



Avaliação nutricional e índices DRIS em um povoamento de *Pinus taeda* L. submetido à adubação NPK¹

Hamilton Luiz Munari Vogel²; Mauro Valdir Schumacher³; Júlio César Lima Neves⁴

Resumo: No Brasil, o Sistema Integrado de Diagnóstico e Recomendação (DRIS), já vem sendo muito utilizado como ferramenta de manejo nutricional em povoamentos de *Eucalyptus* e, atualmente são raros os estudos realizados com *Pinus*. Assim, objetivou-se realizar uma avaliação nutricional pelo sistema DRIS em um povoamento de *Pinus taeda* L., aos 19 meses de idade, plantado em Cambissolo na região dos Campos de Cima da Serra, RS. Foram usadas 64 doses de adubação, pela técnica do confundimento, para três fatores, com quatro níveis, distribuídos em quatro blocos, com doses de N (Ureia), P₂O₅ (Superfosfato triplo) e K₂O (Cloreto de potássio). Foram coletadas três amostras compostas de acículas em cada um dos tratamentos (cada amostra formada por três árvores), determinando-se os teores médios de N, P, K, Ca e Mg. Para o cálculo das funções DRIS, foi usada a fórmula $f = (R - r) / s$, em que: f = valor da função para a relação (X/Y) entre os teores de dois nutrientes; R = valor da relação dual (X/Y); r = valor médio das relações duais (X/Y); s = desvio-padrão das relações duais (X/Y). A avaliação nutricional pelo DRIS indicou o N e o Ca como os nutrientes mais limitantes ao crescimento das plantas de *Pinus taeda*, aos 19 meses de idade, com a seguinte ordem de limitação: N = Ca > Mg > K > P; os teores ótimos estimados de N, P, K, Ca e Mg, pelo método do nível crítico gráfico, foram de 14,6; 1,6; 8,7; 2,6 e 0,8 g kg⁻¹ respectivamente, indicando boas condições nutricionais das plantas de *Pinus taeda*.

Palavras - chave: Diagnóstico foliar; Nutrição florestal; Fertilização

Nutritional avaluation and DRIS indices in *Pinus taeda* L. stand subject to the NPK fertilization

Abstract: In Brazil, the Diagnosis and Recommendation Integrated System (DRIS) has already been widely used as a tool for nutritional management in *Eucalyptus* stands, with pure studies currently carried out with *Pinus*. Thus, the work had as main objective to perform a nutritional evaluation by the DRIS in *Pinus taeda* L. stand, at 19 months of age, planted in Humic Cambisol aluminium in “Campos de Cima da Serra”, region Rio Grande do Sul State, Brazil. A total of 64 doses of N (Urea), P₂O₅ (triple superphosphate) and K₂O (potassium chloride) were used for the three-factor confounding technique. Three needles-composed samples were collected from each of the treatments (each sample consisting of three trees), determining the mean levels of N, P, K, Ca and Mg. For the calculation of DRIS functions, the formula $f = (R - r) / s$, where: f = function value for the (X / Y) ratio between the contents of two nutrients; R = value of the dual relation (X / Y); r = mean value of the dual relations (X / Y); s = standard deviation of the dual relations (X / Y). The results pointed that N and Ca elements were the limitant nutrient to tree growth, by DRIS evaluation, indicating the limit sequence below: N = Ca > Mg > K > P; the contents of N, P, K, Ca e Mg estimated by the critical graphic level were of 14.6, 1.6, 8.7, 2.6 and 0.8 g kg⁻¹ respectively, indicating good nutritional conditions of *Pinus taeda* plants.

Keywords: Leaf diagnosis; Forest nutrition; Fertilization.

¹ Recebido em 26.09.2018 e aceito para publicação como **artigo científico** em 08.11.2018.

² Engenheiro Florestal, Dr. Professor Associado II da UNIPAMPA - Campus São Gabriel, Rio Grande do Sul. E-mail: <hamiltonvogel@yahoo.com.br>

³ Engenheiro Florestal, Dr. nat. techn. Professor Titular do Departamento de Ciências Florestais, Universidade Federal de Santa Maria, UFSM, Rio Grande do Sul. E-mail: <mauro.schumacher@ufsm.br>

⁴ Engenheiro Agrônomo, Dr. Professor Titular da Universidade Federal de Viçosa, UFV, Minas Gerais. E-mail: <julio_n2003@yahoo.com.br>

Introdução

Os plantios com o gênero *Pinus* têm grande importância para a indústria madeireira na região sul do país. Conforme dados da AGEFLOR (2016), o Rio Grande do Sul possuía em 2016, 17% da área plantada com esta espécie em relação aos demais estados, o que representa 264,6 mil ha de plantio. A maioria desses plantios ainda são realizados sem nenhuma adubação ou qualquer manejo nutricional, o que pode gerar problemas futuros na produtividade.

No Brasil ainda são poucos os estudos relacionados à nutrição com espécies do gênero *Pinus*. Na região Sul a espécie mais plantada é o *Pinus taeda*, merecendo atenção especial por se tratar de uma espécie mais sensível às propriedades dos solos, demonstrando ser mais exigente em nutrientes (REISSMANN e WISNIEWSKI, 2000).

Neste sentido, a análise de solo aliada à análise de tecido vegetal é uma ferramenta útil para o manejo da nutrição vegetal, e dentre os métodos de interpretação dos seus resultados, destaca-se o DRIS (Sistema Integrado de Diagnóstico e Recomendação). O DRIS tem como base o 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 (BATAGLIA e SANTOS, 1990). Para cada nutriente, índices com valores negativos indicam deficiência e, positivos, excesso, já os valores próximos de zero correspondem à nutrição equilibrada. Esses índices permitem classificar os elementos em ordem de importância de limitação pela planta ou solo.

O sistema DRIS foi desenvolvido por Beaufils em 1961, para análises de solo e planta, visando a determinação da concentração e interação dos elementos essenciais nas plantas, além de níveis de nutrientes no solo, em condições e práticas culturais associadas ao ótimo crescimento (MUNSON e NELSON, 1990). O DRIS tem sido utilizado como alternativa para a avaliação nutricional das

plantas, com algumas espécies florestais já estudadas, como o *Pinus radiata*, *Pinus patula*, *Populus deltoides* e o *Eucalyptus saligna* (SCHUTZ e VILLIERS, 1988). No Brasil, o DRIS já vem sendo utilizado em várias empresas florestais que cultivam *Eucalyptus* spp., como o *Eucalyptus urograndis* (WADT et al., 1998b) e o *Eucalyptus grandis* (SILVA et al., 2005), mas raros são estudos com espécies de *Pinus*.

Nesse contexto, observou-se que o sistema DRIS, deve ser mais estudado na área nutricional florestal, pois produz diagnósticos nutricionais mais precisos do que os métodos convencionais, tais como os métodos do Nível Crítico ou da Faixa de Suficiência, que são aplicados às lavouras comerciais (WADT, 2011). O presente trabalho teve como objetivo realizar uma diagnose nutricional usando a ferramenta DRIS, em um povoamento de *Pinus taeda* L., aos 19 meses de idade, na região dos Campus de Cima da Serra, no Rio Grande do Sul, Brasil.

Material e métodos

A área de estudo se situa próxima ao município de Cambará do Sul, pertencente à empresa Reflorestadores Unidos S.A., distante 39 km do município de Cambará do Sul, no estado do Rio Grande do Sul, Brasil. O local do experimento tem como coordenadas UTM “centrais” 565125 E e 6777386 N, com altitude média de 890 m (Figura 1). O tipo de clima dominante, segundo o sistema de Köppen, é o Cfb1 temperado úmido, com temperatura média anual de 16°C e precipitação média anual de 1.700 mm, para a região de Cambará do Sul (MATZENAUER et al. 2011)

Em relação à caracterização da vegetação, na região ocorre predominantemente as formações de campos nativos, seguida das tipologias de floresta tropical pluvial e floresta de araucária, além dos capões de floresta mista (HUECK, 1972). No local do estudo, antes da implantação do experimento, a área era destinada ao pastoreio.



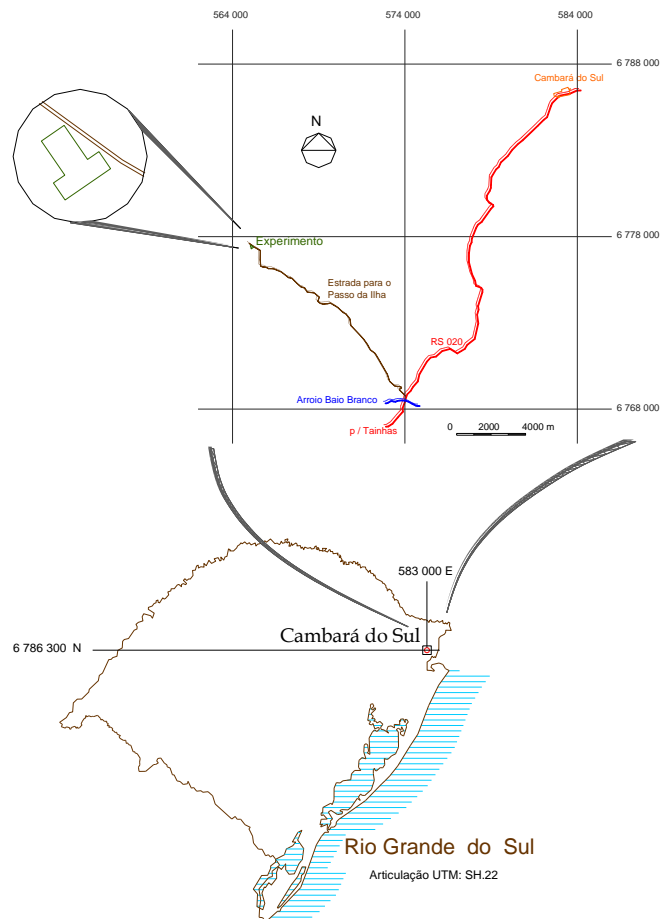


Figura 1 - Localização da área do experimento.
Figure 1 - Location of the experiment area.

O tipo de solo da região, segundo a classificação brasileira atual, é o Cambissolo Húmico Aluminoso típico (STRECK et al., 2008). Na Tabela 1, observam-se os valores médios das características do solo da área experimental, no momento da instalação da pesquisa (agosto de 1999) e na avaliação (março de 2001), aos 19 meses de idade das plantas. São solos fortemente ácidos, com saturação e soma de bases baixas, no entanto, os teores de alumínio trocável e de matéria orgânica são altos.

Para compor os tratamentos de adubação foram utilizadas quatro doses de N (0, 50, 100 e 150 kg ha⁻¹, correspondendo a 0, 108,7, 217,4 e 326,1 kg ha⁻¹ de Ureia), quatro doses de P₂O₅ (0, 60, 120 e 180 kg ha⁻¹, correspondendo a 0, 162,2, 324,3 e 486,5 kg ha⁻¹ de Superfosfato triplo), e

quatro doses de K₂O (0, 40, 80 e 120 kg ha⁻¹, correspondendo a 0, 66,7, 133,3 e 200,0 kg ha⁻¹ de Cloreto de potássio).

O experimento foi composto por 64 tratamentos (combinações de doses de N-P₂O₅-K₂O), resultantes da combinação dos quatro níveis de N, quatro níveis de P₂O₅ e quatro níveis de K₂O, que foram divididos em quatro blocos. Foi utilizado o critério do confundimento, com três graus de liberdade da interação tripla. Cada tratamento formou uma unidade experimental (U.E.) com área de 300 m² (15 m x 20 m), resultando em 19.200 m² (300 m² x 64 U.E.) de área experimental total. O espaçamento de plantio foi de 3 m x 2 m, com preparo do solo tipo escarificação na linha, realizado com uma haste que atingiu 35 cm de profundidade.

Tabela 1 - Características do solo na área experimental antes da instalação do experimento (Antes) e no momento da avaliação (Após), Cambará do Sul, RS.**Table 1** - Soil characteristics in the experiment area before the experiment installation (before) and in the opportunity of evaluation (After), in Cambará do Sul, RS.

Características do solo	Antes da avaliação	Após a avaliação
Argila (g kg ⁻¹)	470,0	521,1
pH (H ₂ O)	4,5	4,3
Fósforo disponível (mg kg ⁻¹) ¹	1,5	3,27
Potássio disponível (mg kg ⁻¹) ¹	49,0	50,1
Matéria Orgânica (%)	3,4	4,7
Alumínio trocável (cmol _c l ⁻¹)	4,3	4,8
Al+H (cmol _c l ⁻¹)	12,7	15,3
Cálcio trocável (cmol _c l ⁻¹)	0,7	0,7
Magnésio trocável (cmol _c l ⁻¹)	0,5	0,4
CTC efetiva (cmol _c l ⁻¹)	5,6	6,0
CTC pH 7,0 (cmol _c l ⁻¹)	13,9	16,0
Saturação por bases (V%)	9,5	7,2
Saturação por alumínio (m%)	77,0	80,8
Cobre disponível (mg kg ⁻¹)	3,9	3,9
Zinco disponível (mg kg ⁻¹)	2,1	1,1
Ferro disponível (mg kg ⁻¹)	42,9	132,0
Manganês trocável (mg kg ⁻¹)	48,1	12,5

¹ Extrator Mehlich 1.

A implantação do experimento foi realizada em agosto de 1999, sendo utilizadas sementes clonais de primeira geração de *Pinus taeda*, com origem da empresa Rigesa (Três Barras/SC). O plantio foi realizado com cinquenta mudas de *Pinus taeda* por unidade experimental, considerando-se úteis as 24 plantas centrais. Aos 45 dias após o plantio, foi procedido o replantio.

Antes do plantio, o adubo dos tratamentos foi aplicado na cova (dimensão de 30 cm x 30 cm) e incorporado manualmente com enxada. Não foi realizado nenhum tipo de controle das plantas daninhas, controlando-se apenas a formiga com iscas granuladas.

Para avaliação nutricional pelo DRIS, foram coletadas três amostras compostas de acículas em cada um dos tratamentos. Cada amostra composta foi constituída por três subamostras simples, formadas pelas acículas de três árvores, coletadas nas linhas de plantio das unidades experimentais. As amostras foram constituídas por acículas maduras, coletadas no meio da copa, nos quatro quadrantes da planta, homogêneas e caracterizadas quimicamente

quanto aos teores de N, P, K, Ca e Mg totais. As análises de tecido foram realizadas no Laboratório de Ecologia Florestal, do Departamento de Ciências Florestais da Universidade Federal de Santa Maria, conforme metodologia proposta por Tedesco et al. (1995).

A variável utilizada para representar a produtividade da população foi o volume cilíndrico (VC). A 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. Foram obtidas as relações entre os nutrientes N, P, K, Ca e Mg, bem como as respectivas médias e os valores de desvio-padrão.

O pressuposto de normalidade dos dados das subpopulações, de baixa e de alta produtividade, foi confirmado pelo teste não-paramétrico de Kolmogorov-Smirnov. Para as obtenções das



normas (média e desvio-padrão) a serem utilizadas para o cálculo das funções, foi utilizada a subpopulação de alta produtividade. Na diagnose DRIS primeiramente foi calculada a média e o desvio-padrão das relações duais, existentes 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, foi realizada a escolha da população de referência (aspecto fundamental para o bom desempenho do DRIS), optando-se geralmente, pela sub-população de alta produtividade. Essa escolha foi baseada na ideia de que, nessas populações o valor médio das relações duais está mais próximo do seu ótimo fisiológico (WADT, 1996). Aqui se entende o termo “ótimo fisiológico” como sendo o teor adequado do nutriente na planta, que está relacionado à alta produtividade. Deve-se levar em conta que, vários fatores de ordem não nutricional podem comprometer a obtenção de talhões com altas produtividades, portanto, em termos relativos, pode-se basear na nutrição desses talhões para gerar normas.

Para calcular as funções DRIS foi utilizada a fórmula proposta por Jones (1981): $f = (R - r) / s$, 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 expressão geral (WADT, 1998a): $I(X) = [f(X/Y1) + f(X/Y2) + \dots - f(Yn-1/X) - (Yn/X)] / n$, em que: $Y1, Y2, Yn-1$ e Yn = 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 (WADT, 1998a) conforme a expressão: $IEN = |I(X1)| + |I(X2)| + \dots + |I(Xz-1)| + |I(Xz)|$, em que: $I(X1), I(X2), I(Xz-1)$ e (Xz) = índices DRIS dos nutrientes (X1, X2, Xz-1, e Xz);

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 à Adubação (PRA), proposto por Wadt (1996). Por esse método se compara o módulo do índice DRIS de cada nutriente (INut) 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 2).



Tabela 2 - Critérios para a interpretação dos valores dos índices DRIS com base no método do Potencial de Resposta à Adubação (WADT, 1996)

Table 2 - Criterions for the interpretation of DRIS index values with basis in the method of the Potential of Fertilizer Answer (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

A diagnose pelo DRIS e o Potencial de Resposta à Adubação (PRA) foram realizados apenas para os tratamentos integrantes da subpopulação de baixa produtividade. Também foram estimados os valores de referência para os teores de N, P, K, Ca e Mg das acículas de *Pinus 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 $DRIS = 0$, é possível estimar o teor ótimo de cada nutriente. Para essa estimativa foi considerada toda a população (alta e baixa produtividade).

Resultados e Discussão

Na Tabela 3 se observam as normas de referência da subpopulação de alta produtividade. O número máximo de relações duais (neste caso 20) foi obtido pela fórmula: relações duais = $n(n - 1)$, em que n é o número de nutrientes envolvidos na diagnose. Na subpopulação de baixa produtividade foram determinados os índices DRIS para N, P, K, Ca e Mg nas acículas de *Pinus taeda*.

Os valores obtidos dos índices DRIS são desvios, onde 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, respetivamente)

(Tabela 4). Desta maneira, o somatório dos índices DRIS resulta sempre em zero.

Na análise pelo DRIS, para cada nutriente, os 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. Assim, a ordem de limitação foi definida de forma que, quanto mais negativo for o índice DRIS, mais limitante é o nutriente ao crescimento. Um valor negativo para o índice DRIS pode estar muito próximo de zero, ou seja, do ponto de 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).

Na Tabela 4 se observa que, em relação aos demais nutrientes, o N ocorreu como mais limitante em 29,4% dos tratamentos, juntamente com o Ca. 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 de todos os nutrientes, com 7,8% dos tratamentos. No geral, a ordem de limitação dos nutrientes para a maioria das doses de adubação, obtida pelo DRIS, foi de $N = Ca > Mg > K > P$, indicando o N e o Ca como os mais limitantes.



Tabela 3 - Média, desvio padrão e coeficiente de variação dos teores totais médios de N, P, K, Ca e Mg e respectivas relações duais das subpopulações de baixa e alta produtividade.

Table 3 - Average, standard deviation and change coefficient, of average elements N, P, K, Ca and Mg and respectively dual relations of its subpopulations of low and high productivity.

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.

Tabela 4 - Relações entre os tratamentos e os índices DRIS, com a ordem de limitação dos nutrientes N, P e K nas acículas de *Pinus taeda*.

Table 4 - Relations between the treatments and the DRIS index, with the order of the limitant nutrients N, P, K, Ca and Mg, in *Pinus taeda* needles.

N	P ₂ O ₅	K ₂ O	IN	IP	IK	ICa	IMg	IEN	Limitação
kg ha ⁻¹									
0	0	0	-1,198	0,370	0,085	0,577	0,166	2,40	N>K>Mg>P>Ca
0	60	120	-1,677	0,594	0,055	1,903	-0,874	5,10	N>Mg>K>P>Ca
0	120	80	-2,731	1,070	0,482	1,473	-0,294	6,05	N>Mg>K>P>Ca
0	180	40	-0,750	1,604	-0,642	1,411	-1,623	6,03	Mg>N>K>Ca>P
50	0	120	-0,927	-0,105	0,676	1,201	-0,844	3,74	N>Mg>P>K>Ca
50	60	80	-2,601	0,864	0,362	0,898	0,476	5,20	N>K>Mg>P>Ca
50	120	40	-0,748	1,210	-0,949	1,152	-0,664	4,72	K>N>Mg>Ca>P
50	180	0	-2,009	2,082	-1,591	0,831	0,687	7,20	N>K>Mg>Ca>P
100	0	80	0,314	0,226	0,367	-0,174	-0,733	1,81	Mg>Ca>P>N>K
100	60	40	-0,611	1,274	-0,357	0,332	-0,638	3,21	Mg>N>K>Ca>P
100	120	0	-3,248	1,947	-1,439	1,379	1,362	9,38	N>K>Ca>Mg>P
100	180	120	-2,146	1,551	-0,588	1,163	0,020	5,47	N>K>Mg>Ca>P
150	0	40	0,331	0,686	1,493	-3,292	0,783	6,59	Ca>N>P>Mg>K
150	60	0	-1,689	1,682	-1,006	-1,220	2,234	7,83	N>Ca>K>P>Mg
150	120	120	-1,334	1,439	0,717	-1,953	1,131	6,58	Ca>N>K>Mg>P
150	180	80	-1,701	1,751	0,632	-1,640	0,959	6,68	N>Ca>K>Mg>P
0	0	40	-1,025	0,105	0,255	-1,194	1,859	4,44	Ca>N>P>K>Mg
0	60	0	-0,434	0,992	-1,641	-1,537	2,619	7,22	K>Ca>N>P>Mg
0	120	120	-0,541	1,314	0,170	-1,576	0,634	4,24	Ca>N>Mg>K>P
0	180	80	-0,725	1,472	-0,101	-1,518	0,872	4,69	Ca>N>K>Mg>P
50	0	0	0,105	0,613	-1,832	-2,121	3,235	7,91	Ca>K>N>P>Mg
50	60	120	-0,464	0,963	0,285	-1,485	0,701	3,90	Ca>N>K>Mg>P
50	120	80	-0,888	0,587	0,219	-0,385	0,468	2,55	N>Ca>K>Mg>P
100	0	120	-1,844	-0,165	0,471	0,993	0,544	4,02	N>P>K>Mg>Ca
100	60	80	-2,061	0,395	0,555	1,126	-0,015	4,15	N>Mg>P>K>Ca
100	120	40	-0,652	1,155	0,681	0,051	-1,235	3,77	Mg>N>Ca>K>P
100	180	0	-1,001	1,790	-0,274	-1,064	0,549	4,68	Ca>N>K>Mg>P
150	0	80	0,563	-0,192	1,077	-0,792	-0,656	3,28	Ca>Mg>P>N>k
150	60	40	-0,525	-0,549	-0,024	1,789	-0,691	3,58	Mg>P>N>K>Ca
150	120	0	-0,174	0,376	-0,316	0,017	0,097	0,98	K>N>Ca>Mg>P
150	180	120	-0,592	0,490	0,832	-0,095	-0,636	2,64	Mg>N>Ca>P>K
0	0	80	0,837	-0,120	0,587	-0,095	-1,209	2,85	Mg>P>Ca>K>N
0	60	40	0,522	0,864	0,499	-1,286	-0,599	3,77	Ca>Mg>K>N>P
0	180	120	0,092	0,610	1,151	-0,997	-0,856	3,71	Mg>Ca>N>P>K
50	0	40	-0,260	-0,794	1,996	-0,099	-0,842	3,99	Mg>P>N>Ca>K
100	0	0	1,354	-0,934	-0,225	-0,510	0,315	3,34	P>Ca>K>Mg>N
100	120	80	0,524	0,650	-1,011	-0,082	-0,080	2,35	K>Ca>Mg>N>P
150	0	120	0,758	-1,604	0,389	0,280	0,176	3,21	P>Mg>Ca>K>N
150	120	40	0,204	0,085	-1,255	0,826	0,141	2,51	K>P>Mg>N>Ca
150	180	0	-0,252	1,343	-2,827	0,686	1,050	6,16	K>N>Ca>Mg>P
0	120	40	-0,518	0,716	-0,006	-1,216	1,023	3,48	Ca>N>K>P>Mg
0	180	0	-0,914	1,103	-1,434	-0,494	1,739	5,68	K>N>Ca>P>Mg
50	0	80	1,239	1,247	0,380	-3,349	0,483	6,70	Ca>K>Mg>N>P
50	180	120	-1,161	0,861	0,230	0,319	-0,249	2,82	N>Mg>K>Ca>P
100	0	40	2,012	-1,564	0,172	-1,402	0,782	5,93	P>Ca>K>Mg>N
100	60	0	1,741	-0,343	-0,814	-1,564	0,980	5,44	Ca>K>P>Mg>N
100	180	80	-0,127	-0,006	0,884	-0,573	-0,177	1,77	Ca>Mg>N>P>K
150	0	0	1,831	-0,100	-0,799	-2,001	1,968	7,60	Ca>P>K>N>Mg
150	60	120	0,214	-0,695	0,935	-0,031	-0,423	2,30	P>Mg>Ca>N>K
150	120	80	-1,761	0,981	0,828	1,206	-1,254	6,03	N>Mg>K>P>Ca
150	180	40	0,096	2,414	-0,254	-0,230	-2,027	5,02	Mg>K>Ca>N>P



Os índices DRIS para N (IN) e Ca (ICa) foram negativamente expressos por um maior número de vezes. Para o P, de uma maneira geral, o índice DRIS aumenta à medida em que aumentam as doses de P_2O_5 ; o mesmo foi observado para o K_2O . Nos tratamentos com nível 0 para P_2O_5 e K_2O , houve menores índices DRIS para P e K; os valores desses índices aumentam quando há acréscimo das doses desses nutrientes, que foram mais limitantes somente na ausência ou nas menores doses de P_2O_5 e K_2O . Uma hipótese para o N ser o nutriente mais limitante, nas condições do presente trabalho, pode ser atribuída ao crescimento lento do *Pinus taeda*, principalmente nesta fase inicial. Ou seja, nesta fase de crescimento as plantas não conseguiram absorver o N adicionado pela adubação, que foi perdido por volatilização e lixiviação no solo, apesar dos níveis elevados de matéria orgânica neste tipo de solo (média de 3,4% de M.O.).

Resultados semelhantes foram obtidos por Moro (2017) em povoamentos de *Pinus taeda* com diferentes idades (cinco, nove e treze anos), cultivados em Cambissolo em Otacílio Costa/SC, onde em todas as idades o N foi o nutriente mais limitante, indicado pelo DRIS.

Motta et al. (2014) relataram que os *Pinus* não têm apresentado sintomas de carência de N, desde que ocorra a manutenção das acículas senescentes na superfície do solo, formando a camada de serapilheira.

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 a 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). Maeda et al. (2014) em um povoamento de *Pinus taeda*, com 27 meses de idade, cultivado em Rio Negrinho/SC, indicaram que a carência de cálcio pode ser a principal limitação para o crescimento da espécie, pela diagnose com o DRIS.

Com o objetivo de melhor identificar os nutrientes que, de fato, causam o desequilíbrio, os índices DRIS foram interpretados pelo método do Potencial de Resposta à Adubação (PRA), conforme os critérios descritos por Wadt (1996). Na Tabela 5 se verifica a frequência em que ocorrem os tratamentos, segundo o Potencial de Resposta à Adubação (PRA), das plantas de *Pinus taeda*.

Tabela 5 - Frequência de ocorrência dos tratamentos pelo Potencial de Resposta à Adubação das plantas de *Pinus taeda*.
Table 5 – Treatments occurrence for Potential Fertilizer Answer of *Pinus taeda* plants.

Positiva	Potencial de Resposta à Adubação (PRA)	
	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%)

A análise pelo potencial de resposta à adubação (PRA) apontou como mais positivos à adubação o N e o Ca (ocorre uma limitação por

falta desses nutrientes), seguido do Mg e do K, sendo o P o elemento menos positivo à adubação (Tabela 5). Moro (2017) em povoamentos de

Pinus taeda com diferentes idades (cinco, nove e treze anos), cultivado em Cambissolo em Otacílio Costa/SC, também constatou o N como o nutriente mais positivo à adubação, em todas as idades avaliadas; para os demais nutrientes, o comportamento variou conforme a idade avaliada, mas de maneira geral, nenhum outro apresenta potencial positivo de resposta à adubação, sendo que, o Mg, P, e Ca aos cinco, nove e treze anos de idade, respectivamente, apresentam potencial negativo.

Uma vez estabelecido qual o nutriente mais limitante nas plantas de *Pinus taeda*, estimou-se o teor ótimo de cada nutriente (N, P, K, Ca e Mg) nas acículas, com base no método do nível crítico gráfico (NCG), descrito por Needham et al (1990). Quando o índice DRIS é igual a zero, indicando uma nutrição ótima, é possível estimar o teor ótimo mediante equações de regressão, que podem ser verificadas na Figura 2. Para essa estimativa foi utilizada toda a população (subpopulação de baixa e alta produtividade).

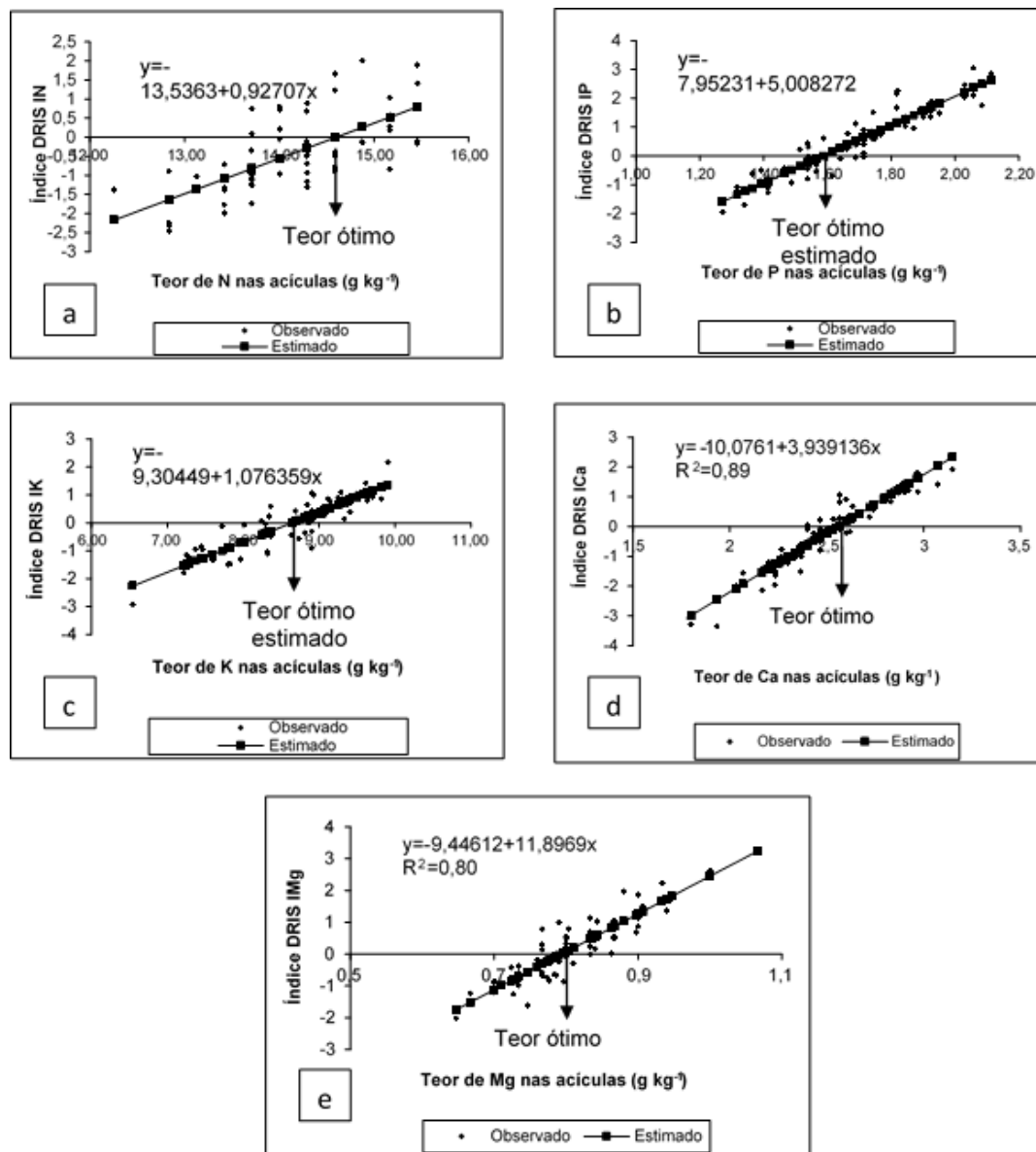


Figura 2 - Determinação do Nível Crítico Gráfico (NCG) por regressão linear e dispersão entre o índice DRIS dos elementos N (a), P (b), K (c), Ca (d) e Mg (e) em razão dos respectivos teores nas acículas de plantas de *Pinus taeda*.

Figure 2 - Graphical Critical Level Determination (GCL) by linear regression and dispersion between the DRIS index of the elements, N (a), P (b), K (c), Ca (d) and Mg (e) due to the respectively contents in *Pinus taeda* needles.

A nível de comparação, na Tabela 6 se constata que os teores ótimos de N, P, K, Ca e Mg nas acículas de *Pinus taeda*, obtidos pelo NCG, estão acima ou dentro da faixa considerada adequada para *Pinus* spp., com exceção do Mg, segundo as referências de CQFS

(2016), Malavolta et al. (1997) e Gonçalves (1995). Malavolta et al. (1997) enfatizam que esses valores são indicações gerais, pois as condições de solo, clima e variedade poderão influenciá-los.

Tabela 6 - Faixas de teores adequados na acículas de *Pinus* spp.

Table 6 - Adequate contents of *Pinus* spp.

Fonte	Faixas de teores adequados (g kg ⁻¹)				
	N	P	K	Ca	Mg
Este estudo (NCG) ¹	14,6	1,6	8,6	2,6	0,8
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
CQFS-RS/SC (2016) ²	11,0-13,0	1,0-1,2	6,0-10,0	2,0-5,0	1,0-2,0

¹ Nível Crítico Gráfico; ² Comissão de Química e Fertilidade do Solo - RS/SC.

Conclusões

A avaliação nutricional pelo DRIS indicou N e o Ca como os nutrientes mais limitantes ao crescimento das plantas de *Pinus taeda*, aos 19 meses de idade, com a seguinte ordem de limitação: N = Ca > Mg > K > P.

Os teores ótimos estimados de N, P, K, Ca e Mg pelo método do Nível Crítico Gráfico (NCG), foram de 14,6; 1,6; 8,7; 2,6 e 0,8 g kg⁻¹ respectivamente, indicando boas condições nutricionais das plantas de *Pinus taeda*.

Agradecimentos

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal da Universidade Federal de Santa Maria e a Capes pela bolsa de estudos.

Referências

AGEFLOR - Associação Gaúcha de Empresas Florestais. A indústria de base florestal no RS: dados e fatos – Ano base 2014. Porto Alegre, RS: AGEFLOR, 2015. 40p.

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.

CQFS - COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - RS/SC. Manual de calagem e adubação para o Estado do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Porto Alegre, SBCS/Núcleo Regional Sul, UFRGS, 2016. 376p.

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.

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

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.

MAEDA, S. et al. Obtenção de valores de

- referência do DRIS para *Pinus taeda*. In: BERNARDI, A.C.C. et al. (Org.). Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar. Brasília, DF: Embrapa, 2014. p. 484 - 487.
- MALAVOLTA, E. et al. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319 p.
- MATZENAUER, R.; RADIN, B.; ALMEIDA, I. R. (Ed.). Atlas Climático: Rio Grande do Sul. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura Pecuária e Agronegócio; Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária (FEPAGRO), 2011.
- MORO, L. Produtividade, aporte de nutrientes e índices do sistema DRIS em povoamentos de *Pinus taeda* submetidos à adubação NPK em diferentes idades no Planalto Sul Catarinense. 2017. 86 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2017.
- MOTTA, A. C. V.; BARBOSA, J. Z.; CONSALTER, R.; REISSMANN, C. B. Nutrição e adubação da cultura de *Pinus*. In: PRADO, R. M.; WADT, P. G. S. (Org.). Nutrição e adubação de espécies florestais e palmeiras. FUNEP. 1ed., Jaboticabal, SP. 2014, p.383-426.
- 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.
- 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.
- 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.
- SILVA, G. G. C. et al. Avaliação da universalidade das normas DRIS, M-DRIS e CND. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 29, n. 5, p. 755-761, 2005.
- STRECK, E. V. et al. Solos do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: Emater/RS – UFRGS, 2008. 222 p.
- TEDESCO, M. J. et al. Análise de solo, plantas e outros materiais. Porto Alegre: UFRGS, 1995. 174 p. (Boletim técnico, 5)
- 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, n. 4, 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, n. 4, p. 685-692, 1998b.
- WADT, P. G. S. Diagnose Foliar e Recomendação de Adubação para Lavouras Comerciais. Rio Branco, AC: Embrapa Acre (Documentos 120), 2011. 69 p.

