



Revista Brasileira de Ciência do Solo

ISSN: 0100-0683

revista@sbccs.org.br

Sociedade Brasileira de Ciência do Solo
Brasil

Simonete, Marcia Aparecida; Miler Chaves, Djalma; Almeida Teixeira, Claudia Fernanda; Moro, Leticia; Urbano Neves, Cíntia
FORNECIMENTO DE CÁLCIO PARA PLANTAS DE Eucalyptus saligna POR MEIO DE APLICAÇÃO DE RESÍDUO INDUSTRIAL LAMA DE CAL
Revista Brasileira de Ciência do Solo, vol. 37, núm. 5, 2013, pp. 1343-1351
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo
Viçosa, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180228849023>

- Como citar este artigo
- Número completo
- Mais artigos
- Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica

Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe, Espanha e Portugal
Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

Comissão 3.2 - Corretivos e fertilizantes

FORNECIMENTO DE CÁLCIO PARA PLANTAS DE *Eucalyptus saligna* POR MEIO DE APLICAÇÃO DE RESÍDUO INDUSTRIAL LAMA DE CAL⁽¹⁾

Marcia Aparecida Simonete⁽²⁾, Djalma Miler Chaves⁽³⁾, Claudia Fernanda Almeida Teixeira⁽⁴⁾, Leticia Moro⁽⁵⁾ & Cíntia Urbano Neves⁽⁶⁾

RESUMO

O resíduo industrial lama de cal, originado da produção de papel *kraft* branqueada de eucalipto, apresenta em sua composição quantidade considerável de cálcio (Ca), o que pode contribuir para reduzir o consumo de fertilizantes em plantios florestais. Com o objetivo de avaliar o efeito da lama de cal como fonte de Ca e seus efeitos sobre a disponibilidade de nutrientes e produção de matéria seca da parte aérea de plantas de eucalipto, foram conduzidos dois ensaios em vasos, em casa de vegetação, na área de pesquisa da Klabin Florestal do Paraná. Os solos utilizados foram um Neossolo Quartzarênico órtico (RQo) e um Nitossolo Vermelho eutroférrico (NV). Os tratamentos constituíram-se de duas fontes de Ca, calcário dolomítico e lama de cal, e de uma testemunha, sendo identificados como: RQo testemunha, RQo calcário e RQo lama de cal; e NV testemunha, NV calcário e NV lama de cal. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, com quatro repetições. Para tanto, plantas de *Eucalyptus saligna* foram mantidas por 126 dias em vasos. Quantificou-se a produção de matéria seca e realizaram-se as análises de folhas e dos solos, por ocasião da coleta das plantas. Os dados revelaram que tanto a adição de calcário dolomítico quanto a lama de cal promoveram o fornecimento de Ca para as plantas de eucalipto, proporcionando aumentos na produção de matéria seca. Os teores de Ca e Na nas folhas de eucalipto foram acrescidos com a adição do resíduo ao solo, em comparação com o tratamento com calcário dolomítico, enquanto os teores de N, P, K e S foram

⁽¹⁾ Trabalho apresentado no XXXII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. Recebido para publicação em 14 de fevereiro de 2013 e aprovado em 10 de julho de 2013.

⁽²⁾ Pós-Doutoranda do Curso de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Centro de Ciências Agroveterinárias – UDESC. Av. Luiz de Camões, 2090, CEP 88520-000 Lages (SC). Bolsista do CNPq. E-mail: maapasi@ig.com.br

⁽³⁾ PhD em Solos, Consultor da Klabin S.A. Fazenda Monte Alegre, s/n. CEP 84279-000 Telêmaco Borba (PR). E-mail: dm.chaves@terra.com.br

⁽⁴⁾ Professora Adjunta do Centro de Engenharias, UFPel. E-mail: cftexei@ig.com.br

⁽⁵⁾ Mestranda do Curso de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Centro de Ciências Agroveterinárias - UDESC. Av. Luiz de Camões, 2090. CEP 88520-000 Lages (SC). E-mail: leticia_moro@hotmail.com

⁽⁶⁾ Mestre em Ciência do Solo, Consultora da Yara Fertilizantes. Rua Bandeira Paulista, 275. CEP 04532-010 São Paulo (SP). E-mail: cintia.neves@yara.com

semelhantes. As plantas cultivadas nos tratamentos RQo testemunha e RQo lama de cal apresentaram teores foliares de Mg abaixo da faixa considerada adequada. A adição de lama no solo elevou o pH e as concentrações de Ca e de Na, reduziu o Al trocável e não influenciou na disponibilidade de Mg, fato que pode proporcionar deficiência de Mg às plantas, em solos com baixos níveis desse nutriente, conforme observado neste estudo.

Termos de indexação: resíduo industrial alcalino, nutrição florestal, sódio.

SUMMARY: CALCIUM SUPPLY FOR *Eucalyptus saligna* PLANTS BY THE APPLICATION OF INDUSTRIAL WASTE LIME SLUDGE

*The industrial waste lime sludge originated from the production of bleached kraft paper from eucalyptus, contains considerable amount of calcium, which can help reduce the consumption of fertilizers in forest plantations. To evaluate the effect of lime sludge as a Ca source and its effects on nutrient availability and shoot dry matter production of eucalyptus trees, two greenhouse experiments were conducted in the research area of Klabin, in Paraná. The soils were an Entisol quartzipsammous and an Alfisol paleudult. The treatments consisted of two Ca sources (dolomitic limestone and lime sludge), and a control, identified as: Entisol control, Entisol limestone, Entisol lime sludge and for the Alfisol: Alfisol control, Alfisol limestone, and Alfisol lime sludge. The experimental design was completely randomized with four replications. Seedlings of *Eucalyptus saligna* were grown for 126 days in pots. The dry matter production was quantified, shoot leaf analysis conducted and soil analyzed at harvest. The data revealed that both types of liming supplied the eucalyptus plants with Ca, increased by the residue application, compared with the treatment with dolomitic limestone, whereas the N, P, K and S contents remained similar. The foliar Mg contents of plants grown in the treatments Entisol control and Entisol lime sludge were below the range considered adequate. The addition of lime sludge increased soil pH and Ca and Na concentrations, reduced exchangeable Al and did not affect Mg availability; this latter fact can lead to Mg deficiency for plants in soils with low Mg levels, as observed in this study.*

Index terms: alkali industrial waste, forest nutrition, sodium.

INTRODUÇÃO

Os plantios comerciais de eucalipto no Brasil normalmente ocupam solos de baixa fertilidade natural (Barros & Novais, 1996), caracterizados pela pequena reserva nutricional, pelo baixo teor de nutrientes disponíveis para as plantas, pela acidez elevada, pelos altos teores de alumínio e de manganês, pela baixa saturação por bases e pela fração argila dominada por minerais de baixa capacidade de troca catiônica (Resende et al., 2007).

Aliando-se à baixa fertilidade natural, à alta demanda de nutrientes pelas florestas de eucaliptos (Reis et al., 1987; Stape et al., 2006) e considerando o fato de as rotações serem relativamente curtas, as fertilizações corretivas de implantação e manutenção vêm se tornando práticas indispensáveis para manter a produtividade florestal. Desse modo, o plantio sucessivo dessas áreas com espécies de grande produtividade e capacidade de extração de nutrientes tem grande impacto sobre as escassas reservas minerais dos solos, resultando em redução na produtividade do solo, quando não devidamente manejado.

De modo geral, o cálcio (Ca) é o segundo nutriente mais absorvido pela maioria das espécies florestais

(Barros et al., 1990). Na ordem dos nutrientes mais acumulados em componentes exportados da área de produção pela espécie de *Eucalyptus*, o Ca ocupa o primeiro lugar, em que aproximadamente 75 % desse elemento é exportado do sítio com a colheita do tronco (Santana et al., 2008). Portanto, ao longo de vários anos de cultivo, a exaustão de Ca no solo pode promover deficiência do nutriente para as plantas e limitar a produtividade dos próximos ciclos (Santana et al., 2002, 2008). Além disso, aplicações que fornecem relações inadequadas de Ca e de Mg resultam em desbalanceamentos nutricionais, podendo induzir deficiência nas plantas e comprometer o crescimento.

O suprimento de Ca em plantios florestais está normalmente vinculado à aplicação de calcário. Entretanto, a indústria de papel e celulose gera um resíduo denominado lama de cal, de reação alcalina e que se qualifica como possível substituto do calcário no aporte de Ca. Na produção de papel *kraft* branqueada de eucalipto, esse resíduo é originário da etapa de caustificação, no processo de recuperação do licor de cozimento, em que é utilizada a cal hidratada (Foelkel, 2011). O licor de cozimento utilizado na digestão da madeira é constituído principalmente por hidróxido de sódio em solução. Após passar por essa etapa, o hidróxido de sódio do licor é transformado em

carbonato de sódio. A recuperação é feita com a adição de cal hidratada, regenerando o hidróxido de sódio, que retorna ao processo de digestão da celulose, produzindo o resíduo lama de cal (Platte, 2002). Esporadicamente, o forno de cal sofre descarte de lama de cal, que é sólida, homogênea, de coloração cinza-clara, sem odor característico e constituída, predominantemente, por carbonato de cálcio (D'Almeida, 1981). Esse material poderia ser comparado a um calcário calcítico, embora esse produto apresente teores de MgO que variam, em média, entre 2,9 e 4,9 % e a lama de cal, teor de MgO menor que 1% (Stape & Balloni, 1988; Lourenço, 1997; Maeda et al., 2010).

Todavia, a aplicação sucessiva de lama de cal, ou mesmo calcário dolomítico, em solos naturalmente pobres, pode interferir na relação Ca:Mg, com efeitos negativos na nutrição e no crescimento das plantas. Isso é explicado pelo fato de que se o equilíbrio Ca:Mg não for adequado, há condições para a deficiência induzida de um dos nutrientes, como consequência de antagonismos na absorção, definidos por Mengel & Kirkby (2001) como competição entre íons tipo antagonismo de cátions. Contudo, segundo a CQFSRS/SC (2004), a maioria das culturas não tem o rendimento influenciado quando a relação Ca:Mg varia de 0,5:1 até 10:1, desde que os teores desses nutrientes não estejam deficientes.

A substituição do calcário por lama de cal pode ser limitada pelo alto teor de sódio (Na) presente nesse produto. A grande proporção de Na nos sítios de troca dos minerais de argila aumenta a espessura da dupla camada difusa, reduzindo a atração entre as partículas do solo, ocasionando expansão e dispersão (Korndörfer, 2006; Albuquerque et al., 2011). As partículas dispersas movem-se pelo solo ocupando os espaços porosos (Irvine & Reid, 2001), com consequente deterioração da estrutura do solo e da capacidade de infiltração de água e aeração (Rengasamy & Olsson, 1991). Em estudos utilizando-se resíduos alcalinos da indústria de papel com alto teor de Na, conduzidos por Bognola et al. (1997), Corrêa et al. (2007) e Almeida et al. (2008), não foram constatados efeitos negativos adversos no solo atribuídos ao Na, em razão das concentrações resultantes nele terem sido baixas, após a aplicação dos resíduos.

Dante do exposto, objetivou-se avaliar o potencial de fornecimento de Ca proveniente do resíduo industrial lama de cal, originado da clarificação do liquor branco da produção de papel *kraft* branqueada, bem como seus efeitos sobre a disponibilidade dos macronutrientes e Na e a produção de matéria seca da parte aérea de plantas de *Eucalyptus saligna*, cultivadas em dois solos com texturas distintas.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram conduzidos dois experimentos em casa de vegetação, no viveiro clonal da área de pesquisa da

Klabin Florestal do Paraná. Para tanto, coletaram-se amostras da camada de 0-20 cm de dois solos distintos, Neossolo Quartzarênico órtico (RQo) e Nitossolo Vermelho eutroférrego (NV), cujas características encontram-se no quadro 1.

Os tratamentos constituíram-se de duas fontes de cálcio, calcário dolomítico e lama de cal, e de uma testemunha, identificados como RQo testemunha, RQo calcário e RQo lama de cal; e NV testemunha, NV calcário e NV lama de cal, respectivamente para o RQo e NV.

As principais características químicas do calcário dolomítico utilizado são: CaO total = 28 %; MgO total = 13,5 %; PRNT = 84 %; e Na = 0,015 %; já as da lama de cal, CaO total = 49 %; MgO total = 0,50 %; PN = 96 %; ER = 85 %; e PRNT = 82 %. A caracterização química completa da lama de cal é apresentada no quadro 2. As análises químicas do calcário e da lama de cal foram realizadas no Laboratório de Análise de Solos da UFRGS, segundo métodos descritos por Tedesco et al. (1995).

Os experimentos seguiram o delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições, sendo as parcelas compostas por vasos com 14 kg de solo seco, passados em peneiras de malha 8 mm, distribuídas aleatoriamente em bancadas. Nos dois solos, a quantidade de calcário dolomítico adicionada foi o equivalente a 5 t ha⁻¹ (35,0 g/vaso). Para a lama de cal, a dose aplicada nos dois solos foi o equivalente à quantidade de Ca contida na dose de 5 t ha⁻¹ de calcário (24,1 g/vaso). Juntamente com a adição de calcário dolomítico e lama de cal, procedeu-se à aplicação de adubação mineral N, P e K (70 mg kg⁻¹ de N, 100 mg kg⁻¹ de P e 50 mg kg⁻¹ de K), em todos os tratamentos, nas formas de ureia, fosfato monoamônio e cloreto de potássio, respectivamente. Após, realizou-se o plantio de uma muda de *Eucalyptus saligna* (clone 2864) por vaso.

Após 70 dias do plantio das mudas, foi aplicada a adubação nitrogenada de cobertura (100 mg kg⁻¹ de N), na forma de ureia. A irrigação foi feita, colocando-se água suficiente para proporcionar ao solo umidade equivalente a 70 % da capacidade de retenção de água, sendo o monitoramento da umidade do solo realizado pela pesagem dos vasos. Após 126 dias do plantio das mudas de eucalipto, realizaram-se a colheita da parte aérea das plantas e amostragem dos solos. A parte aérea das plantas foi seca em estufa (55 °C) até massa constante e quantificada a produção de matéria seca. Para avaliação do *status* nutricional dos experimentos, efetuaram-se análises de tecido vegetal (folhas) e de solos, de acordo com Tedesco et al. (1995).

Os dados obtidos em cada experimento foram submetidos à análise de variância pelo teste F e comparados pelo teste de Tukey a 5 %, utilizando-se o software SAS® (SAS, 2003).

Quadro 1. Características do Neossolo Quartzarêncio órtico (RQo) e Nitossolo Vermelho eutroférreco (NV) utilizados no experimento

Solo	pH (H ₂ O)	Argila	MO	P	K	S	Ca	Mg	Na	Al	CTC _{efet.} ⁽¹⁾
— g kg ⁻¹ —											
RQo	3,9	120	14	3,1	10	6,9	0,3	0,1	0,02	1,9	2,35
NV	5,2	590	36	4,7	119	10,1	9,7	3,2	0,06	0,3	13,56

⁽¹⁾ CTC_{efet.}: capacidade de troca de cátions efetiva.

Quadro 2. Valores de pH, umidade, cinza, carbono orgânico (Corg.) e teores totais de elementos contidos na lama de cal, provenientes do processo de produção de papel *kraft* da Klabin, PR⁽¹⁾

pH (1:5)	Umidade ⁽²⁾	Cinza ⁽³⁾	Corg. ⁽⁴⁾	N ⁽⁵⁾	P ⁽⁶⁾	K ⁽⁶⁾	Ca ⁽⁶⁾	Mg ⁽⁶⁾	S ⁽⁶⁾
% — g kg ⁻¹ —									
10,8	19	970	5,5	0,2	1,7	0,8	310	3,3	3,0
Na ⁽⁶⁾	Fe ⁽⁷⁾	Mn ⁽⁷⁾	Zn ⁽⁸⁾	Cu ⁽⁹⁾	Cd ⁽¹⁰⁾	Cr ⁽¹⁰⁾	Ni ⁽¹⁰⁾	Pb ⁽⁸⁾	B ⁽¹¹⁾
— g kg ⁻¹ —									
14	1,2	451	29	12	0,3	25	19	< 2	3

⁽¹⁾ Resultados expressos na amostra seca a 65 °C; ⁽²⁾ Gravimétrica; ⁽³⁾ Queima a 550 °C/limite de detecção 0,1 %; ⁽⁴⁾ Combustão úmida/Walkey-Black/limite de detecção 0,1 %; ⁽⁵⁾ Kjeldahl; ⁽⁶⁾ Digestão nítrico-perclórica/ICP-OES/limite de detecção 0,01 %; ⁽⁷⁾ Digestão nítrico-perclórica/ICP-OES/limite de detecção 4 mg kg⁻¹; ⁽⁸⁾ Digestão nítrico-perclórica/ICP-OES/limite de detecção 2 mg kg⁻¹; ⁽⁹⁾ Digestão nítrico-perclórica/ICP-OES/limite de detecção 0,6 mg kg⁻¹; ⁽¹⁰⁾ Digestão nítrico-perclórica/ICP-OES/limite de detecção 0,2 mg kg⁻¹; ⁽¹¹⁾ Digestão nítrico-perclórica/ICP-OES/limite de detecção 0,4 mg kg⁻¹; e digestão seca/espec. abs. Mol./limite de detecção 1 mg kg⁻¹.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na figura 1, é possível observar que houve aumento significativo na produção de matéria seca da parte aérea (MSPA) de plantas de *Eucalyptus saligna* cultivadas no RQo, no tratamento que recebeu lama de cal (144 g/vaso), sendo aproximadamente de 28 e 238 % maior em relação ao tratamento com aplicação de calcário dolomítico e testemunha, respectivamente. Já para as plantas cultivadas no NV, a adição de calcário e lama de cal não proporcionou incrementos significativos na produção de matéria seca, em relação à testemunha, apresentando produções de 175, 174 e 145 g/vaso, respectivamente. A ausência de resposta na produção de MSPA das plantas de eucalipto, nos tratamentos do NV, provavelmente deve-se ao fato de que os teores iniciais de Ca e Mg nesse solo (9,7 e 3,2 cmol_c dm⁻³, respectivamente) (Quadro 1) serem considerados altos (CQFSRS/SC, 2004).

Já para o RQo, o aumento na produção de MSPA foi promovido pela aumento da quantidade de Ca absorvida (Figura 2d), uma vez que os teores de N, P, K e S nas folhas das plantas cultivadas nos dois solos (Figura 2a,b,c,f), independentemente dos tratamentos, encontraram-se dentro da faixa adequada para *Eucalyptus saligna*, conforme descrito por Boardman et al. (1997), cujas faixas são: 9 a 21 g kg⁻¹, para o N; 0,8 a 2,0 g kg⁻¹, para P; 8,5 a 15,0 g kg⁻¹, para K; e 1,4 a 2,0 g kg⁻¹, para S. Contudo, os maiores teores de N, P e K observados nas folhas das plantas cultivadas no

tratamento testemunha dos dois solos em estudo resultaram, provavelmente, da menor diluição desses nutrientes, pois esse tratamento apresentou menor produção de MSPA, em relação aos demais.

Não foi constatada diferença significativa no teor de Ca nas folhas das plantas cultivadas nos diferentes tratamentos do NV, onde variaram de 8,8 a 10 g kg⁻¹ (NV lama de cal e NV testemunha, respectivamente), diferentemente nos tratamentos do RQo, onde a adição de lama de cal promoveu maior teor de Ca (11,8 g kg⁻¹), seguido dos tratamentos RQo calcário (5,9 g kg⁻¹) e RQo testemunha (1,2 g kg⁻¹) (Figura 2d). Desse modo, apenas nas plantas cultivadas no RQo testemunha foi constatado teor de Ca abaixo da faixa adequada de 3,0 a 10 g kg⁻¹ (Boardman et al., 1997). A ausência de incrementos significativos nos teores de Ca nas folhas das plantas cultivadas no NV e nos teores abaixo da faixa adequada no RQo testemunha deveu-se ao teor disponível inicial de Ca nesses solos (Quadro 1). Para o NV, o teor de Ca foi considerado alto e para o RQo (0,3 cmol_c dm⁻³), baixo (CQFSRS/SC, 2004).

Considerando os teores de Mg para o NV, o tratamento NV calcário e o testemunha não diferiram entre si, 4,2 e 4,4 g kg⁻¹, respectivamente; porém, o tratamento NV lama de cal apresentou teor significativamente menor (3,4 g kg⁻¹). No RQo, o tratamento com calcário dolomítico evidenciou maior teor de Mg (5,5 g kg⁻¹), enquanto os tratamentos RQo testemunha e RQo lama de cal foram menores, 0,6 e 0,7 g kg⁻¹, respectivamente, não diferindo entre si (Figura 2e), sendo esses abaixo da faixa considerada

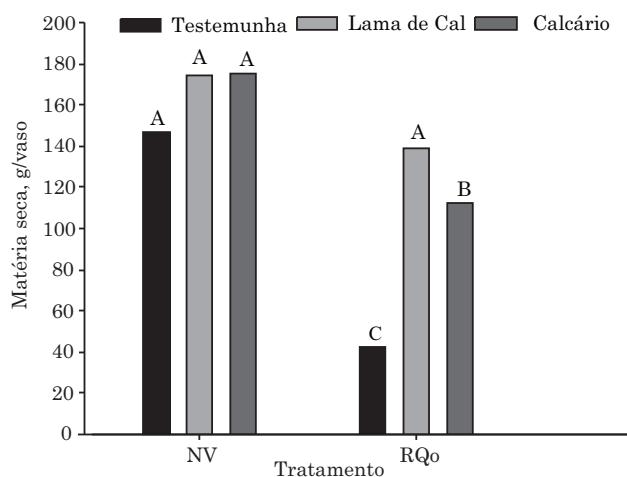


Figura 1. Produção de matéria seca da parte aérea de plantas de *Eucalyptus saligna* cultivadas em Nitossolo Vermelho eutroférico (NV) e Neossolo Quartzarênico órtico (RQo), em razão da aplicação de calcário dolomítico e lama de cal. Médias seguidas da mesma letra, no mesmo solo, não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5 %.

adequada por Boardman et al. (1997), que é de 2,0 a 4,0 g kg⁻¹. O baixo teor de Mg nesses dois tratamentos proporcionaram o aparecimento de sintomas visuais de deficiência na parte aérea das plantas. O teor a partir do qual o Mg é considerado deficiente nas plantas de *Eucalyptus dunnii*, segundo Boardman et al. (1997), é < 1,5 g kg⁻¹. Contudo, em estudo com o cultivo de clone híbrido de *Eucalyptus* spp., em solução nutritiva omitindo o Mg, foi observado sintoma visual de deficiência de Mg, quando os teores desse nutriente atingiram o nível de 0,8 g kg⁻¹ nas folhas das plantas (Silveira et al., 2002). O baixo teor de Mg determinado nas folhas das plantas cultivadas nos tratamentos RQo lama de cal e RQo testemunha deveu-se à baixa disponibilidade inicial de Mg nesse solo - 0,1 cmol_c dm⁻³ (Quadro 1).

Quanto ao teor de Na, a adição de lama de cal nos dois solos promoveu maior absorção desse elemento pelas plantas, onde os teores passaram de 0,7 g kg⁻¹ no NV testemunha para 1,5 g kg⁻¹ no tratamento NV lama de cal e de 1,2 g kg⁻¹ RQo testemunha para 3,6 g kg⁻¹ tratamento RQo lama de cal (Figura 2g). A presença de Na não constituiu problema para as plantas pouco sensíveis a esse elemento, como é o caso do *Eucalyptus* (Kozlowski, 1997). Além disso, o Na apesar de não ser elemento essencial para as plantas, vem despertando a atenção por seu papel na manutenção do turgor celular, economia de água e nutrição mineral de algumas plantas, podendo, inclusive, substituir o K em algumas de suas funções, em que não haja exigência absoluta dele (Malavolta, 1980). O efeito positivo da aplicação de Na sobre o crescimento de árvores de eucalipto plantadas em solo empobrecido em K foram observados por Sette Junior

(2010) e Almeida et al. (2010). Em estudo sobre aplicação de K e Na no crescimento e na qualidade do lenho de árvores de *Eucalyptus grandis*, Sette Junior (2010) constatou que as árvores que receberam aplicação de Na apresentaram incremento e volume de lenho superior a árvores-controle, sugerindo a possibilidade de utilização de adubação potássica associada ao Na.

Tanto a adição de calcário dolomítico quanto a de lama de cal proporcionaram aumentos significativos no teor de Ca no NV quanto no RQo. O teor variou, respectivamente, de 9,50 a 12,05 cmol_c dm⁻³, no NV testemunha e NV lama de cal, e de 0,13 a 2,43 cmol_c dm⁻³, no RQo testemunha e RQo calcário (Figura 3a). Segundo a CQFSRS/SC (2004), a classe de interpretação do teor de Ca no solo RQo testemunha passou de baixo para médio nos tratamentos RQo calcário e RQo lama de cal. Para o teor de Mg nos dois solos, somente os tratamentos que receberam calcário dolomítico tiveram seus valores acrescidos significativamente, em relação ao tratamento testemunha (Figura 3b). No solo NV, o teor passou de 3,1 para 5,38 cmol_c dm⁻³; no solo RQo, o teor passou de baixo (0,10 cmol_c dm⁻³) para alto (2,18 cmol_c dm⁻³), de acordo com a CQFSRS/SC (2004). O aumento do teor de Mg²⁺ nos dois solos, no tratamento com adição de calcário dolomítico, já era esperado, uma vez que apenas o calcário dolomítico continha quantidades significativas de MgO (13,5 %).

Considerando a relação Ca:Mg, no NV variou de 2:1 a 4:1, com a adição de lama de cal e calcário, respectivamente. Entretanto, no RQo, onde a relação passou de 1:1 (RQo testemunha) para 21:1 (RQo calcário), com a adição de lama de cal, essa relação enquadra-se acima do limite crítico, para o desenvolvimento normal das plantas (Malavolta, 1980; Rosolem et al., 1984). O desequilíbrio entre Ca e Mg no solo pode acentuar a deficiência de Mg, principalmente quando a relação Ca:Mg torna-se muito alta, onde a planta pode absorver menos esse elemento (Vitti et al., 2006; Medeiros et al., 2008). Além disso, o teor de Mg no solo, nos respectivos tratamentos, apresenta-se baixo (0,1 cmol_c dm⁻³), o que pode ser mais um fator agravante na disponibilidade e capacidade de absorção desse nutriente pelas plantas, uma vez que a carência dele pode ser acentuada quando o solo está no limite de deficiência (Lopes, 1998). Desse modo, para o uso de lama de cal em solos que contenham baixa disponibilidade de Mg, faz-se necessária a complementação do resíduo com esse elemento. Mesmo em solos que contenham relativa quantidade de Mg, o uso continuado de lama de cal em rotações sucessivas de plantios florestais sem a complementação desse nutriente, como é o caso do NV utilizado neste estudo, poderá promover depauperação de Mg do solo, podendo futuramente limitar a produtividade dos próximos ciclos de florestas.

A preocupação com o acúmulo de Na no solo, neste trabalho, pode ser descartada, pois, embora a lama de cal utilizada no experimento contenha considerável quantidade desse elemento em sua

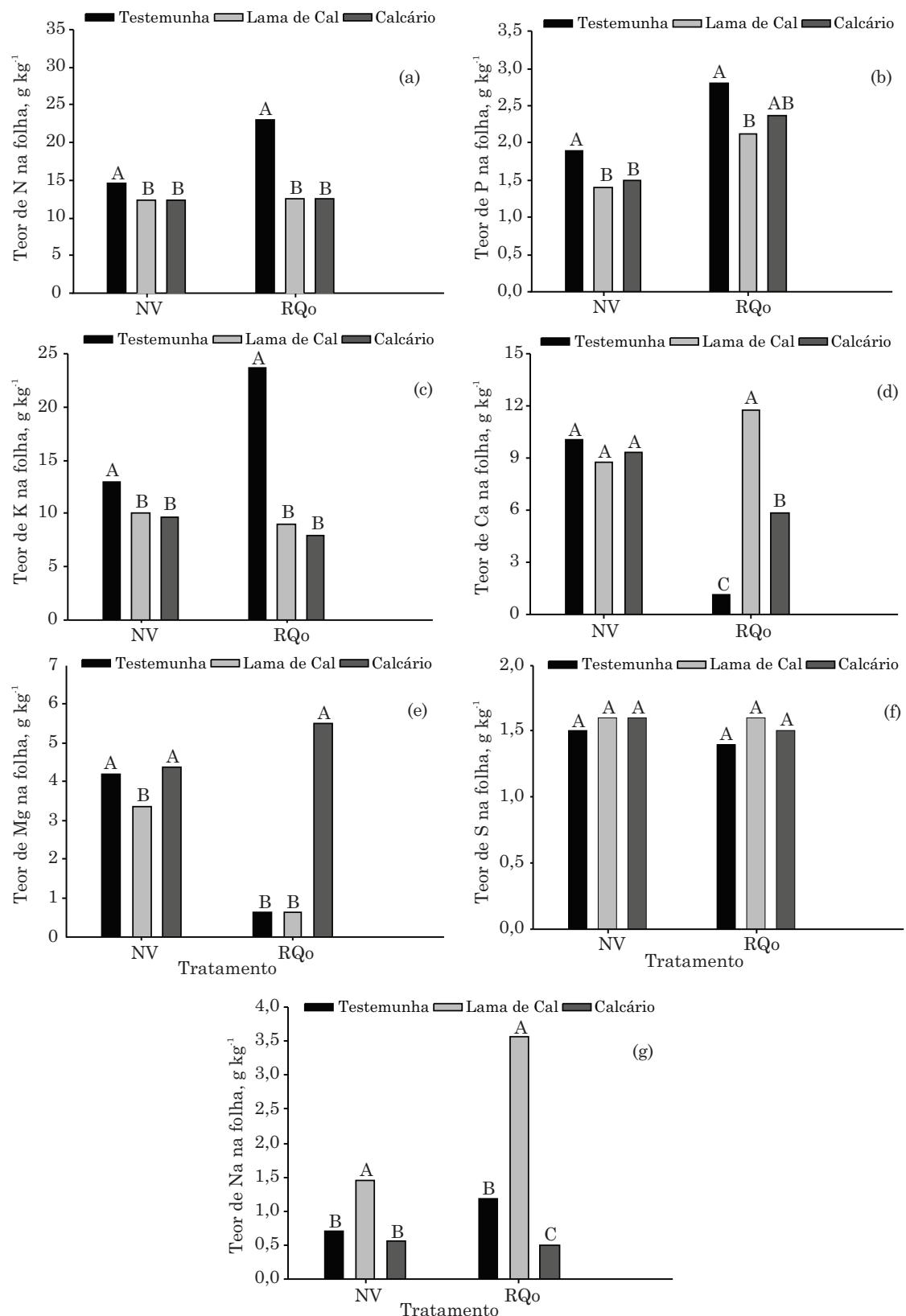


Figura 2. Teores de N (a), P (b), K (c), Ca (d), Mg (e), S (f) e Na (g) nas folhas de plantas de *Eucalyptus saligna* cultivadas em Nitossolo Vermelho eutroferrílico (NV) e Neossolo Quartzarênico órtico (RQo), em função da aplicação de calcário dolomítico e lama de cal. Médias seguidas da mesma letra, no mesmo solo, não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5 %.

composição (14 g kg^{-1}) (Quadro 2), apenas o NV apresentou acréscimo significativo no teor de Na (Figura 3c). Nesse solo, o teor variou de 0,10 a $0,15 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, respectivamente para o NV testemunha e NV lama de cal. O baixo aporte de Na nos dois solos, após o cultivo das plantas, é explicado pelo alto incremento desse nutriente na parte aérea das plantas que receberam o resíduo.

Ao estudar a influência da adição do resíduo alcalino lama de cal na lixiviação de cátions em um Cambissolo ácido, Almeida et al. (2008) verificaram que a elevação prévia do pH diminuiu substancialmente a lixiviação dos cátions, em decorrência do aumento das cargas elétricas negativas no solo. Esses autores relatam que, nas condições pluviométricas da região Sul do Brasil, o

Na adicionado pelo resíduo lixivia da camada arável em menos de um ano após sua aplicação e, portanto, não deve prejudicar os atributos químicos e físicos do solo.

Contudo, há que se considerar que tanto a adição de doses mais elevadas que a utilizada neste estudo quanto o uso frequente desse resíduo contendo Na podem proporcionar alterações desfavoráveis no solo. Em trabalho realizado por Medeiros et al. (2009), a aplicação superficial do resíduo alcalino da indústria de papel e celulose, com teor de Na de 17 g kg^{-1} , e doses de até $10,5 \text{ Mg ha}^{-1}$, reduziu linearmente o grau de floculação das argilas na camada superficial do solo e aumentou a relação molar entre Ca e Mg e do teor de Na, sem, entretanto, atingir o valor crítico de saturação da CTC por Na.

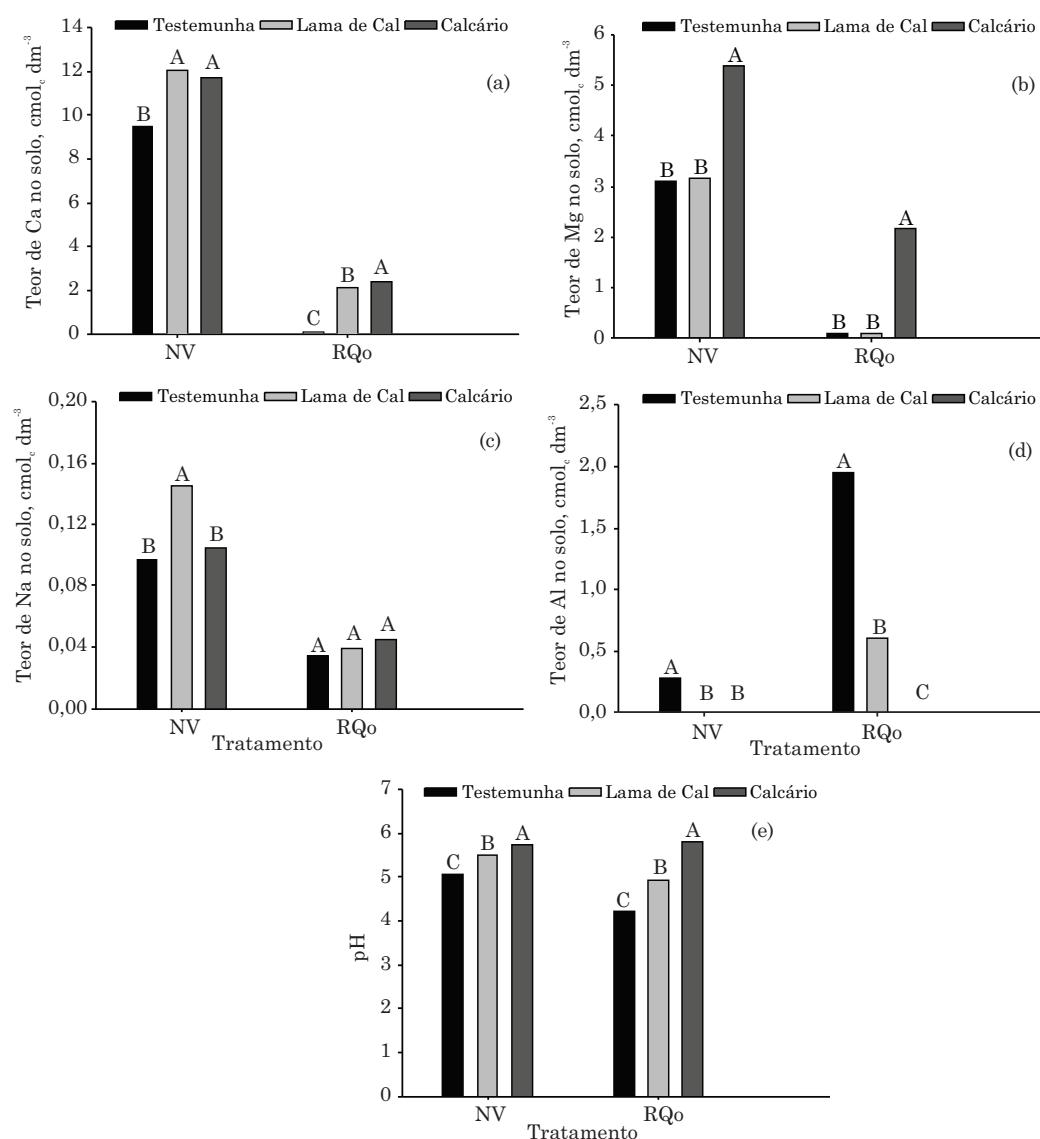


Figura 3. Teores de Ca (a), Mg (b), Na (c) e Al (d) e valor de pH (e) no solo, após cultivo de *Eucalyptus saligna* em Nitossolo Vermelho eutroférrego (NV) e Neossolo Quartzarênico órtico (RQo), em função da aplicação de calcário e lama de cal. Médias seguidas da mesma letra, no mesmo solo, não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5 %.

Quanto ao efeito dos tratamentos no pH dos dois solos utilizados, os que receberam calcário dolomítico apresentaram maior pH (NV calcário e RQo calcário = 5,8), seguidos dos com lama de cal (NV lama de cal = 5,5 e RQo lama de cal = 5,0) (Figura 3e). A elevação do pH do solo proporcionada pela adição de lama de cal nos dois solos é explicada pelo fato de que o resíduo apresentou alto poder de neutralização (96 %), indicado pelo teor de CaO (49 %) e pela eficiência relativa (85 %), considerado o seu alto grau de finura, conferindo-lhe um PRNT de 82 %. Entretanto, os tratamentos que receberam calcário dolomítico promoveram maior elevação do pH, em relação aos tratamentos que receberam lama de cal. Isso ocorreu por causa da dose de lama de cal aplicada ser calculada em função da quantidade de Ca contida na dose de 5 t ha⁻¹ do calcário dolomítico e não em função do equivalente à quantidade de CaCO₃, contida no calcário dolomítico. Trabalhos desenvolvidos por pesquisadores têm demonstrado desempenho da lama de cal semelhante ao do calcário na correção de acidez do solo, tendo o carbonato de cálcio como referência (Stape & Balloni, 1988; Lourenço, 1997; Corrêa et al., 2007; Medeiros et al., 2009).

Para o Al (Figura 3d), constatou-se que o teor trocável desse elemento diminuiu com a elevação do pH nos dois solos, sendo nula nos tratamentos em que o pH foi ≥ 5,50 (NV lama de cal, NV calcário e RQo calcário). Segundo Sousa et al. (2007), quando o pH determinado em água atinge valores próximos a 5,5, o Al trocável é reduzido a praticamente zero.

CONCLUSÕES

1. A lama de cal apresentou eficiência semelhante ao calcário dolomítico no fornecimento de Ca para as plantas de eucalipto e promoveu aumento da produção de matéria seca da parte aérea.

2. A aplicação do resíduo não alterou os teores foliares de N, P, K e S, enquanto o teor de Na foi acrescido, em comparação ao calcário dolomítico.

3. No solo, a aplicação do resíduo alcalino causou a elevação do pH e dos teores trocáveis de Ca e Na e redução do alumínio trocável.

4. A disponibilidade de Mg não foi alterada com a adição do resíduo; desse modo, a utilização de lama de cal, principalmente em solos com baixa disponibilidade de Mg, pode promover a deficiência desse nutriente às plantas, conforme observado neste estudo.

LITERATURA CITADA

ALBUQUERQUE, J.A.; MEDEIROS, J.C.; COSTA, A. & RENGEL, M. Aplicação de resíduo alcalino na superfície de Cambissolos. Bragantia, 70:888-898, 2011.

ALMEIDA, H.C.; ERNANI, P.R.; ALBUQUERQUE, J.A.; MACABÔ JÚNIOR, J. & ALMEIDA, D. Influência da adição de um resíduo alcalino da indústria de papel e celulose na lixiviação de cátions em um solo ácido. R. Bras. Ci. Solo, 32:1775-1784, 2008.

ALMEIDA, J.C.R.; LACLAU, J.P.; GONÇALVES, J.L.M.; RANGER, J. & SAINT-ANDRÉ, L. A positive growth response to NaCl applications in *Eucalyptus* plantations established on K-deficient soils. For. Ecol. Manage., 259:1786-1795, 2010.

BARROS, N.F. & NOVAIS, R.F. Eucalypt nutrition and fertilizer regimes in Brazil. In: ATTIWIL, P.M. & ADAMS, M.A., eds. Nutrition of *Eucalyptus*. Melbourne, CSIRO, 1996. p.335-355.

BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F. & NEVES, J.C.L. Fertilidade e correção do solo para o plantio de eucalipto. In: BARROS, N.F. & NOVAIS, R.F., eds. Relação solo Eucalipto. Viçosa, MG, Folha de Viçosa, 1990. p.127-86.

BOARDMAN, R.; CROMER, R.N.; LAMBERT, M.J. & WEBB, M.J. Forest plantation. In: REUTER, D.J. & ROBINSON, J.B., eds. Plant analysis: an interpretation manual. Collingwood, CSIRO, 1997. p.505-572.

BOGNOLA, I.A.; MAIA, C.M.B.F. & ANDRADE, G.C. Avaliação de lama de cal como material corretivo do solo. In: WORKSHOP SUL-AMERICANO SOBRE USOS ALTERNATIVOS DE RESÍDUOS DE ORIGEM FLORESTAL E URBANA, 1997, Curitiba. Anais... Colombo, Embrapa Florestas, 1997. p.125-128.

D'ALMEIDA, M.L.O. Celulose e papel: Tecnologia de fabricação de pasta celulósica. São Paulo, SENAI/IPT, 1981. v.1. 492p.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO RS/SC - CQFSRS/SC. Manual de adubação e de calagem para o Estado do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Porto Alegre, SBCS/Núcleo Regional Sul, UFRGS, 2004. 400p.

CORRÊA, J.C.; BÜLL, L.T.; CRUSCIOL, C.A.C.; MARCELINO, R. & MAUAD, M. Correção da acidez e mobilidade de íons em Latossolo com aplicação superficial de escória, lama cal, lodos de esgoto e calcário. Pesq. Agropec. Bras., 42:1307-1317, 2007.

FOELKEL, C. Os eucaliptos e os elementos não processuais na fabricação de celulose *kraft*. In: *Eucalyptus Online Book*. Disponível em: <http://www.eucalyptus.com.br/eucaliptos/PT24_ElementosNproces.pdf>. Acesso em: 9 dez. 2011.

IRVINE, S.A. & REID, D.J. Field prediction of sodicity in dryland agriculture in central. Aust. J. Res., 39:1349-1357, 2001.

KOZLOWSKI, T.T. Responses of woody plants to flooding and salinity. Tree Physiol. Monogr., 1:1-29, 1997.

KORNDÖRFER, G.H. Elementos benéficos In: FERNANDES, M.S., ed. Nutrição mineral de plantas. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p.355-374.

LOPES, A.S. Manual internacional de fertilidade do solo. 2.ed. Piracicaba, Potafos, 1998. 177p.

LOURENÇO, R.S. Curvas de neutralização de solo com lama de cal, comparada com CaCO₃ p.a. e calcário. Bol. Pesq. Flor., 35:49-57, 1997.

- MALAVOLTA, E. Elementos de nutrição mineral de plantas. São Paulo, Agronômica Ceres, 1980. 251p.
- MEDEIROS, J.C.; ALBUQUERQUE, J.A.; MAFRA, A.L.; BATISTELLA, F. & GRAH, J. Calagem superficial com resíduo alcalino da indústria de papel e celulose em um solo altamente tamponado. R. Bras. Ci. Solo, 33:1657-1665, 2009.
- MEDEIROS, J.C.; MAFRA, A.L.; ALBUQUERQUE, J.A.; ROSA, J.D. & GATIBONI, L.C. Relação cálcio:magnésio do corretivo da acidez do solo na nutrição e no desenvolvimento inicial de plantas de milho em um Cambissolo Húmico álico. Semina: Ci. Agron., 19:93-98, 2008.
- MENGEL, K. & KIRKBY, E.A. Principles of plant nutrition. 5.ed. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, 2001. 849p.
- MAEDA, S.; BOGNOLA, I.A. & SILVA, H.D. Efeito de resíduos da indústria de celulose e papel em características químicas relativas à fertilidade de um Cambissolo Húmico distrófico típico. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS - FERTBIO. 29., Guarapari, 2010. Anais... Guarapari, Cedago, 2010. CD-ROM
- PLATTE, E.B. Aplicação de lama de cal em solo de floresta de *Pinus taeda* e seus efeitos sobre a microbiota do solo e biodegradabilidade da serapilheira. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2002. 97p. (Dissertação de Mestrado)
- REIS, M.G.F.; BARROS, N.F. & KIMMINS, J.P. Acúmulo de nutrientes em uma sequência de idade de *Eucalyptus grandis* W. Hill (ex-Maiden) plantado no cerrado em duas áreas com diferentes produtividades em Minas Gerais. R. Árvore, 11:1-15, 1987.
- RENGASAMY, P. & OLSSON, K.A. Sodicity and soil structure. Aust. J. Soil Res., 29:935-952, 1991.
- RESENDE, M.; CURI, N.; REZENDE, S.B. & CORRÊA, G.F. Pedologia: Base para distinção de ambientes. 5.ed. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 2007. 330p.
- ROSOLEM, C.A.; MACHADO, J.K. & BRINHOLI, O. Efeito das relações Ca/Mg, Ca/K e Mg/K do solo na produção de sorgo sacarino. Pesq. Agropec. Bras., 19:1443-1448, 1984.
- SANTANA, R.C.; BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F.; LEITE, H.G. & COMERFORD, N.B. Alociação de nutrientes em plantios de eucalipto no Brasil. R. Bras. Ci. Solo, 32:2723-2733, 2008. (Número Especial)
- SANTANA, R.C.; BARROS, N.F. & NEVES, J.C.L. Eficiência de utilização de nutrientes e sustentabilidade da produção em procedências de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* em sítios florestais do estado de São Paulo. R. Árvore, 26:447-457, 2002.
- SAS Institute Inc.® SAS. Ver. 9.1.3. Cary, SAS Institute Inc. Lic. UDESC. 2003.
- SETTE JUNIOR, C.R.; TOMAZELLO FILHO, M.; DIAS, C. T. S. & LACLAU, J.P. Crescimento em diâmetro do tronco das árvores de *Eucalyptus grandis* W. HILL ex Maiden e relação com as variáveis climáticas e fertilização mineral. R. Árvore, 34:979-990, 2010.
- SILVEIRA, R.L.V.A.; MOREIRA, A.; TAKASHI, E.N.; SGARBI, F. & BRANCO, E.F. Sintomas de deficiência de macronutrientes e de boro em clones híbridos de *Eucalyptus grandis* com *Eucalyptus urophylla*. Cerne, 8:108-117, 2002.
- SOUZA, D.M.G.; MIRANDA, L.N. & OLIVEIRA, S.A. Acidez do solo e sua correção. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B. & NEVES, J.C.L., eds. Fertilidade do solo. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.205-275.
- STAPE, J.L. & BALLONI, E.A. O uso de resíduos na indústria de celulose e como insumos na produção florestal. IPEF, 40:33-37, 1988.
- STAPE, J.L.; BINKLEY, D.; JACOB, W.S. & TAKAHASHI, E.N. A twin-plot approach to determine nutrient limitation and potential productivity in eucalyptus plantations at landscape scales in Brazil. For. Ecol. Manage., 223:358-362, 2006.
- TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.; BOHNEN, H. & VOLKWEISS, S.J. Análise de solo, plantas e outros materiais. 2.ed. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p. (Boletim Técnico, 5)
- VITTI, G.C.; LIMA, E. & CICARONE, F. Cálcio, magnésio e enxofre. In: FERNANDES, M.S. ed. Nutrição mineral de plantas. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p.299-325.