



UFSM

Dissertação de Mestrado

**CRESCIMENTO INICIAL DE *Pinus taeda* L. RELACIONADO A DOSES
DE N, P E K, E SUA DIAGNOSE NUTRICIONAL PELO DRIS.**

Hamilton Luiz Munari Vogel

PPGEF

Santa Maria, RS, Brasil

2002

**CRESCIMENTO INICIAL DE *Pinus taeda* L. RELACIONADO A DOSES
DE N, P E K , E SUA DIAGNOSE NUTRICIONAL PELO DRIS.**

por

Hamilton Luiz Munari Vogel

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

PPGEF

Santa Maria, RS, Brasil

2002

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

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

**CRESCIMENTO INICIAL DE *Pinus taeda* L. RELACIONADO A DOSES
DE N, P E K, E SUA DIAGNOSE NUTRICIONAL PELO DRIS.**

Elaborada por
Hamilton Luiz Munari Vogel

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

COMISSÃO EXAMINADORA:

Prof. Dr. nat. techn. Mauro Valdir Schumacher – UFSM – Orientador

Prof. Dr. Júlio César Lima Neves – UFV

Prof. Dr. Lindolfo Storck – UFSM

Santa Maria, 27 de fevereiro de 2002

A minha psicanalista,
Lúcia Couto de Mello,
por me ajudar a segurar a “barra” do meu Desejo.

Aos meus pais,
Otto Vogel (in memoriam) e,
Elenir Munari Vogel.

Dedico este trabalho.

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Dr. nat. techn. Mauro Valdir Schumacher, pela mestria, incentivo e dedicação, sem as quais não seria possível a realização deste trabalho.

Aos co-orientadores, Prof. Dr. José Miguel Reichert e Prof. Dr. Solon Jonas Longhi, pelas sugestões e apoio prestadas.

À empresa Reflorestadores Unidos que, por intermédio do Engenheiro Florestal Vandir Zancan da Cambará Produtos Florestais, oportunizou a realização deste trabalho.

À banca examinadora, constituída pelo Prof. Dr. Júlio César Lima Neves (UFV) e Prof. Dr. Lindolfo Storck (UFSM), que gentilmente aceitou o convite.

Ao Tarso Michelloti (Técnico), do Laboratório de Ecologia Florestal, pelo auxílio e dedicação na realização das análises de tecido vegetal.

Ao Professor MSc. Mário Luiz Trevisan, pela ajuda prestada na elaboração dos mapas, sugestões, apoio e amizade.

Ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal da Universidade Federal de Santa Maria, pela oportunidade de realizar este curso.

À CAPES pela concessão da bolsa de estudos.

Aos colegas da Pós-Graduação pela convivência e amizade durante todo o período, que certamente perdurará.

A acadêmica do curso de Engenharia Florestal, Denise Ester Ceconi, pela ajuda prestada na coleta dos dados.

A todos aqueles que de uma maneira ou outra ajudaram e contribuíram na realização deste trabalho, pois mesmo não constando seus nomes nesta lista, eles sabem que foram importantes.

Meu sincero obrigado.

A redação deste trabalho foi revisada por Catarina Bento da Costa.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS.....	IX
LISTA DE FIGURAS.....	XI
LISTA DE ANEXOS.....	XII
RESUMO.....	XIII
ABSTRACT.....	XV
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1 O <i>PINUS TAEDA</i> L.....	4
2.2 IMPORTÂNCIA DA ADUBAÇÃO NO CRESCIMENTO DAS FLORESTAS.....	5
2.3 NITROGÊNIO.....	8
2.3.1 O nitrogênio no solo.....	8
2.3.2 O nitrogênio na planta.....	10
2.4 FÓSFORO.....	11
2.4.1 O fósforo no solo.....	11
2.4.2 O fósforo na planta.....	13
2.5 POTÁSSIO.....	14
2.5.1 O potássio no solo.....	14
2.5.2 O potássio na planta.....	15
2.6 AVALIAÇÃO NUTRICIONAL EM FLORESTAS DE <i>PINUS</i> SPP.....	16
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	20
3.1 ÁREA EXPERIMENTAL.....	20
3.2 SOLOS.....	23
3.3 CARACTERÍSTICAS DA REGIÃO.....	24
3.4 DELINEAMENTO.....	25

3.5 MANEJO DO EXPERIMENTO.....	27
3.6 COLETA DOS DADOS	27
3.7 ANÁLISE DOS DADOS	29
3.7.1 <i>Superfície de resposta</i>	29
3.7.2 <i>Avaliação nutricional pelo Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação (DRIS)</i>	29
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
4.1 SUPERFÍCIE DE RESPOSTA	34
4.2 AVALIAÇÃO NUTRICIONAL PELO SISTEMA INTEGRADO DE DIAGNOSE E RECOMENDAÇÃO (DRIS).	46
4.2.1 <i>Nutrientes limitantes</i>	48
4.2.2 <i>Potencial de Resposta à Adubação (PRA)</i>	53
4.2.3 <i>Teor ótimo estimado</i>	57
5 CONCLUSÕES.....	63
5.1 RECOMENDAÇÕES.....	63
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	64
ANEXOS	74

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – VALORES MÉDIOS DAS CARACTERÍSTICAS DO SOLO NA ÁREA EXPERIMENTAL.....	24
TABELA 2 – DOSES (KG HA^{-1}) DOS ADUBOS COMERCIAIS URÉIA, SUPERFOSFATO TRIPLO (SFT) E CLORETO DE POTÁSSIO (KCL) USADOS NOS 64 TRATAMENTOS DIVIDIDOS EM QUATRO BLOCOS.	26
TABELA 3 – CRITÉRIOS PARA A INTERPRETAÇÃO DOS VALORES DOS ÍNDICES DRIS COM BASE NO MÉTODO DO POTENCIAL DE RESPOSTA À ADUBAÇÃO (WADT, 1996).	33
TABELA 4. PRODUTIVIDADE DAS VARIÁVEIS ALTURA TOTAL (HT), ALTURA DE COPA (HC), DIÂMETRO DE COPA (DC), DIÂMETRO A ALTURA DO COLO (DAC), E VOLUME CILÍNDRICO (VC), REFERENTE AOS TRATAMENTOS UTILIZADOS.	34
TABELA 5 – GRAUS DE LIBERDADE (GL) E QUADRADO MÉDIO (QM) PARA AS VARIÁVEIS DEPENDENTES: ALTURA TOTAL (HT), ALTURA DE COPA (HC), DIÂMETRO DE COPA (DC), DIÂMETRO A ALTURA DO COLO (DAC) E VOLUME CILÍNDRICO (VC), EM RAZÃO DO MODELO DE SUPERFÍCIE DE RESPOSTA PARA N, P_2O_5 E K_2O	37
TABELA 6 – ESTIMATIVA DOS PARÂMETROS DO MODELO DE SUPERFÍCIE DE RESPOSTA E COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO (R^2) PARA AS VARIÁVEIS DEPENDENTE: ALTURA TOTAL (HT), ALTURA DE COPA (HC), DIÂMETRO DE COPA (DC), DIÂMETRO A ALTURA DO COLO (DAC) E VOLUME CILÍNDRICO (VC), EM FUNÇÃO DO MODELO DE SUPERFÍCIE DE RESPOSTA PARA N (x_1), $\text{P}_2\text{O}_5(x_2)$ E $\text{K}_2\text{O}(x_3)$	38
TABELA 7 – PONTO CRÍTICO E NATUREZA DO PONTO CRÍTICO DA SUPERFÍCIE DE RESPOSTA, PARA AS VARIÁVEIS INDEPENDENTES NITROGÊNIO (N), FÓSFORO (P_2O_5) E POTÁSSIO (K_2O), EM RAZÃO DAS VARIÁVEIS DEPENDENTES: ALTURA TOTAL (HT), ALTURA DE COPA (HC), DIÂMETRO DE COPA (DC), DIÂMETRO A ALTURA DO COLO (DAC) E VOLUME CILÍNDRICO (VC).	39

TABELA 8 – VALORES MÉDIOS DA VARIÁVEL DEPENDENTE DIÂMETRO A ALTURA DO COLO (DAC) (CM), PARA AS DOSES DE K_2O ($KG HA^{-1}$), EM RAZÃO DAS DOSES DE N E P_2O_5 ($KG HA^{-1}$).....	45
TABELA 9 – MÉDIA, DESVIO PADRÃO E COEFICIENTE DE VARIAÇÃO, DOS TEORES TOTAIS MÉDIOS DE N, P E K, E RESPECTIVAS RELAÇÕES DUAIS, DAS SUBPOPULAÇÕES DE BAIXA E ALTA PRODUTIVIDADE.	47
TABELA 10 – RELAÇÕES ENTRE OS TRATAMENTOS E OS ÍNDICES DRIS, COM A ORDEM DE LIMITAÇÃO DOS NUTRIENTES N, P E K, NAS ACÍCULAS DE <i>P. TAEDA</i>	48
TABELA 11 – TEORES TOTAIS MÉDIOS DE N, P, K, CA E MG NAS ACÍCULAS DE <i>P. TAEDA</i>	51
TABELA 12 – POTENCIAL DE RESPOSTA À ADUBAÇÃO (PRA) EM RELAÇÃO AOS TRATAMENTOS.....	54
TABELA 13 – FREQUÊNCIA DE OCORRÊNCIA DOS TRATAMENTOS PELO POTENCIAL DE RESPOSTA À ADUBAÇÃO (PRA), DAS PLANTAS DE <i>P. TAEDA</i>	55
TABELA 14 – FAIXAS DE TEORES ADEQUADOS NA ACÍCULAS DE <i>PINUS SPP.</i>	62

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – DISTRIBUIÇÃO NATURAL DO <i>P. TAEDA</i> NOS ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA.....	4
FIGURA 2 – LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DO EXPERIMENTO.	21
FIGURA 3 – CROQUI DAS UNIDADES EXPERIMENTAIS (U.E.).	22
FIGURA 4 – REGRESSÃO LINEAR E DISPERSÃO ENTRE O ÍNDICE DRIS DE N EM RAZÃO DO TEOR DE N NAS ACÍCULAS DE PLANTAS DE <i>P. TAEDA</i>	57
FIGURA 5 – REGRESSÃO LINEAR E DISPERSÃO ENTRE O ÍNDICE DRIS DE P EM RAZÃO DO TEOR DE P NAS ACÍCULAS DE PLANTAS DE <i>P. TAEDA</i>	58
FIGURA 6 – REGRESSÃO LINEAR E DISPERSÃO ENTRE O ÍNDICE DRIS DE K EM RAZÃO DO TEOR DE K NAS ACÍCULAS DE PLANTAS DE <i>P. TAEDA</i>	58
FIGURA 7 – REGRESSÃO LINEAR E DISPERSÃO ENTRE O ÍNDICE DRIS DE CA EM RAZÃO DO TEOR DE CA NAS ACÍCULAS DE PLANTAS DE <i>P. TAEDA</i>	59
FIGURA 8 – REGRESSÃO LINEAR E DISPERSÃO ENTRE O ÍNDICE DRIS DE MG EM RAZÃO DO TEOR DE MG NAS ACÍCULAS DE PLANTAS DE <i>P. TAEDA</i>	59

LISTA DE ANEXOS

ANEXO 1 – PREPARO DE SOLO, TIPO ESCARIFICAÇÃO COM UMA HASTE NA LINHA A 35 CM DE PROFUNDIDADE, NO LOCAL DA ÁREA EXPERIMENTAL.....	75
ANEXO 2 – FIGURAS A E B: ASPECTO GERAL DA ÁREA EXPERIMENTAL.	76
ANEXO 3 – ASPECTO DA MEDIÇÃO DA ALTURA TOTAL E ALTURA DE COPA.....	77
ANEXO 4 – ASPECTO DA MEDIÇÃO DO DIÂMETRO DE COPA.....	78
ANEXO 5 – ASPECTO DA MEDIÇÃO DO DIÂMETRO DO COLO, COM AUXÍLIO DE PAQUÍMETRO.	79
ANEXO 6 – ASPECTO DO TRADO DE ROSCA UTILIZADO NA COLETA DE SOLO....	80
ANEXO 7 – PONTO DE AMOSTRAGEM DE ACÍCULAS PARA ANÁLISE QUÍMICA. ...	81
ANEXO 8 – TEORES MÉDIOS DA ARGILA, PH, P, K, CA, MG, MO, AL, H+AL, V (%) E M (%), DO SOLO DA ÁREA EXPERIMENTAL, NO MOMENTO DA COLETA DOS DADOS.....	82

RESUMO

CRESCIMENTO INICIAL DE *Pinus taeda* L. RELACIONADO A DOSES DE N, P E K, E SUA DIAGNOSE NUTRICIONAL PELO DRIS.

Autor: Hamilton Luiz Munari Vogel

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

A adubação, no momento do plantio de uma floresta, juntamente com outras técnicas silviculturais, garantirá um desenvolvimento satisfatório desta, com boa produtividade a longo prazo. O presente trabalho teve como objetivo estudar os efeitos de diferentes doses de N, P e K no crescimento inicial, bem como realizar sua avaliação nutricional pelo Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação (DRIS), de plantas de *Pinus taeda*, aos 19 meses de idade. O local do experimento localiza-se próximo do Município de Cambará do Sul, tendo como coordenadas UTM “centrais” 565125 E e 6777386 N. O solo da região é classificado como CAMBISSOLO HÚMICO alumínico típico, textura argilosa. São solos fortemente ácidos, com saturação e soma de bases baixa e teores altos de alumínio trocável e matéria orgânica. A metodologia estatística utilizada foi a técnica do confundimento, para três fatores, com quatro níveis, totalizando 64 tratamentos, distribuídos em quatro blocos. As doses de N, P₂O₅ e K₂O no campo, foram veiculadas mediante os adubos comerciais Uréia, Superfosfato triplo e Cloreto de potássio. A implantação do experimento foi realizada em agosto de 1999. Foram utilizadas sementes clonais de primeira geração de *P. taeda*. O espaçamento de plantio utilizado foi de 3 m x 2 m, com preparo do solo tipo escarificação com uma haste na linha, a 35 cm de profundidade. Decorridos 19 meses da implantação do experimento, foram medidas as seguintes variáveis no campo: altura total, altura de copa, diâmetro à altura do colo e diâmetro de copa. Foram coletadas três amostras compostas de acículas em cada um

dos tratamento. Nas acículas, foram determinados o N, P, K, Ca e Mg. Foi realizada análise básica de solo em cada tratamento no momento da coleta dos dados. Os efeitos dos fatores e níveis utilizados foram estudados por meio de superfície de resposta, permitindo determinar o ponto crítico e sua natureza. A avaliação nutricional foi realizada pelo Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação (DRIS). Os resultados indicam que foi obtida resposta positiva para o P e K, evidenciando a importância da aplicação desses nutrientes no crescimento inicial das plantas de *P. taeda*, com máximo ganho em volume cilíndrico, nas doses de 64,0 e 87,0 kg ha⁻¹ de P e K respectivamente; os nutrientes mais limitantes ao crescimento das plantas de *P. taeda*, pela avaliação DRIS foram o N e o Ca, indicando a seguinte ordem de limitação: N e Ca > Mg > K > P; os teores ótimos estimados de N, P, K, Ca e Mg foram de 14.6, 1.6, 8.7, 2.6 e 0.8 g kg⁻¹ respectivamente.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

Autor: Hamilton Luiz Munari Vogel

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

Título: Utilização de doses de N-P-K no desenvolvimento e avaliação nutricional pelo Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação (DRIS) de plantas de *Pinus taeda* L.

Dissertação de mestrado em Engenharia Florestal

Santa Maria, 27 de fevereiro de 2002.

ABSTRACT

***PINUS TAEDA* L. INITIAL GROWTH RELATING N, P AND K QUANTITIES, AND ITS DIAGNOSIS NUTRITION BY DRIS.**

Author: Hamilton Luiz Munari Vogel

Adviser: Prof. Dr. nat. techn. Mauro Valdir Schumacher

The application of fertilizers in plantation forests, joined to other silviculture techniques, will assure a satisfactory development of this forests, with a great long run production. This study had an objective, study the effects of different quantities of N, P e K in initial growth, and nutritional evaluation by DRIS, of *Pinus taeda* plants with 19 months. The experiment took place near Cambará do Sul county, and its UTM coordinates was 562125E and 6777386N. The soil is an Humic Cambisol aluminium with clay texture. These soils are strongly acid, with a low saturation and total base, high exchangeable aluminium contents and organic matter. The statistical methodology was the confounding technique, to three factors, with four levels, totalizing 64 treatments, allocated in four blocks. The N, P₂O₅ and K₂O quantities on the field, commercial manures were acquired: Urea, Triple superphosphate and Potassium Chloride. The experiment installation was made in August, 1999. First generation clonal seeds of *P. taeda* were used. The spacing of trees was 3 m x 2 m, with a scarification soil tillage with one stem on line, 35 cm deep. After 19 months, the following variables were measured: total height, crown height, stem diameter and crown diameter. Three needles-composed samples were collected in each one of the treatments. In the needles, N, P, K, Ca and Mg element were determinated. In each treatment a basic soil analysis was done in the act of the data collection.

The used factors effects and levels were studied through an answer surface, determinating the critical point and its nature. The nutritional avaliation was done by DRIS. The results pointed that a positive effect to P and K. This indicate a essential of P and K fertilization in initial development of *P. taeda* plants, with a maximum cylindric volume achieved on 64,0 and 87,0 kg ha⁻¹ doses of P and K respectively. N and Ca element was the limitant nutrient to plants growth, by DRIS avaliation, indicating the limit sequence below: N e Ca > Mg > K > P; the contents of N, P, K, Ca and Mg estimated by the critical graphic level were of 14.7, 1.6, 8.7, 2.6 and 0.8 g kg⁻¹, respectively.

FEDERAL UNIVERSITY OF SANTA MARIA

PPGEF

Author: Hamilton Luiz Munari Vogel

Adviser: Prof. Dr. nat. techn. Mauro Valdir Schumacher

Title: Utilization of different doses of N-P-K in growth and nutritional availability by Diagnosis and Recommendation Integrated System (DRIS) to *Pinus taeda* L. plants.

Dissertation of Master's Degree on Forest Engineer.

Santa Maria, February 27, 2002.

CRESCIMENTO INICIAL DE *Pinus taeda* L. RELACIONADO A DOSES DE N, P E K, E SUA DIAGNOSE NUTRICIONAL PELO DRIS.

1 INTRODUÇÃO

As espécies de *Pinus*, de um modo geral, são conhecidas como pouco exigentes em nutrientes, pois normalmente, os plantios são realizados em sítios de baixa fertilidade, muitas vezes, em condições bastante adversas para o desenvolvimento das espécies florestais nativas.

Segundo Harlow & Harrar (1969), o gênero *Pinus* é o maior e mais importante das coníferas, incluindo noventa espécies, que ocorrem na América do Norte, Europa, Sul da Ásia, Norte da África, Ásia menor, Malásia e Sumatra, com uma espécie no Equador.

Em 1999, foram reflorestados, no Rio Grande do Sul, em torno de 136.800 ha de *Pinus* spp, superando as plantações de *Eucalyptus* spp no mesmo ano, com 115.900 ha. No País a área plantada de *Pinus* spp fica em torno de 1.840.000 ha, constituindo-se na segunda espécie mais plantada (Sociedade Brasileira de Silvicultura, 2001). Conforme essa sociedade, no ano de 2000, o PIB Florestal atingiu US\$ 21 bilhões, correspondendo a 4% do PIB Nacional, demonstrando sua importância para a economia Nacional.

Em termos ambientais, essas plantações têm surtido grande efeito na redução da exploração predatória de matas nativas (Gonçalves & Valeri, 2001).

A adubação, no momento do plantio de uma floresta, juntamente com outras técnicas silviculturais, garantirá um desenvolvimento satisfatório desta, com boa produtividade a longo prazo.

Conforme Gonçalves (1995), a necessidade da realização de adubação, decorre do fato de que nem sempre o solo é capaz de fornecer

todos os nutrientes que as plantas precisam para um adequado crescimento. Assim, as características e quantidade de adubos a aplicar dependerão das necessidades nutricionais da espécie utilizada, da fertilidade do solo, da forma de reação dos adubos com o solo, da eficiência dos adubos e, de fatores de ordem econômica.

Nesse sentido, os estudos, envolvendo adubação no campo, tornam-se fundamentais, servindo de subsídio, no entendimento da relação solo-planta, possibilitando maior inferência na formulação da dose a ser aplicada bem como o tipo de fertilizante, minimizando os problemas decorrentes da falta ou excesso de nutrientes nas plantas. Em sítios com melhores qualidades, essa adubação possivelmente permitirá bom crescimento ao longo de todo o ciclo. Porém em sítios de baixa fertilidade, normalmente mais freqüentes, após alguns anos, o crescimento reduz-se, chegando a ser nulo em alguns casos.

O correto diagnóstico dos fatores nutricionais que limitam a produtividade florestal auxilia em um manejo mais adequado, promovendo importante redução nos custos da colheita florestal, na medida em que possibilita maior eficácia na intervenção a ser feita sobre o sistema (Wadt et al., 1998a).

A interpretação da análise de nutrientes em tecido vegetal, de acordo com o método clássico, é feita comparando-se os resultados analíticos com valores previamente tabelados, os níveis críticos. Quando mais de dois nutrientes se encontram abaixo dos respectivos níveis críticos, tal método não permite avaliar qual nutriente foi o mais limitante na produção, mas por meio do DRIS é possível verificar qual o nutriente mais limitante e a ordem de limitação deles (Malavolta et al., 1997).

O DRIS tem sido utilizado como alternativa para a avaliação nutricional das plantas, com várias espécies florestais já estudadas (*P. radiata*, *P. patula*, *Populus deltoides*, *Eucalyptus saligna*, etc.), demonstrando grande potencial nessa área (Schutz & Villiers, 1988).

Dessa maneira, a análise química de solo e do tecido vegetal torna-se de grande importância, possibilitando conhecer o teor dos nutrientes no sistema solo-planta, auxiliando a reposição desses nutrientes mediante a prática da adubação.

O presente trabalho teve como objetivos: estudar os efeitos de diferentes doses de N, P e K no crescimento inicial, de plantas de *Pinus taeda*, aos 19 meses de idade, e, realizar sua avaliação nutricional pelo Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação (DRIS).

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 O *Pinus taeda* L

O *P. taeda*, também conhecido como Loblolly pine, é natural dos Estados Unidos, ocorrendo entre os paralelos 28° e 39°, sendo encontrado no sul de New Jersey, Florida Central, oeste do Texas, ao norte do Vale do Mississippi, no sudeste de Oklahoma e Arkansas, e sul do Tennessee, com altitudes variando de 0 a 450 m (Mirov, 1967). Na Figura 1, verifica-se a distribuição natural do *P. taeda* nos Estados Unidos da América.

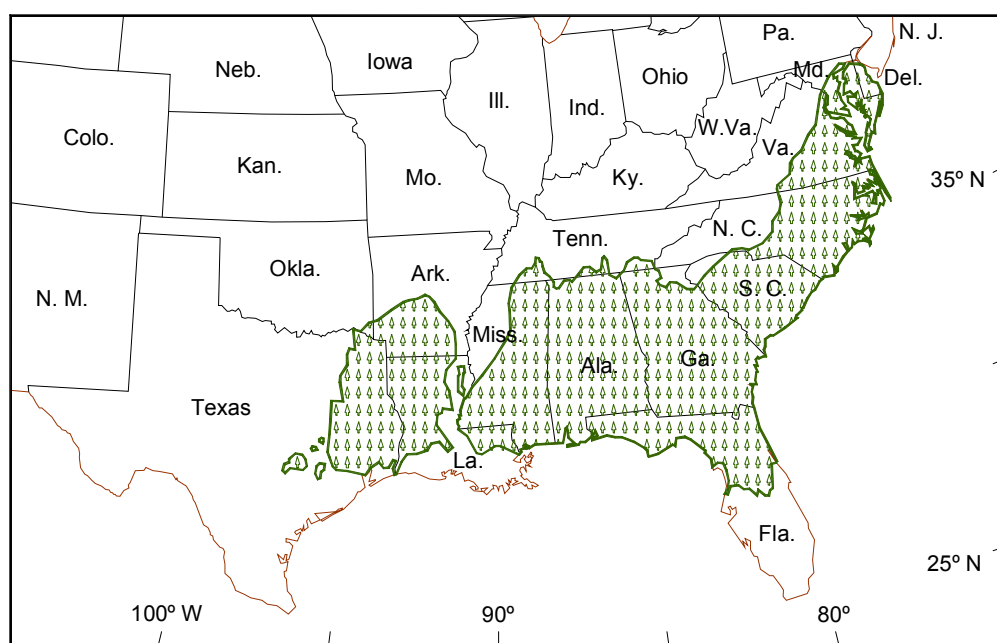


FIGURA 1 – Distribuição natural do *P. taeda* nos Estados Unidos da América.

Segundo Harlow & Harrar (1969), o *P. taeda* cresce em ampla variedade de solos, com bom desenvolvimento em sítios com bastante

umidade e pouca drenagem, ocorrendo também em locais secos. Essa espécie tem ótimo crescimento em solos moderadamente ácidos, de textura média

O *P. taeda* é uma espécie com reconhecida importância econômica, possuindo grandes áreas de plantio no Rio Grande do Sul, com rápido crescimento. Hoje, a madeira serrada de *Pinus* spp vem-se constituindo na principal matéria-prima das empresas exportadoras de móveis, e sua utilização também cresceu muito nos demais pólos moveleiros da Região Sul.

2.2 Importância da Adubação no Crescimento das Florestas

Reissmann & Wisniewski (2000) relatam que os *Pinus* spp demonstram capacidade extraordinária de gerenciamento dos recursos nutricionais, em sítios de baixa fertilidade, sem, no entanto, manifestar sintomas visuais de deficiência, mas obstante haver diminuição do crescimento. Esses aspectos, embora positivos sob um determinado ponto de vista, geraram expectativa que se mostrou negativa no sentido do manejo nutricional dessas espécies. A rapidez de crescimento, e ausência de sintomas de deficiência, especialmente durante as primeiras rotações, reforçaram a expectativa de que os *Pinus* spp de modo geral, dispensariam grandes cuidados com a adubação, ou que esta fosse totalmente dispensável.

Conforme Barros et al. (2000), para se definir a fertilização mineral para qualquer cultura, há que se dimensionar a demanda de nutrientes da planta para atingir a produção esperada e a quantidade de nutrientes que pode ser suprida pelo solo. Quando a demanda da planta é maior do que o solo pode ofertar, fertilizantes devem ser adicionados para obter-se a produção esperada. De acordo com esses autores, a aplicação de fertilizantes requer a adoção de alguns critérios, como quais nutrientes aplicar, em que doses, épocas e modo de localização em relação à

planta. Portanto, para a boa nutrição das árvores, tem-se que balancear a sua demanda com a oferta de nutrientes, no tempo e no espaço, constituindo tarefa bem mais difícil, comparado com as culturas de ciclo curto.

Novais et al. (1990) apontam que a fertilização mineral é uma das técnicas silviculturais que pode ser adotada, visando a elevar a produtividade florestal e reduzir o período de rotação. A adubação florestal, com raras exceções, é realizada de modo empírico e, praticamente, uma única formulação N-P-K é utilizada, independente do tipo de solo, da espécie e da época de plantio.

Segundo Fernández et al. (2000), a aplicação de doses crescentes de N-P-K na implantação de *P. taeda* em solos rojos no norte de Corrientes, na Argentina, aos 34 meses de idade, resultou em diferenças altamente significativas no DAP, altura total e volume, com relação às doses de nitrogênio e fósforo, não havendo resposta ao potássio. Os menores crescimentos ocorreram nos tratamentos em que se aplicaram a maior dose de nitrogênio (100 g de uréia por planta), em ausência de fósforo e potássio.

Gonçalves (1995) recomenda que 20 a 40% das doses de N e K₂O e, 100% da dose de P₂O₅, sejam aplicadas por ocasião do plantio, para espécies de *Pinus*. Alternativamente, para evitar que o P seja imobilizado no solo, principalmente nos mais argilosos, é interessante parcelar também as aplicações de P₂O₅. Já para a adubação de cobertura, esse mesmo autor recomenda cerca de 60 a 80% das doses de N e K₂O e opcionalmente, P₂O₅. O autor comenta ainda que, para *Pinus* spp e *Eucalyptus* spp, com relação aos macronutrientes, as maiores respostas à adubação bem como os sintomas visuais de deficiência, têm sido observadas no campo, com maior frequência, na seguinte ordem: P > N ≥ K > Ca > Mg.

O P, em razão de ser limitante a produtividade florestal na maioria dos solo brasileiros, ocasionou que, grandes doses de adubos fosfatados

foram e são utilizados pelas empresas desse setor, de modo que, hoje esse nutriente continua a responder de forma positiva a adubação fosfatada, mas não necessariamente como mais limitante. Uma vez que, grandes quantidades de nutrientes são removidos do sítio pela colheita florestal, como por exemplo o K e o Ca dos compartimentos lenho e casca respectivamente (Schumacher 2000), dependendo das características desse sítio, esses nutrientes podem também ser considerados, como limitantes a produtividade florestal.

No Brasil, para o plantio de *Eucalyptus* spp em diferentes regiões, recomenda-se, de maneira sistemática, a aplicação de 20 a 25 g cova⁻¹ de P₂O₅, na forma de uma fonte solúvel (Novais & Smith, 1999).

Conforme Flinn (1985), a fertilização de florestas do gênero *Pinus*, na Austrália é particularmente importante durante a fase de estabelecimento, no plantio, onde o sistema radicular não está totalmente desenvolvido, sofrendo influência das plantas daninhas e tipo de preparo do local.

À medida que uma raiz cresce num solo, ela absorve os nutrientes, ocorrendo um decréscimo da concentração dos nutrientes junto à superfície das raízes, à medida que eles são absorvidos, criando-se um gradiente de concentração entre a região mais próxima e aquela mais distante da raiz. O transporte do novo suprimento de nutrientes até a superfície de absorção é feito pela água que é considerada o veículo do processo (Novais et al., 1990; Barros et al., 2000). Dependendo do nutriente e de suas interações com o solo, dois mecanismos distintos são responsáveis pelo seu transporte no solo: fluxo de massa e difusão (Novais et al., 1990). De acordo com esses autores, os nutrientes que se encontram em maiores concentrações na solução do solo, como por exemplo o Ca e o N, por serem retidos com menor energia na fase sólida do solo, logo com maior mobilidade no solo, são transportados pelo fluxo de massa. Já para nutrientes como o P e o Zn, que se encontram

fortemente adsorvidos ao solo, e portanto com baixo teor na solução (são pouco móveis no solo), a difusão torna-se o mecanismo de transporte.

Valeri et al. *apud* Carneiro (1995), após uma adubação básica, verificaram que a aplicação de P, tanto na presença como na ausência de N, contribuiu para o crescimento em altura, de plantas de *E. grandis*, a partir dos 122 dias, bem como em diâmetro e peso de matéria seca. A aplicação de K não teve efeito significativo nos parâmetros avaliados, em razão de o substrato, originalmente, apresentar valores acima do nível crítico.

Conforme Ward et al. (1985), o crescimento em altura de *Eucalyptus saligna* com 7 anos, cultivado em área degradada por mineração de bauxita, em Darling Range no Oeste da Austrália, foi significativamente aumentado pela aplicação de N, havendo interação significativa N x P. Neste trabalho, não foi constatado efeito do K.

2.3 Nitrogênio

2.3.1 O nitrogênio no solo

Segundo Malavolta (1989), o nitrogênio é, em geral, o elemento que as plantas necessitam em maior quantidade. Como resultado do processo de “mineralização” o nitrogênio orgânico é transformado no nitrato que as raízes absorvem.

De acordo com Mello et al. (1983), as principais formas de nitrogênio do solo, disponíveis às plantas, são a nítrica e a amoniacal, sobretudo a primeira. A quantidade de nitrogênio disponível no solo sempre é pequena comparada com a quantidade total: 5% ou menos, em geral. O restante acha-se em combinações orgânicas não-aproveitáveis pelos vegetais. O fornecimento de nitrogênio para estes fica então na dependência da transformação do N orgânico para formas minerais

disponíveis, ou seja, da mineralização do N, que é efetuada predominantemente por microorganismos.

Em solos com elevada acidez, típicos do cerrado, que apresentam condições precárias de nitrificação (Novais et al., 1990), provavelmente a forma amoniacal (N-NH_4^+) seja de maior importância para o *Eucalyptus* spp.

Conforme Raij (1991), no solo, o nitrogênio existe predominantemente em formas orgânicas, em enorme variedade de compostos ou radicais, que refletem a diversidade de compostos orgânicos existentes em plantas e em microorganismos no solo. O húmus apresenta, de maneira genérica, proteínas, aminoácidos livres, aminoaçúcares e outros compostos nitrogenados não-identificados.

Segundo Camargo et al. (1999), No solo, a uréia é decomposta enzimaticamente a CO_2 e NH_3 , sendo essa reação catalizada pela urease. Ainda conforme esses autores, os microorganismos que hidrolizam a uréia incluem as bactérias, actinomicetos e fungos.

Quando há falta de nitrogênio no solo e a adubação é ineficiente, as plantas crescem e produzem menos, e suas folhas ficam cloróticas (amareladas), mas se houver excesso de N no solo, a planta vegeta excessivamente, ficando mais sujeita à seca, e suscetível ao ataque de pragas e doenças (Malavolta et al., 2000).

Neves et al. (1990) ressaltam alguns aspectos importantes na realização da fertilização nitrogenada que são aqui destacados: fontes de nitrogênio, as suas doses recomendáveis em suas diversas fontes, à melhor época de aplicação, e a falta de critérios confiáveis que possibilitem avaliar adequadamente a disponibilidade de nitrogênio do substrato de crescimento.

2.3.2 O nitrogênio na planta

As plantas superiores são capazes de absorver o N de diferentes formas: N_2 (gás, caso das leguminosas e outras espécies), aminoácidos, uréia [$CO(NH_2)_2$], NH_4^+ e, predominantemente, nas condições naturais e aeróbicas, como NO_3^- (Malavolta et al. 1997).

O teor de N nas espécies florestais em geral, varia de acordo com os tecidos; nas folhas, ele varia de 9,0 a 20,0 g kg^{-1} e na madeira geralmente não ultrapassa a 5,0 g kg^{-1} de N (Binkley, 1986).

Marschner (1995) comenta que, dependendo da espécie, estágio de desenvolvimento, e tipo de órgão, o conteúdo de nitrogênio requerido para um ótimo crescimento varia de 20 a 50 g kg^{-1} do peso seco da espécie.

O nitrogênio na planta é inicialmente reduzido à forma amoniacal e combinado nas cadeias orgânicas, formando ácido glutâmico, este, por sua vez, incluído em mais de uma centena de diferentes aminoácidos. Destes, cerca de vinte são usados na formação de proteínas. As proteínas participam, como enzimas, nos processos metabólicos das plantas, mais funcional do que estruturalmente. Além disso, o nitrogênio participa da composição da molécula da clorofila. As plantas, com deficiência de nitrogênio, apresentam-se amareladas e com crescimento reduzido, sendo que em condições de deficiência de nitrogênio, as folhas mais novas das plantas conservam-se verdes, em razão da elevada mobilidade do nutriente na planta (Raj, 1991; Crocomo, 1985; Carneiro, 1995).

Segundo Novais et al. (1990), perguntas básicas, como “qual a forma de nitrogênio absorvida, a nítrica ou amoniacal”, além de outras, são freqüentemente levantadas. O *Eucalyptus* spp parece ter maior eficiência em absorver a forma $N-NH_4^+$, ocasionada pelo reflexo de adaptação ecológica dessa espécie a solos ácidos, onde é freqüentemente encontrado, como também acontece com o *Pinus* spp.

2.4 Fósforo

2.4.1 O fósforo no solo

Os povoamentos florestais, no Brasil, têm sido implantados em solos nos quais normalmente o fósforo é um dos nutrientes mais limitantes do crescimento vegetal.

Conforme Melo et al. (1995), estudando a dinâmica dos nutrientes no sistema solo-planta, em plantios de *Eucalyptus grandis*, no Rio Grande do Sul, verificaram que os teores de P foram baixos em todos os perfis de solo estudados, sendo esse o nutriente mais limitante para a produção atual e futura.

A grande maioria dos solos ocorrentes nas regiões tropicais e subtropicais apresenta avançado estágio de intemperização, em consequência dos altos índices pluviométricos e térmicos e por serem, em grande extensão, originados de rochas sedimentares, portanto, de materiais pré-intemperizados. Cerca de 50% da área dessas regiões são cobertas por solos tipo Latossolos e Argissolos, e 17%, por Neossolos Quartzarênicos, Cambissolos e Neossolos Litólicos. Estas classes de solo ocorrem predominantemente sob climas chuvosos e estacionais (57% da área), nos quais se encontram os maiores maciços de florestamentos homogêneos (Gonçalves et al., 2000). De acordo esses autores, com essa composição mineralógica, as reservas de nutrientes, na forma de minerais primários, são pequenas, a capacidade de troca de cátions é baixa, a capacidade de fixação de P é alta, o grau de agregação é muito elevado, e, conseqüentemente, a permeabilidade e o potencial de lixiviação de bases dos solos são muito elevados.

Segundo Rajj (1991), o fósforo é dos macronutrientes, aquele exigido em menores quantidades pelas plantas. Não obstante, trata-se do nutriente mais freqüentemente usado em adubação no Brasil. Explica-se tal situação pela carência generalizada de fósforo nos solos brasileiros e também porque o elemento tem forte interação com o solo.

De acordo com Mello et al. (1983), o conteúdo de P total nos solos minerais é variável. Expresso em P_2O_5 , raramente excede a 0,5%, variando geralmente entre 0,12 e 0,15%. O P disponível origina-se da solubilização de minerais fosfatados, da mineralização da matéria orgânica e da adição de fertilizantes.

Conforme Neves et al. (1990), para uma correta interpretação da análise química de solo é importante, em termos de fósforo, para o *Eucalyptus* spp, considerar outros aspectos como a textura, o extrator usado, o fato de que o nível crítico desse nutriente no solo diminui com a idade das plantas, etc.

De acordo com Malavolta (1980) e Tomé Jr. (1997), a disponibilidade máxima de fósforo acontece, quando o pH está ao redor de 6,5.

Em razão da baixa mobilidade do fósforo no solo, o estudo do efeito de sua localização em relação à planta tem grande significado prático, principalmente em solos de extrema deficiência em fósforo, como é o caso daqueles normalmente utilizados em reflorestamentos de *Eucalyptus* spp, no País. Assim, a aplicação desse nutriente localizadamente fará com que partes do sistema radicular possam estar em contato com áreas de alta concentração desse nutriente, enquanto que outras estarão em área de muito baixa concentração (Novais et al., 1990).

Moreira et al. (1991), estudando o efeito do tempo de contato do fósforo com amostras de três Latossolos sob cerrado sobre sua disponibilidade para mudas de *Eucalyptus grandis*, concluíram que a disponibilidade de P diminuiu com o aumento do tempo de contato do fertilizante fosfatado com o solo, particularmente naqueles cujas características indicam maior capacidade tampão de fosfatos.

“O crescimento extremamente desuniforme de *Pinus* spp em condições de cerrado, com um ano de idade, mostrou, para as menores plantas, que as raízes não tinham ainda atingido a fonte de P, aplicada

lateralmente, em profundidade” (Barros & Novais, observações pessoais, *apud* Novais & Smith, 1999).

Como a forma orgânica de P geralmente representa uma fração apreciável do P total encontrado no solo, acredita-se na possibilidade das plantas o aproveitarem como fonte de nutrientes (Rheinheimer et al., 1999)

O P disponível para às plantas é, em essência, de natureza mineral (H_2PO_4^- em solos ácidos e o $\text{H}_2\text{PO}_4^{2-}$ em solos não ácidos); desta maneira para que o P orgânico passe para a forma prontamente utilizável pelos vegetais, é necessário que ocorra antes a sua mineralização (Mello et al., 1983). Os autores esclarecem que, a mineralização é a passagem do P orgânico a P mineral, por meio de microrganismos e de certos sistemas enzimáticos.

2.4.2 O fósforo na planta

Para Malavolta (1989), as plantas não conseguem aproveitar mais que 10% do fósforo total aplicado, pois nos solos tropicais ácidos, ricos em ferro e alumínio, ocorre a adsorção deste elemento. O fósforo possui papel fundamental na vida das plantas, por participar dos chamados compostos ricos de energia, como o trifosfato de adenosina (ATP), sendo absorvido pelas raízes como H_2PO_4^- , encontrando-se nessa forma, com maior proporção no xilema. O P é importante na floração e na frutificação, além de ajudar no desenvolvimento do sistema radicular (Malavolta, 1985; Binkley, 1986; Malavolta et al., 2000).

Na planta, esse nutriente, ao contrário do que acontece em solos, apresenta alta mobilidade, transferindo-se rapidamente de tecidos velhos para regiões de meristema ativo (Raij, 1991).

Segundo Schultz (1997), teores abaixo de $1,0 \text{ g kg}^{-1}$ de P, indicam deficiência desse nutriente em plantas jovens de *P. taeda*.

2.5 Potássio

2.5.1 O potássio no solo

De acordo com Rajj (1991), o potássio é um elemento muito abundante em rochas e solos. Os teores totais, em solos bem-supridos superam 1%. Ainda segundo esse autor, os sais de potássio apresentam em geral alta solubilidade e, assim, os teores de K^+ na solução do solo podem atingir concentrações bastante elevadas, dependendo do teor de ânions presentes. Isso confere ao potássio mobilidade bem maior, relativamente ao fósforo, permitindo também esgotamento mais fácil pelas plantas.

Segundo Mello et al. (1983), o K é adicionado ao solo, principalmente mediante o uso de fertilizantes, porém certas quantidades são retornadas anualmente por resíduos de vegetais. As perdas devem-se sobretudo à lixiviação, à erosão e às colheitas. O fornecimento de K às plantas deve ser baseado, em primeiro lugar, na capacidade do solo para supri-lo. Solos naturalmente deficientes de K e com baixa CTC requerem adições freqüentes e em doses moderadas.

Em solos com baixos teores de argila (<10%), tais como solos arenosos e orgânicos, a necessidade de fertilizante potássico é freqüentemente maior do que a necessidade de K da cultura, uma vez que o K pode ser lixiviado em quantidades apreciáveis nesses solos (Mengel, 1982).

As quantidades de potássio adicionados ao solo devem ser freqüentes e em doses menores, conforme as necessidades da planta, principalmente se houver pouca matéria orgânica e pH baixo no solo. Este fato se deve às perdas de potássio solúvel por lixiviação que podem ser grandes (Nolla, 1982).

Conforme Mielniczuk (1984), a disponibilidade do potássio no solo para as plantas depende da concentração na solução, da quantidade que

está em imediato equilíbrio com a solução (K-trocável), da capacidade do solo em manter uma dada concentração na solução, quando as plantas retiram o K da solução, das características de solo que afetam sua difusão (teor de água) até a superfície das raízes, entre outros. Como o teor de K trocável é a principal fonte para reposição do K da solução, em solos de clima temperado, as frações não-trocáveis são muito importantes e elas chegam a condicionar, em parte, os teores trocáveis, impedindo que estes aumentem ou diminuam (Raij, 1991).

Schumacher et al. (1999) comentam que, quando ocorrem anos muito secos, costuma observar-se uma redução da absorção de potássio, em consequência do mecanismo da difusão que é dificultado pela baixa quantidade de água no solo.

Os autores Mello et al. (1983) apontam que, práticas culturais que melhoram as condições de aeração do solo, bem como aquelas que se opõem às perdas por lixiviação (adição de matéria orgânica, cobertura vegetal, etc.) e por erosão (plantio em nível, etc.) tendem a promover melhor aproveitamento do K do solo.

2.5.2 O potássio na planta

O K é absorvido pelas raízes na forma iônica K^+ , da solução do solo (Mielniczuk, 1984). A absorção desse elemento atinge o seu máximo na presença de Ca^+ no meio, embora o excesso tenha efeito inibidor, como acontece, por exemplo, quando se usa em excesso o calcário na neutralização da acidez do solo (Malavolta et al., 1997).

Para Mengel (1982), parece que o K^+ desempenha um papel essencial em três processos importantes e típicos das plantas superiores: manutenção de um turgor adequado em tecidos meristemáticos, carregamento do floema com produtos fotossintetizados e conversão de energia nos cloroplastos. Ainda de acordo com esse autor, tais processos requerem altas concentrações de K^+ e é por essa razão que as

necessidades desse elemento nas plantas superiores são muito mais altas do que as dos animais e vários microorganismos.

Segundo Binkley (1986), o K move-se com facilidade na planta, catalizando reações e regulando o potencial osmótico.

De acordo com Carneiro (1995), adequadas quantidades de potássio tornam as mudas mais resistentes às condições adversas de umidade e seca, e ao transplante para o campo.

Porém, o excesso de potássio pode provocar falta de magnésio e de cálcio cuja absorção é dificultada (Malavolta et al., 2000).

Reissmann & Wisniewski (2000), comentam que nas árvores, o K manifesta sua deficiência mais fortemente à medida que o solo fica mais seco, uma vez que a umidade é fundamental para sua absorção.

2.6 Avaliação Nutricional em Florestas de *Pinus* spp

Os estudos nutricionais sobre o *P. taeda* merecem uma atenção especial por se tratar, em relação ao *P. elliottii*, de uma espécie mais sensível às propriedades dos solos, demonstrando ser mais exigente em nutrientes (Reissmann & Wisniewski, 2000).

De acordo com Malavolta et al. (1997), na avaliação do estado nutricional de uma planta, os níveis adequados ou críticos dos elementos são freqüentemente estabelecidos em ensaios de campo, em que são usados três ou mais doses de um dado elemento na presença de doses suficientes das demais. Alternativamente, usam-se delineamentos fatoriais ou outros, nos quais mais de um elemento varia ao mesmo tempo.

A demanda de nutrientes pela planta depende da sua taxa de crescimento e da eficiência com que ela converte o nutriente absorvido em biomassa (Barros et al., 2000). Conforme esses autores, estimativas mais acuradas da demanda de nutrientes de um povoamento pode ser conseguida com base nas curvas de acúmulo de biomassa e de

nutrientes, de acordo com a idade do povoamento, tendo-se assim a quantidade demandada em cada fase de crescimento da floresta, permitindo melhor definição do regime de fertilização a ser utilizado.

A diagnose foliar de uma cultura, vem-se desenvolvendo, mesmo com as dificuldades que ainda existem na interpretação dos resultados, havendo algumas aplicações bem-definidas, das quais destacam-se: levantamento do estado nutricional, confirmação de sintomas visíveis de carência de nutrientes, diagnose de nutrientes deficientes, diagnóstico de áreas deficientes, identificações de interações e antagonismos, verificação da aquisição pela planta de nutrientes aplicados e avaliação do estado global (Raij, 1991).

Segundo Malavolta et al. (1997), a diagnose foliar é um método de avaliação do estado nutricional das culturas em que se analisam determinadas folhas em períodos da vida da planta.

O Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação (DRIS) foi desenvolvido por E. R. Beaufils em 1961, para análises de solo e planta, visando à determinação da concentração e interação dos elementos essenciais nas plantas e, níveis de nutrientes no solo em condições e práticas culturais associadas com o ótimo crescimento (Munson & Nelson, 1990).

Segundo Bataglia & Santos (1990), o sistema DRIS baseia-se no cálculo de índices para cada nutriente, considerando a sua relação com os demais e comparando cada relação com as relações médias de uma população de referência. Para cada nutriente, índices com valores negativos indicam deficiência e, positivos, excesso, enquanto valores próximos de zero correspondem a uma nutrição equilibrada. Esses índices permitem classificar os elementos em ordem de importância de limitação pela planta ou solo.

Conforme Neves (1998) na diagnose DRIS, primeiramente calcula-se a média e o desvio-padrão das relações duais entre os teores de nutrientes em plantas da população de interesse, estratificando-a,

geralmente, em duas sub-populações de produtividade (alta e baixa produtividade). A seguir é feita a escolha da população de referência (aspecto fundamental para o bom desempenho do DRIS), optando-se geralmente, pela sub-população de alta produtividade, baseando-se na idéia de que nessas populações o valor médio das relações duais está mais próximo do seu ótimo fisiológico (Wadt, 1996). Entende-se aqui o termo “ótimo fisiológico” como, teor adequado do nutriente na planta relacionado a alta produtividade. Devemos levar em conta que, vários fatores de ordem não nutricional, podem comprometer a obtenção de talhões com altas produtividades, portanto, em termos relativos, podemos nos basear na nutrição desses talhões, para gerar normas.

Conforme Black *apud* Neves (1998), o DRIS tem sido usado para uma ampla gama de culturas anuais e perenes, nas mais diversas condições de clima e solo, sendo um meio útil para se avaliar o estado nutricional de plantas, havendo numerosos trabalhos que apontam sua superioridade em relação a outros métodos de avaliação.

No Brasil, o DRIS já vem sendo utilizado em culturas agrícolas e florestais, como por exemplo em monitoramentos precoces do estado nutricional, em uso em várias empresas florestais que cultivam *Eucalyptus* spp, destacando-se o híbrido *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* (Wadt, 1996) e o *Eucalyptus grandis* (Costa da Silva et al., 2001).

Conforme Paré et al. (1993), em plantas de *Acer saccharum*, sob regeneração com 5-10 anos de idade, a fertilização com Superfosfato triplo, K_2SO_4 e $[Ca(OH)_2]$, resultou em aumento dos índices DRIS para P e K, conforme o aumento das doses de P e K.

Romanyà & Vallejo (1996), em um estudo com *Pinus radiata* na Espanha, com nove diferentes materiais parentais (nove substratos diferentes) e climas Atlântico e Mediterrâneo, verificou-se pelo DRIS que o P foi o nutriente mais limitante, seguido do N. Os níveis nutricionais obtidos neste trabalho foram influenciados pelo material parental e clima.

Os autores Schutz & Villiers (1988) verificaram, nas folhas de *P. patula* com 20 anos de idade, no leste de Transvaal no Sul da África, por meio do DRIS, que o Ca foi o nutriente mais limitante, seguido do Mg. Esses autores concluíram pelo acerto da diagnose, pois o solo possuía baixo teor de Ca.

Needham et al. (1990) determinaram para *P. taeda*, com 4 anos de idade, em um povoamento no sul da Carolina e Georgia (EUA), que a concentração nas folhas pelo DRIS ótimo estimado, foi de 12,0, 1,1 e 5,2 g kg⁻¹, para N, P e K respectivamente. Esses autores comentam que, em teoria, o DRIS ótimo derivado, demonstrou ser ligeiramente maior (10%) do que o método do nível crítico, por diferenças em suas definições.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área experimental

A área de estudo situa-se próxima ao município de Cambará do Sul, tendo como coordenadas UTM 583000 E e 6786300 N, no nordeste do estado do Rio Grande do Sul, na região fisiográfica dos Campos de Cima da Serra. O local do experimento tem como coordenadas UTM “centrais” 565125 E e 6777386 N, com altitude média de 890 m (Figura 2). Tais coordenadas foram obtidas por GPS em modo navegação. O processamento dos dados foi realizado mediante rasterização (escaneamento) e georreferenciamento das cartas (escala 1:50000), seguido da digitalização e georreferenciamento dos pontos obtidos por GPS, por intermédio de programa CAD (Computer Aided Design). O resultado desse processamento pode ser verificado na Figura 2. No ANEXO 2 (Figuras A e B), observa-se o aspecto geral do local do experimento.

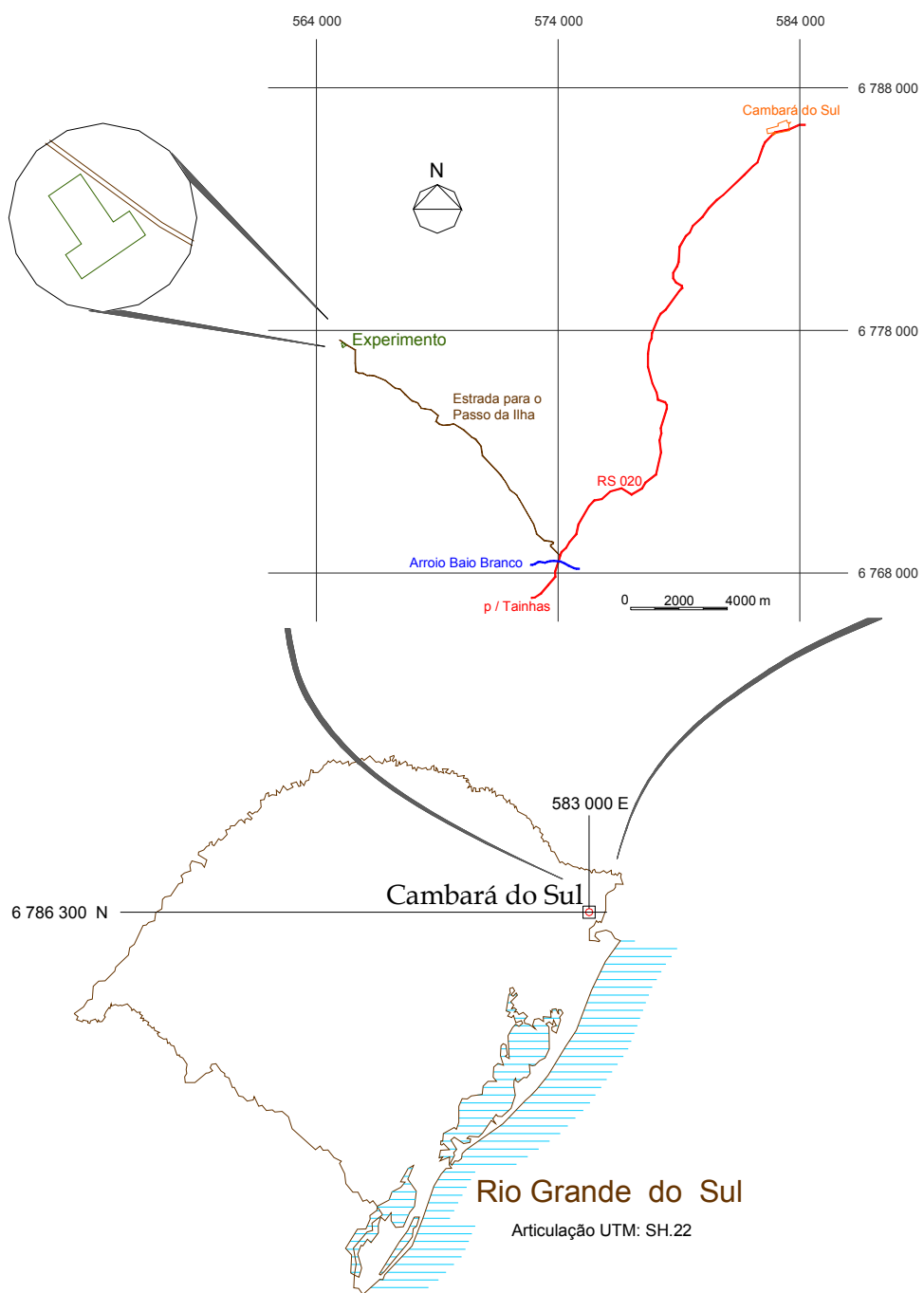


FIGURA 2 – Localização da área do experimento.

Cada unidade experimental (U.E.) possui área de 300 m² (15 m x 20 m), sendo 19.200 m² (300 m² x 64 U.E.) de área experimental total.

3.2 Solos

O solo da região segundo a classificação brasileira atual é CAMBISSOLO HÚMICO alumínico típico (Streck et al., 1999), textura argilosa, relevo ondulado e forte ondulado, substrato basalto, pertencente à Unidade de Mapeamento Bom Jesus, onde predominam solos profundos, moderadamente drenados, com cores Bruno escuras a Bruno avermelhadas, argilosos, friáveis e desenvolvidos com base em rochas eruptivas básicas (basalto). São solos fortemente ácidos, com saturação e soma de bases baixa e teores altos de alumínio trocável e matéria orgânica (Brasil, 1973).

Na Tabela 1, observa-se o valor médio das características do solo da área experimental, no momento da instalação da pesquisa.

TABELA 1 – Valores médios das características do solo na área experimental.

Argila (g kg ⁻¹)	470,0
pH (H ₂ O)	4,5
Fósforo disponível ¹ (mg kg ⁻¹)	1,5
Potássio disponível ¹ (mg kg ⁻¹)	49,0
Matéria Orgânica (g kg ⁻¹)	34,0
Alumínio trocável (cmol _c l ⁻¹)	4,3
Al+H (cmol _c l ⁻¹)	12,7
Cálcio trocável (cmol _c l ⁻¹)	0,7
Magnésio trocável (cmol _c l ⁻¹)	0,5
CTC efetiva (cmol _c l ⁻¹)	5,6
CTC pH 7,0 (cmol _c l ⁻¹)	13,9
Saturação por bases (V%)	9,5
Saturação por alumínio (m%)	77,0
Cobre disponível (mg kg ⁻¹)	3,9
Zinco disponível (mg kg ⁻¹)	2,1
Ferro disponível (mg kg ⁻¹)	42,9
Manganês trocável (mg kg ⁻¹)	48,1

¹ Extrator Mehlich 1.

3.3 Características da região

O tipo de clima fundamental dominante, segundo o sistema de Koeppen, é o Cfb1 temperado úmido (Moreno, 1961). A temperatura e a precipitação média anual são de 14,4°C e 2468 mm respectivamente (Brasil, 1973).

O local do experimento situa-se na região fisiográfica dos Campos de Cima da Serra, no extremo leste, nas cotas acima de 800 metros. O relevo caracteriza-se por apresentar coxilhas alongadas com declives

suaves na região de Vacaria e coxilhas com declives curtos na região de Bom Jesus e São Francisco de Paula (Brasil, 1973).

Os tipos de vegetação que ocorrem naturalmente na região são predominantemente campos, em segundo floresta tropical pluvial seguida de floresta de araucária, localizada mais na parte ocidental da região e também capões de floresta mista (Hueck, 1972).

Antes da implantação do experimento, no local do estudo, a área destinava-se ao pastoreio.

3.4 Delineamento

Foram usados no experimento quatro doses de N (0, 50, 100 e 150 kg ha⁻¹, correspondendo à 0, 108,7, 217,4 e 326,1 kg de Uréia ha⁻¹), quatro doses de P₂O₅ (0, 60, 120 e 180 kg ha⁻¹, correspondendo à 0, 162,2, 324,3 e 486,5 kg de Superfosfato triplo ha⁻¹), e, quatro doses de K₂O (0, 40, 80 e 120 kg ha⁻¹, correspondendo à 0, 66,7, 133,3 e 200,0 kg de Cloreto de potássio ha⁻¹).

Os 64 tratamentos, resultantes da combinação dos quatro níveis de N, quatro níveis de P₂O₅ e quatro níveis de K₂O, foram divididos em quatro blocos usando o critério do confundimento de três graus de liberdade da interação tripla (Tabela 2).

TABELA 2 – Doses (kg ha⁻¹) de N, P₂O₅ e K₂O usados nos 64 tratamentos divididos em quatro blocos.

Trat.	Bl.	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Trat.	Bl.	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1	1	0	0	0	33	3	0	0	80
2	1	0	60	120	34	3	0	60	40
3	1	0	120	80	35	3	0	120	0
4	1	0	180	40	36	3	0	180	120
5	1	50	0	120	37	3	50	0	40
6	1	50	60	80	38	3	50	60	0
7	1	50	120	40	39	3	50	120	120
8	1	50	180	0	40	3	50	180	80
9	1	100	0	80	41	3	100	0	0
10	1	100	60	40	42	3	100	60	120
11	1	100	120	0	43	3	100	120	80
12	1	100	180	120	44	3	100	180	40
13	1	150	0	40	45	3	150	0	120
14	1	150	60	0	46	3	150	60	80
15	1	150	120	120	47	3	150	120	40
16	1	150	180	80	48	3	150	180	0
17	2	0	0	40	49	4	0	0	120
18	2	0	60	0	50	4	0	60	80
19	2	0	120	120	51	4	0	120	40
20	2	0	180	80	52	4	0	180	0
21	2	50	0	0	53	4	50	0	80
22	2	50	60	120	54	4	50	60	40
23	2	50	120	80	55	4	50	120	0
24	2	50	180	40	56	4	50	180	120
25	2	100	0	120	57	4	100	0	40
26	2	100	60	80	58	4	100	60	0
27	2	100	120	40	59	4	100	120	120
28	2	100	180	0	60	4	100	180	80
29	2	150	0	80	61	4	150	0	0
30	2	150	60	40	62	4	150	60	120
31	2	150	120	0	63	4	150	120	80
32	2	150	180	120	64	4	150	180	40

3.5 Manejo do experimento

A implantação do experimento foi realizada em agosto de 1999.

Foram utilizadas sementes clonais de primeira geração de *P. taeda*, com origem da Rigesa (Três Barras/SC). As mudas foram produzidas em tubetes (50 cm³), com altura de 25 cm, pela Tecnoplanta (Guaíba/RS).

O plantio foi realizado com cinqüenta mudas de *P. taeda* por U.E., considerando-se úteis 24 plantas, correspondendo o restante a bordadura. Decorridos 45 dias após o plantio, foram replantadas 10,6% das mudas. Não foi observado influencia do tipo de tratamento utilizado no replantio.

O espaçamento de plantio utilizado foi de 3 m x 2 m, com preparo do solo tipo escarificação com uma haste na linha a 35 cm de profundidade. No ANEXO 1 é possível visualizar o preparo de solo no local do experimento.

O adubo foi aplicado no plantio, na cova (dimensão de 30 cm x 30 cm), incorporado manualmente com enxada. Não foi realizado nenhum tipo de controle das plantas daninhas, controlando-se apenas a formiga no momento do plantio com iscas granuladas, conforme os tratamentos culturais realizados na empresa.

3.6 Coleta dos dados

No mês de março de 2001, decorridos 19 meses da implantação do experimento, foram medidas as seguintes variáveis no campo: altura total, altura de copa, diâmetro a altura do colo e diâmetro de copa.

A altura total e altura de copa foram obtidas com o auxílio de uma régua graduada, e o diâmetro de colo por um paquímetro. Considerou-se o primeiro galho vivo como início da altura de copa. Já o diâmetro de copa foi obtido pela média de dois diâmetros cruzados (ANEXO 3, 4 e 5).

O volume cilíndrico foi calculado pela fórmula $V = G * H$, onde V é o volume cilíndrico, G a área basal e H a altura total.

Após, foram coletados três amostras compostas de acículas em cada um dos tratamentos. Cada amostra foi constituída por três subamostra simples, tomadas de forma sistemática nas linhas de plantio das unidades experimentais. As amostras de acículas foram constituídas por acículas maduras, coletadas no meio da copa, nos quatro quadrantes da planta (ANEXO 7), homogeneizadas e caracterizadas quimicamente quanto a N, P, K, Ca e Mg totais. As análises de tecido foram realizadas no Laboratório de Ecologia Florestal, pertencente ao Departamento de Ciências Florestais da UFSM, conforme metodologia proposta por Tedesco et al. (1995), determinando os nutrientes com uma única digestão por H_2O_2 e H_2SO_4 (sistema aberto). Para a determinação do NH_4^+ , uma alíquota de 10-20 ml foi destilada em microdestilador descrito por Bremner & Edwards *apud* Tedesco et al. (1995), modificado por Tedesco & Giaconello *apud* Tedesco et al. (1995), após adição de NaOH, coletando-se o destilado em indicador ácido bórico e titulando-se com H_2SO_4 diluído. O fósforo foi determinado por espectrofotometria numa alíquota do extrato após adição de molibdato de amônio e ácido aminonaftolsulfônico (Tedesco et al., 1995). O potássio foi determinado por fotometria de emissão de chama após diluição do extrato (Tedesco et al., 1995).

Foi realizada coleta de solo em cada um dos tratamentos no momento da coleta dos dados de planta, mediante trado de rosca (ANEXO 6), na profundidade de 0-20 cm, determinando-se: pH (H_2O), Argila, Matéria Orgânica, P, K, Ca, Mg, Al e H+Al, calculando-se a saturação por bases (V%) e a saturação por alumínio (m%). As análises químicas desse solo foram realizadas no Laboratório de Análise de Solos da UFSM, segundo Tedesco et al. (1995).

3.7 Análise dos dados

3.7.1 Superfície de resposta

Para cada uma das variáveis avaliadas no experimento, foi ajustada a equação de superfície de resposta (Storck & Lopes, 1998). O modelo usado foi:

$$y = \beta_0 + \beta_1x_1 + \beta_{11}x_1^2 + \beta_2x_2 + \beta_{22}x_2^2 + \beta_3x_3 + \beta_{33}x_3^2 + \beta_{12}x_1x_2 + \beta_{13}x_1x_3 + \beta_{23}x_2x_3 + \varepsilon, \text{ em que:}$$

$$x_1 = \text{dose de N variando de 0 a 150 kg ha}^{-1};$$

$$x_2 = \text{dose de P}_2\text{O}_5 \text{ variando de 0 a 180 kg ha}^{-1};$$

$$x_3 = \text{dose de KCl variando de 0 a 120 kg ha}^{-1};$$

$\beta_0, \beta_1, \beta_{11}, \beta_2, \beta_{22}, \beta_3, \beta_{33}, \beta_{12}, \beta_{13}$ e β_{23} = parâmetros da equação.

Obtendo as estimativas dos parâmetros, foi calculado o ponto crítico da função (combinação de N, P e K em que a resposta é máxima ou mínima), bem como a natureza do ponto (máximo, mínimo ou ponto de sela).

A análise experimental foi realizada pelo Software NTIA/EMBRAPA (1997).

3.7.2 Avaliação nutricional pelo Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação (DRIS)

Neste trabalho, foram utilizados os teores totais médios de N, P, K, Ca e Mg das acículas de *P. taeda*, para avaliação nutricional pelo Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação (DRIS).

A variável utilizada para representar a produtividade da população foi o volume cilíndrico (VC). Essa população (n = 64) foi dividida em subpopulação de baixa produtividade (n = 51) e subpopulação de alta produtividade (n = 13). O critério definidor do índice de produtividade da população, foi a média de VC + 1 desvio-padrão (média + 1 s) formando a

subpopulação de alta produtividade. O restante dos valores constituiu a subpopulação de baixa produtividade. Após foram obtidas as relações entre os nutrientes N, P, K, Ca e Mg bem como as respectivas médias e os valores de desvio-padrão.

Foram verificados a normalidade dos dados utilizados, nas subpopulações de baixa e de alta produtividade, pelo teste não-paramétrico de Kolmogorov-Smirnov, realizado no SPSS 7.5.

Para a obtenção das normas (média e desvio-padrão), a serem utilizadas para o cálculo das funções, foi utilizada a subpopulação de alta produtividade.

Para a escolha das relações duais a serem usadas na diagnose, normalmente o critério adotado consiste na escolha das relações com maior razão de variância (S^2 da subpopulação de baixa produtividade / S^2 da subpopulação de alta produtividade). Porém, quando poucos nutrientes estão envolvidos na diagnose (neste caso N, P e K), deve-se usar todas as relações, por questões de simetria (Neves, 1998).

Para o cálculo das funções DRIS, foi usada a fórmula proposta por Jones (1981):

$$f = (R - r) / s, \text{ em que:}$$

f = valor da função para a relação (X/Y) entre os teores de dois nutrientes quaisquer da análise de uma amostra de tecido da planta;

R = valor da relação dual (X/Y) da amostra sob diagnose;

r = valor médio das relações duais (X/Y) da população de referência;

s = desvio-padrão das relações duais (X/Y) da população de referência.

O índice DRIS foi determinado pela seguinte expressão (Beaufils *apud* Wadt, 1998a):

$$I(X) = [f(X/Y_1) + f(X/Y_2) + \dots - f(Y_{n-1}/X) - (Y_n/X)] / n, \text{ em que:}$$

Y_1, Y_2, Y_{n-1} e Y_n = nutrientes que aparecem no denominador ou no numerador das relações com o nutriente X;

n = número das funções envolvidas no cálculo.

Como foram utilizadas todas as relações no cálculo dos índices DRIS, o índice para cada nutriente ficou assim determinado:

$$IN = [(+)f(N/P) + (+)f(N/K) + (+)f(N/Ca) + (+)f(N/Mg) + (-)f(P/N) + (-)f(K/N) + (-)f(Ca/N) + (-)f(Mg/N)] / 8;$$

$$IP = [(+)f(P/K) + (+)f(P/N) + (+)f(P/Ca) + (+)f(P/Mg) + (-)f(K/P) + (-)f(N/P) + (-)f(Ca/P) + (-)f(Mg/P)] / 8;$$

$$IK = [(+)f(K/N) + (+)f(K/P) + (+)f(K/Ca) + (+)f(K/Mg) + (-)f(N/K) + (-)f(P/K) + (-)f(Ca/K) + (-)f(Mg/K)] / 8;$$

$$ICa = [(+)f(Ca/N) + (+)f(Ca/P) + (+)f(Ca/K) + (+)f(Ca/Mg) + (-)f(N/Ca) + (-)f(P/Ca) + (-)f(K/Ca) + (-)f(Mg/Ca)] / 8;$$

$$IMg = [(+)f(Mg/N) + (+)f(Mg/P) + (+)f(Mg/K) + (+)f(Mg/Ca) + (-)f(N/Mg) + (-)f(P/Mg) + (-)f(K/Mg) + (-)f(Ca/Mg)] / 8;$$

Os sinais dos índices foram atribuídos da seguinte maneira: se o nutriente, cujo índice está sendo calculado, aparecer no numerador da relação $f(X/Y)$ recebe sinal (+), se aparecer no denominador recebe sinal (-).

A seguir, foi obtido o índice de equilíbrio nutricional (IEN) que consiste do somatório em módulo de todos os índices DRIS (Summer *apud* Wadt, 1998a) conforme a expressão:

$IEN = |I(X_1)| + |I(X_2)| + \dots + |I(X_{z-1})| + |I(X_z)|$, em que:

$I(X_1)$, $I(X_2)$, $I(X_{z-1})$ e $I(X_z)$ = índices DRIS dos nutrientes (X_1 , X_2 , X_{z-1} , e X_z);

Dessa maneira, o índice de equilíbrio nutricional médio (Wadt et al., 1998a) foi calculado por:

$IENm = IEN / Z$, em que:

Z = número de nutrientes que compõem o IEN.

Na análise dos índices DRIS, a ordem de limitação dos nutrientes, foi obtida pelo critério de que, quanto mais negativo for o índice, mais limitante é o nutriente.

Após a obtenção da ordem de limitação, os índices DRIS foram interpretados pelo método do Potencial de Resposta a Adubação (PRA) proposto por Wadt (1996). Por esse método compara-se o módulo do índice DRIS de cada nutriente (I_{Nut}) com o valor do índice de equilíbrio nutricional médio (IENm), para verificar se o desequilíbrio atribuído a determinado nutriente é maior ou menor que o desequilíbrio atribuído à média de todos os nutrientes (Tabela 3).

A diagnose pelo DRIS (e o Potencial de Resposta à Adubação (PRA)) foram realizados apenas para os tratamentos integrantes da subpopulação de baixa produtividade.

TABELA 3 – Critérios para a interpretação dos valores dos índices DRIS com base no método do Potencial de Resposta à Adubação (Wadt, 1996).

PRA ¹	Critério
Positiva	1. $I_{Nut} < 0$ 2. $ I_{Nut} > IENm$ 3. I_{Nut} é o índice DRIS de menor valor
Nula	1. $ I_{Nut} \leq IENm$
Negativa	1. $I_{Nut} > 0$ 2. $ I_{Nut} > IENm$ 3. I_{Nut} é o índice DRIS de maior valor

¹ Potencial de Resposta à Adubação.

Foram estimados valores de referência para os teores de N, P, K, Ca e Mg das acículas de *P. taeda*, com base no método do nível crítico gráfico (NCG), descrito por Needham et al (1990). Como pelo DRIS a nutrição ótima é obtida quando o índice DRIS = 0, é possível estimar o teor ótimo de cada nutriente. Para essa estimativa, foi considerada toda a população (alta e baixa produtividade).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Superfície de resposta

Foram medidas, no campo, aos 19 meses de idade, as variáveis Altura Total (HT), Altura de Copa (HC), Diâmetro de Copa (DC), Diâmetro a Altura do Colo (DAC), e calculado o Volume Cilíndrico (VC). Na Tabela 4 verifica-se os resultados médios de produtividade para cada variável respectivamente.

TABELA 4 – Produtividade média das variáveis Altura Total (HT), Altura de Copa (HC), Diâmetro de Copa (DC), Diâmetro a Altura do Colo (DAC), e Volume Cilíndrico (VC), referente aos tratamentos utilizados.

Tratamentos			HT	HC	DC	DAC	VC
			----- m -----	----- m -----	----- m -----	cm	m ³ ha ⁻¹
0	0	0	1,48	1,25	0,79	3,66	0,056
0	60	120	1,57	1,32	0,83	3,74	0,061
0	120	80	1,36	1,09	0,73	3,05	0,042
0	180	40	1,36	1,10	0,70	3,08	0,039
50	0	120	1,43	1,17	0,72	3,15	0,039
50	60	80	1,48	1,19	0,73	3,37	0,049
50	120	40	1,29	1,00	0,65	2,63	0,029
50	180	0	1,28	1,02	0,61	2,50	0,025
100	0	80	1,26	1,02	0,71	2,74	0,029
100	60	40	1,29	1,06	0,72	2,88	0,037
100	120	0	1,16	0,93	0,67	2,55	0,022
100	180	120	1,22	0,97	0,68	2,50	0,024
150	0	40	1,26	1,04	0,72	2,56	0,028
150	60	0	1,16	0,94	0,62	2,23	0,021
150	120	120	1,54	1,29	0,78	3,38	0,052

... continuação da Tabela 4.

150	180	80	1,30	1,05	0,71	2,61	0,030
0	0	40	1,42	1,17	0,81	3,62	0,052
0	60	0	1,53	1,29	0,87	4,05	0,070
0	120	120	1,52	1,27	0,87	3,75	0,067
0	180	80	1,57	1,32	0,86	3,93	0,072
50	0	0	1,25	1,05	0,71	2,66	0,029
50	60	120	1,44	1,22	0,79	3,27	0,055
50	120	80	1,59	1,39	0,90	3,77	0,062
50	180	40	1,91	1,69	1,02	4,49	0,111
100	0	120	1,36	1,14	0,73	2,95	0,034
100	60	80	1,51	1,30	0,76	3,08	0,044
100	120	40	1,55	1,30	0,81	3,24	0,051
100	180	0	1,61	1,37	0,83	3,52	0,057
150	0	80	1,47	1,28	0,79	3,32	0,050
150	60	40	1,57	1,33	0,83	3,53	0,058
150	120	0	1,56	1,32	0,72	3,08	0,044
150	180	120	1,57	1,31	0,78	3,18	0,052
0	0	80	1,54	1,37	0,84	3,75	0,062
0	60	40	1,49	1,29	0,81	3,78	0,060
0	120	0	1,70	1,48	0,89	4,08	0,079
0	180	120	1,54	1,32	0,81	3,57	0,056
50	0	40	1,38	1,16	0,73	2,63	0,027
50	60	0	1,69	1,47	0,91	4,09	0,085
50	120	120	1,79	1,57	0,93	4,13	0,088
50	180	80	1,78	1,56	0,95	4,11	0,085
100	0	0	1,34	1,15	0,73	2,81	0,031
100	60	120	1,76	1,52	0,94	4,13	0,088
100	120	80	1,74	1,50	0,86	3,66	0,070
100	180	40	1,93	1,69	0,97	4,27	0,104
150	0	120	1,26	1,06	0,67	2,36	0,022
150	60	80	1,76	1,52	0,91	4,02	0,086

... continuação da Tabela 4.

150	120	40	1,72	1,47	0,88	3,57	0,067
150	180	0	1,56	1,32	0,76	3,23	0,048
0	0	120	1,73	1,53	0,94	4,38	0,092
0	60	80	1,74	1,55	0,91	4,21	0,085
0	120	40	1,60	1,41	0,87	3,95	0,075
0	180	0	1,51	1,32	0,85	3,71	0,061
50	0	80	1,48	1,30	0,80	3,21	0,044
50	60	40	1,80	1,59	0,93	4,10	0,090
50	120	0	1,81	1,60	0,91	4,12	0,086
50	180	120	1,72	1,50	0,89	3,68	0,068
100	0	40	1,23	1,07	0,69	2,46	0,022
100	60	0	1,64	1,45	0,83	3,81	0,075
100	120	120	1,72	1,50	0,84	3,77	0,080
100	180	80	1,50	1,28	0,84	3,27	0,050
150	0	0	1,15	0,97	0,62	2,31	0,024
150	60	120	1,54	1,32	0,79	3,49	0,058
150	120	80	1,50	1,25	0,77	2,71	0,033
150	180	40	1,52	1,31	0,79	3,20	0,051

Na Tabela 5, observam-se os resultados da análise de variância para as variáveis Altura Total (HT), Altura de Copa (HC), Diâmetro de Copa (DC), Diâmetro a Altura do Colo (DAC), e o Volume Cilíndrico (VC). Nota-se um coeficiente de variação elevado para as variáveis medidas, por causa da dispersão dos dados obtidos, principalmente para a variável volume cilíndrico.

Conforme Garcia (1989), para *Pinus* spp, o coeficiente de variação em relação aos dados obtidos, para a altura total (HT), diâmetro a altura do colo (DAC) e o volume cilíndrico (VC), (Tabela 5) são classificados como médio, alto e alto respectivamente, correspondendo a uma precisão média para a altura total, e baixa para o diâmetro da base e volume cilíndrico.

TABELA 5 – Graus de liberdade (GL) e Quadrado Médio (QM) para as variáveis dependentes: Altura Total (HT), Altura de Copa (HC), Diâmetro de Copa (DC), Diâmetro a Altura do Colo (DAC) e Volume Cilíndrico (VC), em razão do modelo de superfície de resposta para N, P₂O₅ e K₂O.

FV	GL	Quadrado Médio (QM)				
		HT (m)	HC (m)	DC (m)	DAC (cm)	VC (m ³)
Modelo	9	0,0696 ^{**}	0,0541 ^{ns}	0,0152 ^{ns}	0,8598 ^{**}	870012,2 ^{**}
Resíduo	53	0,0316	0,0353	0,0078	0,2638	399955,7
Média		1,5	1,3	0,8	3,4	1652,4
CV		11,7	14,6	11,0	15,2	38,3

^{**} Significativo ao nível de 5% de probabilidade de erro.

^{ns} Não-significativo ao nível de 5% de probabilidade de erro.

Verifica-se, na Tabela 6, a estimativa dos parâmetros da equação, bem como o coeficiente de determinação para as variáveis dependentes altura total, altura de copa, diâmetro de copa, diâmetro a altura do colo e volume cilíndrico.

TABELA 6 – Estimativa dos parâmetros do modelo de superfície de resposta e coeficiente de determinação (R^2) para as variáveis dependente: Altura Total (HT), Altura de Copa (HC), Diâmetro de Copa (DC), Diâmetro a Altura do Colo (DAC) e Volume Cilíndrico (VC), em função do modelo de superfície de resposta para N (x_1), $P_2O_5(x_2)$ e $K_2O(x_3)$.

Par.	HT (m)	HC (m)	DC (m)	DAC (cm)	VC (cm ³)
β_0	1,3895872*	1,1813617*	0,7805782*	3,4372211*	1449,8663*
β_1	-0,0006042	-0,0004607	-0,0006590	-0,0088020	-4,746076
β_2	0,0032279*	0,0028355*	0,0011713*	0,0090863*	11,679561*
β_3	0,0018301	0,0016437	0,0010619	0,0031273	3,613568
β_{11}	-0,0000057	-0,0000057	-0,0000015	0,0000095	-0,007570
β_{22}	-0,0000136*	-0,0000120*	-0,0000054*	-0,0000422*	-0,051233*
β_{33}	-0,0000051	-0,0000041	-0,0000057	-0,0000047	-0,005275
β_{12}	0,0000081	0,0000071	0,0000029	0,0000120	0,016839
β_{13}	0,0000022	0,0000012	0,0000017	0,0000125	0,007106
β_{23}	-0,0000080	-0,0000075	-0,0000016	-0,0000210	-0,019698
R^2	0,27	0,21	0,25	0,36	0,27

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade de erro.

De acordo com a Tabela 6, não houve interação entre as doses de N, P_2O_5 e K_2O , para as variáveis dependentes, Altura Total (HT), Altura de Copa (HC), Diâmetro de Copa (DC), Diâmetro a Altura do Colo (DAC) e Volume Cilíndrico (VC). Entretanto foi obtido efeito significativo para o P, evidenciando a importância de sua adição no crescimento inicial das plantas de *P. taeda*, nessas condições. Observa-se, na Tabela 1, que o P, no solo antes da instalação do experimento, foi considerado limitante, conforme a Comissão de Fertilidade do Solo – RS/SC (1994).

Verificam-se, na Tabela 7, as doses estimadas de N, P_2O_5 e K_2O , também conhecidas por Ponto Crítico. O ponto crítico é uma estimativa

para a função de resposta com validade dentro dos limites das doses estudadas.

TABELA 7 – Ponto crítico e natureza do ponto crítico da superfície de resposta, para as variáveis independentes Nitrogênio (N), Fósforo (P_2O_5) e Potássio (K_2O), em razão das variáveis dependentes: Altura Total (HT), Altura de Copa (HC), Diâmetro de Copa (DC), Diâmetro a Altura do Colo (DAC) e Volume Cilíndrico (VC).

Variável	----- Ponto Crítico ($kg\ ha^{-1}$) -----			Natureza
	N	P_2O_5	K_2O	
HT	37,0	96,8	111,9	Ponto de Máximo
HC	27,7	88,2	123,1	Ponto de Máximo
DC	-116,6	67,5	66,0	Ponto de Máximo
DAC	137,0	26,9	455,2 ¹	Ponto de Sela
VC	-201,2	64,2	87,2	Ponto de Máximo

¹ Máximo para o N e P_2O_5 e mínimo para o K_2O .

Valendo-se dos resultados da Tabela 7, verifica-se, para a variável altura total, que a natureza do ponto crítico é de máximo, em que se obteve o máximo ganho em altura com as doses estimadas de 37,0, 96,8 e 111,9 $kg\ ha^{-1}$ para N, P_2O_5 e K_2O respectivamente. Para a altura de copa, o máximo ganho foi obtido com 27,7, 88,2 e 123,1 $kg\ ha^{-1}$ de N, P_2O_5 e K_2O respectivamente, sendo a natureza do ponto crítico de máximo. Observa-se, na Tabela 7, que as doses estimadas de 37,0 e 27,7 $kg\ ha^{-1}$ de N, para as variáveis altura total e altura de copa, respectivamente, estão abaixo do nível 50 $kg\ ha^{-1}$ de N utilizado neste trabalho.

O volume cilíndrico obteve ponto de máximo com -201,2, 64,2 e 87,2 $kg\ ha^{-1}$ de N, P_2O_5 e K_2O respectivamente (Tabela 7). Valores

negativos para o N também foram encontrados para o diâmetro de copa (-116,6) (Tabela 7), com 67,5 e 66,0 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e K₂O respectivamente. Os valores negativos obtido para o N nestas variáveis, indicam que não se obteve efeito positivo com a adição desse nutriente.

Uma vez que não foi realizado nenhum tipo de controle da mato-competição na área experimental, é provável que grande parte do N adicionado ao solo, tenha sido absorvido pelas plantas daninhas, influenciando os valores estimados para esse nutriente. Observou-se no local do experimento, grande crescimento das plantas daninhas (ANEXO 1, Figura A), principalmente em torno das plantas de *P. taeda* (os nutrientes foram aplicados diretamente na cova de plantio).

Essa “imobilização temporária” dos nutrientes na biomassa das plantas daninhas, acarreta menor disponibilidade de nutrientes para a cultura, somente sendo os mesmos liberados com a morte das plantas daninhas pelo fechamento das copas e, conseqüentemente, decomposição de sua biomassa, com liberação desses nutrientes.

Flinn (1985) comenta que, em florestas do gênero *Pinus* spp na Austrália, a fertilização é particularmente importante durante a fase de estabelecimento, após o plantio, no qual o sistema radicular não está totalmente desenvolvido, sofrendo influência das plantas daninhas e tipo de preparo do solo.

O alto teor de matéria orgânica nesse solo (em média 47 g kg⁻¹) (ANEXO 8), provavelmente também influenciou esses resultados. Normalmente, os solos dessa região possuem altos teores de matéria orgânica, onde são registradas baixas temperaturas (altitude elevada), logo, pressupõem-se que ocorra baixa atividade de microorganismos decompositores. Assim, grande parte desse elemento pode ter sido imobilizado pelos microorganismos. O termo imobilização refere-se a qualquer mecanismo que contribua para um decréscimo do nitrogênio no solo. A assimilação por microorganismos, constitui os chamados processos biológicos (Victoria et al., 1992).

Para Gonçalves (1995), em solos com teores de matéria orgânica acima de 40 g dm⁻³, para as espécies de *Pinus*, não se recomenda a aplicação de N.

Os autores Muniz et al. *apud* Carvalho et al (1983) comentam que para as espécies de *P. elliottii* e *P. taeda*, aos 7 anos de idade, verificou-se que a adubação nitrogenada foi prejudicial ao crescimento das plantas, em consequência do alto teor de matéria orgânica do solo. Além dos altos teores de matéria orgânica, os solos tinham elevado nitrogênio total, elevada acidez (pH 4,4), alta CTC, baixa saturação de bases, e baixo teor de fósforo. Esses autores comentam ainda que a adubação fosfatada teve efeito linear no crescimento das plantas, principalmente, para o *P. taeda*.

Segundo Mello et al. (1983), em geral os trabalhos publicados mostram que os teores de N mineral nos solos são mais baixos no inverno que no verão, porque as temperaturas baixas limitam as atividades biológicas que resultam na mineralização desse elemento. De acordo com os mesmos autores, quando a relação C/N do material orgânico é larga, há abundância de C, mas pode haver insuficiência de N, tendo, como consequência, lento processo de decomposição. A adição de adubos nitrogenados acelera-o, sendo que o N extra é absorvido pelos microorganismos cuja população aumenta ainda mais.

Relações C/N elevadas causam a imobilização do N mineral, cessando a mineralização por falta de substrato e podem causar deficiência de N para os vegetais superiores (Victoria et al., 1992).

A liberação do nitrogênio da matéria orgânica depende de uma série de fatores que controlam a atividade decompositora dos microorganismos do solo. Dentre esses fatores, estão a relação C/N do substrato, fertilidade, aeração, umidade e temperatura do solo (Barros et al., 1990).

A matéria orgânica possui correlação positiva com o P, K, Ca, Mg, CTC e V%, como verificado em solos com alto teores de matéria orgânica e pH baixo, em região de altitude elevada (Schumacher et al., 1999).

Logo, quanto maior o teor de matéria orgânica, maior o teor desses elementos no solo.

Outro aspecto importante, relacionado ao N, é o fato desse elemento ser extremamente móvel no solo, com grandes perdas por lixiviação (Neves et al., 1990).

Os solos, da região deste estudo, são ácidos com alto teor de Al, constatados pela análise de solo (pH e Al médios em torno de 4,3 e 4,81 $\text{cmol}_c \text{L}^{-1}$ respectivamente), no momento da coleta dos dados (ANEXO 8). Nestas condições, a mineralização do nitrogênio é mais lenta, porque a microbiota se encontra mais reduzida (Tsai et al., 1992).

Fortunato (2001), para mudas de *Apuleia leiocarpa* (grápia), cultivadas em Argissolo Vermelho Distrófico arênico, sob diferentes condições de acidez, constatou que os teores de nitrogênio e de potássio dos tecidos da planta foi significativamente influenciada pela elevação do pH do solo. A concentração de N, nas raízes e parte aérea, aumentou linearmente pela elevação do pH, devendo-se tal resposta, provavelmente, ao aporte de N fornecido pela adubação e/ou por uma maior atividade microbiana, com base no efeito da calagem.

Beutler et al. (2001) constataram também, em solução nutritiva com teores crescentes de Al, em plantas de *Moringa oleifera* (Moringa) e *Anandenantha peregrina* (Angico), que esse elemento reduziu os teores de N e P na parte aérea dessas espécies.

Fernández et al. (2000), para *P. taeda* aos 34 meses de idade, em solos rojos no norte de Corrientes na Argentina, observaram aparentemente um comportamento antagônico, em que, independentemente da dose de P aplicada, se observou uma tendência na diminuição do crescimento à medida que aumentam as doses de N. De acordo com Buford & Mckee citados por tais autores, em trabalho semelhante, a maior oferta de nitrogênio aumentou a população microbiana, acarretando maior competição dos microorganismos pelo fósforo. Segundo os mesmos autores, para a *Araucaria angustifolia*, a

aplicação de P, aos 24 meses de idade, proporcionou resposta positiva no crescimento, não havendo resposta ao N.

Em *Eucalyptus saligna* com 7 anos, em área degradada por mineração de bauxita, em Darling Range no Oeste da Austrália, a adição de somente N foi suficiente para aumentar o crescimento em altura, porém o fósforo somente aumentou tal crescimento, quando foi aplicado junto com o N (Ward et al., 1985). Nesse trabalho não foi constatado efeito do K no crescimento do *E. saligna*. Tais resultados podem ter sido influenciados pelas características do solo, pois, normalmente em áreas de mineração, o N encontra-se como limitante no solo.

Woollons et al. (1995), para *P. radiata* na região de Tumut em New South Wales, aos 16 anos de idade, verificaram pequena resposta em área basal para a dose de 100 kg ha⁻¹ de N, havendo maior resposta na dose de 400 kg ha⁻¹ de N. Já para *P. taeda*, Schultz (1997), recomenda uma fertilização de 100 a 200 kg ha⁻¹ de N, para um bom incremento de volume.

Observa-se, na Tabela 7, que de modo geral, foi obtida resposta positiva para o P₂O₅ e K₂O, nas variáveis medidas, com exceção do diâmetro a altura do colo (DAC), em que obteve-se um valor estimado fora das doses testadas para K₂O, denominado de ponto de sela.

Segundo Mello et al. (1983), a disponibilidade de P é influenciada pela temperatura, uma vez que, em solos de regiões de clima quente, geralmente, fixam mais P que os de regiões temperadas. Em regiões de clima quente e úmido, ocorrem maior intemperismo, aumentando os óxidos de ferro e alumínio, logo ocorre maior fixação de P.

Para Schultz (1997), uma simples aplicação de 40 a 80 kg de P ha⁻¹ é geralmente adequada para um bom crescimento, em florestas de *P. taeda*, na Planície Litorânea, no Sudeste dos Estados Unidos.

Fife & Nambiar (1998), em povoamentos de *P. radiata*, plantados em areias podzólicas no sul da Austrália e Oeste de Victoria, em segunda

rotação, verificaram resposta significativa em crescimento da área basal, três anos após a aplicação de 60 kg de P ha⁻¹.

Ismael et al. (1998), para plantas de *Eucalyptus grandis*, plantadas em um Latossolo vermelho-escuro álico, na região de Ribeirão Preto-SP, aos seis meses de idade, observaram que as doses de 201 e 127,6 kg ha⁻¹ de P₂O₅ são recomendáveis para a obtenção de 90% dos valores máximos de altura e diâmetro respectivamente.

Molina et al. (1987), com o objetivo de determinar os efeitos do NPK no crescimento e sobrevivência do *P. maestrensis* no viveiro e no campo, verificaram que o P desempenha o papel de maior importância no crescimento em altura e produção de matéria seca foliar, bem como a sobrevivência, quando adicionado com o K.

Uma vez que, para a variável diâmetro a altura do colo, obteve-se ponto de sela (Tabela 7), em que é máximo para N e P₂O₅, elaborou-se a Tabela 8, para visualização da maior média correspondente a dose de K₂O, em que se obtém o máximo ganho do diâmetro em razão das doses de N e P₂O₅.

TABELA 8 – Valores médios da variável dependente Diâmetro a Altura do Colo (DAC) (cm), para as doses de K₂O (kg ha⁻¹), em razão das doses de N e P₂O₅ (kg ha⁻¹).

N	P ₂ O ₅				
	0	60	120	180	
0	3,7	4,1	4,1	3,7	K ₂ O = 0
50	2,7	4,1	4,1	2,5	
100	2,8	3,8	2,6	3,5	
150	2,3	2,2	3,1	3,2	
0	3,6	3,8	4,0	3,1	K ₂ O = 40
50	2,6	4,1	2,6	4,5	
100	2,5	2,9	3,2	4,3	
150	2,6	3,5	3,6	3,2	
0	3,8	4,2	3,1	3,9	K ₂ O = 80
50	3,2	3,4	3,8	4,1	
100	2,7	3,2	3,7	3,3	
150	3,3	4,0	2,7	2,6	
0	4,4	3,7	3,8	3,6	K ₂ O = 120
50	3,2	3,3	4,1	3,7	
100	3,0	4,1	3,8	2,5	
150	2,4	3,5	3,4	3,2	

Verifica-se, na Tabela 8, que na dose de 40 kg ha⁻¹ de K₂O com 180 e 50 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e N respectivamente, obteve-se o maior diâmetro a altura do colo (4,5 cm). Nota-se, nesta Tabela, que para a mesma dose de 40 kg ha⁻¹ de K₂O, com as doses de 60 e 50 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e N respectivamente, obtém-se diâmetro a altura do colo de 4,1 cm, indicando ser essa a dose mais “econômica” de P₂O₅. Observa-se, na Tabela 8, que o diâmetro a altura do colo diminui à medida que aumenta as doses de N, principalmente na ausência de P₂O₅ e K₂O.

No Sudeste dos Estados Unidos, na Planície Litorânea, em florestas de *P. taeda*, a adição de K raramente influencia o crescimento dessa espécie (Schultz, 1997).

De acordo com Silveira (2000), para *Eucalyptus grandis*, em solos nos quais o teor de K não ultrapassa $1,0 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$, a dose econômica recomendada, está entre 120 e 180 kg de $\text{K}_2\text{O ha}^{-1}$.

Prezotti et al. (1988), em um estudo com doses de potássio, visando à produção de plantas de *Eucalyptus grandis*, em recipientes, com treze tipos de solo do Estado de Minas Gerais, concluíram que os níveis críticos de potássio, no solo para a produção de mudas de *E. grandis*, atingiram valores na faixa de 47 a 52 mg dm^{-3} para solos de textura média a arenosa, e 73 a 85 mg dm^{-3} para solos de textura argilosa.

4.2 Avaliação nutricional pelo Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação (DRIS).

As normas de referência utilizadas no cálculo das funções DRIS, foram obtidas da subpopulação de alta produtividade, verificadas na Tabela 9. Observa-se nessa tabela que o número máximo de relações duais (neste caso 20) foram obtidas pela fórmula: relações duais = $n(n - 1)$, em que n é o número de nutrientes envolvidos na diagnose.

TABELA 9 – Média, desvio padrão e coeficiente de variação, dos teores totais médios de N, P e K, e respectivas relações duais, das subpopulações de baixa e alta produtividade.

Var. ¹	Subpopulação de Produtividade					
	Baixa (n=51)			Alta (n=13)		
	Média	Desvio ²	CV (%)	Média	Desvio ²	CV (%)
N	14,0229	0,8308	5,9246	14,2692	0,4528	3,1733
P	1,7239	0,2048	11,8794	1,5838	0,1794	11,3266
K	8,6233	0,7771	9,0111	8,5027	0,7745	9,1093
N/P	8,2791	1,3440	16,2332	9,1138	1,0364	11,3714
N/K	1,6400	0,1836	11,1966	1,6896	0,1438	8,51231
N/Ca	5,6908	0,7896	13,8746	5,7274	0,3452	6,0278
N/Mg	17,3919	2,2300	12,8217	18,3383	1,7110	9,3302
P/K	0,2015	0,0305	15,1455	0,1876	0,0275	14,6486
P/N	0,1237	0,0186	15,0061	0,1112	0,0141	12,7100
P/Ca	0,6951	0,0913	13,1346	0,6352	0,0700	11,0270
P/Mg	2,1292	0,2996	14,0708	2,0363	0,2915	14,3146
K/N	0,6169	0,0653	10,5830	0,5958	0,0501	8,4016
K/P	5,0725	0,7553	14,8910	5,4211	0,6843	12,6228
K/Ca	3,4887	0,4671	13,3899	3,4169	0,3890	11,3857
K/Mg	10,7173	1,6741	15,6202	10,9400	1,5020	13,7298
Ca/N	0,1790	0,0247	13,7737	0,1751	0,0104	5,9593
Ca/P	1,4629	0,1902	13,0028	1,5919	0,1725	10,8394
Ca/K	0,2917	0,0390	13,3853	0,2961	0,0334	11,2690
Ca/Mg	3,1008	0,5033	16,2318	3,2095	0,3342	10,4115
Mg/N	0,0585	0,0079	13,4533	0,0550	0,0052	9,4603
Mg/P	0,4788	0,0684	14,2833	0,5007	0,0727	14,5222
Mg/K	0,0958	0,0169	17,6093	0,0930	0,0126	13,5548
Mg/Ca	0,3315	0,0577	17,3932	0,3149	0,0342	10,8629

¹ Variável. ² Desvio-padrão.

Nas subpopulações de baixa e de alta produtividade, foram constatados a normalidade dos dados utilizados (Tabela 9).

4.2.1 Nutrientes limitantes

Na subpopulação de baixa produtividade, foram determinados os índices DRIS para N, P, K, Ca e Mg nas acículas de *P. taeda*, obtendo-se a respectiva ordem de limitação, verificada na Tabela 10. A ordem de limitação foi estabelecida conforme a analogia de que, quanto mais negativo for o índice DRIS, mais limitante é o nutriente. Observa-se na Tabela 10, que o N ocorreu como mais limitante em 29,4% dos tratamentos, juntamente com o Ca com 29,4%, em relação aos demais nutrientes. O Mg foi o segundo nutriente mais limitante (19,6% dos tratamentos), sendo o K o terceiro com 13,7%. O P foi o menos limitante em relação aos demais nutrientes com 7,8% dos tratamentos. De posse destes resultados, a ordem de limitação dos nutrientes, obtida pelo DRIS, foi de N e Ca > Mg > K > P (Tabela 10).

TABELA 10 – Relações entre os tratamentos e os índices DRIS, com a ordem de limitação dos nutrientes N, P e K, nas acículas de *P. taeda*.

N	P ₂ O ₅	K ₂ O	IN	IP	IK	ICa	IMg	IEN	Limitação
0	0	0	-1,1980	0,3704	0,0847	0,5774	0,1656	2,40	N>K>Mg>P>Ca
0	60	120	-1,6770	0,5936	0,0547	1,9026	-0,8740	5,10	N>Mg>K>P>Ca
0	120	80	-2,7310	1,0704	0,4823	1,4729	-0,2945	6,05	N>Mg>K>P>Ca
0	180	40	-0,7500	1,6038	-0,6421	1,4110	-1,6227	6,03	Mg>N>K>Ca>P
50	0	120	-0,9271	-0,1053	0,6756	1,2008	-0,8441	3,74	N>Mg>P>K>Ca
50	60	80	-2,6007	0,8643	0,3623	0,8983	0,4758	5,20	N>K>Mg>P>Ca
50	120	40	-0,7483	1,2097	-0,9495	1,1525	-0,6644	4,72	K>N>Mg>Ca>P
50	180	0	-2,0094	2,0823	-1,5908	0,8306	0,6874	7,20	N>K>Mg>Ca>P
100	0	80	0,3141	0,2261	0,3670	-0,1736	-0,7335	1,81	Mg>Ca>P>N>K
100	60	40	-0,6112	1,2741	-0,3569	0,3318	-0,6378	3,21	Mg>N>K>Ca>P

... continuação da Tabela 10

100	120	0	-3,2485	1,9471	-1,4395	1,3793	1,3616	9,38	N>K>Ca>Mg>P
100	180	120	-2,1457	1,5510	-0,5880	1,1627	0,0199	5,47	N>K>Mg>Ca>P
150	0	40	0,3307	0,6861	1,4930	-3,2925	0,7827	6,59	Ca>N>P>Mg>K
150	60	0	-1,6892	1,6816	-1,0064	-1,2202	2,2342	7,83	N>Ca>K>P>Mg
150	120	120	-1,3344	1,4393	0,7173	-1,9533	1,1312	6,58	Ca>N>K>Mg>P
150	180	80	-1,7015	1,7508	0,6324	-1,6403	0,9586	6,68	N>Ca>K>Mg>P
0	0	40	-1,0255	0,1055	0,2554	-1,1941	1,8587	4,44	Ca>N>P>K>Mg
0	60	0	-0,4336	0,9918	-1,6407	-1,5369	2,6194	7,22	K>Ca>N>P>Mg
0	120	120	-0,5412	1,3138	0,1700	-1,5764	0,6338	4,24	Ca>N>Mg>K>P
0	180	80	-0,7248	1,4719	-0,1012	-1,5179	0,8721	4,69	Ca>N>K>Mg>P
50	0	0	0,1048	0,6128	-1,8322	-2,1207	3,2353	7,91	Ca>K>N>P>Mg
50	60	120	-0,4637	0,9634	0,2847	-1,4850	0,7006	3,90	Ca>N>K>Mg>P
50	120	80	-0,8878	0,5869	0,2189	-0,3855	0,4676	2,55	N>Ca>K>Mg>P
100	0	120	-1,8441	-0,1650	0,4715	0,9933	0,5444	4,02	N>P>K>Mg>Ca
100	60	80	-2,0611	0,3951	0,5552	1,1262	-0,0154	4,15	N>Mg>P>K>Ca
100	120	40	-0,6520	1,1551	0,6810	0,0511	-1,2352	3,77	Mg>N>Ca>K>P
100	180	0	-1,0008	1,7896	-0,2739	-1,0637	0,5489	4,68	Ca>N>K>Mg>P
150	0	80	0,5630	-0,1917	1,0771	-0,7921	-0,6563	3,28	Ca>Mg>P>N>k
150	60	40	-0,5250	-0,5487	-0,0240	1,7889	-0,6912	3,58	Mg>P>N>K>Ca
150	120	0	-0,1742	0,3765	-0,3163	0,0170	0,0969	0,98	K>N>Ca>Mg>P
150	180	120	-0,5916	0,4905	0,8318	-0,0947	-0,6360	2,64	Mg>N>Ca>P>K
0	0	80	0,8371	-0,1202	0,5871	-0,0946	-1,2094	2,85	Mg>P>Ca>K>N
0	60	40	0,5224	0,8643	0,4993	-1,2865	-0,5995	3,77	Ca>Mg>K>N>P
0	180	120	0,0921	0,6105	1,1506	-0,9975	-0,8556	3,71	Mg>Ca>N>P>K
50	0	40	-0,2605	-0,7943	1,9956	-0,0986	-0,8422	3,99	Mg>P>N>Ca>K
100	0	0	1,3538	-0,9336	-0,2251	-0,5101	0,3150	3,34	P>Ca>K>Mg>N
100	120	80	0,5239	0,6498	-1,0113	-0,0822	-0,0801	2,35	K>Ca>Mg>N>P
150	0	120	0,7578	-1,6036	0,3888	0,2805	0,1765	3,21	P>Mg>Ca>K>N
150	120	40	0,2037	0,0849	-1,2550	0,8256	0,1409	2,51	K>P>Mg>N>Ca
150	180	0	-0,2519	1,3432	-2,8267	0,6857	1,0497	6,16	K>N>Ca>Mg>P
0	120	40	-0,5184	0,7163	-0,0057	-1,2156	1,0234	3,48	Ca>N>K>P>Mg
0	180	0	-0,9141	1,1032	-1,4345	-0,4939	1,7393	5,68	K>N>Ca>P>Mg
50	0	80	1,2393	1,2473	0,3799	-3,3493	0,4828	6,70	Ca>K>Mg>N>P
50	180	120	-1,1609	0,8612	0,2298	0,3189	-0,2490	2,82	N>Mg>K>Ca>P
100	0	40	2,0120	-1,5645	0,1725	-1,4017	0,7817	5,93	P>Ca>K>Mg>N
100	60	0	1,7415	-0,3431	-0,8143	-1,5639	0,9797	5,44	Ca>K>P>Mg>N
100	180	80	-0,1274	-0,0060	0,8837	-0,5729	-0,1774	1,77	Ca>Mg>N>P>K

... continuação da Tabela 10

150	0	0	1,8312	-0,9996	-0,7993	-2,0008	1,9685	7,60	Ca>P>K>N>Mg
150	60	120	0,2145	-0,6955	0,9351	-0,0310	-0,4232	2,30	P>Mg>Ca>N>K
150	120	80	-1,7614	0,9812	0,8281	1,2060	-1,2539	6,03	N>Mg>K>P>Ca
150	180	40	0,0964	2,4138	-0,2539	-0,2297	-2,0266	5,02	Mg>K>Ca>N>P

* kg ha⁻¹

Verifica-se na Tabela 10, que os valores obtidos dos índices DRIS, são desvios, em que, os índices com valores acima de zero são compensados por valores abaixo de zero, ou seja, o valor de -1,1980 obtido para o IN está sendo compensado pelos valores positivos dos índices dos nutrientes P, K, Ca e Mg (0,3704, 0,0847, 0,5774 e 0,1655 respectivamente). Desta maneira, o somatório dos índices DRIS resulta sempre em zero.

Um valor negativo para o índice DRIS pode estar muito próximo de zero, ou seja do equilíbrio, ou distante de zero, indicando que quando esse valor negativo estiver muito próximo de zero, poderia estar sugerindo que a adição do nutriente não resultaria em aumento da produtividade (Wadt, 1996).

Uma vez que não foi realizado nenhum tipo de correção do pH com calcário, ou adição de qualquer fonte de Ca e Mg, constatou-se pelo DRIS maior limitação do Ca, seguido do Mg, podendo esse resultado estar relacionado aos baixos teores de Ca e Mg nesse solo (pH médio de 4,3 e teor médio de Ca e Mg de 0,65 e 0,38 respectivamente) (ANEXO 8).

Nota-se, na Tabela 10, que os índices DRIS, para N (IN) e Ca (Ica), foram os que ocorreram mais vezes negativos. Para o P, de uma maneira geral, o índice DRIS aumenta à medida que aumentam as doses de P₂O₅ (Tabela 10); da mesma forma, ocorreu para o K₂O. Nota-se, na Tabela 10, que, nos tratamentos com nível 0 para P₂O₅ e K₂O, foram obtidos os menores índices DRIS para P e K, aumentando tais índices com o aumento das doses desses nutrientes, constatando-se que tais nutrientes foram mais limitantes somente na ausência ou nas menores doses utilizadas de P₂O₅ e K₂O.

Na Tabela 11, encontram-se os teores totais médios de N, P, K, Ca e Mg nas acículas de *P. taeda*, podendo-se verificar que, de um modo geral, os teores de P e K aumentam à medida que se aumentam as doses de P₂O₅ e K₂O utilizadas.

TABELA 11 – Teores totais médios de N, P, K, Ca e Mg nas acículas de *P. taeda*.

TRAT.	N	P	K	Ca	Mg
		----- g kg ⁻¹ -----			
1	14,00	1,74	9,02	2,74	0,84
2	14,29	1,87	9,41	3,15	0,80
3	12,83	1,90	9,41	2,93	0,81
4	15,17	2,08	8,89	3,07	0,75
5	14,58	1,69	9,71	2,92	0,78
6	12,83	1,84	9,25	2,79	0,87
7	14,58	1,92	8,31	2,90	0,79
8	13,42	2,11	7,83	2,83	0,90
9	15,46	1,71	9,33	2,62	0,77
10	14,58	1,92	8,73	2,72	0,78
11	12,25	2,06	7,79	2,88	0,94
12	13,71	2,06	8,81	2,97	0,86
13	13,13	1,54	8,90	1,80	0,77
14	12,25	1,82	7,45	2,20	0,93
15	13,42	1,90	9,37	2,23	0,90
16	12,83	1,92	9,10	2,23	0,87
17	12,83	1,54	8,36	2,20	0,90
18	13,71	1,74	7,27	2,23	1,00
19	13,71	1,82	8,65	2,23	0,83
20	14,29	1,95	8,90	2,37	0,90
21	14,29	1,69	7,22	2,17	1,07
22	13,71	1,74	8,69	2,23	0,83
23	13,71	1,71	8,81	2,47	0,83
24	13,71	2,03	7,80	2,63	0,83
25	13,42	1,64	9,28	2,80	0,87
26	13,42	1,77	9,50	2,87	0,83
27	13,13	1,71	8,68	2,40	0,67
28	13,42	1,93	8,36	2,33	0,83
29	15,46	1,61	9,82	2,47	0,77
30	14,58	1,56	8,84	2,97	0,77
31	14,29	1,66	8,34	2,53	0,80
32	13,71	1,66	9,14	2,47	0,73
33	15,17	1,56	9,03	2,50	0,70

... continuação da Tabela 11

34	14,58	1,71	8,86	2,27	0,73
35	14,29	1,66	8,87	2,27	0,70
36	14,58	1,71	9,64	2,37	0,73
37	13,71	1,41	9,91	2,40	0,70
38	14,88	1,64	9,06	2,60	0,87
39	13,71	1,69	9,29	2,43	0,70
40	14,29	1,74	8,90	2,67	0,77
41	15,46	1,41	8,25	2,40	0,80
42	15,17	1,54	9,28	2,67	0,73
43	15,17	1,74	7,96	2,57	0,80
44	14,29	1,59	7,27	2,60	0,73
45	15,17	1,34	8,84	2,57	0,80
46	13,71	1,36	7,72	2,57	0,77
47	14,00	1,54	7,29	2,57	0,77
48	14,00	1,82	6,54	2,63	0,87
49	14,58	1,34	8,02	2,47	0,80
50	14,29	1,49	9,61	2,30	0,84
51	13,42	1,66	8,29	2,23	0,84
52	13,71	1,82	7,60	2,47	0,95
53	14,88	1,75	8,64	1,93	0,80
54	14,00	1,46	8,33	2,47	0,91
55	14,00	1,51	7,46	2,27	0,83
56	13,71	1,79	8,96	2,63	0,79
57	15,46	1,27	8,24	2,17	0,80
58	14,58	1,39	7,25	2,07	0,79
59	14,58	1,54	8,90	2,53	0,71
60	14,00	1,56	9,12	2,37	0,76
61	14,88	1,32	7,37	2,03	0,88
62	14,00	1,41	8,92	2,40	0,72
63	13,42	1,84	9,58	2,83	0,73
64	14,29	2,03	8,33	2,47	0,65

O aumento dos teores de P e K nas acículas em razão do aumento das doses de P_2O_5 e K_2O utilizadas (Tabela 11), podem ser atribuídas ao efeito positivo desses nutrientes, constatado pela análise do fatorial (N, P e K).

Para o N, em que, não foi observado resposta positiva no fatorial (N, P e K), uma vez que esse nutriente foi considerado como mais limitante pela diagnose DRIS, possivelmente estes resultados tenham sido influenciados pela absorção de N pelas plantas daninhas, e altos teores de matéria orgânica nesse solo, “indisponibilizando”

temporariamente esse nutriente, nesta fase de crescimento das plantas de *P. taeda* (19 meses de idade).

Vários trabalhos têm demonstrado, pela análise do DRIS, que a ordem de limitação dos nutrientes é influenciada por diversos fatores, dentre eles pode-se citar tipo de solo (características químicas e físicas), clima, fertilização (tipo e doses utilizadas), material genético, práticas silviculturais, entre outros. Assim em plantas de *Acer saccharum*, no Canadá, mediante fertilização com Superfosfato Triplo, K_2SO_4 e $[Ca(OH)_2]$, os índices DRIS, para P e K, aumentaram com o aumento das doses de P e K (Paré et al., 1993); na Espanha, com *Pinus radiata*, sob nove diferentes materiais parentais e climas Atlântico e Mediterrâneo, verificou-se que o P é o mais limitante, seguido do N (Romanyà & Vallejo, 1996); em solo com baixo teor de Ca, no Sul da África, com *P. patula*, o Ca foi o nutriente mais limitante, seguido do Mg (Schutz & Villiers, 1988); em área degradada por mineração de bauxita, na Austrália, o nitrogênio foi o mais limitante seguido do fósforo, para o *Eucalyptus saligna* (Ward et al., 1985).

4.2.2 Potencial de Resposta à Adubação (PRA)

Com o objetivo de melhor identificar os nutrientes que, de fato, são os causadores do desequilíbrio, os índices DRIS foram interpretados pelo método do Potencial de Resposta à Adubação (PRA), conforme critérios descritos por Wadt (1996) (Tabela 6). Desta maneira observa-se na Tabela 12 os resultados do PRA, para os índices IN, IP, IK, ICa e IMg em relação a todos os tratamentos (subpopulação de baixa produtividade).

TABELA 12 – Potencial de Resposta à Adubação (PRA) em relação aos tratamentos.

Tratamentos (kg ha ⁻¹)			Potencial de Resposta à Adubação (PRA)				
N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P	K	Ca	Mg
0	0	0	Positiva	Nula	Nula	Negativa	Nula
0	60	120	Positiva	Nula	Nula	Negativa	Nula
0	120	80	Positiva	Nula	Nula	Negativa	Nula
0	180	40	Nula	Negativa	Nula	Nula	Positiva
50	0	120	Positiva	Nula	Nula	Negativa	Positiva
50	60	80	Positiva	Nula	Nula	Nula	Nula
50	120	40	Nula	Negativa	Positiva	Negativa	Nula
50	180	0	Positiva	Negativa	Positiva	Nula	Nula
100	0	80	Nula	Nula	Negativa	Nula	Positiva
100	60	40	Nula	Negativa	Nula	Nula	Nula
100	120	0	Positiva	Negativa	Nula	Nula	Nula
100	180	120	Positiva	Negativa	Nula	Negativa	Nula
150	0	40	Nula	Nula	Negativa	Positiva	Nula
150	60	0	Positiva	Negativa	Nula	Nula	Negativa
150	120	120	Positiva	Negativa	Nula	Positiva	Nula
150	180	80	Positiva	Negativa	Nula	Positiva	Nula
0	0	40	Positiva	Nula	Nula	Positiva	Negativa
0	60	0	Nula	Nula	Positiva	Positiva	Negativa
0	120	120	Nula	Negativa	Nula	Positiva	Nula
0	180	80	Nula	Negativa	Nula	Positiva	Nula
50	0	0	Nula	Nula	Positiva	Positiva	Negativa
50	60	120	Nula	Negativa	Nula	Positiva	Nula
50	120	80	Positiva	Negativa	Nula	Nula	Nula
100	0	120	Positiva	Nula	Nula	Negativa	Nula
100	60	80	Positiva	Nula	Nula	Negativa	Nula
100	120	40	Nula	Negativa	Nula	Nula	Positiva
100	180	0	Positiva	Negativa	Nula	Positiva	Nula
150	0	80	Nula	Nula	Negativa	Positiva	Positiva
150	60	40	Nula	Nula	Nula	Negativa	Nula
150	120	0	Nula	Negativa	Positiva	Nula	Nula
150	180	120	Positiva	Nula	Negativa	Nula	Positiva
0	0	80	Negativa	Nula	Negativa	Nula	Positiva
0	60	40	Nula	Negativa	Nula	Positiva	Nula
0	180	120	Nula	Nula	Negativa	Positiva	Positiva
50	0	40	Nula	Nula	Negativa	Nula	Positiva
100	0	0	Negativa	Positiva	Nula	Nula	Nula
100	120	80	Negativa	Negativa	Positiva	Nula	Nula
150	0	120	Negativa	Positiva	Nula	Nula	Nula
150	120	40	Nula	Nula	Positiva	Negativa	Nula
150	180	0	Nula	Negativa	Positiva	Nula	Nula
0	120	40	Nula	Negativa	Nula	Positiva	Negativa
0	180	0	Nula	Nula	Positiva	Nula	Negativa
50	0	80	Nula	Nula	Nula	Positiva	Nula
50	180	120	Positiva	Negativa	Nula	Nula	Nula
100	0	40	Negativa	Positiva	Nula	Positiva	Nula

... continuação da Tabela 12

100	60	0	Negativa	Nula	Nula	Positiva	Nula
100	180	80	Nula	Nula	Negativa	Positiva	Nula
150	0	0	Negativa	Nula	Nula	Positiva	Negativa
150	60	120	Nula	Positiva	Negativa	Nula	Nula
150	120	80	Positiva	Nula	Nula	Nula	Positiva
150	180	40	Nula	Negativa	Nula	Nula	Positiva

Verifica-se, na Tabela 13, a freqüência em que ocorrem os tratamentos segundo o Potencial de Resposta à Adubação (PRA), das plantas de *P. taeda*.

TABELA 13 – Freqüência de ocorrência dos tratamentos pelo Potencial de Resposta à Adubação (PRA), das plantas de *P. taeda*.

Potencial de Resposta à Adubação (PRA)		
Positiva	Nula	Negativa
	----- Nitrogênio -----	
19 (37,3%)	25 (49,0%)	7 (13,7%)
	----- Fósforo -----	
4 (7,8%)	25 (49,0%)	22 (43,1%)
	----- Potássio -----	
9 (17,6%)	33 (64,7%)	9 (17,6%)
	----- Cálcio -----	
19 (37,3%)	22 (43,1%)	10 (19,6%)
	----- Magnésio -----	
11 (21,6%)	33 (64,7%)	7 (13,7%)

Nota-se, na Tabela 13, para o N, que a maior freqüência dos tratamentos (37,3%) foram considerados potencialmente positivos à adubação nitrogenada, indicando um status nutricional limitante por falta desse nutriente; 49,0% dos tratamentos, não foi constatado potencial de resposta à adubação com N, estando nutricionalmente adequados e, somente, 13,7% foi potencialmente negativo à adubação, indicando uma limitação por excesso desse nutriente. De maneira semelhante, o Ca, em

que, 37,3% dos tratamentos responderam de forma positiva a adubação, estando limitante por falta com esse nutriente, e 43,1% dos tratamentos foi constatado potencial de resposta à adubação nula, ou seja, estão nutricionalmente adequados; 19,6% do tratamentos responderam de forma negativa à adubação com esse nutriente. Já para o Mg, 21,6% dos tratamentos foram considerados positivos, em que 64,7% dos tratamentos não responderam à adubação, e, 13,7% desses tratamentos responderam de forma negativos à adubação.

Para o P, 43,1% dos tratamentos foram considerados com potencial negativo à adubação, indicando limitação por excesso desse nutriente (Tabela 13). Já 49,0% dos tratamentos foram considerados potencialmente equilibrados, com nenhum potencial de resposta à adubação com fósforo. Apenas 7,8% dos tratamentos foram considerados com potencial positivo à adubação, ou seja, limitante por falta de fósforo.

Observa-se, na Tabela 13, que para o K, 64,7% dos tratamentos não responderam potencialmente à adubação, apontando um equilíbrio nutricional na maioria dos tratamentos. Nota-se, na Tabela 13, que 17,6% dos tratamentos responderam de forma negativa à adubação com K, ou seja, ocorre uma limitação por excesso, e 17,6% dos tratamentos responderam de forma positiva à adubação, indicando deficiência nutricional.

A análise, pelo potencial de resposta à adubação (PRA), apontou como mais positivos a adubação o N e o Ca, seguido do Mg e do K, sendo o P o menos positivo à adubação (Tabela 13).

O Potencial de Resposta à Adubação desenvolvido por Wadt (1996), foi utilizado pelos autores Wadt et al. (1998a), para árvores do híbridos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, cultivadas no Espírito Santo e Sul da Bahia, verificando, que o N, na maior parte das árvores analisadas, foram consideradas nutricionalmente equilibradas (59,3 a 76,4%), com nenhum potencial de resposta à adubação. De 15,8

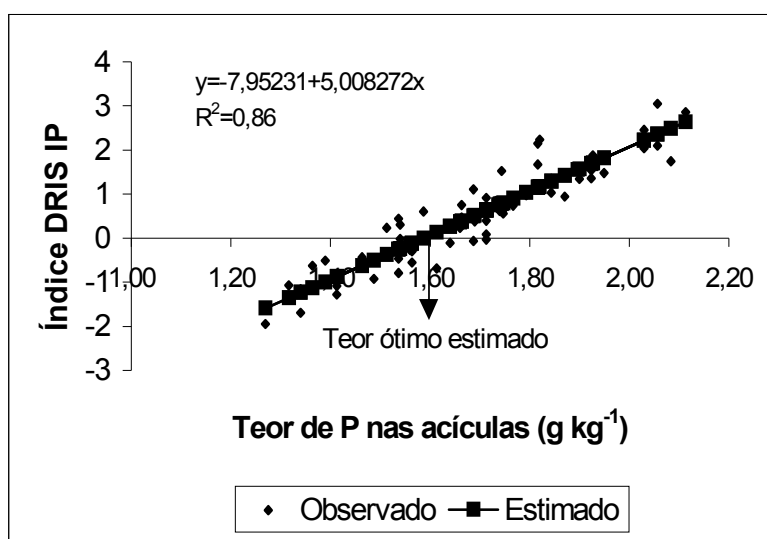


FIGURA 5 – Regressão linear e dispersão entre o índice DRIS de P em razão do teor de P nas acículas de plantas de *P. taeda*.

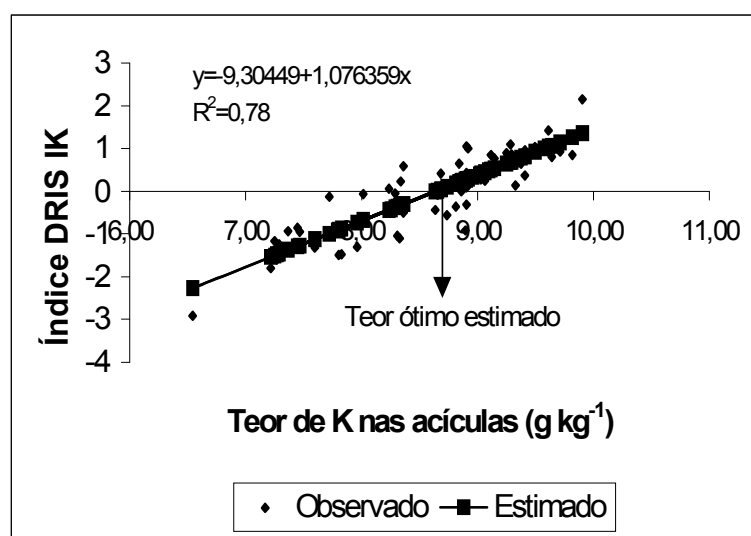


FIGURA 6 – Regressão linear e dispersão entre o índice DRIS de K em razão do teor de K nas acículas de plantas de *P. taeda*.

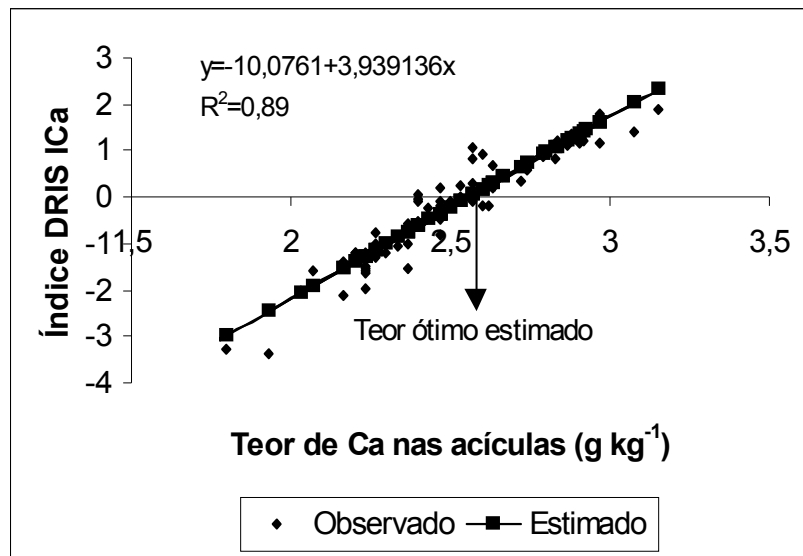


FIGURA 7 – Regressão linear e dispersão entre o índice DRIS de Ca em razão do teor de Ca nas acículas de plantas de *P. taeda*.

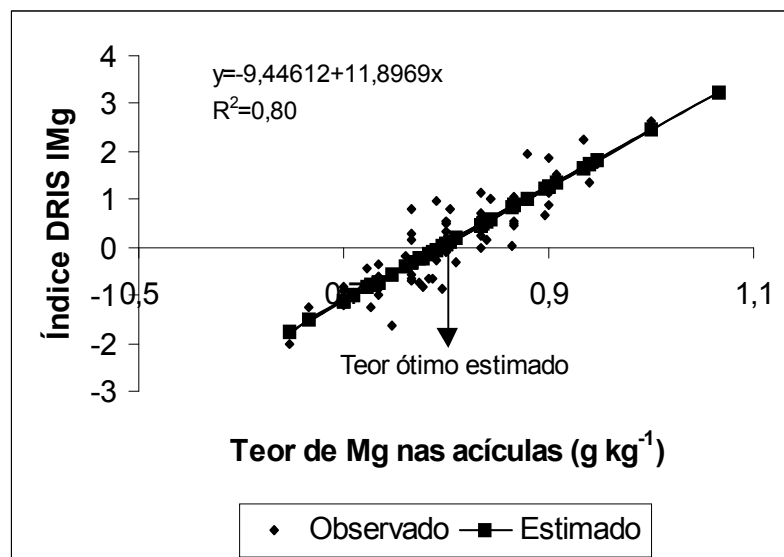


FIGURA 8 – Regressão linear e dispersão entre o índice DRIS de Mg em razão do teor de Mg nas acículas de plantas de *P. taeda*.

Verifica-se, nas Figuras 4, 5, 6, 7 e 8 que os teores ótimos estimados para N, P, K, Ca e Mg foram de 14.6, 1.6, 8.6, 2.6 e 0.8 g kg⁻¹ respectivamente. Na Tabela 11, encontram-se os teores totais médios de N, P, K, Ca e Mg nas acículas de *P. taeda*, em que podemos verificar que tais teores médios foram de 14.0, 1.7, 8.6, 2.50 e 0.81 g kg⁻¹, para N, P, K, Ca e Mg respectivamente (bastante próximo dos valores estimados pelo NCG).

Observa-se, na Figura 4, que somente 46% da variação das médias para o N são explicadas mediante a equação, demonstrando a grande dispersão dos dados. Já nas Figuras 5, 6, 7 e 8 verifica-se que a dispersão dos dados foi menor para o P, K, Ca e Mg em que 85, 78, 89 e 80% respectivamente, da variação das médias, são explicadas pela equação.

No caso do híbrido *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, cultivadas no Espírito Santo e Sul da Bahia, os autores Wadt et al. (1998b) determinaram os valores de referência pelo DRIS, pelos métodos do nível crítico ótimo (NCO) e do nível crítico gráfico (NCG), obtendo, para o segundo método, os valores de 18,6, 0,9, 6,6, 5,15 e 2,62 g kg⁻¹, para N, P, K, Ca e Mg respectivamente. Os autores verificaram que os dois critérios utilizados apresentaram estreita concordância, sendo os valores obtidos pelo NCG, na maioria das vezes, superiores aos obtidos pelo NCO. Os mesmos autores apontam que, uma vez que o NCG foi determinado, igualando-se à variável independente a zero, na regressão polinomial ajustada, a exatidão da determinação do NCG pode ser comprometida pela imprecisão da equação. Nesse trabalho fica subentendido que uma equação, com baixo coeficiente de determinação, pode superestimar o teor ótimo de um dado nutriente.

Para *P. taeda*, com 4 anos de idade, em um povoamento no sul da Carolina e Georgia (EUA), os autores Needham et al. (1990), quando igualaram o índice DRIS a zero, determinaram, para N, P, K e Mg os teores nas acículas de, 12.3, 1.2, 5.2 e 0.8 g kg⁻¹ respectivamente.

Em 1965, o autor Van Goor *apud* Hoogh (1981), no sudeste do Brasil (São Paulo), determinou, para *Pinus elliottii* com 5 anos de idade, nas acículas, as seguintes variações dos limites nutricionais: 10.6-17.9, 0.7-1.4, 2.2-11.5, 1.7-3.3 e 1.0-1.3 g kg⁻¹ para N, P, K, Ca e Mg respectivamente. Já em 1968, os autores Switzer et al. *apud* Garicoits (1990) estabeleceram, como níveis foliares críticos, também para *P. taeda*, os seguintes valores: 9.0-12.5, 0.9-1.1, 3.0-5.0, 3.0-5.0 e 0.7-1.0 g kg⁻¹ para N, P, K, Ca e Mg respectivamente.

Schutz & Villiers (1988) verificaram, em acículas de *P. patula* com 20 anos de idade, os seguintes teores: 22.8, 1.8, 9.7, 0.8 e 0.9 g kg⁻¹ para N, P, K, Ca e Mg respectivamente.

Allen *apud* Needham (1990) determinaram, em acículas de *P. taeda*, os níveis críticos de 11.0, 1.0, 3.5 e 0.7 g kg⁻¹ para N, P, K e Mg respectivamente.

Fernández et al. (2000) determinaram, nas acículas de *P. taeda*, aos 34 meses de idade, sob solos rojos, na Argentina (teor de matéria orgânica de 39,6 g kg⁻¹ e pH de 4,1), após aplicação das doses de 0, 196 e 60 g planta⁻¹ de Uréia, Superfosfato triplo (47% de P₂O₅) e Cloreto de potássio (60% de K₂O) respectivamente, os teores de 16.0, 1.2, 8.9, 5.67 e 1.33 g kg⁻¹, de N, P, K, Ca e Mg respectivamente.

Conforme Wells et al. (1973), a aplicação de fertilização fosfatada em *P. taeda*, aumentou o teor de fósforo nas acículas, aos três anos de idade, nas regiões de Costal Plain no Sul da Carolina e Piedmont na Virginia (EUA).

Para *Pinus* spp, várias faixas foram determinadas, as quais foram resumidas na Tabela 14.

TABELA 14 – Faixas de teores adequados na acículas de *Pinus* spp.

Fonte	Faixas de teores adequados				
	N	P	K	Ca	Mg
	----- g kg ⁻¹ -----				
Zöttl (1973)	15.0-22.0	1.3-2.0	6.0-12.0	1.0-5.0	1.0-2.0
Gonçalves (1995)	11.0-16.0	0.8-1.4	6.0-10.0	3.0-5.0	1.3-2.0
Malavolta et al. (1997)	12.0-13.0	1.4-1.6	10.0-11.0	3.0-5.0	1.5-2.0
Embrapa (1999) ¹	11.0-13.0	0.8-1.2	6.0-10.0	3.0-5.0	1.3-2.0

Malavolta et al. (1997) enfatizam que esses valores são indicações muito gerais, em que condições de solo, clima e variedade poderão influenciá-los.

Os teores ótimos obtidos pelo NCG nas acículas de *P. taeda* neste trabalho, comparados aos teores apontados pela literatura, estão ora dentro, acima ou abaixo dos limites indicados por estes autores.

5 CONCLUSÕES

Em decorrência das condições de desenvolvimento das plantas de *P. taeda*, aos 19 meses de idade, conclui-se que:

- Foi obtida resposta positiva para o P e K, evidenciando a importância desses adubos até os 19 meses de idade de crescimento das plantas.
- O máximo ganho em volume cilíndrico é obtido com as doses de 64,0 e 87,0 kg ha⁻¹ de P e K respectivamente, nessa fase de crescimento.
- A avaliação nutricional pelo DRIS indicou o N e o Ca como os nutrientes mais limitante ao crescimento das plantas de *P. taeda*, aos 19 meses de idade, com a seguinte ordem de limitação: N e Ca > Mg > K > P.

5.1 Recomendações

Uma vez que a obtenção dos dados foi realizada com 19 meses após o plantio, sugere-se uma nova avaliação aos 36 meses de idade, das plantas de *P. taeda*, comparando-se os resultados obtidos, indicando-nos assim, possíveis alterações nutricionais em razão da idade.

Recomenda-se, no momento do plantio das mudas de *P. taeda*, a aplicação de 64,0 e 87,0 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e K₂O respectivamente, correspondendo a 173 kg ha⁻¹ de Superfosfato triplo (37% de P₂O₅) e 145 kg ha⁻¹ de Cloreto de potássio (60% de K₂O).

Antes de realizar o plantio, sugere-se a correção do pH como fonte de Ca e Mg ao solo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARROS, N.F.; et al. Recomendação de fertilizantes minerais em plantios de eucalipto. In: GONÇALVES, J.L.M. & BENEDETTI, V. (eds). **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2000. p. 135-165.

BARROS, N.F.; et al. Fertilização e correção do solo para o plantio de eucalipto. In: BARROS, N.F. & NOVAIS, R.F. (eds.). **Relação solo-eucalipto**. Viçosa: Folha de Viçosa, 1990. p. 127-186.

BATAGLIA, O.C. & SANTOS, W.R. Efeito do procedimento de cálculo e da população de referência nos índices do sistema integrado de diagnose e recomendação (DRIS). **Revista brasileira de Ciência do Solo**, v. 14, p. 339-344, 1990.

BEUTLER, A.N.; et al. Efeito do alumínio sobre o crescimento de duas espécies florestais. **Revista brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p. 923-928, 2001.

BINKLEY, D. **Forest nutrition management**. New York: A Wiley-Interscience Publication: John Wiley, 1986. 290 p.

BRASIL. Ministério da Agricultura. Divisão de pesquisa pedológica DNPEA. **Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Rio Grande do Sul**. Recife, 1973. 431 p. (Boletim Técnico nº30).

CAMARGO, F.A.O.; et al. Nitrogênio orgânico do solo. In: SANTOS, G.A. & CAMARGO, F.A.O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Genesis, 1999. p. 117-138.

CARNEIRO, J. G. A. **Produção e controle de qualidade de mudas florestais**. Curitiba: UFPR/FUPEF; Campos: UENF, 1995. 451 p.

CARVALHO, J.G.; et al. Nutrição mineral de *Pinus*. In: HAAG, H.P. **Nutrição mineral de *Eucalyptus*, *Pinus*, *Araucaria* e *Gmelina* no Brasil**. Campinas: Fundação Cargil, 1983. p.71-134.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO – RS/SC. **Recomendação de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 3. ed. Passo Fundo: SBCS-Núcleo Regional Sul, 1994. 224 p.

COSTA DA SILVA, G.G.; et al. Diagnose nutricional do eucalipto pelo DRIS, M-DRIS e CND. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 28., 2001, Londrina. **Resumos**: Londrina: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2001. p.147.

CROCOMO, O.J. Assimilação do nitrogênio pelas plantas. In: FERRI, M.G. (ed.). **Fisiologia Vegetal 1**. São Paulo: EPU, 1985. p.97-116.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa Tecnológica em Informática para a Agricultura (Campinas, SP). **Ambiente de software NTIA**, versão 4.2.2.: manual do usuário – ferramental para geração de aplicativos. Campinas, 1997. Disquete 3_{1/2}.

FERNÁNDEZ, R.; et al. **Respuesta del *Pinus taeda* y la *Araucaria angustifolia* a la adición de N, P y K en la implantación**. In: SILVOARGENTINA I, Governador Virasoro, Corrientes, 2000. CD-Rom.

FIFE, D.N. & NAMBIAR, E.K.S. Response to phosphorus application of second rotation *Pinus radiata* on podsolised sands from planting to first thinning: implications for management. **Australian Forestry**, v. 62, p.109-119, 1998.

FLINN, D.W. Practical aspects of the nutrition of exotic conifer plantations and native eucalypt forests in Australia. **Research for Forest Management**. Mel Bourne: CSIRO, 1985. 296 p.

FORTUNATO, R.P. **Níveis de pH do solo e toxidez de alumínio no crescimento e nutrição mineral de mudas de grápia (*Apuleia leiocarpa*)**. Santa Maria: UFSM, 2001. 54 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, 2001.

GARCIA, C.H. **Tabelas para classificação do coeficiente de variação**. Piracicaba: IPEF-ESALQ, 1989. 12 p. (Circular técnica, 171)

GARICOITS, L.S.L. **Estado nutricional e fatores do solo limitantes do crescimento de *P. taeda* L. em Telêmaco Borba (PR)**. Curitiba: UFPR, 1990. Dissertação (Mestrado em Engenharia Floresta) – Universidade Federal do Paraná, 1990.

GONÇALVES, J. L. M. Recomendações de adubação para *Eucalyptus*, *Pinus* e espécies típicas da Mata Atlântica. **Documentos Florestais**, Piracicaba, v.15, p.1-23, 1995.

GONÇALVES, J.L.M.; et al. Reflexos do cultivo mínimo e intensivo do solo em sua fertilidade e na nutrição das árvores. In: GONÇALVES, J.L. & BENEDETTI, V. (eds.). **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2000. p. 3-57.

GONÇALVES, J.L.M. & VALERI, S.V. Eucalipto e Pinus. In: FERREIRA, M.E.; et al. (eds.). **Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura**. Jaboticabal, 2001. p13-41.

HARLOW, W.M. & HARRAR, E.S. **Textbook of dendrology**. New York: McGraw-Hill, 1969. 512 p.

HOOGH, R.J. **Site-nutrition-growth relationships of *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. in southern Brazil**. Freiburg, 1981. 161 p. (Inaugural-dissertation)

HUECK, K. **As florestas da América do Sul**. São Paulo: Polígono, 1972. 466 p.

ISMAEL, J.J.; et al. Níveis críticos de fósforo no solo e nas folhas para a implantação de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden, em quatro tipos de solo. **Scientia Forestalis**, v. 54, p.29-40, 1998.

JONES, C.A. Proposed modifications of the diagnosis and recommendation integrated system (DRIS) for interpreting plant analyses. **Communed Soil Science Plant Analysis**, v. 12, p. 785-794, 1981.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Ceres, 1980. 251 p.

MALAVOLTA, E. Nutrição mineral. In: FERRI, M.G. (ed.). **Fisiologia Vegetal 1**. São Paulo: EPU, 1985. p.97-116.

MALAVOLTA, E. **ABC da adubação**. São Paulo: Ceres, 1989. 292 p.

MALAVOLTA, E.; et al. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319 p.

MALAVOLTA, E.; et al. **Adubos e adubações**. São Paulo: Nobel, 2000. 200 p.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2. ed. Academic Press, 1995. 889 p.

MELLO, F. A. F.; et al. **Fertilidade do solo**. São Paulo: Nobel, 1983. 400 p.

MELO, V.F.; et al. Balanço nutricional, eficiência de utilização e avaliação da fertilidade do solo em P, K, Ca e Mg em plantios de eucalipto no Rio Grande do Sul. **IPEF**, Piracicaba (48/49), p. 8-127, 1995.

MENGEL, K. Fatores que afetam a demanda de potássio pelas culturas. In: YAMADA, Y.; et al. **Potássio na agricultura brasileira**. Simpósio sobre potássio na agricultura brasileira. Anais. Londrina: Instituto Internacional da Potassa, Londrina, Fundação IAPAR, 1982. p. 195-212.

MIELNICZUK, J. **O potássio no solo**. Potafos: 2, 1984. 79 p. (Boletim Técnico)

MIROV, N. T. **The genus *Pinus***. New York: Ronald Press, 1967. 602 p.

MOLINA, G.; et al. Efecto de NPK sobre las posturas de *Pinus maestrensis* em viveiro y en campo. **Revista Florestal Baracoa**, v.17, n. 2, p.85-96, 1987.

MOREIRA, J.F.; et al. Efeito do tempo de contato do fósforo com o solo sobre sua disponibilidade para mudas de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 15, p. 303-308, 1991.

MORENO, J.A. **Clima do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura, 1961.

MUNSON, R.D. & NELSON, W.L. Principles and practices in plant analysis. In: WESTERMAN, R.L. **Soil testing and plant analysis**. Madison: Soil Science Society of America, 1990. p. 359-388.

NEEDHAM, T.D.; et al. Relationship between diagnosis and recommendation integrated system (DRIS) optima and foliar nutrient critical levels. **Soil Science American Journal**, v. 54, p. 883-886, 1990.

NEVES, J.C.L.; et al. Fertilização mineral de mudas de eucalipto. In: BARROS, N.F. & NOVAIS, R.F. (eds.). **Relação solo-eucalipto**. Viçosa: Folha de Viçosa, 1990. p. 99-126.

NEVES, J.C.L. **Avaliação do estado nutricional de plantas pelo sistema integrado de diagnose e recomendação (DRIS)**. Campos dos Goytacazes, 1998. 29p. (Exame de Qualificação)

b

NOVAIS, R.F., et al. Nutrição mineral do Eucalipto. In: BARROS, N. F. & NOVAIS, R. F. (eds). **Relação solo-eucalipto**. Viçosa: Folha de Viçosa, 1990. p. 25-98.

NOVAIS, R.F. & SMYTH, T.J. Fósforo na planta. In: NOVAIS, R.F. & SMYTH, T.J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa: UFV, DPS, 1999. p.255-270

NOLLA, D. **Erosão do solo: o grande desafio**. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura, 1982. 412 p.

PARÉ, D.; MEYER, W.L. & CAMIRÉ, C. Nutrient availability and foliar nutrient status of sugar maple saplings following fertilization. **Soil Science Society American**, v. 57, p. 1107-1114, 1993.

PREZOTTI, L. C., et al. Nível crítico de potássio no solo para a produção de mudas de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 12, p. 65-70, 1988.

RAIJ, B. V. **Fertilidade do solo e adubação**. São Paulo; Piracicaba: Ceres, 1991. 343 p.

RHEINHEIMER, D.; et al. Fósforo orgânico no solo. In: SANTOS, G.A. & CAMARGO, F.A.O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Genesis, 1999. p. 139-156.

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, 2000. p. 135-165.

ROMANYÀ, J. & VALLEJO, V.R. Nutritional status and deficiency diagnosis of *Pinus radiata* plantations in Spain. **Forest Science**, v. 42, n. 2, p. 192-197, 1996.

SCHULTZ, R. P. **The ecology and culture of Loblolly Pine (*Pinus taeda* L.)**. New Orleans: Agricultural Handbook 713. U. S. Department of Agriculture, Forest Service Washington, D. C., p. 20-28, 1997.

SCHUMACHER, M.V.; et al. **Caracterização física e química de um solo em uma área de campo nativo, destinada ao plantio de *Pinus taeda* L.** Santa Maria:UFSM, CCR, Dep. Ci. Fl., 1999. 37 p.

SCHUMACHER, M.V. **Impactos ambientales de la plantaciones de pinus e eucaliptos.** In: SILVOARGENTINA I, Governador Virasoro, Corrientes, 2000. CD-Rom.

SCHUTZ, C.J. & VILLIERS, J.M. Foliar diagnosis and fertilizer prescription in forestry: the DRIS system and its potential. COLE, D.W. & GESSEL, S.P. (eds.) **Forest site evaluation and long-term productivity.** Seattle: University of Washington, 1988. p. 34-43.

SILVEIRA, R.L. Nutrição, adubação potássica e monitoramento nutricional e os ganhos de produtividade. **Revista O Papel**, 6, 2000. Disponível em: <<http://www.ipef.br/serviços/artigos/nutricaoadubacao.html>>. Acesso em : 15 nov.2001.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE SILVICULTURA. Disponível em: <http://www.sbs.org.br/area_plantada.htm>. Acesso em : 01 ago.2001.

STORCK, L. & LOPES, S.J. **Experimentação II.** Santa Maria: UFSM, CCR, Departamento de Fitotecnia, 1998. 205 p.

STRECK, E.V.; et al. **Atualização da classificação taxonômica das unidades de mapeamento do levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Rio Grande do Sul.** Porto Alegre, v. 16, 5p., 1999. (Inf. EMATER-RS)

TEDESCO, M. J.; et al. **Análise de solo, plantas e outros materiais.** Porto Alegre: UFRGS, 1995. 174 p. (Boletim técnico, 5)

TOMÉ JÚNIOR., J.B. **Manual para interpretação de análise do solo.** Guaíba: Agropecuária, 1997. 247 p.

TSAI, S.M.; et al. Efeitos de fatores do solo. In: CARDOSO, et al. (coords.) **Microbiologia do solo.** Campinas: SBSC, 1992. p. 59-72.

VICTORIA, R.L.; et al. O ciclo do nitrogênio. In: CARDOSO, E.J.B.N.; et al. (coords.) **Microbiologia do solo.** Campinas: SBSC, 1992. p. 105-120.

WADT, P.G.S. **Os métodos da chance matemática e do sistema integrado de diagnose e recomendação (DRIS) na avaliação nutricional de plantios de eucaliptos.** Viçosa: UFV, 1996. 123 p. Tese (Doutorado) em Solos e Nutrição de Plantas. Universidade Federal de Viçosa, 1996.

WADT, P.G.S.; et al. Três métodos de cálculo do DRIS para avaliar o potencial de resposta à adubação de árvores de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, p. 661-666, 1998a.

WADT, P.G.S.; et al. Valores de referência para macronutrientes em eucalipto obtidos pelos métodos DRIS e Chance Matemática. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, p. 685-692, 1998b.

WARD, S.C.; et al. Responses to factorial combinations of nitrogen, phosphorus and potassium fertilizers by saplings of *Eucalyptus saligna* Sm., and the prediction of the responses by DRIS indices. **Australian Forestry Research**, v. 15, p. 27-32, 1985.

WELLS, C.G.; et al. **Soil and foliar guidelines for phosphorus fertilization of Loblolly Pine.** USDA: forest Service Research Paper, SE-110, 1973. 20 p.

WOOLLONS, R.C.; et al. Responses to nitrogen, phosphorus and sulphur applications to a *Pinus radiata* stand in the Tumut region, New South Wales. **Australian Forestry**, v.58, n.3, p.135-141, 1995.

ZÖTTL, H.M. **Diagnosis of nutritional disturbances in forest stands.**
In: International Symposium on Forest Fertilization. Paris, FAO-IUFRO.
Ministère de l'agriculture, 1973. p.75-95

ANEXOS



ANEXO 1 – Preparo de solo, tipo escarificação com uma haste na linha a 35 cm de profundidade, no local da área experimental.



A



B

ANEXO 2 – Figuras A e B: Aspecto geral da área experimental.



ANEXO 3 – Aspecto da medição da altura total e altura de copa.



ANEXO 4 – Aspecto da medição do diâmetro de copa.



ANEXO 5 – Aspecto da medição do diâmetro do colo, com auxílio de paquímetro.



ANEXO 6 – Aspecto do trado de rosca utilizado na coleta de solo.



ANEXO 7 – Ponto de amostragem de acículas para análise química.

ANEXO 8 – Teores médios da Argila, pH, P, K, Ca, Mg, MO, Al, H+Al, V (%) e m (%), do solo da área experimental, no momento da coleta dos dados.

TR.	Argila g kg ⁻¹	pH H ₂ O	P mg kg ⁻¹	K mg kg ⁻¹	Ca cmol _c kg ⁻¹	Mg cmol _c kg ⁻¹	MO g kg ⁻¹	Al cmol _c kg ⁻¹	H+Al cmol _c kg ⁻¹	V %	m %
1	467,0	4,4	2,4	70,0	0,93	0,63	46,3	4,83	15,1	10,3	73,7
2	513,0	4,4	2,5	102,7	1,03	0,70	47,0	4,20	13,8	12,7	68,0
3	580,0	4,3	2,1	60,0	0,87	0,57	45,7	4,57	15,1	9,3	74,7
4	553,0	4,4	4,3	63,3	0,73	0,43	48,0	4,83	15,1	8,0	78,7
5	557,0	4,3	1,5	80,7	0,77	0,50	47,3	4,73	17,0	7,7	76,3
6	557,0	4,4	1,5	63,3	0,87	0,47	44,7	4,13	15,6	9,0	73,3
7	640,0	4,4	3,2	55,3	1,03	0,57	47,7	4,50	15,6	9,7	72,0
8	587,0	4,4	2,9	48,0	0,93	0,50	47,7	4,40	15,1	9,3	74,0
9	560,0	4,4	1,5	50,7	1,20	0,60	45,0	4,23	14,7	11,7	68,7
10	563,0	4,4	2,4	48,0	1,07	0,53	45,7	4,13	14,3	11,0	70,3
11	650,0	4,3	2,1	44,7	1,00	0,43	46,0	4,50	15,6	9,3	74,3
12	673,0	4,3	6,1	56,0	1,07	0,47	47,0	4,47	15,1	9,7	73,0
13	547,0	4,3	2,1	44,0	1,07	0,57	46,3	4,33	15,1	10,7	71,3
14	601,0	4,3	2,7	36,7	1,13	0,57	46,3	4,70	16,5	9,7	72,3
15	613,0	4,3	3,5	60,7	1,00	0,40	49,3	4,80	17,0	8,0	75,7
16	613,0	4,3	8,1	55,3	1,13	0,43	45,0	4,90	16,0	9,7	74,3
17	537,0	4,4	2,4	53,3	0,53	0,37	46,3	4,50	15,1	6,7	81,3
18	573,0	4,4	3,0	40,0	0,57	0,37	49,3	4,77	16,0	6,0	82,3
19	553,0	4,3	4,0	60,7	0,67	0,27	47,3	4,87	16,0	6,3	81,7
20	501,0	4,3	5,6	67,3	0,73	0,23	45,3	5,00	15,6	6,7	81,3
21	563,0	4,3	2,1	42,0	0,63	0,43	42,0	4,47	15,6	7,0	79,3
22	401,0	4,5	6,2	77,3	0,43	0,37	41,7	5,33	16,5	5,7	84,3
23	490,0	4,4	4,8	64,7	0,57	0,30	52,0	5,07	15,6	6,3	83,0
24	483,0	4,3	6,3	47,3	0,70	0,23	49,3	5,17	15,6	6,3	83,0
25	550,0	4,4	1,8	68,0	0,63	0,40	43,0	4,13	14,7	7,3	77,3
26	517,0	4,4	2,2	54,7	0,43	0,30	44,3	4,20	14,3	6,0	83,0
27	530,0	4,3	3,7	48,7	0,57	0,30	46,0	4,63	15,1	6,0	82,0
28	503,0	4,4	4,5	32,0	0,60	0,30	43,0	4,77	16,1	5,7	83,0
29	540,0	4,3	3,2	52,7	0,40	0,33	47,7	5,30	14,7	5,3	86,0
30	540,0	4,3	2,5	44,7	0,47	0,33	45,7	4,87	15,6	5,7	84,3
31	500,0	4,2	3,2	35,3	0,40	0,20	46,3	4,93	16,0	4,0	87,7
32	470,0	4,2	9,9	42,0	0,57	0,27	47,7	4,80	17,0	5,3	83,7
33	513,0	4,4	1,8	72,7	0,73	0,63	43,7	5,23	14,7	9,7	76,7
34	570,0	4,3	2,2	54,0	0,67	0,53	45,0	5,03	13,8	8,7	79,0
35	573,0	4,4	5,6	46,0	0,80	0,53	47,7	4,90	13,8	9,7	77,3
36	587,0	4,4	10,8	66,0	0,83	0,43	46,7	4,83	13,9	9,7	77,3
37	553,0	4,4	1,5	64,7	0,83	0,70	51,3	4,87	15,1	10,0	74,0
38	570,0	4,3	1,5	46,0	0,63	0,53	50,3	4,53	16,0	7,7	78,3
39	573,0	4,4	3,5	66,7	0,60	0,40	50,7	4,83	15,6	7,0	80,7
40	547,0	4,4	2,7	48,7	0,63	0,43	50,0	5,07	16,0	7,0	80,7
41	510,0	4,3	1,3	36,0	0,73	0,47	49,7	4,83	16,0	7,3	79,0
42	497,0	4,3	2,2	60,0	0,67	0,43	50,0	4,97	15,7	7,3	80,0
43	497,0	4,3	2,7	45,3	0,53	0,37	50,3	5,00	13,5	7,3	83,0
44	490,0	4,3	3,7	36,0	0,57	0,27	48,3	5,27	13,7	6,7	85,3
45	487,0	4,4	1,7	58,0	0,73	0,43	51,7	4,93	15,6	8,0	78,7
46	503,0	4,3	2,0	42,7	0,70	0,37	52,3	5,27	16,5	6,3	81,7
47	487,0	4,2	3,0	34,0	0,70	0,23	52,3	5,50	16,5	6,0	84,3

... continuação do Anexo 8

48	487,0	4,2	4,6	24,7	0,70	0,20	50,3	5,47	17,6	5,0	85,3
49	473,0	4,4	1,5	87,3	0,57	0,43	50,3	5,00	12,6	9,0	80,0
50	480,0	4,3	1,0	50,0	0,50	0,37	47,3	5,03	13,8	7,0	83,3
51	487,0	4,3	2,6	38,0	0,53	0,30	46,7	4,93	13,4	6,3	84,0
52	463,0	4,4	4,5	38,7	0,70	0,33	48,3	4,53	13,0	8,0	80,3
53	483,0	4,3	1,3	42,0	0,37	0,27	50,3	5,13	13,8	5,0	87,3
54	477,0	4,3	1,8	36,7	0,30	0,23	49,0	5,20	12,6	4,7	89,3
55	460,0	4,3	5,3	33,3	0,43	0,20	43,3	4,87	43,0	5,7	87,0
56	430,0	4,3	4,5	42,0	0,33	0,23	40,3	4,60	11,2	6,0	87,7
57	460,0	4,3	1,3	32,0	0,20	0,23	47,0	4,97	13,0	4,0	90,7
58	443,0	4,3	2,1	27,3	0,23	0,13	50,7	5,13	13,0	3,3	92,0
59	423,0	4,3	2,2	37,3	0,27	0,17	45,3	4,77	13,8	4,0	90,0
60	433,0	4,3	3,5	37,3	0,40	0,20	39,0	4,17	11,2	6,0	85,7
61	440,0	4,3	2,1	24,7	0,20	0,23	48,7	5,07	13,0	3,7	91,0
62	470,0	4,3	1,8	36,7	0,27	0,20	45,0	4,83	13,8	3,7	89,7
63	470,0	4,3	3,7	36,7	0,23	0,20	42,0	5,00	13,0	4,0	90,3
64	470,0	4,3	4,8	32,7	0,30	0,20	42,0	4,83	12,6	4,3	89,0