318	0.69964	0.86640	0.88214	0.83816
Mg5	0.88626	0.88299	0.73528	0.65253	0.98024	0.72078	0.72226	0.83246	0.86161	0.85222
	P1	P2	P3	P4	P5	K1	K2	K3	K4	K5
Mg1	0.45386	0.29710	0.60226	0.75874	0.68721	0.49160	0.52787	0.40924	0.44605	0.45884
Mg2	0.37573	0.28267	0.52606	0.71566	0.66374	0.43955	0.63442	0.46406	0.45476	0.48536
Mg3	0.35140	0.39518	0.66613	0.81956	0.73893	0.50481	0.65024	0.59154	0.57618	0.56017
Mg4	0.39578	0.33913	0.66755	0.83655	0.73030	0.46952	0.56058	0.50710	0.55913	0.55863
Mg5	0.45338	0.31198	0.61368	0.79836	0.72382	0.47947	0.56603	0.46718	0.51739	0.56404
	Ca1	Ca2	Ca3	Ca4	Ca5	Mg1	Mg2	Mg3	Mg4	Mg5
Mg1	0.47576	0.45918	0.60883	0.63988	0.68605	100.000	0.92204	0.90117	0.95024	0.95595
Mg2	0.63138	0.61959	0.68725	0.73674	0.75556	0.92204	100.000	0.92660	0.90289	0.92519
Mg3	0.46198	0.45544	0.71577	0.76294	0.77466	0.90117	0.92660	100.000	0.95787	0.92075
Mg4	0.41272	0.41293	0.65862	0.70472	0.72019	0.95024	0.90289	0.95787	100.000	0.97459
Mg5	0.42587	0.41118	0.59198	0.65474	0.69358	0.95595	0.92519	0.92075	0.97459	100.000

N_T = N Total; N1 = N na base; N2 = N a 1,0m; N3 = N a 1,3m; N4 = N a 2,0m; N5 = N a 3,0m.

Idem para P, K, Ca e Mg.

ANEXO 10

TABELA 24. Modelos matemáticos para as variáveis dependentes de N_T, P_T, K_T, Ca_T e Mg_T no lenho de *P. taeda*.

EQUAÇÕES	R ²	S _{xy} %	F
NT = -45,45189 + 14,82109 x N 3m	0,8760	530,6359	155,47
NT = 12,95819 x N 3m	0,9692	574,3747	723,11
NT = -10,63229 - 3,14593 x N base + 18,90720 x N 3m	0,8973	460,4835	91,75
NT = -3,44407 x N base + 18,99392 x N 3m	0,9773	442,1882	473,57
NT = -23,54079 + 8,97734 x N 3m + 32,84262 x Mg 2m	0,9527	212,0519	211,54
NT = 7,76210 x N 3m + 34,50539 x Mg 2m	0,9887	220,2666	961,79
NT = -11,28299 + 9,00298 x N 3m + 2,30962 x Mg T	0,9745	114,1708	401,91
NT = -9,71299 + 9,46942 x N 3m - 5,56665 x Mg base + 2,71656 x Mg T	0,9807	90,8731	338,76
NT = -4,77330 + 10,33213 x N 3m - 7,33183 x Mg base - 25,91171 x Mg 3m + 4,22054 x Mg T	0,9858	70,2291	330,47
NT = 8,41566 x N 3m + 2,37491 x Mg T	0,9942	112,9169	1886,61
NT = 8,97359 x N 3m - 5,66588 x Mg base + 2,77986 x Mg T	0,9956	89,5926	1587,42
NT = 8,84363 - 6,25575 x Mg base - 2,34272 x P 2m - 1,3m + 3,12838 x Mg T	0,9969	67,2911	1587,13
NT = 8,91358 x N 3m - 8,27934 x Mg base - 3,20823 x (P 1,3m) ² - 0,24463 x (Ca 1,3m) ² + 4,11369 x Mg T	0,9981	42,9022	1993,98
NT = 7,39784 x N 3m + 0,01573 x (N base) ² - 8,47807 x Mg base - 3,32475 x (P 1,3m) ² - 0,31616 x (Ca 1,3m) ² + 4,47313 x Mg T	0,9987	32,0029	2228,80
NT = 5,55423 x N 3m + 0,02413 x (N base) ² + 2,92338 x Ca 2m - 7,52664 x Mg base - 3,62961 x (P 1,3m) ² - 0,37695 x (Ca 1,3m) ² + 4,32146 x Mg T	0,9991	22,4792	2721,01
NT = 5,03359 x N 3m + 0,03035 x (Nbase) ² - 4,14023 x K 1,3m + 4,78739 x Ca 2m - 6,86554 x Mg base - 3,18285 x (P 1,3m) ² - 0,39175 x (Ca 1,3m) ² + 4,22611 x Mg T	0,9993	17,8127	3005,30
NT = 6,37196 x N 3m + 0,02375 x (N base) ² - 11,93362 x K 1,3m + 6,47128 x Ca 2m - 6,87906 x Mg base - 3,33013 x (P 1,3m) ² + 3,94165 x (K 1m) ² - 0,50301 x (Ca 1,3m) ² + 3,94648 x Mg T	0,9996	10,0298	4745,77
PT = 4,25502 + 10,02513 x P 3m	0,8624	13,3861	137,92
PT = - 0,01923 + 7,09266 x P 1,3m + 6,66904 x P 3m	0,9185	8,3076	118,34
PT = 11.12080 x P 3m	0,9360	14,5894	336,37

PT = 7,08447 x P 1,3m + 6,66924 x P 3m Cont. Tab. 24	0,9667	7,9300	319,58
PT = -4,95892 + 6,17844 x P 1,3m + 6,22426 x P 3m + 0,63630 x Ca 2m	0,9420	6,2099	108,24
PT = 5,96393 x P 1,3m + 6,34 107 x P 3m + 0,01760 x (Ca 2m) ²	0,9738	6,5392	260,26
PT = -3,18056 + 8,21746 x P 3m + 0,13491 x K T	0,9234	7,8061	126,61
PT = -1,58242 + 6,49480 x P 3m + 1,04533 x (P 1,3m) ² + 0,11043 x K T	0,9517	5,1739	131,25
PT = -4,99331 + 6,69494 x P 3m + 0,85240 x (P 1,3m) ² - 0,17353 x (K 1,3m) ² + 0,22104 x K T	0,9670	3,7178	139,20
PT = - 3,76724 + 2,06171 x P 3m + 1,03605 x (P 1,3m) ² + 0,54582 x (P 3m) ² - 0,21346 x (K 1,3m) ² + 0,27598 x K T	0,9740	3,0890	135,00
PT = -3,16529 + 1,15196 x (P 1,3m) ² + 0,76846 x (P 3m) ² - 0,22835 x (K 1,3m) ² + 0,29905 x K T	0,9728	3,0701	169,57
PT = - 3,39692 + 1,28583 x (P 1,3m) ² + 0,81096 x (P 3m) ² - 1,60412 x (K 1,3m) ² + 0,04335 x (K 1,3m) ² + 0,31243 x K T	0,9814	2,2177	189,45
PT = -3,52506 + 1,25834 x (P 1,3m) ² + 0,80753 x (P 3m) ² - 1,39685 x (K 1m) ² + 0,31599 x K T	0,9812	2,1210	247,57
PT = -4,51959 + 0,04536 x (N 1m) ² + 1,38345 x (P 1,3m) ² + 0,83496 x (P 3m) ² - 1,58832 x (K 1m) ² + 0,29148 x K T	0,9884	1,3737	308,07
PT = -4,70481 + 0,08532 x (N 1m) ² + 1,22772 x (P 1,3m) ² + 0,83621 x (P 3m) ² - 1,90342 x (K 1m) ² - 0,03417 x NT + 0,39490 x KT	0,9914	1,0798	327,58
PT = 4,84997 x P 1,3m + 6,54479 x P 3m + 0,12057 x Mg T	0,9763	5,9049	288,96
PT = 5,31835 x P 1,3m + 6,68028 x P 3m - 10,99227 x Mg 1m + 0,38106 x Mg T	0,9818	4,7693	269,83
PT = 11,14899 x P 1,3m - 5,54894 x P 2m + 8,07896 x P 3m - 15,93926 x Mg 1m + 0,49349 x Mg T	0,9856	3,9630	260,79
PT = 11,85939 x P 1,3 - 7,29953 x P 2m + 8,34637 x Mg 1,3m - 21,63277 x Mg 1m + 0,11929 x K T + 0,44969 x Mg T	0,9890	3,2123	269,03
PT = 10,95949 x P 1,3m - 5,74295 x P 2m + 7,51025 x P 3m - 2,60224 x K 3m - 13,33534 x Mg 1m + 0,33944 x K T + 0,15449 x Mg T	0,9924	2,3472	316,67
PT = 10,12540 x P 1,3m - 4,76467 x P 2m + 7,10130 x P 3m - 3,40394 x K 3m - 8,65704 x Mg 1,3m + 0,41286 x K T	0,9918	2,3773	364,57
KT = - 16,48865 + 15,95629 x K 3m	0,8926	51,1316	182,81
KT = 13,74014 x K 3m	0,9697	58,2573	736,96
KT = 15,98005 + 24,63242 x Mg 3m	0,8962	49,4016	189,98
KT = -4,64259 + 8,28260 x K 3m + 13,23006 x Mg 3m	0,9447	27,5866	179,31
KT = -3,91303 - 0,02093 x (N 3m) ² + 7,88520 x K 3m + 17,75204 x Mg 3m	0,9565	22,7562	146,73
KT = - 26,24617 + 1,83519 x N 2m - 0,06059 x (N 3m) ² + 7,19802 x K 3m + 19,55888 x Mg 3m	0,9738	14,4273	176,72
KT = 7,25572 x K 3m + 14,10653 x Mg 3m	0,9866	26,9766	809,59
KT = - 0,02124 x (N 3m) ² + 7,01614 x K 3m + 18,55683 x Mg 3m	0,9895	22,1504	659,25

KT = 0,03360 x (N 2m) ² - 0,05993 x (N 3m) ² + 6,17109 x K 3m + 20,49984 x Mg 3m	0,9924	16,9106	649,52
Cont. Tab. 24			
KT = - 7,96348 + 8,85669 x K 3m + 1,15279 x Mg 3m + 0,24980 x Ca T	0,9738	13,7255	247,66
KT = - 8,56752 + 9,15786 x K 3m + 0,26407 x Ca T	0,9736	13,1511	387,65
KT = -7,47074 + 8,23842 x K 3m + 0,27108 x P T + 0,24 737 x Ca T	0,9819	9,4560	362,49
KT = - 6,92376 - 4,60576 x P 3m + 8,42020 x K 3m + 0,71520 x P T + 0,22248 x Ca T	0,9861	7,6774	336,26
KT = - 8,55571 - 5,24022 x P 3m + 9,28253 x K 1m + 5,27802 x K 3m + 0,73012 x P T + 0,22733 x Ca T	0,9911	5,1906	399,90
KT = - 8,40194 - 11,08292 x P 1m - 3,68203 x P 3m + 13,85789 x K 1m + 4,00379 x K 3m + 0,94073 x P T + 0,20593 x Ca T	0,9937	3,8812	446,87
KT = - 9,27498 - 0,00757 x (N 3m) ² - 10,49565 x P 1m - 4,11070 x P 3m + 13,75460 K 1m + 4,56419 x K 3m + 0,92057 x P T + 0,22419 x Ca T	0,9955	2,9373	507,05
KT = - 13,25678 - 0,01977 x (N 3m) ² - 8,73805 x P 1m - 3,26689 x P 3m + 11,67205 x K 1m + 5,13287 x K 3m + 0,06510 x N T + 0,79451 x P T + 0,18185 x Ca T	0,9969	2,1861	596,92
KT = 7,66377 x K 3m + 0,27985 x Ca T	0,9925	15,0463	1460,23
KT = 6,88491 x K 3m + 0,28995 x P T + 0,25982 x Ca T	0,9948	10,9712	1338,13
KT = 8,72778 x K 3m - 2,39948 x Ca 3m + 0,28984 x P T + 0,35580 x Ca T	0,9964	7,9708	1383,61
KT = 4,42474 x K 2m + 4,19680 x K 3m - 3,08168 x Ca 3m + 0,32534 x P T + 0,38138 x Ca T	0,9973	6,2395	1415,34
KT = - 4,53847 x P 3m + 5,00260 x K 2m + 3,59154 x K 3m - 2,79279 x Ca 3m + 0,76627 x P T + 0,34418 x Ca T	0,9982	4,3777	1682,56
CaT = - 41,73117 + 41,47937 x Ca 1m	0,9055	156,8605	210,71
CaT = - 43,73117 + 24,60599 x Ca 1m + 6,22035 x Ca 2m	0,9295	122,6207	138,35
CaT = 13,39109 x Ca 3m	0,9584	217,3125	529,63
CaT = 8,47985 x Ca 3m + 0,13446 x (Ca base) ²	0,9775	122,7341	478,25
CaT = 23,29223 + 2,87483 x Mg T	0,9333	110,6903	307,78
CaT = - 7,51385 + 6,96329 x Ca 3m + 1,78735 x Mg T	0,9680	55,6711	317,35
CaT = - 3,22104 + 0,06301 x Ca 3m - 22,22933 x Mg 2m + 2,89073 x MgT	0,9851	27,2826	439,32
CaT = - 3,36928 + 7,85128 x Ca 2m + 1,47835 x Ca 3m - 29,36840 x Mg 2m + 3,13511 x Mg T	0,9902	18,9200	477,59
CaT = - 2,74798 + 9,18567 x Ca 2m - 30,26941 x Mg 2m + 3,18609 x Mg T	0,9900	18,2823	658,88
CaT = - 1,09141 + 8,59963 x Ca 2m - 30,55749 x Mg 2m - 0,12632 x (Mg base) ² + 3,45072 x Mg T	0,9929	13,7273	660,05
CaT = 1,63874 + 7,53079 x Ca 2m - 28,14869 x Mg 2m + 0,04031 x (Ca base) ² - 0,18148 x (Mg base) ² + 3,20089 x Mg T	0,9953	9,4655	767,69
MgT = - 5,77013 + 15,82788 x Mg 3m	0,9401	11,2288	345,10

MgT = -7,17259 + 1,51564 x Mg base + 13,70194 x Mg 3m Cont. Tab. 24	0,9537	9,0788	216,52
MgT = 17,2470 x Mg5	0,9564	10,0800	504,76
MgT = 14,34179 x Mg 3m	0,9730	12,8581	828,68
MgT = 13,12883 x Mg 3m + 0,08736 x (Mg base) ²	0,9791	10,3845	516,28
MgT = 0,34238 - 0,29490 x N base + 1,71401 x Mg base + 14,70589 x Mg 3m	0,9650	7,2171	183,72
MgT = - 2,77119 x K 1,3m + 18,91638 x Mg 3m	0,9819	8,9987	597,48
MgT = -2,58426 x K 1,3m + 15,63862 x Mg 3m + 0,02273 x (Ca base) ²	0,9866	6,9973	514,68
MgT = - 3,65457 x K1,3m + 19,44568 x Mg 3m + 0,03699 x (Ca base) ² - 0,09309 x (Ca 1,3m) ²	0,9911	4,8513	559,34
MgT = - 6,98222 + 8,59494 x Mg 3m + 0,16008 x Ca T	0,9707	5,7553	347,62
MgT = - 0,24101 - 2,39447 x Ca 3m + 10,38399 x Mg 3m + 0,25915 x Ca T	0,9878	2,5137	539,96
MgT = - 0,43765 - 2,06138 x Ca 3m + 9,35676 x Mg 3m + 0,05264 x (Mg base) ² + 0,24233 x Ca T	0,9932	1,4744	694,18
MgT = 0,81278 - 1,34763 x Ca 1,3m - 1,47279 x Ca 3m + 10,63692 x Mg 3m + 0,05516 x (Mg base) ² + 0,25031 x Ca T	0,9958	0,9721	844,53
MgT = 0,35542 - 1,79878 x Ca 1,3m - 1,16020 x Ca 3m + 3,39006 x Mg 1,3m + 8,32038 x Mg 3m + 0,04932 x (Mg base) ² + 0,25094 x Ca T	0,9974	0,6344	1080,16
MgT = 0,07133 - 1,81387 x Ca 1,3m - 1,22197 x Ca 3m + 3,09990 x Mg 1,3m + 10,06760 x Mg 3m - 0,32975 x (K 1m) ² + 0,04720 x (Mg base) ² + 0,24429 x Ca T	0,9985	0,3891	1511,10
MgT = 7,52460 x Mg 3m + 0,14463 x Ca T	0,9826	8,6809	619,75
MgT = - 2,43563 x Ca 3m + 10,39556 x Mg 3m + 0,26058 x Ca T	0,9954	2,3961	1516,48
MgT = - 2,13698 x Ca 3m + 9,38071 x Mg 3m + 0,05249 x (Mg base) ² + 0,24496 x Ca T	0,9974	1,4079	1939,61
MgT = - 1,26020 x Ca 1,3m - 1,38459 x Ca 3m + 10,51384 x Mg 3m + 0,05525 x (Mg base) ² + 0,24539 x Ca T	0,9984	0,9442	2315,73
MgT = - 1,76852 x Ca 1,3m - 1,11744 x Ca 3m + 3,44404 x Mg 1,3m + 8,23077 x Mg 3m + 0,04927 x (Mg base) ² + 0,24884 x Ca T	0,9990	0,6037	3020,07
MgT = - 1,80791 x Ca 1,3m - 1,21366 x Ca 3m + 3,10977 x Mg 1,3m + 10,05487 x Mg 3m - 0,33071 x (K 1m) ² + 0,04718 x (Mg base) ² + 0,24386 x Ca T	0,9994	0,3664	4267,09

ANEXO 11

TABELA 25. Modelos matemáticos para as variáveis dependentes de N_T, P_T, K_T, Ca_T e Mg_T na casca de *P. taeda*.

EQUAÇÕES	R ²	S _{xy} %	F
$N_T = -1,56026 + 12,26652 \times N_{3,0m}$	0,9223	38,7507	261,11
$N_T = 3,74128 + 8,85102 \times N_{3,0m} + 0,05905 \times (N_{base})^2$	0,9642	18,7137	282,62
$N_T = 12,07468 \times N_{3,0m}$	0,9750	37,2183	896,43
$N_T = 9,46885 \times N_{3,0m} + 0,05567 \times (N_{base})^2$	0,9880	18,7048	903,73
$N_T = 2,19405 + 6,63199 \times N_{3,0m} + 0,05855 \times (N_{base})^2 + 24,47987 \times Mg_{2,0m}$	0,9773	12,4566	286,90
$N_T = 4,19848 + 8,45910 \times N_{3,0m} + 0,04726 \times (N_{base})^2 - 7,73056 \times K_{3,0m} + 24,68522 \times Mg_{2,0m}$	0,9868	7,6365	354,40
$N_T = 6,91872 \times N_{3,0m} + 0,05660 \times (N_{base})^2 + 25,22772 \times Mg_{2,0m}$	0,9925	12,1602	931,02
$N_T = 8,59886 \times N_{3,0m} + 0,04769 \times (N_{base})^2 + 21,77183 \times Mg_{2,0m} - 2,10275 \times (K_{3,0m})^2$	0,9955	7,6303	1116,18
$N_T = 3,02747 + 6,70930 \times N_{3,0m} + 0,05024 \times (N_{base})^2 + 2,28896 \times Mg_T$	0,9842	8,6423	416,47
$N_T = 4,63264 + 8,31011 \times N_{3,0m} + 0,04240 \times (N_{base})^2 - 5,90796 \times K_{3,0m} + 2,08564 \times Mg_T$	0,9896	5,9901	453,11
$N_T = 2,11896 + 9,48267 \times N_{3,0m} + 0,03574 \times (N_{base})^2 - 23,58546 \times K_{3,0m} + 1,70774 \times K_T + 0,84067 \times Mg_T$	0,9951	2,9599	737,69
$N_T = 7,1799 \times N_{3,0m} + 0,04741 \times (N_{base})^2 + 2,31860 \times Mg_T$	0,9946	8,8064	1288,25
$N_T = 8,62893 \times N_{3,0m} + 0,04178 \times (N_{base})^2 - 1,68101 \times (K_{3,0m})^2 + 1,92856 \times Mg_T$	0,9964	6,1901	1377,03
$N_T = 8,83097 \times N_{3,0m} + 0,04267 \times (N_{base})^2 + 1,60068 \times (K_{1,3m})^2 - 2,91442 \times (K_{3,0m})^2 + 1,73853 \times Mg_T$	0,9974	4,7463	1438,14
$N_T = 7,77175 \times N_{3,0m} + 0,05122 \times (N_{base})^2 + 1,53694 \times (K_{1,3m})^2 - 2,41370 \times (K_{3,0m})^2 - 81,78376 \times (Mg_{1,0m})^2 + 3,15191 \times Mg_T$	0,9980	3,7503	1517,76
$N_T = 8,13629 \times N_{3,0m} + 0,04789 \times (N_{base})^2 - 29,22650 \times Mg_{2,0m} + 2,29105 \times (K_{1,3m})^2 - 2,46353 \times (K_{3,0m})^2 - 112,73158 \times (Mg_{1,0m})^2 + 5,68026 \times Mg_T$	0,9988	2,4067	2028,82
$N_T = 8,05896 \times N_{3,0m} + 0,06129 \times (N_{base})^2 - 30,74383 \times Mg_{2,0m} + 2,56007 \times (K_{1,3m})^2 - 2,77559 \times (K_{3,0m})^2 - 0,13410 \times (Ca_{1,0m})^2 - 116,69176 \times (Mg_{1,0m})^2 + 5,65019 \times Mg_T$	0,9993	1,5899	2688,41
$N_T = 8,03337 \times N_{3,0m} + 0,06221 \times (N_{base})^2 - 30,33847 \times Mg_{2,0m} - 0,17853 \times (K_{base})^2 + 2,98658 \times (K_{1,3m})^2 - 2,71965 \times (K_{3,0m})^2 - 0,13875 \times (Ca_{1,0m})^2 - 122,17253 \times (Mg_{1,0m})^2 + 5,76410 \times Mg_T$	0,9994	1,2561	3025,35
$P_T = 0,38584 + 10,26815 \times P_{2,0m}$	0,8727	1,5E-06	150,88
$P_T = 0,11269 + 9,30355 \times P_{2,0m} + 0,99417 \times (P_{base})^2$	0,9008	1,2E-06	95,30
$P_T = -0,08821 - 5,67534 \times P_{1,3m} + 13,97883 \times P_{2,0m} + 1,24408 \times (P_{base})^2$	0,9317	1,2E-06	90,89

P_T = 11,11986 x P 2,0m	0,9614	1,5E-06	572,56
Cont. Tab. 25			
P_T = 9,46596 x P 2,0m + 1,04893 x (P base) ²	0,9716	1,2E-06	376,44
P_T = -5,52231 x P 1,3m + 13,73345 x P 2,0m + 1,19711 x (P base) ²	0,9805	8,4E-07	351,47
P_T = 0,54683 + 7,62309 x P 2,0m + 9,15261 x (Mg 1,0m) ²	0,9387	7,5E-07	160,83
P_T = -0,08355 + 1,32087 x P base + 6,76149 x P 2,0m + 8,83862 x (Mg 1,0m) ²	0,9612	5,0E-07	165,02
P_T = -0,21597 + 1,52155 x P base + 7,21128 x P 2,0m - 0,51791 x (Mg base) ² + 14,87717 x (Mg 1,0m) ²	0,9737	3,5E-07	176,03
P_T = -0,03165 + 1,51870 x P base + 6,99429 x P 2,0m - 0,77355 x (Mg base) ² + 13,03442 x (Mg 1,0m) ² + 0,68860 x (Mg 3,0m) ²	0,9800	2,84E-07	176,79
P_T = 0,02748 + 1,62258 x P base + 5,43300 x P 2,0m + 0,15718 x Ca 3,0m - 0,73420 x (Mg base) ² + 8,57799 x (Mg 1,0m) ² + 1,08614 x (Mg 3,0m) ²	0,9860	2,11E-07	199,35
P_T = 0,06822 + 1,37162 x P base + 6,09837 x P 2,0m + 0,18397 x Ca 3,0m - 0,51779 x (Mg base) ² + 6,83555 x (Mg 1,0m) ² - 1,52999 x (Mg 2,0m) ² + 2,19377 x (Mg 3,0m) ²	0,9901	0,000	229,65
P_T = -0,46070 + 1,35702 x P base + 5,84160 x P 2,0m + 0,15664 x Ca 3,0m + 1,36526 x Mg base - 1,09820 x (Mg base) ² + 5,76770 x (Mg 1,0m) ² - 1,59153 x (Mg 2,0m) ² + 2,59901 x (Mg 3,0m) ²	0,9926	0,000	251,31
P_T = 7,67278 x P 2,0m + 5,23178 x Mg 1,0m	0,9786	0,000	503,03
P_T = 6,60807 x P 2,0m + 4,75653 x Mg 1,0m + 0,87385 x (P base) ²	0,9856	0,000	477,65
P_T = 0,00529 x (N 3,0m) ² + 5,88363 x P 2,0m + 0,86234 x (P base) ²	0,9885	0,000	429,80
P_T = 0,00491 x (N 3,0m) ² + 6,42723 x P 2,0m - 1,11574 x Mg base + 7,84262 x Mg 1,0m + 1,02331 x (P base) ²	0,9909	0,000	411,63
K_T = 2,72232 + 10,80193 x K 3,0m	0,8791	2,6430	159,96
K_T = 1,20652 + 10,31292 x K 1,0m + 7,39379 x K 3,0m	0,9150	1,9468	113,01
K_T = 12,26802 x K 3,0m	0,9618	3,0199	579,52
K_T = 11,69905 x K 1,0m + 7,47576 x K 3,0m	0,9765	1,9422	457,41
K_T = -0,12446 + 8,67875 x K 3,0m + 11,43622 x Mg 1,3m	0,9534	1,0680	214,64
K_T = 0,04527 + 7,38621 x K 3,0m + 10,96577 x Mg 1,3m + 0,17844 x (K base) ²	0,9680	0,7703	201,44
K_T = 8,65285 x K 3,0m + 11,30760 x Mg 1,3m	0,9877	1,0203	880,71
K_T = 7,39718 x K 3,0m + 11,01292 x Mg 1,3m + 0,17822 x (K base) ²	0,9915	0,7337	819,62
K_T = 0,08732 + 7,37083 x K 3,0m + 8,01412 x Mg 1,3m + 0,19002 x (K base) ² + 0,03383 x Ca_T	0,9741	0,6554	178,68
K_T = 7,39201 x K 3,0m + 8,10914 x Mg 1,3m + 0,18958 x (K base) ² + 0,03379 x Ca_T	0,9932	0,6231	725,04
Ca_T = 1,35279 + 12,62591 x Ca 3,0m	0,9177	20,0117	245,42
Ca_T = 0,51149 + 5,07859 x Ca 1,0m + 8,94189 x Ca 3,0m	0,9737	6,7108	388,22
Ca_T = 12,89225 x Ca 3,0m	0,9648	19,3057	629,85
Ca_T = 5,09358 x Ca 1,0m + 9,03123 x Ca 3,0 m	0,9888	6,4301	969,06

Ca_T = 2,46726 + 4,39638 x Ca 1,0m + 10,01288 x Ca 3,0m - 0,36878 x (K base) ²	0,9819	4,8418	361,75
Cont. Tab. 25			
Ca_T = -1,18780 + 4,51895 x Ca 1,0m + 9,01615 x Ca 3,0m + 7,29693 x Mg base - 0,43158 (K base) ²	0,9881	3,3535	394,19
Ca_T = -0,88731 - 0,77018 x N 3,0m + 4,57947 x Ca 1,0m + 9,26469 x Ca 3,0m + 10,58928 x Mg base - 0,41730 x (K base) ²	0,9908	2,7457	386,20
Ca_T = 4,58786 x Ca 1,0m + 10,17443 x Ca 3,0m - 0,29845 x (K base) ²	0,9915	5,1164	814,14
Ca_T = 4,44838 x Ca 1,0m + 9,10418 x Ca 3,0m + 6,31811 x Mg base - 0,44304 x (K base) ²	0,9948	3,2580	962,13
Ca_T = -2,32450 x N 1,0m + 5,91958 x Ca 1,0m + 8,59709 x Ca 3,0m + 11,32885 x Mg base - 0,41925 x (K base) ²	0,9960	2,6373	952,00
Mg_T = 0,05569 + 12,29605 Mg 3,0m	0,9609	0,2386	540,30
Mg_T = 12,36082 x Mg 3,0m	0,9849	0,2285	1503,35
Mg_T = 0,68361 - 0,95464 x K 3,0m + 13,40606 x Mg 3,0m	0,9777	0,0000	459,46
Mg_T = 0,61486 - 1,07971 x K 3,0m + 0,19259 x Ca 2,0m + 12,41018 x Mg 3,0m	0,9884	0,0000	568,16
Mg_T = 13,29221 x Mg 3,0m - 0,23216 x (K 3,0m) ²	0,9902	0,0000	1109,87
Mg_T = 0,17014 x Ca 2,0m + 12,20471 x Mg 3,0m - 0,25109 x (K 3,0m) ²	0,9936	0,0000	1079,74

ANEXO 12

TABELA 26. Conteúdos de nutrientes (g/árvore) nas classes de diâmetros e posições em relação à altura da árvore, para o lenho, nos segmentos das equações selecionadas.

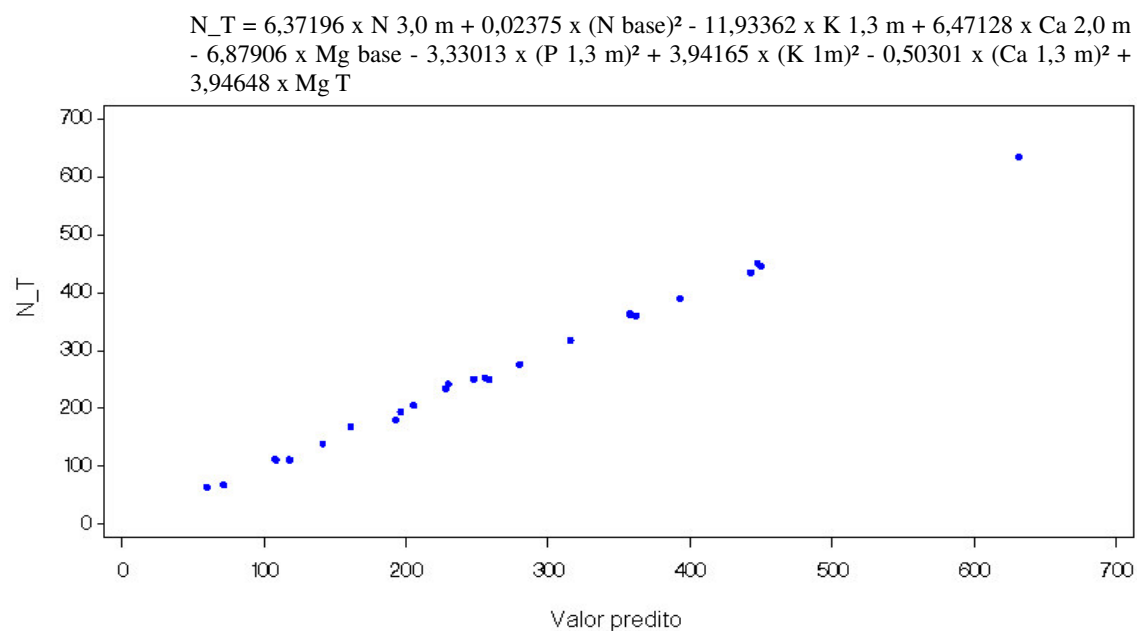
Classe de diâmetro	N base	N 3,0m	P 1,3m	P 3,0m	K 1,0m	K 1,3m	K 3,0m	Ca base
10 - 15,0	17,2620	7,2193	0,1620	0,2301	0,8492	1,7827	3,6291	5,8213
20 - 24,9	33,5486	15,7136	0,7077	1,1276	1,5242	3,0524	4,3182	12,7226
25 - 29,9	35,8359	21,9057	2,2012	2,3608	2,0652	5,2017	6,7228	17,5785
30 - 34,9	48,7667	26,3459	2,2273	3,3630	3,0542	6,4837	7,5831	20,2687
35 - 40,0	51,7586	34,8200	2,0249	3,1447	4,3568	9,9531	11,8361	32,6239
Cont. Tab. 26								
Classe de diâmetro	Ca 1,3m	Ca-T	Ca 2,0m	Mg base	Mg 2,0m	Mg 3,0m	Mg- T	
10 - 15,0	2,6746	25,4326	3,4438	1,3553	0,7243	0,5924	5,6702	
20 - 24,9	5,6749	73,5226	7,2559	2,5970	1,6138	1,5161	16,4335	
25 - 29,9	8,3815	140,9859	12,3979	5,9569	3,1850	2,7547	41,6212	
30 - 34,9	11,7425	166,6195	14,6953	5,7566	3,9546	3,6391	48,6742	
35 - 40,0	19,0091	327,8137	23,3623	10,5039	7,6797	6,8781	105,7919	

ANEXO 13

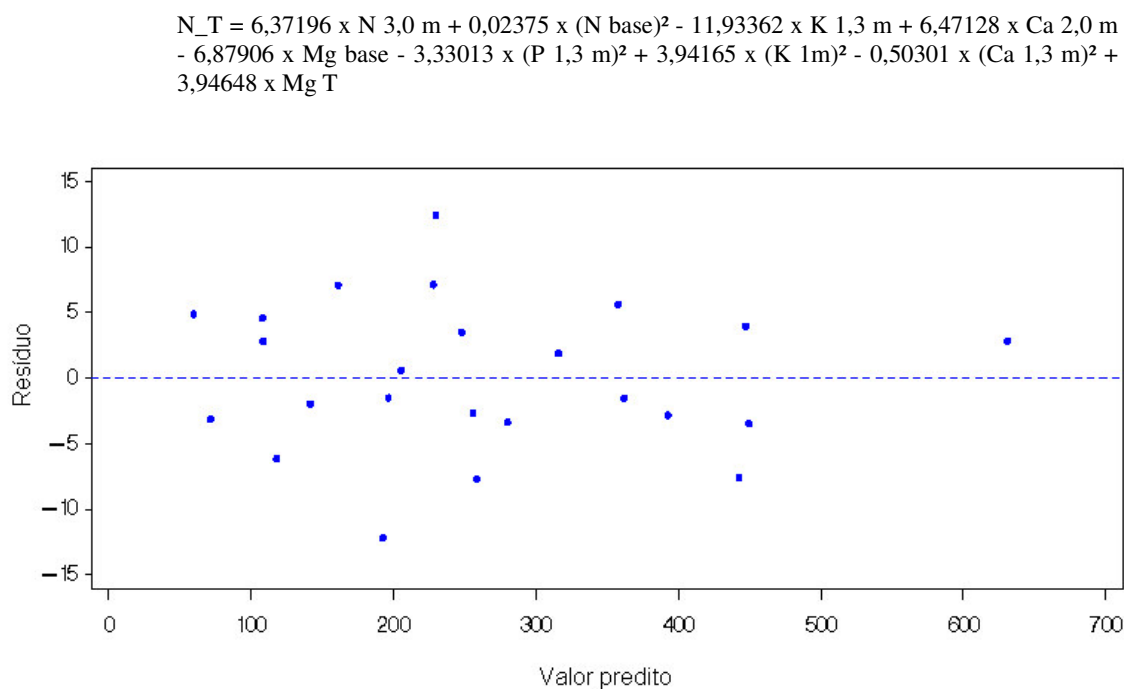
TABELA 27. Conteúdos de nutrientes (g/árvore) nas classes de diâmetros e posições em relação à altura da árvore, para a casca, nos segmentos das equações selecionadas.

Classe de diâmetro	N base	N 3,0m	P 2,0m	K 1,0m	K 3,0m	Ca 1,0m	Ca 3,0m	Mg_T	Mg 2,0m	Mg 3,0m
10 - 15,0	4,2660	1,3218	0,0583	0,1828	0,3921	0,3323	0,4092	1,3151	0,1766	0,1364
20 - 24,9	9,0698	3,0633	0,2045	0,4104	0,7964	0,9112	1,3205	3,2873	0,3264	0,2508
25 - 29,9	12,3190	5,8426	0,2840	0,4549	1,3133	1,6507	2,5109	6,1819	0,5690	0,4883
30 - 34,9	19,0727	7,69849	0,3902	0,88943	1,7137	4,05349	4,325	7,65336	0,7856	0,76377
35 - 40,0	29,4871	13,8782	0,8169	0,8674	2,0582	6,1638	8,4661	18,6878	1,5035	1,4295

ANEXO 14

FIGURA 4. Valores preditos do nutriente N_T no lenho de *Pinus taeda*.

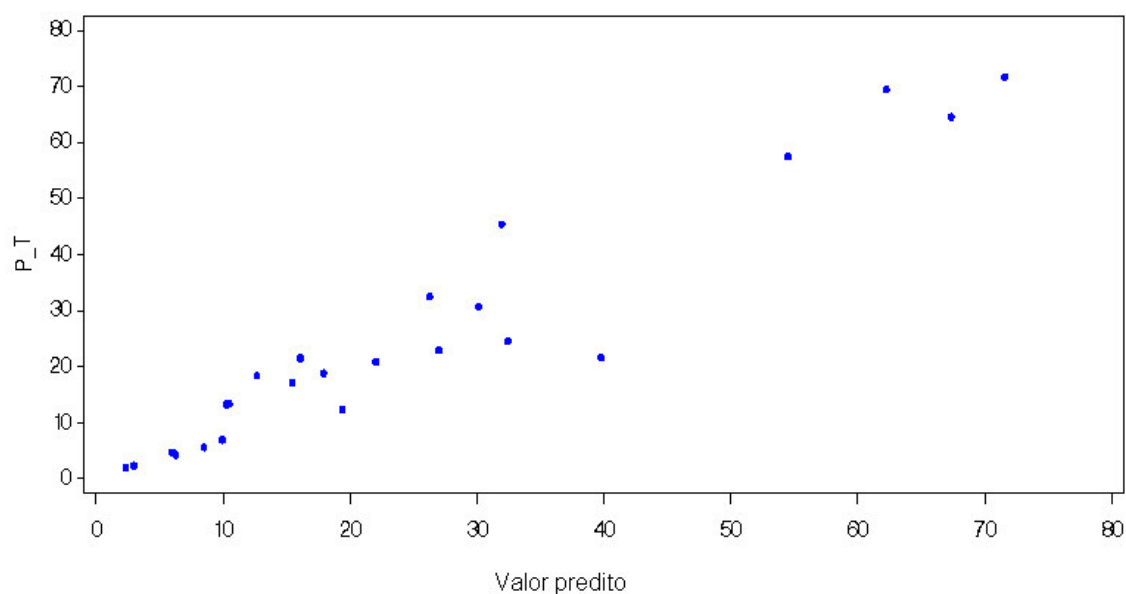
ANEXO 15

FIGURA 5. Distribuição de resíduos do nutriente N_T no lenho de *Pinus taeda*.

ANEXO 16

FIGURA 6. Valores preditos do nutriente P_T no lenho de *Pinus taeda*.

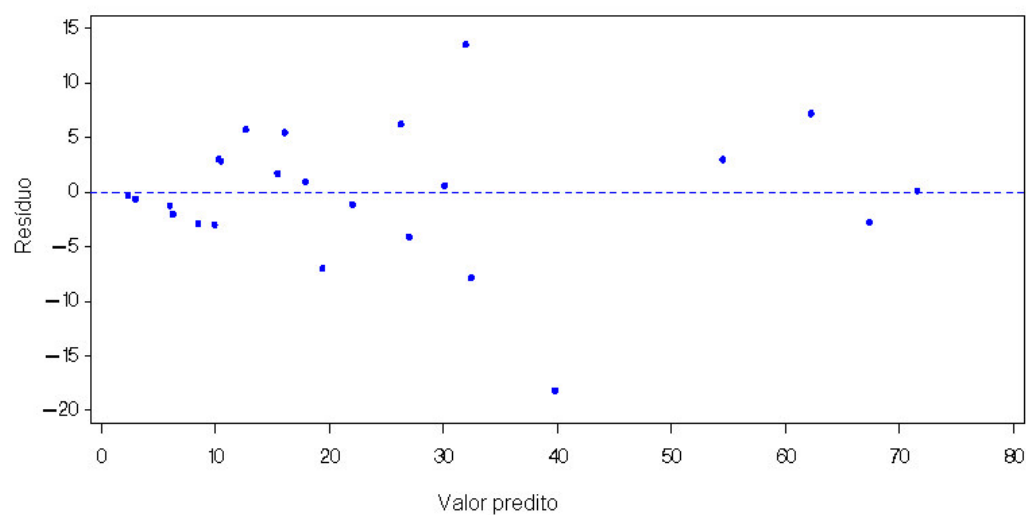
$$P_T = 7,08447 \times P_{1,3\text{ m}} + 6,66924 \times P_{3,0\text{ m}}$$



ANEXO 17

FIGURA 7. Distribuição de resíduos do nutriente P_T no lenho de *Pinus taeda*.

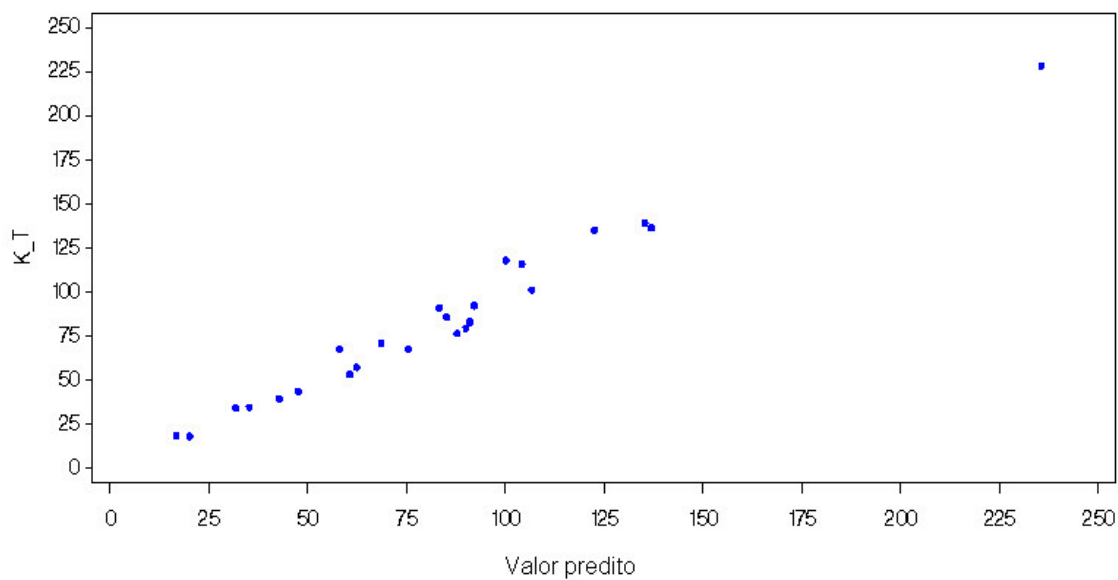
$$P_T = 7,08447 \times P_{1,3\text{ m}} + 6,66924 \times P_{3,0\text{ m}}$$



ANEXO 18

FIGURA 8. Valores preditos do nutriente K_T no lenho de *Pinus taeda*.

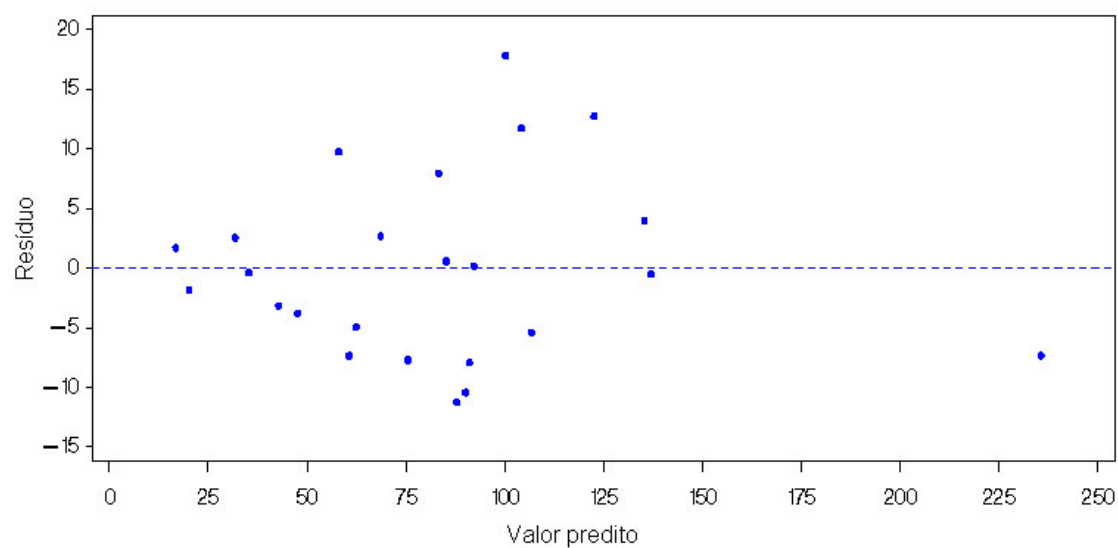
$$K_T = -8,56752 + 9,15786 \times K_{3,0\text{ m}} + 0,26407 \times Ca_T$$



ANEXO 19

FIGURA 9. Distribuição de resíduos do nutriente K_T no lenho de *Pinus taeda*.

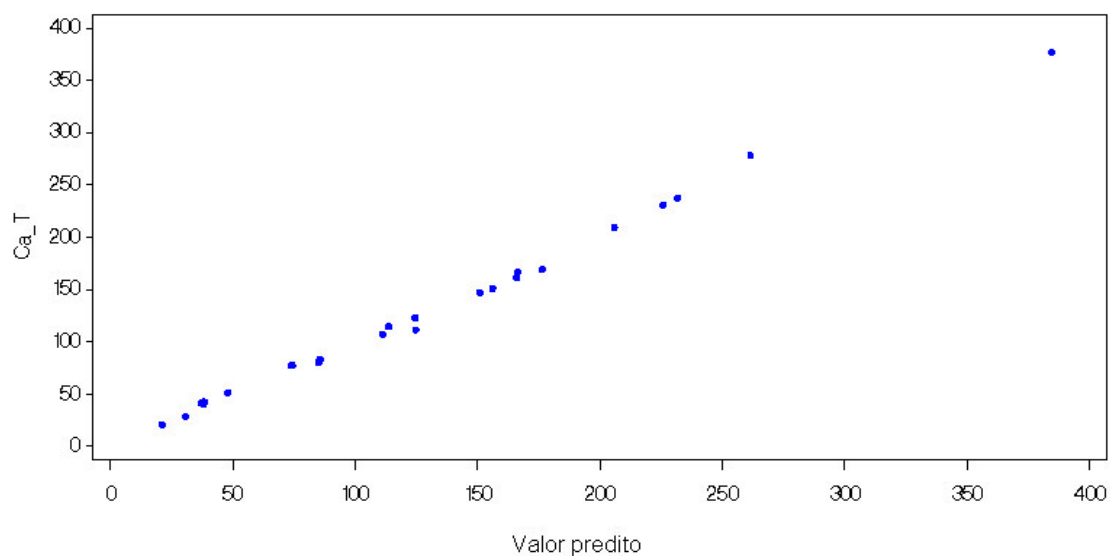
$$K_T = -8,56752 + 9,15786 \times K_{3,0\text{ m}} + 0,26407 \times Ca_T$$



ANEXO 20

FIGURA 10. Valores preditos do nutriente Ca_T no lenho de *Pinus taeda*.

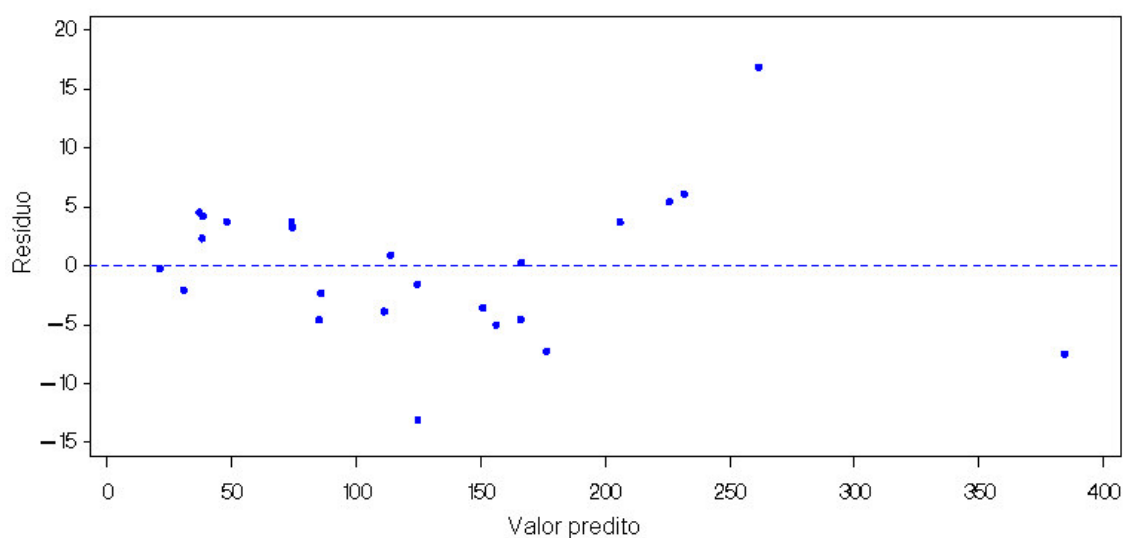
$$\text{Ca_T} = 1,63874 + 7,53079 \times \text{Ca } 2,0 \text{ m} - 28,14869 \times \text{Mg } 2,0 \text{ m} + 0,04031 \times (\text{Ca base})^2 - 0,18148 \times (\text{Mg base})^2 + 3,20089 \times \text{Mg T}$$



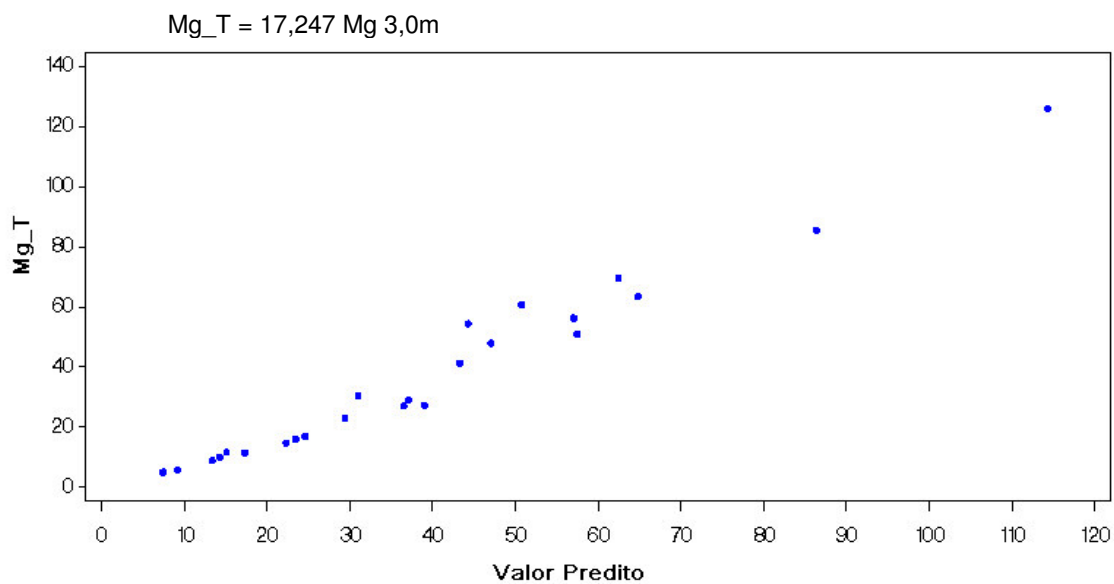
ANEXO 21

FIGURA 11. Distribuição de resíduos do nutriente Ca_T no lenho de *Pinus taeda*.

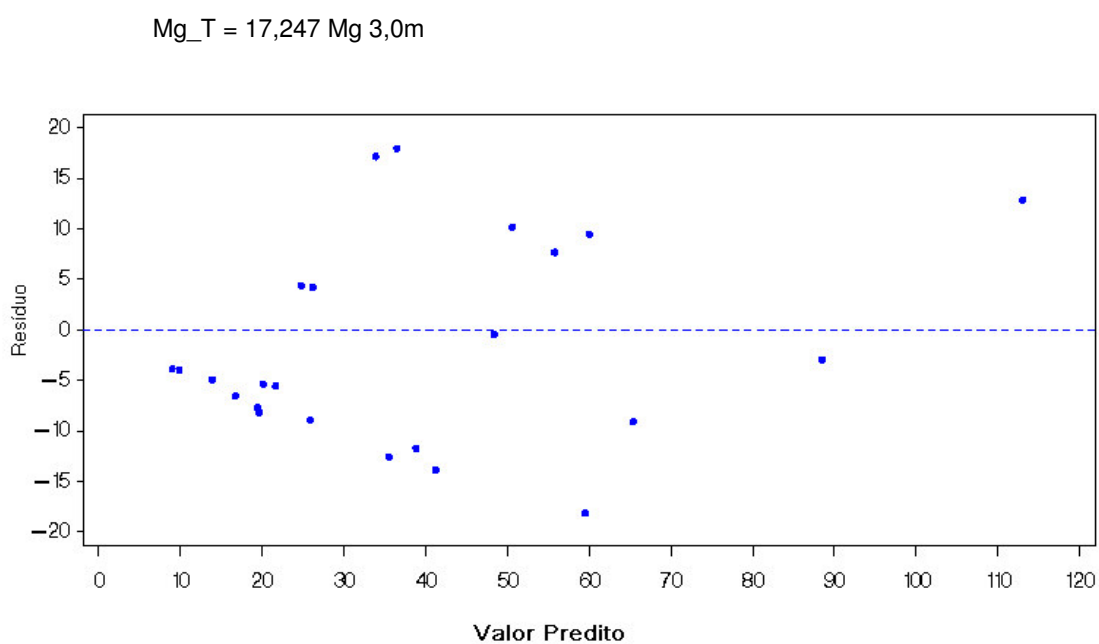
$$\text{Ca_T} = 1,63874 + 7,53079 \times \text{Ca } 2,0 \text{ m} - 28,14869 \times \text{Mg } 2,0 \text{ m} + 0,04031 \times (\text{Ca base})^2 - 0,18148 \times (\text{Mg base})^2 + 3,20089 \times \text{Mg T}$$



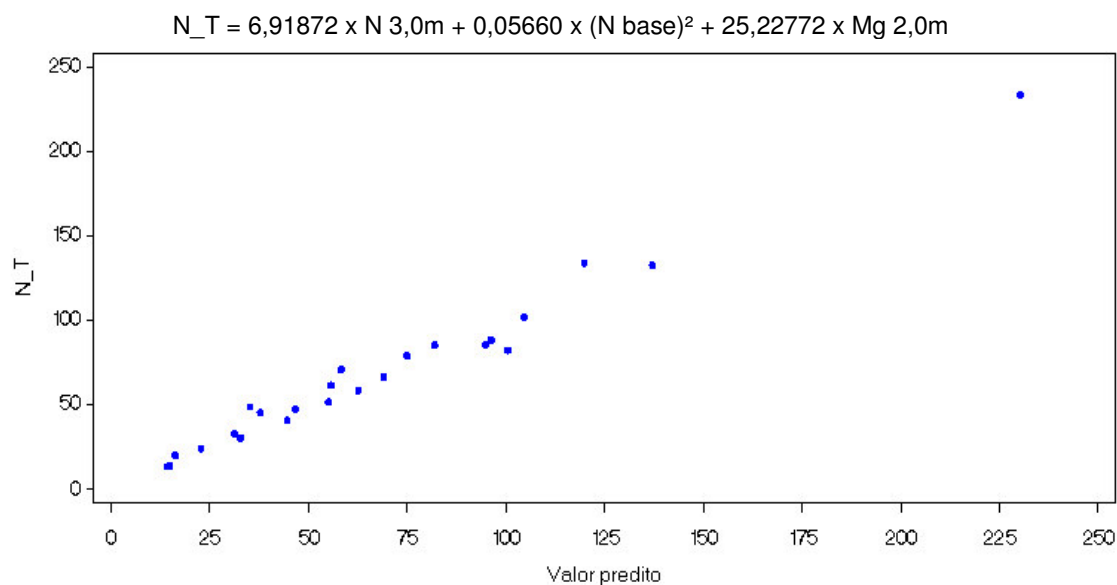
ANEXO 22

FIGURA 12. Valores preditos do nutriente Mg_T no lenho de *Pinus taeda*.

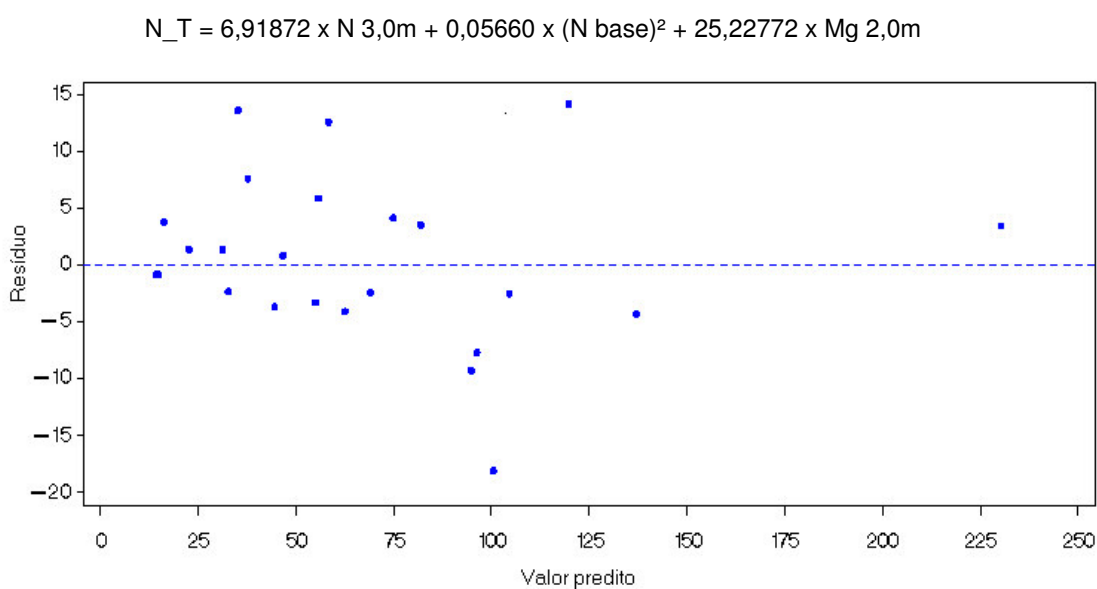
ANEXO 23

FIGURA 13. Distribuição de resíduos do nutriente Mg_T no lenho de *Pinus taeda*.

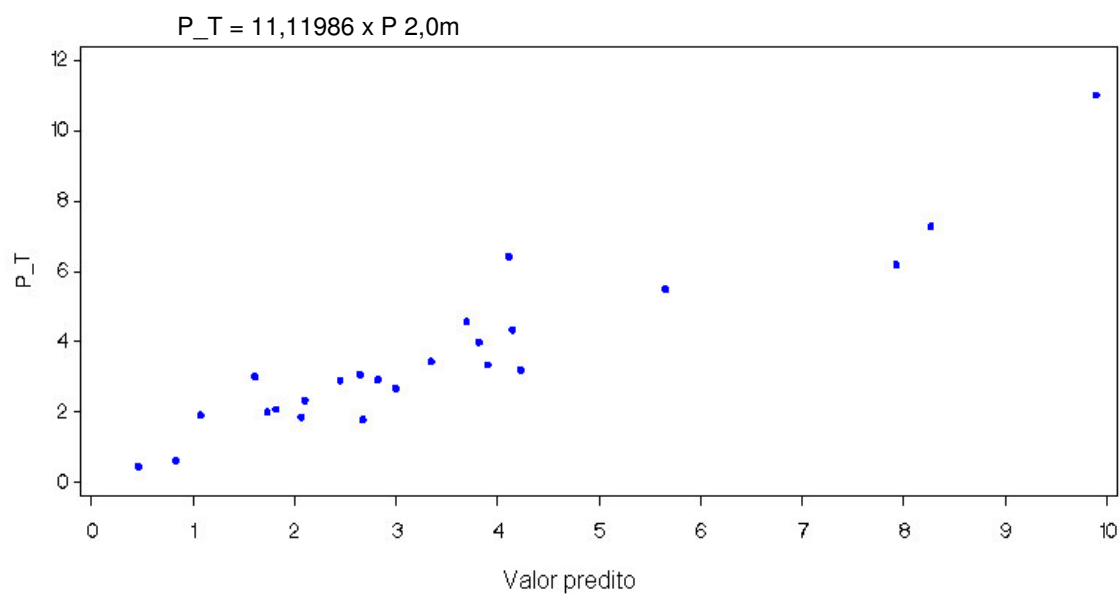
ANEXO 24

FIGURA 14. Valores preditos do nutriente N_T na casca de *Pinus taeda*.

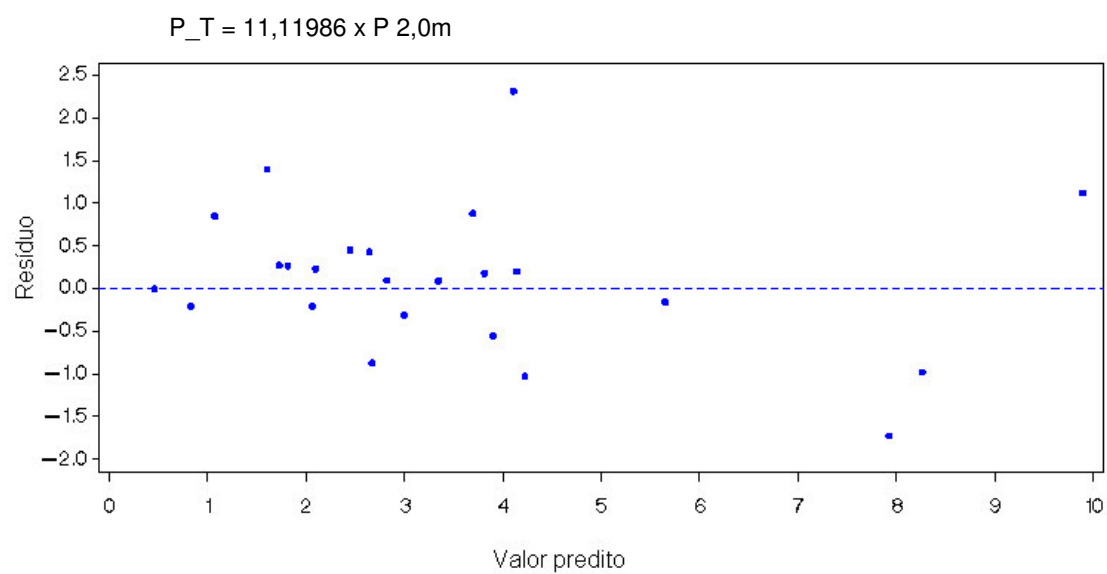
ANEXO 25

FIGURA 15. Distribuição de resíduos do nutriente N_T na casca de *Pinus taeda*.

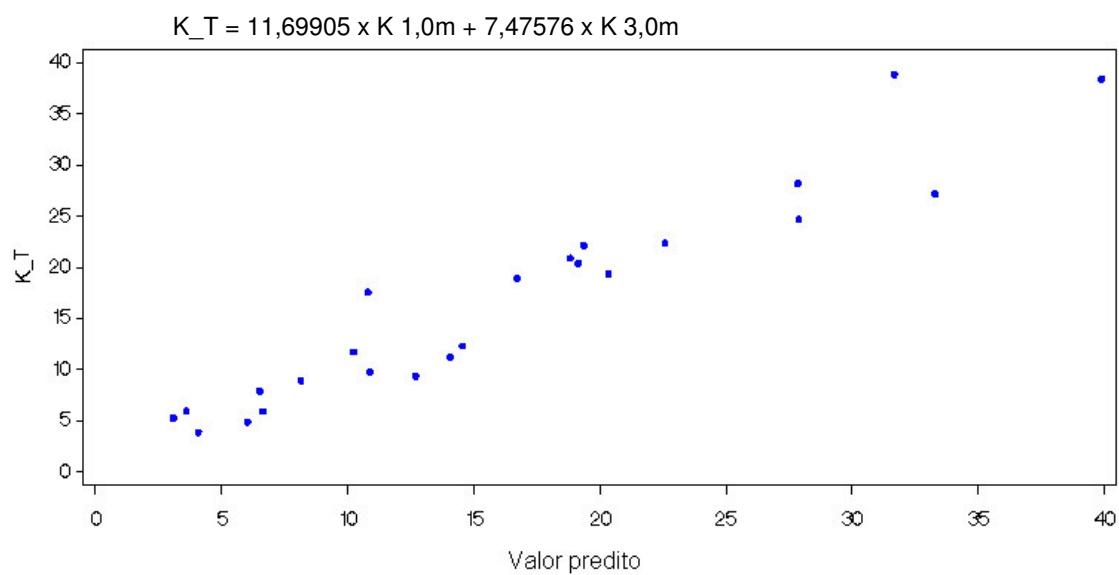
ANEXO 26

FIGURA 16. Valores preditos do nutriente P_T na casca de *Pinus taeda*.

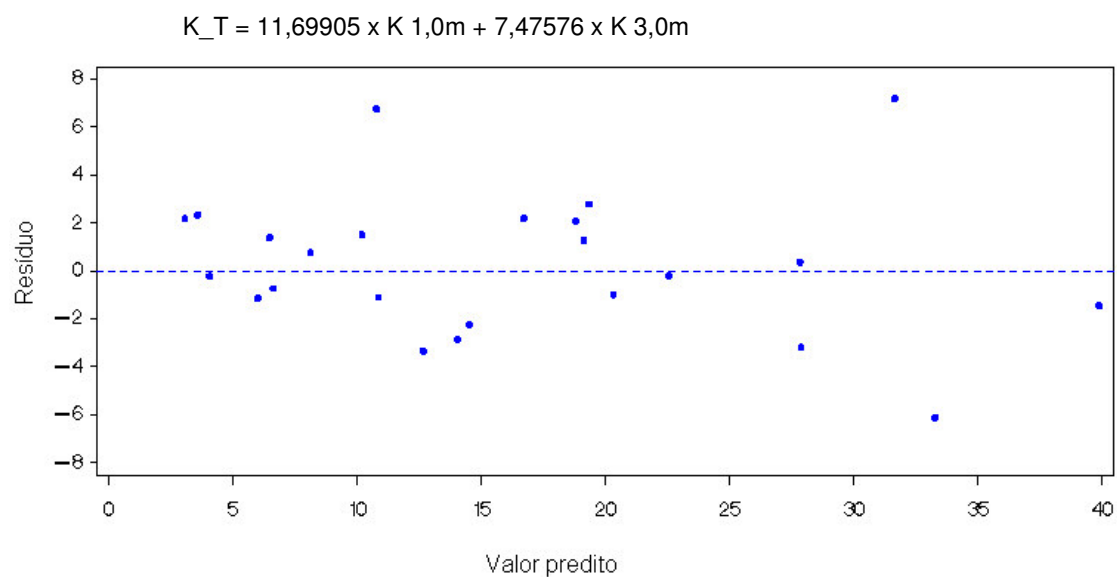
ANEXO 27

FIGURA 17. Distribuição de resíduos do nutriente P_T na casca de *Pinus taeda*.

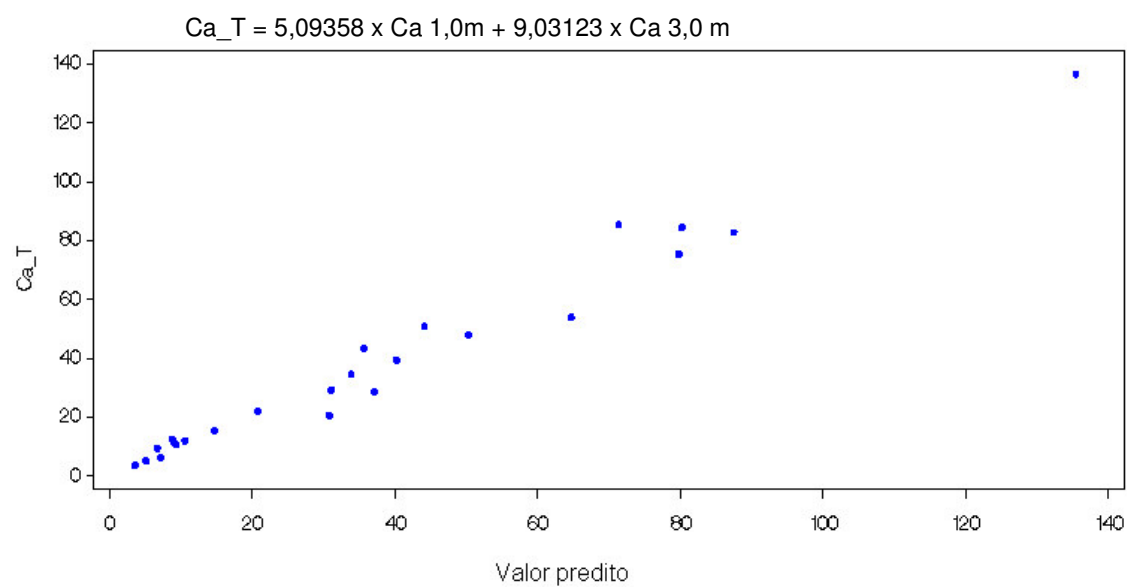
ANEXO 28

FIGURA 18. Valores preditos do nutriente K_T na casca de *Pinus taeda*.

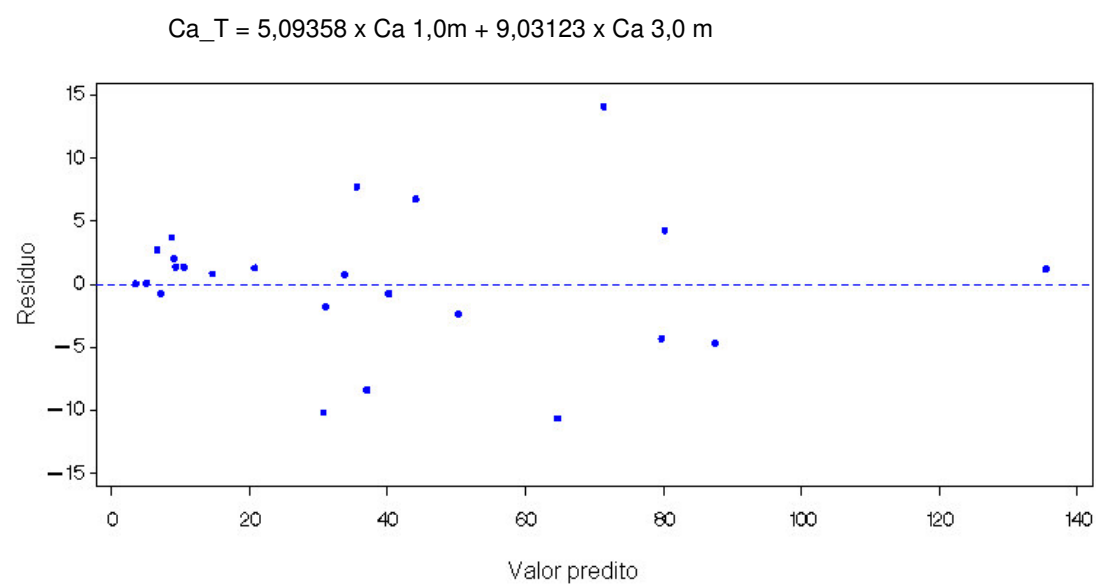
ANEXO 29

FIGURA 19. Distribuição de resíduos do nutriente K_T na casca de *Pinus taeda*.

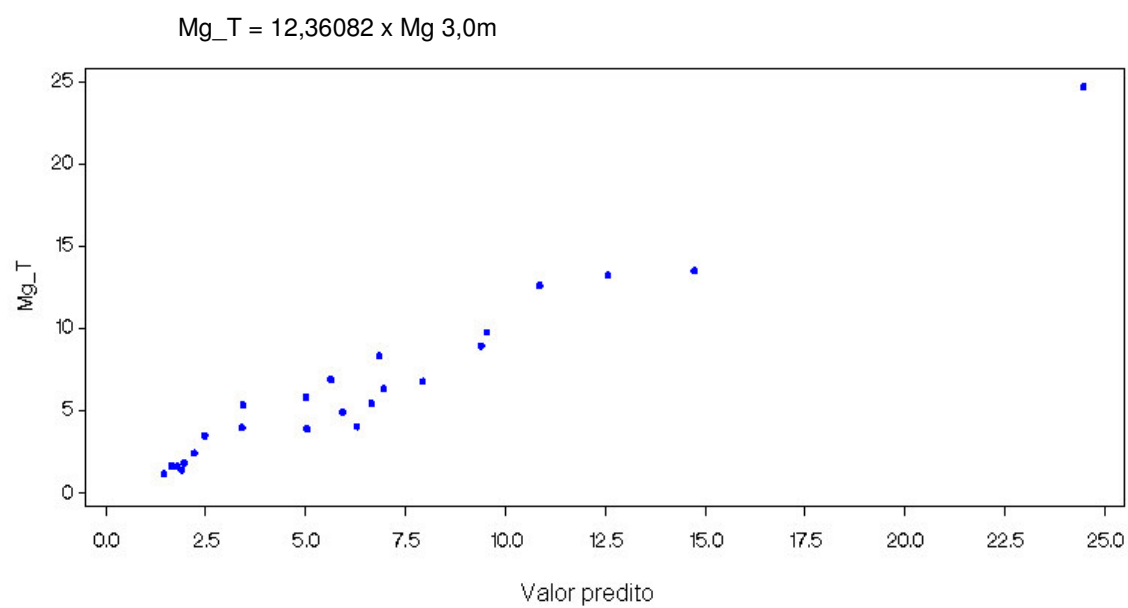
ANEXO 30

FIGURA 20. Valores preditos do nutriente Ca_T na casca de *Pinus taeda*.

ANEXO 31

FIGURA 21. Distribuição de resíduos do nutriente Ca_T na casca de *Pinus taeda*.

ANEXO 32

FIGURA 22. Valores preditos do nutriente Mg_T na casca de *Pinus taeda*.

ANEXO 33

FIGURA 23. Distribuição de resíduos do nutriente Mg_T na casca de *Pinus taeda*