

## Limitações químicas ao crescimento inicial de *Eucalyptus saligna* em solos arenosos do Pampa Gaúcho: estudo de caso

### Chemical constraints to initial growth of *Eucalyptus saligna* in sandy soils of Pampa Gaúcho: a case study

Claudiney do Couto Guimarães<sup>1</sup> Eduardo Pagel Floriano<sup>II</sup> Frederico Costa Beber Vieira<sup>II\*</sup>

#### RESUMO

O trabalho objetivou identificar os principais atributos químicos de solo que limitam o crescimento do *Eucalyptus saligna* em plantios sem calagem na região Sudoeste do Rio Grande do Sul, bem como determinar os valores críticos de cada fator. O estudo foi realizado em povoamentos florestais de dois Latossolos Vermelhos e um Neossolo Quartzarênico da região. Foram realizadas análises químicas do solo e, através de correlações ( $P < 0,05$ ) entre estes e variáveis de crescimento das plantas, verificou-se que os atributos que mais limitaram o crescimento das plantas foram a saturação por Al, a saturação por bases e o teor de Mg trocável, com decréscimo de até 50% nos parâmetros de crescimento. As correlações com os atributos químicos da camada subsuperficial de solo (20-40cm) foram mais significativas do que na camada superficial (0-20cm). Os níveis críticos médios para obtenção de 80% do rendimento relativo no crescimento em diâmetro e em volume de plantas foram de 79% para saturação por Al, 8,3% para saturação por bases e 0,3 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> para o teor de Mg trocável. Os resultados indicam que a calagem não deve ser suprimida dos plantios de eucalipto em solos ácidos do Pampa Gaúcho, mas a quantidade necessária de calagem para esta cultura parece ser menor do que a atualmente recomendada.

**Palavras-chave:** nível crítico de acidez, calagem, correlação, eucaliptocultura.

#### ABSTRACT

The study aimed to identify the main soil chemical attributes that constrains the *Eucalyptus saligna* growth in no-limed plantations at the southwestern region of Rio Grande do Sul state, as well as to determine the threshold values of each attribute. Forest plantations from two Oxisols and one Quartzipsamment were evaluated. Correlation analysis ( $P < 0.05$ ) between soil chemical attributes and plant growth variables indicated that the

most constraining soil attributes were the Al saturation, bases saturation and exchangeable Mg content, whose decrease in plant growth was up to 50%. Subsurface soil attributes (20–40cm depth) had closer relation with plant growth than surface soil ones (0–20cm). The average threshold values for achieving 80% of the relative yield capacity in diameter growth of trunks and in volume were 79% for Al saturation, 8.3% for bases saturation and 0.3 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> for exchangeable Mg. The results evidenced that liming should not be suppressed in eucalypt plantations on acid soils at south Brazilian Pampa and that the required amount of lime seem to be smaller than that currently recommended.

**Key words:** threshold value of soil acidity, liming, correlation, eucalyptus cultivation.

#### INTRODUÇÃO

A silvicultura Brasileira, especialmente com o gênero *Eucalyptus*, vem se destacando em nível mundial, principalmente pela alta produtividade e pela competitividade dos custos de produção. Em 2012, o Brasil contabilizou 6,66 milhões de hectares com florestas plantadas com pinus e eucalipto, sendo que 5,10 milhões correspondem às áreas cultivadas com eucalipto (ABRAF, 2013). Para o estado do Rio Grande do Sul (RS), a área cultivada em 2012 foi de 284 mil hectares com eucalipto e 165 mil hectares com pinus, colocando o estado como o sexto maior produtor de madeira oriunda de florestas plantadas no país. A área com cultivo de eucalipto no estado do RS aumentou em cerca de 50% nos últimos cinco anos (ABRAF, 2013) e há potencial para aumentos expressivos.

<sup>I</sup>Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria, RS, Brasil.

<sup>II</sup>Universidade Federal do Pampa (Unipampa), Campus São Gabriel, Av. Antonio Trilha, 1847, 97300-000, São Gabriel, RS, Brasil. E-mail: fredericovieira@unipampa.edu.br. \*Autor para correspondência.

Os solos utilizados para a cultura de eucalipto no Brasil geralmente são ácidos e pobres em matéria orgânica e nutrientes (VALE et al., 1996; GONÇALVES, 2002) e, no RS, não é diferente. As espécies do gênero *Eucalyptus* apresentam, em geral, maior tolerância a valores elevados de atividade de  $Al^{+3}$  na solução do solo do que a maioria das culturas agrícolas (SILVA et al., 2004; POSCHENRIEDER et al., 2008; TAHARA et al., 2008), além de requererem níveis de Ca e Mg inferiores aos estabelecidos como críticos para a maioria das culturas (BARROS & NOVAIS, 1990; RIBEIRO et al., 1999). Isso favoreceu para que grande parte dos plantios dessa espécie fosse realizada sem calagem. Entretanto, para obter maiores produtividades e garantir a sustentabilidade nutricional, é necessário realizar calagem e fertilização ajustadas para cada área de plantio (GONÇALVES & BENEDETTI, 2004).

Nos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, a calagem e a fertilização das culturas são realizadas com base na recomendação oficial elaborada pela Comissão de Química e Fertilidade do Solo desses dois estados (COMISSÃO, 2004). Porém, particularidades de plantios relacionadas ao tempo e espaço podem fazer com que os níveis críticos para a tomada de decisão da calagem e para a recomendação de fertilizante de culturas anuais não sejam adequados para plantios florestais (BARROS et al., 2004). Além disso, a evolução dos sistemas de produção florestal, principalmente do ponto de vista genético, com materiais de rápido crescimento e maior resposta a práticas de manejo, e a expansão do cultivo para áreas com solos menos férteis, fazem com que a acurácia do sistema de recomendação para os atuais plantios de eucalipto em solos do Pampa seja questionável. Apesar da expansão da eucaliptocultura no Sul do Brasil, poucos estudos têm buscado aprimorar o atual sistema de recomendação de adubação e calagem para cultivos dessa espécie na região. Essa lacuna é ainda mais grave em solos de textura arenosa das regiões da Campanha e Fronteira Oeste do RS, onde a expansão do cultivo de eucalipto tem sido significativa e recente.

Nesse contexto, este trabalho teve por objetivo identificar os principais atributos químicos do solo que limitam o crescimento de *Eucalyptus saligna* em plantios sem calagem em solos arenosos representativos do Pampa gaúcho, bem como determinar os valores críticos dos principais fatores limitantes.

## MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo foi realizado em dois povoamentos florestais localizados nos municípios de Unistalda e São Francisco de Assis, pertencentes

à Stora Enso Florestal RS, com coordenadas 29°04' S e 55°15' W e 29°23' S e 55°11' W, respectivamente. O clima da região caracteriza-se como sendo do tipo Cfa, de acordo com a classificação de Koppen. Os solos dos locais avaliados são classificados como Latossolo Vermelho Distrófico (LVd3), Latossolo Vermelho Distrófico típico textura média arenosa (LVd4) e Neossolo Quartzarênico Órtico típico textura areia franca (RQo1) (EMBRAPA, 2006).

Para a implantação dos povoamentos florestais, realizou-se a subsolagem em junho de 2007, utilizando subsolador com três hastes, incorporando 300 kg ha<sup>-1</sup> de fosfato natural reativo (GAFSA, 12% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> solúvel em ácido cítrico) no centro e a 40cm de profundidade, seguido de gradagem leve. O plantio, realizado em julho de 2007, utilizou mudas clonais de *Eucalyptus saligna* no espaçamento 3,5x2,5m, totalizando uma densidade inicial de 1150 plantas ha<sup>-1</sup>. Foram realizadas três fertilizações pós-plantio, sendo a primeira 15 dias após o plantio, utilizando a fórmula N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O de 06-30-06 + 0,6% Bo, 110g planta<sup>-1</sup> (126,5kg ha<sup>-1</sup>), dividida em duas subdoses de 55g, incorporadas a 15cm de cada lado da muda. A segunda adubação foi realizada aos 90 dias pós-plantio, utilizando a fórmula 20-05-20 + 0,2% Bo + 0,4% Zn, 122g planta<sup>-1</sup> (140kg ha<sup>-1</sup>), aplicada manualmente na projeção da copa. A terceira, aos 270 dias, utilizou a fórmula 22-00-18 + 1%S + 0,3% B, 122 g planta<sup>-1</sup> (140kg ha<sup>-1</sup>), aplicada mecanicamente na entrelinha. Em nenhum momento foi realizada calagem.

As variáveis de crescimento de planta foram determinadas utilizando os dados de inventário florestal fornecidos pela Empresa, que foi realizado em outubro de 2009 (aproximadamente 28 meses após o plantio). Para o presente estudo, utilizaram-se os dados de 18 unidades experimentais (cinco, seis e sete unidades para os solos LVd3, RQo1 e LVd4, respectivamente) com volume (m<sup>3</sup>) de árvore individual com casca (v), volume de árvore individual sem casca (v<sub>sc</sub>), volume por hectare com casca (V), volume por hectare sem casca (V<sub>sc</sub>), diâmetro à altura do peito (DAP) e altura total (h). As unidades amostrais circulares, medindo 314m<sup>2</sup> cada, foram distribuídas de forma sistemática na área de efetivo plantio. Foi medido o DAP de todas as árvores de cada parcela (36) bem como a h das 15 primeiras árvores de cada amostra, mais as árvores dominadas, para possibilitar o ajuste de uma equação de regressão, a fim de estimar a altura das demais árvores. Para realizar as estimativas de volume comercial, foi utilizada a equação matemática ajustada a partir de cubagens de fustes de eucalipto na região, expressa por:

$$VC = b_0 + b_1 \times DAP + b_2 \times DAP^2 + b_3 \times (DAP \times h) + b_4 \times (DAP^2 \times h) + b_5 \times h$$

em que: VC= Volume comercial; DAP= Diâmetro à altura do peito; h= altura total.

No mesmo período de realização do inventário, amostras de solo foram obtidas das camadas de 0-20 e 20-40cm de profundidade e os principais atributos foram analisados de acordo com TEDESCO et al. (1995): teor de argila, matéria orgânica, pH-H<sub>2</sub>O, pH-SMP, Al trocável, acidez titulável a pH 7,0, CTC efetiva, CTC pH 7,0, P e K disponíveis (Mehlich I), Ca e Mg trocáveis, saturação por bases e por Al, soma de bases e teores de S, B, Cu e Zn. Em cada sítio, foi coletado com pá de corte um ponto de amostragem para cada oito hectares de plantio, distribuídos sistematicamente no mesmo local.

A determinação do nível crítico dos atributos químicos mais limitantes foi realizada através de adaptação do procedimento descrito por CANTARUTTI et al. (2007). Sobre o gráfico que relaciona o rendimento relativo de um parâmetro de crescimento/produção da planta (eixo Y) e um parâmetro químico de solo (eixo X), fixou-se o rendimento relativo em 80% e determinou-se o nível crítico do parâmetro químico no valor de eixo X que proporcionasse a menor soma de pontos dos quadrantes II e IV (para os casos em que baixo valor do atributo implique em redução do crescimento das

plantas) ou I e III (para os casos em que o alto valor do atributo implique em redução do crescimento das plantas). O valor de 80% do rendimento relativo foi escolhido arbitrariamente, uma vez que este normalmente varia entre 80 e 90%, conforme a relação entre o preço do insumo e o preço do produto (CANTARUTTI et al., 2007).

A análise estatística dos dados foi realizada no programa estatístico SAS. As relações entre as variáveis de crescimento e os atributos do solo nas profundidades de 0-20 e 20-40cm foram avaliadas através da significância do coeficiente de correlação de Pearson ( $P < 0,05$ ).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A maior produção em volume por ha (V) no segundo ano de plantio foi alcançada no solo LVd3 com 35,68m<sup>3</sup>, enquanto, no solo RQo1, a média foi de apenas 22,20m<sup>3</sup>, o que equivale a uma redução de cerca de 40%, com alguns valores aproximadamente 50% menores do que os tetos obtidos entre os locais avaliados neste estudo (Tabela 1). Essa tendência nos resultados se repetiu para as demais variáveis de crescimento avaliadas e sugere que a adequação do manejo nutricional para o solo RQo1 poderá elevar a sua produtividade para valores mais próximos aos obtidos em solo LVd3 e LVd4, uma vez que

Tabela 1 - Variáveis dendrométricas e seus respectivos rendimentos relativos em povoamentos de *Eucalyptus saligna* aos 28 meses de idade.

Solo <sup>1</sup>	v <sup>2</sup> (m <sup>3</sup> )	v <sub>RR</sub> <sup>3</sup> (%)	DAP <sup>4</sup> (cm)	DAP <sub>RR</sub> <sup>5</sup> (%)	V <sup>6</sup> (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )	V <sub>sc</sub> <sup>7</sup> (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )	h <sup>8</sup> (m)
LVd3	0,031	83,26	11,10	84,41	25,50	22,60	12,20
LVd3	0,021	56,36	11,00	83,65	19,30	17,20	12,30
LVd3	0,038	100,00	13,15	100,00	34,85	30,08	13,80
LVd3	0,033	87,43	11,55	87,83	35,68	31,50	13,50
LVd3	0,033	88,51	11,70	88,97	34,55	30,35	13,15
RQo1	0,021	56,24	9,90	75,29	23,65	21,20	11,20
RQo1	0,017	46,39	9,00	68,44	17,83	15,80	10,35
RQo1	0,022	58,93	9,40	71,48	22,65	20,13	11,40
RQo1	0,027	72,01	10,50	79,85	27,68	24,30	11,75
RQo1	0,019	50,05	9,40	71,48	20,73	19,10	11,15
RQo1	0,019	49,96	9,30	70,72	19,20	17,28	10,95
LVd4	0,031	82,87	11,50	87,45	29,35	25,88	12,90
LVd4	0,027	71,98	10,70	81,37	28,10	25,03	12,75
LVd4	0,033	87,73	11,80	89,73	35,80	30,30	12,50
LVd4	0,034	89,58	11,85	90,11	35,48	31,00	12,70
LVd4	0,033	86,93	11,70	88,97	36,00	31,68	13,00
LVd4	0,037	98,58	13,00	98,86	39,08	34,00	13,10
LVd4	0,029	77,64	10,90	82,89	30,78	27,20	12,50

<sup>1</sup>LVd3: Latossolo Vermelho Distrófico; LVd4: Latossolo Vermelho Distrófico típico; RQo1: Neossolo Quartzarênico Órtico típico; <sup>2</sup>volume individual com casca; <sup>3</sup>rendimento relativo do volume individual com casca; <sup>4</sup>diâmetro à altura do peito; <sup>5</sup>rendimento relativo do diâmetro à altura do peito; <sup>6</sup>volume com casca por hectare; <sup>7</sup>volume sem casca por hectare; <sup>8</sup>altura total.

estes locais se localizam relativamente próximos, o material genético utilizado foi o mesmo e as práticas de manejo empregadas foram semelhantes (apesar das diferenças intrínsecas entre os solos).

Os atributos químicos dos solos, em geral (Tabela 2), podem ser classificados, de acordo com os teores de referência para a interpretação da fertilidade do solo no RS e SC (COMISSÃO, 2004), em: MO - baixo, pH-H<sub>2</sub>O - muito baixo; Saturação por bases - muito baixo; Saturação por Alumínio - muito alto; P Mehlich-1 - baixo; K - muito baixo; Mg - baixo;

Ca - baixo; B - alto; Cu - alto; Zn - alto. Destaca-se que o solo RQo1 apresentou os piores atributos em relação à acidez, uma vez que, nesse solo, encontrou-se a mais baixa saturação por bases (2,33%), a mais alta saturação por Al (92,17%) e o menor teor de Mg (0,01 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>). Esses valores são considerados prejudiciais até mesmo para plantas tolerantes a solos ácidos e à toxidez por Al como o eucalipto (RIBEIRO et al., 1999; COMISSÃO, 2004; EMBRAPA, 2012) e estão relacionados à elevada lixiviação e ao material de origem dos solos avaliados. A textura arenosa, os

Tabela 2 - Atributos químicos de solos (0-20 cm e 20-40 cm) sob povoamento de *Eucalyptus saligna* aos 28 meses de idade em três solos da região do Pampa Gaúcho.

Solo	Prof.	MO	pH-H <sub>2</sub> O	pH-MP	Al	H+AL	CTC <sub>c</sub>	CTC7	Argila	P	K	Ca	Mg	m	V
		%				-----cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----			%	---mg dm <sup>-3</sup> ---	----cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ----	%	%		
LVd3	0-20	1,0	4,8	5,8	0,73	5,49	2,53	7,28	15,00	6,72	92	0,71	0,85	28,93	24,67
LVd3	20-40	1,0	4,9	5,6	1,09	6,90	3,23	9,03	11,00	13,27	84	1,17	0,75	33,99	23,57
LVd3	0-20	1,0	4,5	5,5	1,83	7,74	2,97	8,88	15,44	8,57	35	0,39	0,65	61,28	12,82
LVd3	20-40	0,9	4,6	5,5	1,58	7,74	2,59	8,74	13,44	2,86	21	0,57	0,38	74,13	11,45
LVd3	0-20	0,7	4,5	5,8	1,71	5,50	2,30	6,08	17,44	2,18	13	0,21	0,36	74,13	9,79
LVd3	20-40	0,7	4,6	5,7	1,71	6,15	2,47	6,92	7,44	7,39	12	0,37	0,40	69,13	11,01
LVd3	0-20	0,8	4,6	5,8	1,22	5,50	1,80	6,06	5,44	3,19	29	0,10	0,40	67,89	9,50
LVd3	20-40	0,7	4,5	5,7	1,58	6,15	2,07	6,64	7,44	4,37	21	0,13	0,30	76,55	7,31
LVd3	0-20	1,0	4,7	5,6	1,58	6,90	2,83	8,15	9,44	2,69	21	0,50	0,70	55,90	15,33
LVd3	20-40	1,1	4,6	5,3	1,95	9,79	3,24	11,03	7,44	3,19	18	0,77	0,47	60,23	11,67
RQo1	0-20	0,8	4,3	5,9	1,95	4,89	2,24	5,18	15,44	5,71	23	0,01	0,18	87,14	5,56
RQo1	20-40	0,7	4,3	5,9	1,34	4,89	1,54	5,09	15,44	4,03	21	0,01	0,10	86,81	4,00
RQo1	0-20	0,7	4,4	6,0	1,22	4,36	1,43	4,58	13,44	6,55	24	0,01	0,10	84,98	4,71
RQo1	20-40	0,6	4,3	6,0	1,22	4,36	1,36	4,50	15,44	4,20	17	0,01	0,05	89,46	3,19
RQo1	0-20	0,8	4,5	6,0	0,85	4,36	1,24	4,75	11,44	3,53	22	0,01	0,28	68,83	8,14
RQo1	20-40	0,7	4,4	5,9	1,10	4,89	1,30	5,09	11,44	3,53	14	0,01	0,11	84,59	3,92
RQo1	0-20	0,6	4,3	6,2	0,97	3,47	1,07	3,56	7,44	7,56	8	0,01	0,01	91,51	2,54
RQo1	20-40	0,5	4,2	6,2	0,97	3,47	1,06	3,55	5,44	5,54	6	0,01	0,01	91,95	2,40
RQo1	0-20	0,5	4,4	6,2	0,97	3,47	1,06	3,55	7,44	6,55	5	0,01	0,01	92,17	2,33
RQo1	20-40	0,4	4,3	6,3	0,97	3,09	1,06	3,17	9,44	5,71	5	0,01	0,01	92,17	2,61
RQo1	0-20	0,6	4,3	6,2	0,85	3,47	0,96	3,58	9,44	3,53	11	0,01	0,01	88,56	3,08
RQo1	20-40	0,6	4,2	6,1	0,97	3,89	1,07	3,98	9,44	3,02	11	0,01	0,01	91,11	2,39
LVd4	0-20	0,8	4,4	5,9	0,97	4,89	1,44	5,36	15,44	3,02	28	0,01	0,35	67,63	8,71
LVd4	20-40	0,7	4,4	5,9	1,34	4,89	1,68	5,24	15,44	2,69	20	0,01	0,24	79,57	6,57
LVd4	0-20	0,9	4,6	5,8	1,22	5,49	2,08	6,35	17,44	3,36	72	0,17	0,51	58,59	13,57
LVd4	20-40	0,8	4,5	5,6	1,58	6,90	2,10	7,42	17,44	2,69	48	0,13	0,27	75,36	6,98
LVd4	0-20	0,7	4,5	6,0	0,97	4,36	1,65	5,04	15,44	5,04	35	0,11	0,48	59,07	13,41
LVd4	20-40	0,7	4,4	5,8	0,61	5,49	1,06	5,94	17,44	3,36	24	0,10	0,30	57,22	7,66
LVd4	0-20	0,8	4,5	6,0	0,97	4,36	1,46	4,84	13,44	2,86	27	0,01	0,38	66,82	9,99
LVd4	20-40	0,6	4,5	5,9	1,22	4,89	1,51	5,18	15,44	1,85	23	0,01	0,18	80,73	5,61
LVd4	0-20	0,9	4,5	5,9	0,97	4,89	2,23	6,14	13,44	2,69	47	0,42	0,72	43,75	20,40
LVd4	20-40	0,9	4,6	5,9	0,85	4,89	2,64	6,68	17,44	2,35	36	1,01	0,68	32,29	26,77
LVd4	0-20	0,8	4,3	5,9	0,97	4,89	1,45	5,37	9,44	4,54	42	0,01	0,32	67,22	8,86
LVd4	20-40	0,7	4,3	5,9	1,34	4,89	2,53	6,08	11,44	3,53	41	0,01	1,03	53,08	19,50
LVd4	0-20	0,7	4,4	6,1	0,85	3,89	1,07	4,10	7,44	4,03	27	0,01	0,10	79,79	5,26
LVd4	20-40	0,7	4,3	6,1	0,98	3,89	1,12	4,03	7,44	3,02	25	0,01	0,10	87,45	3,48

baixos teores de matéria orgânica e a baixa atividade da fração argila favorecem uma elevada perda de cátions de natureza básica por lixiviação, os quais já são naturalmente baixos nos arenitos e siltitos que predominam como material de origem na região (STRECK et al., 2008). Com a lixiviação destes, acumulam-se os cátions de natureza ácida ( $Al^{+3}$  e  $H^+$ ) no solo (ELTZ et al., 2005).

Os atributos químicos de solo que apresentaram maior correlação com as variáveis de crescimento de planta foram o teor de Mg trocável, a saturação por Al (m) e a saturação por bases (V) (Tabela 3), evidenciando que estes foram os principais limitantes químicos dos locais avaliados. Portanto, os resultados sugerem que, ao se adequar os teores destas variáveis às exigências da cultura, os ganhos em crescimento poderiam ser elevados.

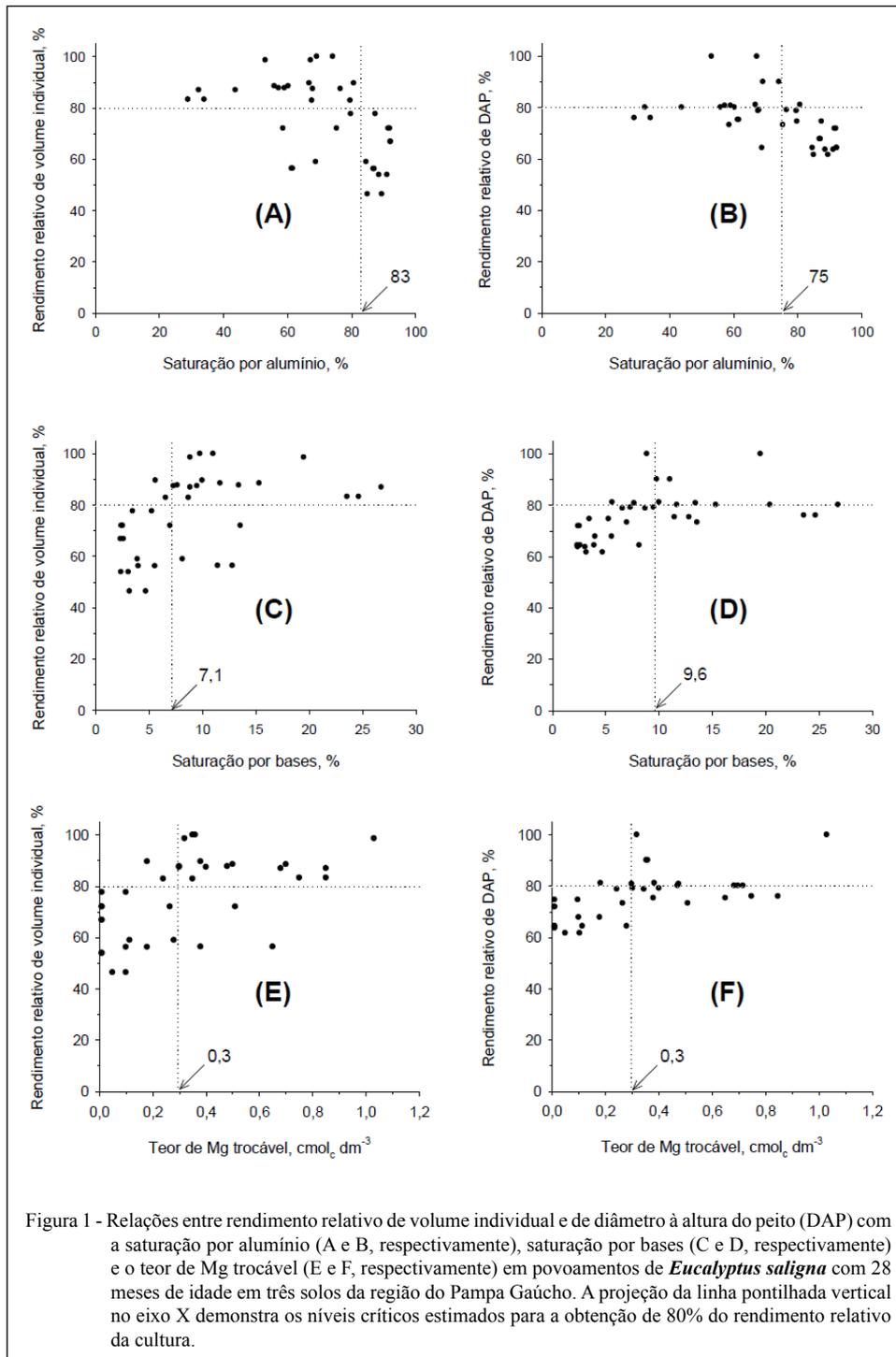
Verificou-se ainda que o maior número de correlações significativas ( $P < 0,05$ ) entre parâmetros químicos de solo e dados de inventário foram apresentadas na camada de 0,20–0,40m, sendo as mais expressivas as relações do Mg com o DAP, v e  $v_{sc}$  ( $P < 0,01$ ). Logo, em solos arenosos e lixiviados como o do estudo, a consideração de atributos químicos das camadas subsuperficiais de solo parece ser essencial para o sucesso do sistema de recomendação de adubação e calagem de novos plantios de eucalipto da região.

Os níveis críticos calculados de saturação por Al para obtenção do rendimento relativo de 80% para o diâmetro e volume por árvore foram de 75 e 83%, respectivamente (média de 79%; Figura 1A e 1B). Tais valores são bem maiores que 10%, considerado crítico para a maioria das culturas (COMISSÃO, 2004), e de 45%, considerado crítico para o eucalipto

Tabela 3 - Correlação de Pearson entre variáveis dendrométricas e atributos químicos do solo na profundidade de 0-20 cm e 20-40 cm sob povoamento de *Eucalyptus saligna* aos 28 meses de idade, em três solos da região do Pampa Gaúcho, demonstrando o coeficiente de correlação (R) e a sua significância (P; n=18).

-----Atributos do solo camadas 0-20 cm e 20-40 cm-----															
-----Camada de 0-20 cm-----															
Inventário		MO	pH-H <sub>2</sub> O	pH-MP	Al	H <sub>AL</sub>	CTCe	CTC7	Argila	P	K	Ca	Mg	m	V
v <sup>1</sup>	R	0,31	0,36	-0,31	-0,08	0,24	0,25	0,31	0,07	-0,38	0,28	0,28	0,49	-0,53	0,49
	P	0,20	0,15	0,21	0,75	0,33	0,31	0,22	0,77	0,12	0,26	0,26	0,04	0,03	0,04
V <sub>sc</sub> <sup>2</sup>	R	0,33	0,37	-0,32	-0,08	0,25	0,26	0,31	0,06	-0,38	0,29	0,29	0,50	-0,53	0,50
	P	0,18	0,13	0,20	0,74	0,32	0,30	0,20	0,82	0,11	0,24	0,24	0,04	0,02	0,03
V <sup>3</sup>	R	0,20	0,21	-0,19	-0,08	0,12	0,13	0,17	-0,02	-0,44	0,15	0,10	0,36	-0,39	0,36
	P	0,43	0,40	0,45	0,75	0,63	0,60	0,51	0,95	0,07	0,57	0,70	0,14	0,11	0,15
V <sub>sc</sub> <sup>4</sup>	R	0,21	0,21	-0,19	-0,08	0,12	0,13	0,17	-0,04	-0,44	0,15	0,10	0,36	-0,39	0,35
	P	0,41	0,39	0,45	0,74	0,63	0,61	0,51	0,89	0,07	0,56	0,70	0,14	0,11	0,15
DAP <sup>5</sup>	R	0,15	-0,15	-0,18	-0,05	0,14	0,04	0,14	-0,10	-0,12	0,18	-0,03	0,15	-0,19	0,13
	P	0,56	0,55	0,47	0,83	0,57	0,89	0,59	0,69	0,63	0,47	0,91	0,55	0,45	0,62
h <sup>6</sup>	R	0,43	0,42	-0,53	0,13	0,48	0,42	0,50	0,03	-0,23	0,26	0,33	0,56	-0,52	0,49
	P	0,08	0,08	0,02	0,60	0,04	0,09	0,03	0,92	0,36	0,30	0,18	0,02	0,03	0,04
-----Camada de 20-40 cm-----															
v <sup>1</sup>	R	0,37	0,46	-0,40	0,22	0,35	0,50	0,43	0,13	-0,57	0,34	0,31	0,64	-0,58	0,55
	P	0,14	0,06	0,10	0,39	0,16	0,03	0,08	0,61	0,01	0,16	0,22	<0,01	0,01	0,02
V <sub>sc</sub> <sup>2</sup>	R	0,37	0,47	-0,40	0,23	0,35	0,52	0,43	0,11	-0,57	0,36	0,32	0,65	-0,58	0,56
	P	0,13	0,05	0,10	0,35	0,15	0,03	0,07	0,66	0,01	0,14	0,19	<0,01	0,01	0,01
V <sup>3</sup>	R	0,24	0,24	-0,27	0,13	0,23	0,34	0,28	0,04	-0,58	0,18	0,15	0,54	-0,46	0,44
	P	0,33	0,35	0,28	0,62	0,37	0,17	0,26	0,86	0,01	0,46	0,56	0,02	0,05	0,07
V <sub>sc</sub> <sup>4</sup>	R	0,24	0,24	-0,26	0,14	0,22	0,35	0,28	0,02	-0,58	0,19	0,15	0,54	-0,46	0,44
	P	0,33	0,34	0,29	0,58	0,37	0,16	0,26	0,93	0,01	0,45	0,55	0,02	0,06	0,07
DAP <sup>5</sup>	R	0,11	0,00	-0,12	0,17	0,08	0,37	0,17	0,02	-0,14	0,27	-0,01	0,75	-0,41	0,49
	P	0,68	1,00	0,63	0,51	0,75	0,13	0,49	0,95	0,58	0,28	0,95	<0,01	0,09	0,04
h <sup>6</sup>	R	0,45	0,51	-0,54	0,44	0,50	0,57	0,54	0,11	-0,40	0,25	0,33	0,56	-0,52	0,49
	P	0,06	0,03	0,02	0,07	0,03	0,01	0,02	0,66	0,10	0,33	0,18	0,01	0,03	0,04

<sup>1</sup>volume individual com casca; <sup>2</sup>volume individual sem casca; <sup>3</sup>volume por hectare com casca; <sup>4</sup>volume por hectare sem casca; <sup>5</sup>diâmetro à altura do peito; <sup>6</sup>altura.



(RIBEIRO et al., 1999), no qual, acima deste valor, aumenta a probabilidade de decréscimo de produção pela toxidez por Al. Estes resultados corroboram com o fato de que o eucalipto é mais tolerante ao Al que a maioria das plantas. Os mecanismos de tolerância ao Al são vários, podendo ser fisiológicos (SILVA et al.,

2004; POSCHENRIEDER et al., 2008) e/ou indiretos, pela complexação do Al pela fração orgânica presente (VIEIRA et al., 2008). Como o estudo foi realizado com plantas ainda jovens, é provável que o futuro acúmulo de serrapilheira e C lábil nos solos desses locais amenizem o efeito restritivo causado pela toxidez por Al, porém

estudos devem ser realizados para evidenciar esse efeito no fim de ciclo destas árvores.

Os níveis críticos calculados de saturação por bases para o rendimento relativo de 80% no diâmetro e volume por árvore foram de 9,6% e 7,1%, respectivamente (média de 8,3%; Figura 1C e 1D). Esses valores são inferiores aos 30-50% recomendados para o eucalipto (RIBEIRO et al., 1999; EMBRAPA, 2012) e ao valor mínimo de 65% considerado ideal para a maioria das culturas do Sul do Brasil (COMISSÃO, 2004). Tais diferenças evidenciam que a interpretação dos parâmetros químicos para a cultura do eucalipto não pode ser realizada com os mesmos critérios utilizados para a média das culturas anuais e perenes.

O nível crítico do teor de Mg trocável ( $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ ), calculado para obter 80% do rendimento relativo para o diâmetro e volume por árvore, foi de  $0,3 \text{ cmol}_c \text{dm}^{-3}$  para ambas variáveis (Figura 1E e 1F, respectivamente). Logo, com uma pequena adição de calcário dolomítico, a deficiência do Mg para a cultura poderia ser corrigida, favorecendo conjuntamente a melhoria na saturação por bases e por Al. Nesse caso, provavelmente, a aplicação de calcário objetivando a elevação do pH a 5,5 ou a elevação da saturação por bases para 65% implique gasto excessivo desse insumo e menor retorno econômico, devido à baixa resposta da cultura à aplicação. Para elevar o pH- $\text{H}_2\text{O}$  do solo a 5,5 pela recomendação através do método SMP, utilizando um calcário dolomítico disponível na região (MgO 14,75% com PRNT 63,79%), seriam necessárias aplicações de 4,39, 3,14 e  $1,57 \text{ Mg ha}^{-1}$  para os solos LVD3, LVD4 e RQo1, respectivamente. Entretanto, utilizando o mesmo calcário para elevar o teor de Mg do solo de  $0,01 \text{ cmol}_c \text{dm}^{-3}$  para  $0,30 \text{ cmol}_c \text{dm}^{-3}$  (teor crítico calculado) para a camada de 0-20cm de profundidade, a aplicação seria necessária apenas no solo RQo1, com uma recomendação de  $0,29 \text{ Mg ha}^{-1}$ . Assim, os custos com aquisição e aplicação desse insumo seriam consideravelmente reduzidos.

Ao observar os resultados do presente estudo, é importante considerar que foram obtidos de plantios de apenas dois anos de idade e que o rendimento relativo considerado para determinação dos níveis críticos foi de 80%. Em adição, nenhuma das 18 unidades amostrais avaliadas apresentou atributos de acidez próximos do que seria ideal para a maioria das culturas, o que talvez pudesse reduzir os valores de rendimento relativo dos demais sítios avaliados, alterando o valor dos limites críticos calculados. Porém, os resultados reforçam a necessidade da determinação de níveis críticos específicos para as plantações com eucalipto na região, em especial nos

solos arenosos, onde os níveis críticos empregados atualmente podem superestimar as dosagens recomendadas para calagem e fertilização.

## CONCLUSÃO

A saturação por Al, a saturação por bases e o teor de Mg trocável foram os atributos químicos do solo que mais limitaram o crescimento das plantas. O nível crítico médio estimado para promover 80% de rendimento relativo das plantas foi de 79% para a saturação por Al, 8% para a saturação por bases (V%) e  $0,3 \text{ cmol}_c \text{dm}^{-3}$  para o teor de Mg trocável. Os atributos químicos de solo da camada subsuperficial (20-40cm de profundidade) apresentaram maior relação com os parâmetros de crescimento das plantas do que a camada superficial.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à empresa Stora Enso Florestal RS pela disponibilização dos dados utilizados no estudo.

## REFERÊNCIAS

- ABRAF. **Anuário Estatístico 2013 – ano base 2012**. Online. Disponível em: <<http://www.abraflor.org.br/estatisticas/ABRAF13/ABRAF13-BR.pdf>>. Acesso em: 12 maio 2014.
- BARROS, N.F. et al. Recomendações de fertilizantes minerais em plantios de eucalipto. In: GONÇALVES, J.L.M.; BENEDETTI, V. **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2004. p.269-286.
- BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F. Fertilização e correção do solo para o plantio de eucalipto. In: BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F. **Relação solo eucalipto**. Viçosa: Folha de Viçosa, 1990. p.127-181.
- CANTARUTTI, R.B. Avaliação da fertilidade do solo e recomendação de fertilizantes. In: NOVAIS, et al. **Fertilidade do solo**. Viçosa: UFV, 2007. p.769-850.
- COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO – RS/SC. **Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. Porto Alegre: SBCS/NRS, 2004. 400p.
- ELTZ, F.L.F.; ROVEDDER, A.P.M. Revegetação e temperatura do solo em áreas degradadas no sudoeste do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrociência**, v.11, n.2, p.193-200, jun. 2005. Disponível em: <<http://www.ufpel.tche.br/faem/agrociencia/v11n2/artigo10.pdf>>. Acesso em: 22 jun. 2012.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro, 2006. 306p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Online. Disponível em: <[http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Eucalipto/CultivadoEucalipto/05\\_05\\_recomendacao\\_de\\_calagem.htm](http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Eucalipto/CultivadoEucalipto/05_05_recomendacao_de_calagem.htm)>. Acesso em: 17 jun. 2012.

- GONÇALVES, J.L.M.; BENEDETTI, V. **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2004. 427p.
- GONÇALVES, J.L.M. Principais solos usados para plantações florestais. In: GONÇALVES, J.L.M.; STAPE, J.L. **Conservação e cultivo de solos para plantações florestais**. Piracicaba: IPEF, 2002. 498p.
- POSCHENRIEDER, C. et al. A glance into aluminum toxicity and resistance in plants. **Science of the total environment**, v.400, n.1-3, p. 356-368, ago. 2008. Disponível em: <[http://www.scopus.com/record/display.url?eid=2-s2.0-54349084259&origin=inward&txGid=jaJ98w8cP0jXz\\_zJx1oK-Wo%3a2](http://www.scopus.com/record/display.url?eid=2-s2.0-54349084259&origin=inward&txGid=jaJ98w8cP0jXz_zJx1oK-Wo%3a2)>. Acesso em: 26 jun. 2012. doi: 10.1016/j.scitotenv.2008.06.003.
- RIBEIRO, A.C. et al. **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais - 5ª aproximação**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 1999. 359p.
- SILVA, I.R. et al. Responses of eucalypt species to aluminum: the possible involvement of low molecular weight organic acids in the Al tolerance mechanism. **Tree Physiology**, v.24, p.1267-1277, nov. 2004. Disponível em: <<http://treephys.oxfordjournals.org/content/24/11/1267.full.pdf+html>>. Acesso em 25 jun.2012. doi: 10.1093/treephys/24.11.1267.
- STRECK, E.V. et al. **Solos do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: UFRGS, EMATER/RS, 2002. 107p.
- TAHARA, K. et al. Role of aluminum-binding ligands in aluminum resistance of *Eucalyptus camaldulensis* and *Melaleuca cajuputi*. **Plant and Soil**, v.302, n.1-2, p.175-187, jan. 2008. Disponível em: <<http://rd.springer.com/article/10.1007/s11104-007-9464-5>>. Acesso em: 23 jun. 2012. doi: 10.1007/s11104-007-9464-5.
- TEDESCO, M.J. et al. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2.ed. Porto Alegre: Departamento de Solos: UFRGS, 1995. 174p.
- VALE, F.R. et al. Crescimento radicular de espécies florestais em solo ácido. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.31, n.9, p.609-616, set. 1996. Disponível em: <[http://webnotes.sct.embrapa.br/pab/pab.nsf/ecd4ca3ff88efcfa032564cd004ea083/b499a382dcf0e573032567ba004b1edd/\\$FILE/pab96\\_02\\_set.pdf](http://webnotes.sct.embrapa.br/pab/pab.nsf/ecd4ca3ff88efcfa032564cd004ea083/b499a382dcf0e573032567ba004b1edd/$FILE/pab96_02_set.pdf)>. Acesso em: 27 jun. 2012.
- VIEIRA, F.C.B. et al. Organic amendment effect on the transformation and fractionation of aluminum in acidic sandy soil. **Communications in soil science and plant analysis**, v.39, p.2678-2694, nov., 2008. Disponível em: <<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00103620802358813>>. Acesso em: 23 jun. 2012. doi: 10.1080/00103620802358813.