

EFICIÊNCIA RELATIVA DE FOSFATOS NATURAIS NA ADUBAÇÃO DE PLANTIO DE MUDAS DE *Eucalyptus dunnii* MAIDEN E *Eucalyptus benthamii* MAIDEN ET CAMBAGE EM SOLO SEM E COM CALAGEM

RELATIVE EFFICIENCY OF ROCK PHOSPHATES IN FERTILIZATION OF PLANTING SEEDLINGS *Eucalyptus dunnii* MAIDEN AND *Eucalyptus benthamii* MAIDEN ET CAMBAGE IN SOIL WITH AND WITHOUT LIMING

Luciana Patrícia Rosa Dias¹ Luciano Colpo Gatiboni² Gustavo Brunetto³ Márcia Aparecida Simonete⁴
Bruna Bicaratto⁵

RESUMO

O eucalipto possui uma grande exigência de fósforo (P) na fase de implantação do povoamento. Por isso o seu nível crítico de P é mais alto na fase inicial de desenvolvimento, diminuindo com o aumento da idade. O trabalho objetivou avaliar a resposta no crescimento inicial de eucalipto à adubação fosfatada e a eficiência relativa (ER) de fosfatos naturais (FNs) em solos sem e com calagem. Para isso, foram conduzidos, no período de outubro de 2010 a fevereiro de 2011, dois experimentos em casa de vegetação, na Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), em Lages (SC), um com mudas de *Eucalyptus dunnii* e outro com *Eucalyptus benthamii*, utilizando os FNs Bayovar, Gafsa e Djebel, além do superfosfato triplo e testemunha (sem P), em um Cambissolo Húmico sem e com calagem. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado em arranjo fatorial 5 x 2 (cinco fontes de P e dois níveis de calagem), com quatro repetições. As plantas foram cultivadas por 110 dias e após a colheita, foram determinados a produção de matéria seca (por diferença de peso úmido e peso seco) e o acúmulo de P no tecido vegetal das diferentes partes da planta (determinado por espectrofotometria em comprimento de onda de 882 nm, após redução do complexo fosfomolibdato com ácido ascórbico). A eficiência relativa dos FNs (%) foi calculada a partir dos dados obtidos de matéria seca de parte aérea e matéria seca total. Para a correlação entre os parâmetros de teor de P acumulado na planta e os teores de P disponível no solo foi aplicado o Teste de Correlação de Pearson ($P < 0,05$). Todas as fontes de P apresentaram comportamento semelhante entre si, mas foram superiores à testemunha, entretanto, o uso destas fontes provocou aumento na produção de matéria seca e no teor de P acumulado na parte aérea das plantas de *Eucalyptus benthamii* e *Eucalyptus dunnii* aos 110 dias de crescimento em relação ao tratamento testemunha independente da correção do solo. No solo sem calagem, as ERs médias foram 75, 91 e 94% respectivamente para os FNs Bayovar, Gafsa e Djebel. Para os solos com calagem, as ERs médias foram 65, 24 e 25%, para os mesmos fosfatos. Nos tratamentos sem adição de calcário, a eficiência relativa dos FNs foi maior em comparação aos solos com calagem.

Palavras-chave: adubação fosfatada; variação do pH; crescimento inicial; adubação de base.

1 Engenheira Agrônoma, Msc., Doutoranda do Programa de Pós-graduação em Ciências Agrárias, Departamento de Solos e Recursos Naturais, Universidade do Estado de Santa Catarina, Av. Luiz de Camões, 2090, Bairro Conta Dinheiro, CEP 88520-200, Lages (SC), Brasil. Bolsista Capes. lupatidias@hotmail.com

2 Engenheiro Agrônomo, Dr., Professor do Departamento de Solos e Recursos Naturais, Universidade do Estado de Santa Catarina, Av. Luiz de Camões, 2090, Conta Dinheiro, CEP 88520-200, Lages (SC), Brasil. Bolsista CNPq. lгатiboni@gmail.com

3 Engenheiro Agrônomo, Dr., Professor do Departamento de Solos, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Av. Roraima, 1000, CEP 97105-900, Santa Maria (RS), Brasil. gustavo.brunetto@gmail.com

4 Engenheira Agrônoma, Dr^a., Professora da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Campus Universitário Capão do Leão, s/n, CEP 96900-010, Capão do Leão (RS), Brasil. maapasi@ig.com.br

5 Estudante de Graduação, Curso de Engenharia Ambiental, Universidade do Estado de Santa Catarina, Av. Luiz de Camões, 2090, Bairro Conta Dinheiro, CEP 88520-200, Lages (SC), Brasil. brunabicaratto@hotmail.com

ABSTRACT

The eucalyptus has a pronounced demand for phosphorus (P) in the initial growth. Therefore, its P critical level is higher in the early stages of development, decreasing with plant age. The study was carried out to evaluate the response to fertilization and relative efficiency (RE) of phosphates (RPs) in the initial growth of eucalyptus. For this, two experiments were conducted in a greenhouse, from October 2010 to February 2011, at the University of Santa Catarina (UDESC), in Lages, Santa Catarina state, one with *Eucalyptus dunnii* and another with *Eucalyptus benthamii* using the following phosphorus sources: Bayovar, Gafsa, Djebel and triple superphosphate, plus a control without P. These P treatments were applied in soils with and without liming. The experimental design was completely randomized in a 5 x 2 factorial arrangement and with four replications. Plants were grown for 110 days and after harvest, were determined dry matter (by difference of wet weight and dry weight) and P accumulation in plant tissue from different parts of the plant (determined by spectrophotometry at a wavelength of 882 nm after reduction of phospho-molibdate complex with ascorbic acid). The relative efficiency of RPs (%) was calculated from data obtained from dry matter of shoots and total dry matter. For the correlation between the parameters of P content in the plants and soil available P it was applied Pearson's correlation ($P < 0.05$). All sources of P were similar to each other, but were higher than the control one, however, the use of these sources resulted in an increase in dry matter production and P content accumulated in the shoots of *Eucalyptus benthamii* and *Eucalyptus dunnii* compared to the control treatment regardless the soil amendment. In soil without lime, the RE averages were 75, 91 and 94%, respectively for RPs Bayovar, Gafsa and Djebel. For soils with lime, the RE averages were 65, 24 and 25% for the same phosphate sources. In treatments without liming the relative efficiency of RPs was higher compared to soils with lime.

Keywords: phosphate fertilizers; pH variation; initial growth; basic fertilizer.

INTRODUÇÃO

Os florestamentos e reflorestamentos de eucalipto no Brasil, em geral, estão localizados em solos com baixa fertilidade natural, sendo a baixa disponibilidade de P uma das causas mais limitantes do crescimento e da produção florestal (FRANCO, 1984). Por esse motivo é que o eucalipto, na maioria desses solos, responde positivamente à adubação fosfatada (GAVA, 2003).

A finalidade principal da adubação de plantio é promover o arranque inicial no crescimento das mudas, fase que se estende até o sexto mês a partir da implantação do florestamento (GONÇALVES, 1995). Nesta fase, o aumento do teor de P no solo proporciona um maior incremento no crescimento inicial das plantas (SILVA et al., 2007).

Entre as fontes de P, as mais utilizadas para o cultivo do eucalipto são os fosfatos solúveis, porém, frequentemente são utilizados os fosfatos naturais (FNs), devido ao seu menor custo. Há muitos tipos de FNs no mercado, com diferentes eficiências agrônomicas. Os FNs “duros”, como são classificados a maioria dos fosfatos brasileiros, têm origem ígnea ou metamórfica de baixa solubilidade no solo, enquanto os FNs “moles”, de origem

sedimentar ou metamórfica, são solubilizados com maior facilidade e são conhecidos como FNs reativos, que são importados de outros países (KAMINSKI & PERUZZO, 1997).

Respostas do eucalipto aos FNs, como única fonte de P, às vezes são pouco ou não compensadoras (REZENDE et al., 1982; LEAL et al., 1988). Entretanto, o uso de FNs reativos tem sido promissor quando associados com fontes solúveis de P, em virtude da alta demanda inicial do eucalipto por este nutriente (NOVAIS et al., 1982). Em contrapartida, de acordo com Novais et al. (1982), os FNs de baixa reatividade apresentam um efeito similar aos das fontes solúveis em longo prazo por causa da sua solubilidade gradual e o eucalipto, por ter um ciclo longo, teria a disponibilização do P do FN durante o seu ciclo de desenvolvimento, com um efeito residual maior que o das fontes solúveis. Desde modo, os FNs reativos seriam uma alternativa para a adubação fosfatada em substituição parcial aos fosfatos solúveis para culturas de ciclo longo (FEITOSA et al., 1978).

Estudos comprovam que o eucalipto é uma espécie pouco sensível a solos ácidos, e em condições de baixo pH a solubilização dos FNs é favorecida, podendo ser uma alternativa para

aumentar a eficiência destes fertilizantes, mas alerta-se que os efeitos da acidez sobre a dissolução pode variar conforme o tipo de FN (GATIBONI et al., 2003). Por outro lado, um pH mais elevado aumenta a disponibilidade de P oriundo dos fosfatos solúveis, tornando o P mais disponível às plantas nesta condição (ERNANI, 2008).

Atualmente não há informações sobre a eficiência dos FNs de Gafsa, Bayovar e Djebel nos solos ácidos da região do Planalto Sul-catarinense e, por este motivo, objetivou-se avaliar a resposta inicial do eucalipto à adubação fosfatada e a eficiência relativa de FNs em solos sem e com calagem.

MATERIAL E MÉTODOS

Para a realização deste estudo foram realizados dois experimentos, um com mudas clonais de *Eucalyptus benthamii* e outro com *Eucalyptus dunnii*, em casa de vegetação no Departamento de Solos da Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), em Lages (SC), no período de outubro de 2010 a fevereiro de 2011.

Foi utilizado um solo classificado como Cambissolo Húmico, coletado na camada de 0,00-0,20 m, em área recém-colhida, cultivada anteriormente com *Pinus taeda*, pertencente à empresa Klabin S/A, localizada no município de Correia Pinto SC. Após a coleta, o solo foi passado em peneira com malha de 4 mm e seco em estufa de circulação de ar a 60°C.

Os tratamentos foram quatro tipos de adubação fosfatada (fosfatos de Gafsa, Bayovar, Djebel e superfosfato triplo) além de uma testemunha (sem P), sob dois níveis de calagem: sem calagem (pH H₂O = 4,2) e com calagem (para elevar o pH H₂O até 5,5). Os tratamentos foram arranjados em delineamento experimental inteiramente casualizado, em esquema fatorial 5 x 2, com quatro repetições.

No tratamento com calagem, foi aplicada a quantidade equivalente a 9,6 t ha⁻¹ de calcário, dose calculada pelo índice SMP para elevar o pH em água até 5,5 (CQFS-RS/SC, 2004), considerado para isso a existência de 2.000 t de solo por hectare da camada arável. Os tratamentos sem aplicação do corretivo de acidez foram mantidos a pH natural de 4,2. A caracterização química e física do solo antes da aplicação dos tratamentos está apresentada na Tabela 1.

TABELA 1: Características químicas da camada de 0,00-0,20 m do Cambissolo Húmico antes da aplicação dos tratamentos.

TABLE 1: Chemical characteristics of the 0.00-0.20 m layer of the Humic Cambisol before treatment application.

Atributos	Valores
pH H ₂ O (1:1)	4,2
Índice SMP	4,7
Ca trocável (cmol _c dm ⁻³)	0,5
Mg trocável (cmol _c dm ⁻³)	0,4
Al trocável (cmol _c dm ⁻³)	4,1
P disponível Mehlich 1 (mg dm ⁻³)	1,3
K disponível Mehlich 1 (mg dm ⁻³)	56
Matéria orgânica (g kg ⁻¹)	28
CTC efetiva (cmol _c dm ⁻³)	5,1
CTC à pH 7,0 (cmol _c dm ⁻³)	35,5
Saturação por bases (%)	2,8
Saturação por Alumínio (%)	80,2
Argila (g kg ⁻¹)	320

As fontes de P utilizadas foram o FN reativo de Gafsa, originário da Tunísia (28% de P₂O₅ total), o FN reativo Bayovar, originário do Peru (34% de P₂O₅ total), o FN reativo Djebel, originário da Argélia (29% de P₂O₅ total) o superfosfato triplo (fosfato solúvel com 42% de P₂O₅ total) e um tratamento testemunha (sem P).

A dose de P foi de 52,4 mg kg⁻¹ de P₂O₅, a qual foi aplicada e misturada ao solo de cada vaso, juntamente com a adubação com KCl (41,5 mg kg⁻¹ K₂O), e com ureia (13,1 mg kg⁻¹ de N), mais o corretivo de acidez (calcário Filler 98,11% PRNT), aplicado apenas nos vasos com correção de pH.

Para o cultivo, as amostras de solo foram acondicionadas em vasos com 8 kg de solo, que foram forrados com saco plástico (usados para evitar a perda de solo e água por lixiviação). Após a aplicação dos tratamentos, foi plantada uma muda de eucalipto por vaso e cultivada por 110 dias em casa de vegetação com controle de umidade e temperatura ambiente. Na determinação da capacidade de campo, o solo apresentou umidade gravimétrica igual a 25,05%. De acordo com o volume de solo acondicionado nos vasos e da umidade gravimétrica do solo, a umidade no solo dos vasos foi mantida próxima a 80% da capacidade de campo por meio de irrigações diárias com água deionizada para repor a água perdida por evapotranspiração, efetuando-se

monitoramento semanal através de pesagem dos vasos.

Por ocasião da colheita, foi realizado o corte da parte aérea das plantas rente à superfície do solo e, em seguida, foram separadas as folhas, caule com ramos e raízes. Posteriormente, estas partes foram armazenadas em sacos de papel e secas em estufa de circulação de ar a 60°C por 72 horas, para a quantificação da produção de matéria seca.

As amostras da parte aérea foram moídas, submetidas à digestão sulfúrica em bloco digestor a 375°C após a adição de peróxido de hidrogênio (H₂O₂) e ácido sulfúrico concentrado (H₂SO₄), segundo Tedesco et al. (1995) e, em seguida, o extrato foi preparado para a determinação dos teores totais de P no tecido vegetal através de espectrofotometria em comprimento de onda de 882 nm, após redução do complexo fosfomolibdato com ácido ascórbico, segundo a metodologia de Murphy & Riley (1962).

Após a remoção das plantas e das raízes dos vasos, as amostras de solo de cada vaso foram coletadas, acondicionadas em sacos plásticos e secas em estufa de circulação de ar a 60°C por 48 horas. Após, foram moídas e preparadas para a determinação de teores de P disponível pelos métodos de Mehlich 1, Mehlich 3 e Resina Trocadora de Ânions (RTA) em lâminas, descritos respectivamente por Mehlich (1953); Mehlich (1984) e Tedesco et al. (1995).

Para as extrações através do Mehlich 1 e Mehlich 3, pesou-se 3 g de solo em tubo de centrífuga de 50 ml e adicionou-se 30 ml da solução extratora. A seguir, agitou-se por um período de cinco minutos, em aproximadamente 200 rpm em agitador orbital, deixando em repouso por 16 horas. Posteriormente, retirou-se uma alíquota do sobrenadante para a determinação do P disponível utilizando a metodologia de Murphy & Riley (1962).

Para a extração pelo método da RTA, pesou-se 0,5 g de solo em tubo de centrífuga de 30 ml e adicionou-se 10 ml de água destilada e uma lâmina de resina saturada com bicarbonato de sódio (NaHCO₃) 0,5 mol L⁻¹. Os tubos foram agitados por 16 horas a 33 rpm (agitador tipo Wagner), com temperatura constante de 25°C. Após este período, cada lâmina foi retirada e colocada em tubo de centrífuga com 10 ml de ácido clorídrico (HCl) 0,5 mol L⁻¹, onde permaneceu em repouso por 60 minutos, com a tampa aberta para a liberação do CO₂. Passado este período, as resinas foram levadas à agitação em agitador orbital a 130 rpm por 30 minutos e retirou-se uma alíquota do sobrenadante

para a determinação de P disponível, seguindo a metodologia de Murphy & Riley (1962).

A eficiência relativa (ER) dos FNs foi calculada a partir dos dados obtidos de matéria seca de parte aérea conjuntamente para as duas espécies de eucalipto, usando a equação:

$$ER(\%) = \frac{MS_{\text{fonte}} - MS_{\text{test}}}{MS_{\text{sft}} - MS_{\text{test}}} \times 100$$

Em que: *MS_{fonte}*: matéria seca no tratamento com o uso da fonte; *MS_{test}*: matéria seca no tratamento testemunha; *MS_{sft}*: matéria seca no tratamento superfosfato triplo.

Os resultados foram submetidos à análise de variância e ao teste de Tukey (P < 0,05). Para a correlação entre as variáveis de teor de P acumulado na planta e os teores de P disponível no solo foi aplicado o teste de Correlação Simples de Pearson (P < 0,01). As análises foram conduzidas usando-se o *software* SAS® (STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM, 2003).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Matéria seca do *Eucalyptus benthamii* e do *Eucalyptus dunnii* submetidos às fontes de P e aos níveis de calagem

Para o *Eucalyptus benthamii*, os tratamentos não apresentaram diferenças estatísticas na quantidade de matéria seca de folhas (MSF) e matéria seca de raízes (MSR). Entretanto, os tratamentos diferiram para matéria seca de caule e ramos (MSCR), matéria seca de parte aérea (MSPA) e matéria seca total (MST) (Tabela 2).

Em relação à MSPA, o SFT e os FNs de Gafsa e Djebel apresentaram semelhança entre si e foram os tratamentos com melhor produção de matéria seca, esse comportamento do SFT foi comprovado também por Maeda & Bognola (2011), no qual a aplicação dessa fonte fosfatada aumentou significativamente a MSPA em *Eucalyptus dunnii*. O FN Bayovar mostrou comportamento semelhante entre os FNs de Gafsa e Djebel, porém, não diferiu também da testemunha (tratamento com menor valor de matéria seca). Não foi observado efeito de calagem e não houve interação entre as fontes de P e os níveis de calagem para as variáveis de produção de matéria seca de *Eucalyptus benthamii* (Tabela 2).

Para esta espécie, o incremento na produção de MSPA e na MST foi proporcionado principalmente pela produção obtida com o caule

e ramos (MSCR), pois este foi o componente que representou a maior massa dentro do fracionamento da planta (Tabela 2).

Para o *Eucalyptus dunnii*, não houve resposta significativa dos tratamentos de P na produção de MSR. Em contrapartida, esta foi a única variável que apresentou resposta aos níveis de calagem, em que a ausência de calagem proporcionou um incremento na produção de MSR em comparação à presença de calagem. Para as demais variáveis não houve resposta para os níveis de calagem (Tabela 3).

Houve respostas aos diferentes tratamentos com fontes de P para MSF, MSCR, MSPA e MST. Em relação à MSPA, foi observado que todas as fontes de P tiveram o mesmo comportamento, sendo que o FN Djebel se assemelhou à testemunha, a maior produção de MSPA obtido pela aplicação do SFT quando incorporado, pode dever-se à maior solubilidade do SFT, o que permitiu maior disponibilidade de P às plantas (MAEDA E BOGNOLA, 2011). No caso do FN de Gafsa, a aplicação incorporada favoreceu o contato do produto com o solo, o que aumenta a solubilização

do mesmo, liberando maior quantidade de nutriente para as plantas (RAIJ et al., 1982), o que pode ser considerado para os demais FNs utilizados. Para esta espécie, a MSF foi a variável que mais auxiliou no incremento à produção de MSPA e MST (Tabela 3).

Na Figura 1 estão apresentadas as interações entre as fontes de P e os níveis de calagem para MSF, MSCR, MSPA e MST.

De modo geral os tratamentos sem calagem tiveram melhores respostas que os tratamentos com calagem e uso concomitante dos FNs de Gafsa e Djebel, reafirmando que condições ácidas são favoráveis à solubilização de FNs (ROBINSON & SYERS, 1990). No tratamento testemunha, foi observada uma maior produção de matéria seca no solo com correção, indicando que na ausência da adubação fosfatada, a calagem melhora o ambiente edáfico e isso acontece porque a correção do solo causa melhorias na disponibilidade de nutrientes às plantas (ERNANI, 2008), inclusive de P (Figura 1).

A interação negativa entre a calagem e os FNs pôde ser observada para os fosfatos de Gafsa e Djebel, porém, este comportamento não foi

TABELA 2: Matéria seca de folhas (MSF), matéria seca de caule e ramos (MSCR), matéria seca de raízes (MSR), matéria seca de parte aérea (MSPA) e matéria seca total (MST) de mudas de *Eucalyptus benthamii* em função das fontes de P e de níveis de calagem.

TABLE 2: Dry matter of leaves (MSF), dry matter of stems and branches (MSCR), dry matter of roots (MSR), dry matter of shoots (MSPA) and total dry matter (MST) of *Eucalyptus benthamii* depending on the P sources and use of lime.

Fator	MSF	MSCR	MSR	MSPA	MST
	(g vaso ⁻¹)				
Fonte de P (1)					
Bayovar	17,4	21,3b	8,3	38,7cb	47,0ba
Gafsa	19,3	21,8ba	9,3	41,1ba	50,4ba
Djebel	19,9	23,0ba	9,9	42,9ba	52,7ba
SFT	20,5	25,8a	9,6	46,3a	55,9 ^a
Testemunha	16,7	16,7c	9,3	33,4c	42,7b
Valor F	2,8 ^{ns}	10,1 ^{**}	0,3 ^{ns}	7,5 ^{**}	4,2 [*]
Calagem (2)					
Sem	18,7	21,5	9,6	40,2	49,7
Com	18,8	22,0	9,0	40,8	49,8
Valor F	0,0 ^{ns}	0,3 ^{ns}	0,4 ^{ns}	0,1 ^{ns}	0,0 ^{ns}
Interação (1x2)					
	0,3 ^{ns}	1,4 ^{ns}	0,6 ^{ns}	0,6 ^{ns}	0,2 ^{ns}
CV (%)	16,0	13,5	32,0	12,3	14,1

Em que: Dentro de cada fator, médias seguidas de letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância; ^{ns} = não significativo para os níveis testados; * = significativo a 5% de probabilidade de erro pelo Teste F; ** = significativo a 1% de probabilidade de erro pelo Teste F.

TABELA 3: Matéria seca de folhas (MSF), matéria seca de caule e ramos (MSCR), matéria seca de raízes (MSR), matéria seca de parte aérea (MSPA) e matéria seca total (MST) de mudas de *Eucalyptus dunnii* em função dos tratamentos e dos níveis de calagem.

TABLE 3: Dry matter of leaves (MSF), dry stems and branches (MSCR), dry matter of roots (MSR), dry matter of shoots (MSPA) and total dry matter (MST) of *Eucalyptus dunnii* depending on the P source and use of levels of lime.

Fator	MSF	MSCR	MSR	MSPA	MST
	(g vaso ⁻¹)				
Fontes de P (1)					
Bayovar	30,3	20,4	7,5	50,8	58,2
Gafsa	28,3	19,0	6,8	47,3	54,1
Djebel	26,5	18,8	7,5	45,4	52,9
SFT	29,1	21,2	7,8	50,3	58,2
Testemunha	24,6	15,2	6,8	39,9	46,7
Valor F	4,8*	11,9**	0,5 ^{ns}	9,4**	6,6**
Calagem (2)					
Sem	27,3	19,3	8,2a	46,6	55,0
Com	28,2	18,6	6,2b	46,9	53,0
Valor F	1,0 ^{ns}	1,2 ^{ns}	13,6**	0,0 ^{ns}	1,4 ^{ns}
Interação (1x2)	3,7*	6,4**	3,0 ^{ns}	6,1**	5,8**
CV (%)	10,4	9,9	25,7	8,7	10,0

Em que: Dentro de cada fator, médias seguidas de letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância; ^{ns} = não significativo para os níveis testados; * = significativo a 5% de probabilidade de erro pelo Teste F; ** = significativo a 1% de probabilidade de erro pelo Teste F.

observado para o FN Bayovar, cujos solos sem e com calagem produziram a mesma quantidade de MSF, MSCR, MSPA e MST, portanto, foi semelhante ao comportamento observado para o SFT. Este comportamento do FN Bayovar pode ser justificado levando-se em conta a quantidade de P solúvel em ácido cítrico contido neste fosfato (16% de P₂O₅), o que o torna superior aos FNs de Gafsa e Djebel (média de 9% de P solúvel em ácido cítrico). Assim, parece que o FN Bayovar é menos dependente da acidez do solo para a sua solubilização e, portanto, com maior possibilidade de uso concomitante com a calagem.

A resposta do eucalipto à prática da calagem nem sempre é verificada, apesar dos solos cultivados com este gênero no Brasil normalmente apresentarem elevada acidez, porém, a solubilidade do fertilizante e a consequente disponibilidade de P são bastante influenciadas pelo pH do solo e pela composição da fonte, segundo Horowitz e Meurer (2004). Isso foi observado através dos dados obtidos no presente trabalho para as espécies de *Eucalyptus benthamii* e *Eucalyptus dunnii*, que mesmo com pH extremamente baixo (4,2), tiveram pequena

resposta à calagem. Deve-se levar em consideração que a aplicação de calcário eleva os teores de Ca e Mg, diminui ou elimina o Al trocável e aumenta as cargas negativas nesses solos, consequentemente aumentando a disponibilidade de nutrientes, entre os quais o P (ALBUQUERQUE et al., 2003).

De modo geral, para as espécies de *Eucalyptus benthamii* e *Eucalyptus dunnii*, todas as fontes de P utilizadas mostraram comportamentos semelhantes entre si em relação à produção de MSF, MSCR, MSPA e MST e, ainda, foi observado que o uso de fertilizante fosfatado é mais importante que a correção do pH do solo nas variáveis avaliadas. Segundo Ernani et al. (2000), a adubação fosfatada é primordial, pois eleva o rendimento das culturas, principalmente onde predominam solos extremamente ácidos e deficientes P.

Fósforo acumulado no *Eucalyptus benthamii* e do *Eucalyptus dunnii* submetidos às fontes de P e aos níveis de calagem

Para o *Eucalyptus benthamii*, o tipo de fosfato utilizado não ocasionou diferenças

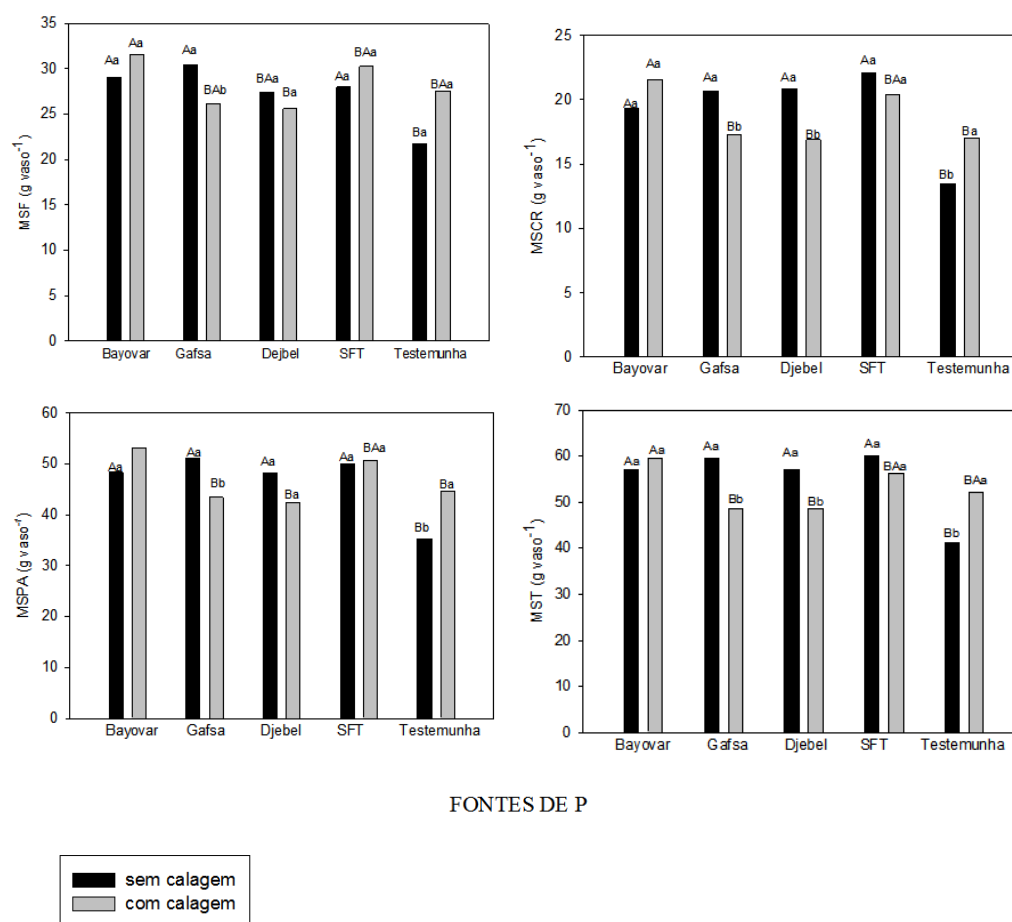


FIGURA 1: Interação dos tratamentos de P com os níveis de calagem para a matéria seca de folhas (MSF), matéria seca de caule e ramos (MSCR), matéria seca de parte aérea (MSPA) e matéria seca total (MST) para *Eucalyptus dunnii* após 110 dias de cultivo. Médias das fontes de P seguidas de letras maiúsculas ou minúsculas distintas diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de significância. Letras maiúsculas comparam os tratamentos com fontes de P nos níveis de calagem (sem e com calagem). Letras minúsculas comparam os níveis de calagem dentro de cada tratamento com fontes de P.

FIGURE 1: Interaction of P sources with liming levels for the dry leaves (MSF), dry stems and branches (MSCR), dry matter of root (MSR) and shoots (MSPA) and total dry matter (MST) of *Eucalyptus dunnii* after 110 days of growing.

no acúmulo de P nas raízes (PR), porém, estas diferenças foram observadas no acúmulo de P das folhas (PF), do caule e ramos (PCR), da parte aérea (PPA) e total (PT). O maior acúmulo de P foi observado nas folhas (PF) em comparação ao P acumulado no caule e ramos (PCR) (Tabela 4).

Em relação ao PPA, todos os tratamentos com fontes de P mostraram respostas semelhantes entre si, diferenciando-se apenas da testemunha (tratamento com menores valores). Somente para as variáveis de PF e PPA a variação nos níveis de calagem foram significativas, sendo que as melhores respostas foram resultantes dos solos com calagem,

provavelmente porque a calagem melhorou a disponibilidade de P no solo e propiciou uma maior absorção pelas plantas, conforme discutido anteriormente. Não foi observada interação entre os tratamentos e os níveis de calagem para o *Eucalyptus benthamii* (Tabela 4).

O *Eucalyptus dunnii* não apresentou diferença significativa de PR, em função das fontes de P, semelhante ao ocorrido para o *Eucalyptus benthamii*. Entretanto, houve diferença entre os tratamentos para as variáveis PF, PCR, PPA e PT (Tabela 5). Esses resultados devem estar associados às características peculiares de solubilidade e a

TABELA 4: Fósforo acumulado no tecido de folhas (PF), caule e ramos (PCR), raízes (PR), parte aérea (PPA) e total (PT) em mudas de *Eucalyptus benthamii* após 110 dias de cultivo em função dos tratamentos e dos níveis de calagem.

TABLE 4: Phosphorus accumulated in leaf tissue (PF), stems and branches (PCR), roots (PR), shoot (PPA) and total (PT) in *Eucalyptus benthamii* after 110 days of cultivation under P sources and liming levels.

Fator	PF	PCR	PR	PPA	PT
	(g vaso ⁻¹)				
Fonte de P (1)					
Bayovar	16,4a	12,9ba	7,1	29,3a	36,4b
Gafsa	18,2a	11,77b	10,4	29,9a	40,4ba
Djebel	16,7a	13,2ba	9,3	29,9a	39,3ba
SFT	19,9a	16,9a	11,5	36,7a	48,3 ^a
Testemunha	10,7b	7,3c	6,0	18,0b	24,9c
Valor F	8,3**	10,6**	2,7 ^{ns}	10,8**	10,7**
Calagem (2)					
Sem	14,5b	12,2	9,4	26,7b	36,1
Com	18,2a	12,6	8,3	30,9a	39,2
Valor F	11,8**	0,2 ^{ns}	0,8 ^{ns}	5,1*	1,6 ^{ns}
Interação (1x2)	1,7 ^{ns}	2,1 ^{ns}	1,6 ^{ns}	1,9 ^{ns}	0,3 ^{ns}
CV (%)	20,9	24,0	44,9	20,2	20,8

Em que: Dentro de cada fator, médias seguidas de letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância; ^{ns} = não significativo para os níveis testados; * = significativo a 5% de probabilidade de erro pelo Teste F; ** = significativo a 1% de probabilidade de erro pelo Teste F.

dinâmica de liberação de P dos FNs. Os fosfatos reativos caracterizam-se por apresentarem solubilidade intermediária entre os fosfatos acidulados e os FNs brasileiros, o que lhes confere capacidade de liberação gradual do P no solo. Essa liberação ocorre por meio de processos semelhantes àqueles que controlam a solubilidade dos FNs brasileiros, porém, de forma mais intensa (NOVAIS & SMYTH, 1999; HOROWITZ & MEURER, 2004).

O tratamento com SFT e FN Bayovar foram os tratamentos que resultaram em maior acúmulo de P na parte aérea (PPA), os FNs de Gafsa e Djebel mostraram semelhança entre si (acúmulo médio de P de 37,2 mg vaso⁻¹ na PA), sendo a testemunha o tratamento com o menor teor de P acumulado (24 mg vaso⁻¹), esse resultado também foi verificado por Moeda & Bognola (2011), em que para o *Eucalyptus dunnii*, o SFT promoveu maior acúmulo de P na parte aérea das mudas quando comparado ao FN de Gafsa. Não ocorreram respostas aos níveis de calagem do solo para esta espécie, mas houve interação entre os tratamentos e os níveis de calagem para as variáveis PCR e PPA (Tabela 5).

Na interação entre as fontes de P e os níveis de calagem para o P acumulado no caule e ramos (PCR) e na parte aérea (PPA), todos os tratamentos com P foram semelhantes entre si e superiores à testemunha nos solos sem calagem. Para os solos com calagem, o FN Bayovar foi superior aos demais FNs, tendo comportamento semelhante ao SFT (Figura 2). Já nas primeiras observações relacionadas com a nutrição mineral de plantas, constatou-se que os fertilizantes solúveis em água eram mais eficientes (ALCARDE, 2007), porém, os FNs reativos, neste caso o Bayovar, apresentou solubilização mais intensa na presença de calagem quando comparado aos demais FNs, conforme discutido anteriormente.

A variação nos níveis de calagem dentro de cada tratamento, para o *Eucalyptus dunnii*, mostrou que para os FNs de Gafsa e Djebel nos solos sem calagem apresentaram maior acúmulo de P no CR e na PA que os solos com calagem e para o tratamento com SFT ocorreu o contrário, comportamento esse compatível com a variação da solubilidade destes fertilizantes com a variação do pH (Figura 2).

Vale salientar que a interação não

TABELA 5: Fósforo acumulado no tecido de folhas (PF), caule e ramos (PCR), raízes (PR), parte aérea (PPA) e total (PT) em mudas de *Eucalyptus dunnii* após 110 dias de cultivo em função dos tratamentos e dos níveis de calagem.

TABLE 5: Phosphorus accumulated in leaf tissue (PF), stems and branches (PCR), roots (PR), shoot (PPA) and total (PT) in *Eucalyptus dunnii* after 110 days of cultivation under P sources and liming levels.

Fator	PF	PCR	PR	PPA	PT
	(g vaso ⁻¹)				
Fontes de P (1)					
Bayovar	33,6ba	13,9	7,2	47,5	54,7ba
Gafsa	27,4cb	10,6	5,4	38,0	43,4c
Djebel	26,0c	10,5	7,5	36,5	44,0cb
SFT	34,9a	13,2	10,9	48,2	59,0a
Testemunha	18,7d	5,2	5,8	24,9	29,8d
Valor F	15,7**	12,4**	2,5 ^{ns}	21,9**	17,3**
Calagem (2)					
Sem	26,8	11,4	8,5	38,2	46,8
Com	29,4	10,0	6,2	39,4	45,6
Valor F	3,1 ^{ns}	2,5 ^{ns}	3,7 ^{ns}	0,4 ^{ns}	0,2 ^{ns}
Interação (1x2)	2,6 ^{ns}	3,8*	1,8 ^{ns}	4,2*	2,4 ^{ns}
CV (%)	16,5	25,6	52,7	15,3	16,7

Em que: Dentro de cada fator, médias seguidas de letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância; ^{ns} = não significativo para os níveis testados; * = significativo a 5% de probabilidade de erro pelo Teste F; ** = significativo a 1% de probabilidade de erro pelo Teste F.

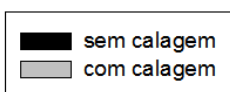
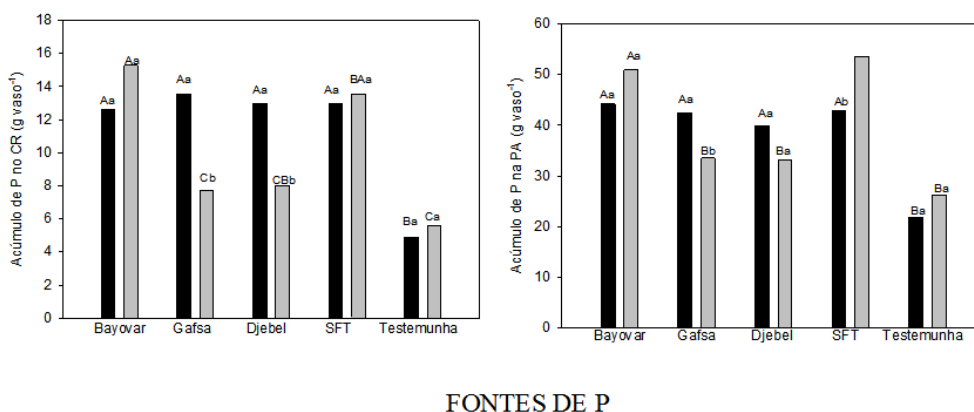


FIGURA 2: Interação dos tratamentos com os níveis de calagem para P acumulado no caule e ramos (PCR) e na parte aérea (PPA) de mudas de *Eucalyptus dunnii* após 110 dias de cultivo. Médias das fontes de P seguidas de letras maiúsculas ou minúsculas distintas diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de significância. Letras maiúsculas comparam os tratamentos nos níveis de calagem (sem e com calagem). Letras minúsculas comparam os níveis de calagem dentro de cada tratamento.

FIGURE 2: Interaction of P sources with liming levels to P uptake in stems and branches (PCR) and shoot (PPA) of *Eucalyptus dunnii* after 110 days of growing.

significativa entre as fontes de fósforo e a calagem (apresentando apenas efeito isolado) (Tabela 5), pode estar relacionada ao fato de que algumas espécies florestais apresentam grande variabilidade de comportamento em relação à acidez do solo (FURTINI NETO et al., 1999). Esse comportamento é importante e deve ser levado em conta no momento da implantação do florestamento, prevendo uso mínimo de corretivos em solos muito ácidos para algumas espécies (FURTINI NETO et al., 2000), sendo um detalhe importante do ponto de vista de sobrevivência das mudas no campo.

Correlação entre os métodos de extração de P do solo, produção de matéria seca e acúmulo de P nos tecidos de *Eucalyptus benthamii* e *Eucalyptus dunnii*

Os métodos Mehlich 3 (M3) e Resina Trocadora de Ânions (RTA) mostraram a quantificação de P condizente ao que se esperava estar disponível no solo para as plantas, confirmando a adequação destes dois métodos em solos fertilizados com FNs (Tabela 6). Por outro lado, o método de Mehlich 1 (M1) apresentou baixa correlação com os parâmetros de produção de matéria seca e acúmulo de P pelas plantas e esse comportamento é frequentemente relatado na literatura em função da superestimação da disponibilidade de P pelo método Mehlich 1 em solos com uso de FNs devido à composição de ácidos fortes do extrator químico (GATIBONI et al., 2003). Em contrapartida, a RTA extrai, em princípio, apenas as formas lábeis de P (SILVA & RAIJ, 1999) e o M3 é um método com ácidos fracos e agentes complexantes, reduzindo o problema de superestimação de P observado com o uso do M1 (TRAN et al., 1990).

Eficiência relativa média dos fosfatos naturais para *Eucalyptus benthamii* e *Eucalyptus dunnii*

A maior eficiência relativa (ER) dos FNs foi alcançada nos solos sem calagem, sendo que o tratamento com FN Djebel apresentou maior eficiência relativa média para MSPA (94,5%), em comparação às demais fontes de FNs (Tabela 7). Este melhor resultado obtido em solos sem calagem se deve ao fato de que ocorre maior dissolução dos FNs em pHs ácidos (ROBINSON & SYERS, 1990).

Como houve uma grande diminuição da ER média dos FNs de Gafsa e Djebel nos tratamentos com calagem em relação aos sem calagem, não se

TABELA 6: Coeficientes médios de correlação simples de Pearson entre a matéria seca total (MST) e o acúmulo de P total nas plantas (ACPT) entre os teores de P extraídos do solo pelos métodos de Mehlich 1 (M1), Mehlich 3 (M3) e Resina Trocadora de Ânions (RTA) em mudas de *Eucalyptus benthamii* e *Eucalyptus dunnii* após 110 dias de cultivo em casa de vegetação, submetidos às fontes de P e aos níveis de calagem.

TABLE 6: Correlation coefficients (Pearson) between the total dry matter (MST) and total P accumulation in plants (PT) between the levels of soil P extracted by the methods of Mehlich 1 (M1), Mehlich 3 (M3) anion exchange resin (RTA) in *Eucalyptus benthamii* and *Eucalyptus dunnii* after 110 days of cultivation in greenhouse under P sources and levels of lime.

	Coeficientes médios de correlação		
	M1	M3	RTA
MST	0,18 ^{ns}	0,66**	0,60**
PT	0,24 ^{ns}	0,74**	0,72**
M1		0,48**	0,40 ^{ns}
M3			0,62**

Em que: ** Significativo a 1% de probabilidade de erro; ns = não significativo para os níveis testados; N = 20.

indica o uso destes fosfatos em solos com correção da acidez (ROBINSON & SYERS, 1990), conforme discutido anteriormente. Nos tratamentos com calagem, o FN Bayovar teve desempenho superior aos demais, podendo este incremento ser devido à maior porcentagem de P solúvel em ácido cítrico (16%) em relação ao FNs de Gafsa e Djebel (9%), o que o torna mais semelhante aos fosfatos solúveis (Tabela 7). Portanto, para solos que receberam calagem, dentre os FNs testados, o Bayovar seria o único a ser considerado para uso nesta condição.

Os fosfatos solúveis, devido à alta solubilidade, liberam íons fosfatos ao solo de forma mais rápida e intensa e apresentam efeito imediato na produtividade das culturas florestais quando comparados aos FNs (SCHOLEFIELD et al., 1999; RAMOS et al., 2009). Entretanto, algumas vezes, ao longo de diversos anos, o efeito dos FNs pode ser similar (RESENDE et al., 2006) ou até mesmo

superior (BRAGA et al., 1991; SCHOLEFIELD et al., 1999) ao dos fosfatos solúveis, devido ao seu maior efeito residual, principalmente em cultivos de ciclo longo como no caso do eucalipto (FEITOSA et al., 1978).

TABELA 7: Eficiência relativa (ER) média de fosfatos naturais em relação à matéria seca da parte aérea (MSPA) de *Eucalyptus benthamii* e *Eucalyptus dunnii* após 110 dias de cultivo em casa de vegetação.

TABLE 7: Relative efficiency (RE) of phosphates in relation to dry matter of shoots (MSPA) for *Eucalyptus benthamii* and *Eucalyptus dunnii* after 110 days of cultivation in a greenhouse.

Fontes de P	ER média (%)	
	Sem calagem	Com calagem
Bayovar	74,6	65,1
Gafsa	91,3	23,6
Djebel	94,5	25,4

CONCLUSÕES

As plantas de *Eucalyptus benthamii* e *Eucalyptus dunnii* respondem à adubação fosfatada, porém, todas as fontes de fósforo são semelhantes entre si, provocando aumento na produção de matéria seca e no teor de P acumulado na parte aérea aos 110 dias de crescimento.

As plantas respondem pouco à calagem, mas o seu uso concomitante com fosfato solúvel ou fosfato natural Bayovar melhora o desempenho das mudas e aumenta o teor de fósforo no tecido das plantas de eucalipto no período analisado.

Os fosfatos de Gafsa e Djebel apresentam eficiência relativa semelhante ao superfosfato triplo no solo sem calagem, contudo, apresentam sua eficiência relativa reduzida nos solos com calagem. Para o solo com calagem, o fosfato Bayovar apresenta a melhor eficiência relativa.

Os métodos de extração de Mehlich 3 e Resina Trocadora de Ânions mostram-se apropriados para utilização em solos fertilizados com fosfatos naturais, enquanto o método de Mehlich 1 não é recomendado para tal situação.

AGRADECIMENTO

À FAPESC e CNPq pelo financiamento das bolsas e à Klabin S/A. pelo financiamento do projeto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, J. A. et al. Aplicação de calcário e fósforo e estabilidade da estrutura de um solo ácido. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 799 - 806, 2003.

ALCARDE, J. C. Fertilizantes. In: NOVAIS et al. **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 737 - 768.

BRAGA, N. R.; MASCARENHAS, H. A. A.; BULISANI, E. A.; RAIJ, B. van; FEITOSA, C. T. ; HIROCE, R. Eficiência agrônômica de nove fosfatos em quatro cultivos consecutivos de soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 15, p. 315-319, 1991.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO. **Recomendação de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. Sociedade Brasileira de Ciências do Solo. 10. ed. Porto Alegre, 2004. 400 p.

ERNANI, P. R. et al. Influência da combinação de fósforo e calcário no rendimento de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n. 3, p. 537 - 544, 2000.

ERNANI, P. R. **Química do solo e disponibilidade de nutrientes**. Lages, SC: O autor, 2008. 230 p.

FEITOSA, C. T. et al. Determinação preliminar da deficiência relativa de fosfato, para trigo, em casa de vegetação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 2, n. 3, p. 193-195, 1978.

FRANCO, A. A. Fixação de nitrogênio em árvores e fertilidade do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 19, s/n, p. 253 - 261, 1984.

FURTINI NETO, A. E. et al. A acidez do solo, crescimento e nutrição mineral de algumas espécies arbóreas, na fase de muda. **Cerne**, v. 5, n. 2, p. 1 - 12, 1999.

FURTINI NETO, A. E. et al. Fertilização em reflorestamento com espécies florestais nativas. In: GONÇALVES, J. L. de M.; BENEDETTI, V. (Ed.) **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2000. p. 351 - 383.

GATIBONI, L. C. et al. Superphosphate and rock phosphates as phosphorus sources for grass-clover pasture on a limed acid soil in southern brazil. **Communications in soil science and plant**

- analysis**, v. 34, Nos. 17-18, p. 2503-2514, 2003.
- GAVA, J. L. Efeito comparativo de fontes e doses de fósforo em plantios de eucalipto. **Relatório Técnico da Companhia Suzano de Papel e Celulose**, 2003. 25 p.
- GONÇALVES, J. L. M. Recomendações de adubação para *Eucalyptus*, *Pinus* e espécies típicas da Mata Atlântica. **Documentos Florestais**, Piracicaba, n. 15, p. 1-23, 1995.
- HOROWITZ, N.; MEURER, E. J. Eficiência agrônômica de fosfatos naturais. In: YAMADA, T.; ABDALA, S. R. S. **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba: Potafos, 2004. p. 665 - 682.
- KAMINSKI J, PERUZZO G., Eficácia de fosfatos naturais reativos em sistemas de cultivo. Fonte: **Núcleo Regional Sul da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Santa Maria - RS, 1997. 31p. (Boletim Técnico n. 3)
- LEAL, P. G. L. et al. Biomassa e conteúdo de nutrientes em *Eucalyptus grandis* influenciados pela aplicação de fosfatos naturais em solos de cerrado. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 12, p. 165-182, 1988.
- MEHLICH, A. Determination of P, Ca, Mg, K, Na and NH₄ by North Carolina Soil Testing Laboratoris. **Raleigh: University of North Carolina**, 1953. Mimeografado.
- MEHLICH, A. Mehlich 3 soil test extractant: A modification of Mehlich 2 extractant. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 15, p. 1409-1416, 1984.
- MOEDA, S.; BOGNOLA, I. A.; Efeito da calagem, do fosfato natural de Gafsa e superfosfato triplo no crescimento inicial e na absorção de fósforo em *Eucalyptus dunnii*. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, PR. v. 31, n. 68, p. 355-361, out/dez. 2011.
- MURPHY, J. RILEY, J. P. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. **Analytica Chimica Acta**, Oxford, v. 27, p. 31-36, 1962.
- NOVAIS, R. F.; RÊGO, A. K.; GOMES, J. M. Níveis críticos de fósforo para eucalipto. **Revista Árvore**, v. 6, n. 1, p. 29-37, 1982.
- NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J. Fontes minerais de fósforo. In: NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa: UFV, 1999. p. 123 - 164.
- RAIJ, B. van; CABALA-ROSARD, P; LOBATO, E. Adubação fosfatada no Brasil: apreciação geral, conclusões e recomendações. In: OLIVEIRA, A; LOURENÇO, S; GOEDERT, W. J. (Ed.). **Adubação fosfatada no Brasil**. Brasília, DF: EMBRAPA-DID, 1982. p. 9-28. (EMBRAPA-DID. Documentos, 21).
- RAMOS, S. J. et al. Biomass production and phosphorus use of forage grasses fertilized with two phosphorus sources. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 335-343, 2009.
- RESENDE, A. V. et al. Fontes e modos de aplicação de fósforo para o milho em solo cultivado da região do Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, p. 453-466, 2006.
- REZENDE, G. V. et al. Aplicação de fosfatos naturais em plantios de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden. **Revista Árvore**. Viçosa, v. 6, p.74-83, 1982.
- ROBINSON, J. S.; SYERS, J. K. A critical evaluation of the factors influencing the dissolution of Gafsa phosphate rock. **Journal of Soil Science**, Oxford, v. 41, p. 597-605, 1990.
- SAS Institute Inc® 2003 **SAS Ver. 9.1 . 3** SAS Institute Inc.: Cary, NC, USA. Lic. UDESC.
- SCHOLEFIELD, D. et al. A comparison of triple superphosphate and Gafsa ground rock phosphate fertilizers as P-sources for grass – clover swards on a poorly-drained acid clay soil. **Nutr. Cycl. Agroecosyst.**, v. 53, p. 147-155, 1999.
- SILVA, F. C.; RAIJ, B. V. Disponibilidade de fósforo em solos avaliada por diferentes extratores. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, p. 267-288, 1999.
- SILVA, C. A., RANGEL, O. J. P., BELIZÁRIO, M. H. Interação calagem-adubação fosfatada e sua influência nos níveis críticos de P e crescimento do eucalipto. **Scientia Forestalis**, n. 73, p. 63-72, mar. 2007.
- TEDESCO, M. J. et al. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174 p.
- TRAN, T. S. et al. Evaluation of Mehlich-III extractant to estimate the available P in Quebec Soils. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 21, n. 1, p. 1-28, 1990.