

JANDEILSON ALVES DE ARRUDA

**RESÍDUOS DA INDÚSTRIA DE CELULOSE COMO CORRETIVO DA
ACIDEZ DO SOLO E FONTE DE CÁLCIO PARA EUCALIPTO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

**VIÇOSA
MINAS GERAIS-BRASIL
2010**

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

A779r
2010

Arruda, Jandeilson Alves de, 1985-

Resíduos da indústria de celulose como corretivo da acidez do solo e fonte de cálcio para eucalipto / Jandeilson Alves de Arruda. – Viçosa, MG, 2010.
ix, 20f. : il. ; 29cm.

Orientador: Nairam Félix de Barros.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f. 18-20.

1. Calagem dos solos. 2. Resíduos industriais. 3. Eucalipto - Teor de cálcio. I. Universidade Federal de Viçosa. II. Título.

CDD 22. ed. 631.81

JANDEILSON ALVES DE ARRUDA

**RESÍDUOS DA INDÚSTRIA DE CELULOSE COMO CORRETIVO DA ACIDEZ
DO SOLO E FONTE DE CÁLCIO PARA EUCALIPTO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

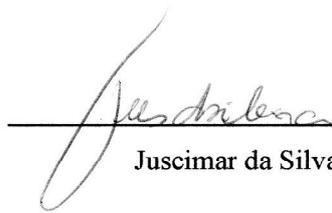
APROVADA: 23 de fevereiro de 2010.



Prof. Ivo Ribeiro da Silva
(Coorientador)



Prof. Roberto Ferreira de Noyais
(Coorientador)



Juscimar da Silva



Prof. Haroldo Nogueira de Paiva



Prof. Nairam Félix de Barros
(Orientador)

**“NÃO PERCA O RESTO DO TEMPO QUE AINDA TE RESTA.
NÃO PERCA TEMPO PENSANDO QUE A VIDA NÃO PRESTA.
CERTAS CANÇÕES DURAM POUCO, OUTRAS SÃO ETERNAS.”
(VANDER LEE)**

A DEUS

Aos meus queridos e amados pais Salomão e Lúcia

Aos meus irmãos Jailson, Janderlânia e Vanderlane

À minha amada Juliana

A todos os meus familiares e amigos

Dedico.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, pelo dom da vida e por tudo de bom que nela fez quando em Tuas mãos eu a entreguei Pai.

À Universidade Federal de Viçosa, principalmente ao Departamento de Solos (DPS), por tudo que me foi oferecido durante o curso.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos.

À Veracel Celulose S/A pelo auxílio financeiro e material.

Ao Professor Nairam Félix de Barros pela orientação, ensinamentos, paciência e compreensão das minhas dificuldades e limitações.

Aos professores Roberto Ferreira de Novais, Ivo Ribeiro da Silva, Victor Hugo Alvarez V., Júlio César Lima Neves e Haroldo Nogueira de Paiva pela contribuição nesse trabalho, conhecimentos transmitidos e exemplo de vida e profissionalismo.

Ao povo brasileiro pela oportunidade de receber de forma gratuita o conhecimento necessário a minha formação acadêmica.

Aos meus queridos pais por todo o apoio, amor, carinho, educação e humildade que sempre pregaram em minha vida. Sem vocês nada disto seria possível e eu não seria o homem que hoje sou.

Aos meus irmãos, pelo apoio, carinho, amor e companheirismo durante toda a minha vida, e pelo exemplo de dedicação e esforço de vocês.

À minha namorada Juliana pela paciência, apoio e confiança.

A todos os meus familiares que sempre me deram apoio.

A todos os funcionários do DPS pelo companheirismo e ajuda durante esses anos, sobretudo a Luciana, Carlos Fonseca, Cláudio, Benedito (Seu Benê), Fabinho, Jorge Orlando, Sônia, Beto, João Milagres, Ciro e Tiãozinho.

A todos os meus amigos, principalmente àqueles da minha turma de graduação, aos que fiz durante o mestrado e os de república que comigo dividiram muitos momentos, em especial a Enrique Miguel, Rodrigo, Luiz Francisco, Michelle, Carolina Brandani, Leonardo Campos, Jailson Cunha e Leonardo Sanguineti, Glauter, Keller e Damiana.

BIOGRAFIA

JANDEILSON ALVES DE ARRUDA, filho de Salomão Alves de Arruda e Francisca Lúcia do Carmo Alves, nasceu em Tabuleiro do Norte, CE, em 30 de Agosto de 1985.

Em 2003 iniciou o curso de Agronomia pela Universidade Federal da Paraíba, onde foi bolsista de Iniciação Científica e monitor da disciplina Gênese Morfologia e Classificação de Solos no Departamento de Solos e Engenharia Rural, recebendo o Prêmio Jovem Cientista como mérito pelo melhor trabalho das Ciências Agrárias do XIV Congresso de Iniciação Científica da UFPB e homenagem do CREA-PB pelo melhor desempenho acadêmico dos formandos em Agronomia do semestre 2007-2.

Em 2008 concluiu o curso recebendo o título de Engenheiro Agrônomo.

Em março de 2008 ingressou no curso de mestrado em Solos e Nutrição de Plantas no Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa, concluindo-o em março de 2010.

SUMÁRIO

RESUMO	vi
ABSTRACT	viii
INTRODUÇÃO	1
MATERIAL E MÉTODOS	3
RESULTADOS E DISCUSSÃO	6
CONCLUSÕES	17
LITERATURA CITADA	18

RESUMO

ARRUDA, Jandeilson Alves de, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2010. **Resíduos da indústria de celulose como corretivo da acidez do solo e fonte de cálcio para eucalipto.** Orientador: Nairam Félix de Barros. Co-orientadores: Roberto Ferreira de Novais e Ivo Ribeiro da Silva.

A suplementação de Ca em cultivos de eucalipto tem sido necessária em virtude da pobreza desse nutriente na maioria dos solos destinados ao reflorestamento e da elevada demanda de Ca pela cultura. Resíduos da indústria de celulose apresentam potencial para uso como fontes de Ca, porém precisam ter seu comportamento no solo e a resposta das culturas à sua aplicação mais bem estudados. Os objetivos desse trabalho foram avaliar os efeitos da aplicação de uma mistura de resíduos da indústria de celulose (CCM 40:4, composta de cinza de biomassa, dregs, grits e lama de cal) sobre alguns atributos químicos do solo e como fonte de Ca para o eucalipto, e seu efeito no crescimento inicial desta espécie. Um experimento de campo foi instalado, em Eunapólis-BA, em delineamento de blocos casualizados, com nove tratamentos, resultantes da combinação fatorial entre duas fontes de Ca (calcário dolomítico comercial e mistura CCM 40:4) e quatro doses de Ca (0,5; 1; 2 e 3 vezes a necessidade de suplementação de Ca estimada pelo Nutricalc para uma produtividade de $60 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$), além de um tratamento sem aplicação das fontes de Ca. As fontes foram aplicadas em área total, sem incorporação. Foram coletadas amostras de solo, nas camadas 0-10, 10-20 e 20-40 cm de profundidade para análise química aos 120 dias após aplicação dos tratamentos. Nessa mesma época foram coletadas amostras de folhas para análise de macro e micronutrientes. Um ano após o plantio, foram mensurados o diâmetro à altura do peito e a altura e o volume de tronco com casca estimado. Nas amostras de solos foram determinados o pH em água, Ca^{2+} , Mg^{2+} , Al^{3+} e Na^+ , e os teores disponíveis de K, P, Cu, Mn, Fe e Zn, Cr, Cd, Ni e Pb. Foi realizada análise de variância para cada profundidade de coleta, e os efeitos de doses foram avaliados por meio de análise de regressão. O pH e os teores de Al^{3+} , Ca^{2+} e Mg^{2+} do solo, nas três camadas analisadas, foram influenciados pela aplicação da mistura CCM 40:4, com redução do Al^{3+} e aumento dos demais elementos analisados. A aplicação da mistura CCM 40:4 causou aumento da disponibilidade de P na camada superficial e influenciou de forma cúbica a disponibilidade de K nas camadas mais profundas. Não houve influência da aplicação das fontes nos teores de Na^+ , Mn e Zn em nenhuma das camadas

estudadas. Porém, as fontes reduziram os teores de Fe disponível, 120 dias após sua aplicação. Houve resposta quadrática para os teores de Cu em virtude da aplicação das doses de Ca na forma de CCM 40:4. Os teores disponíveis de Cr, Cd, Ni e Pb extraídos pelo DTPA-TAE ficaram abaixo do limite de detecção do aparelho empregado. Não houve influência das doses de ambas as fontes no teor foliar de Ca, Mg, P e Zn aos quatro meses de idade, porém, esses teores encontram-se dentro da faixa de normalidade para a cultura do eucalipto. Para K houve aumento linear quando se utilizou a CCM 40:4, sem que houvesse alteração no teor deste nutriente quando se utilizou calcário. Para Fe houve redução no seu teor em função das doses. Não houve influência das doses de ambas as fontes na altura das plantas e no volume com casca. Conclui-se que a mistura de resíduos da indústria de celulose pode ser usada como corretivo da acidez e como fonte de Ca; a aplicação da mistura de resíduos não elevou os teores disponíveis de metais pesados e incrementou pequena quantidade de Na trocável; e que o Ca natural do solo juntamente com o aplicado via fosfato natural reativo atenderam a demanda inicial por Ca do eucalipto.

ABSTRACT

ARRUDA, Jandeilson Alves de, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2010. **Cellulose industry residues as corrective of soil acidity and source of calcium for Eucalyptus**. Adviser: Nairam Félix de Barros. Co-Advisers: Roberto Ferreira de Novais and Ivo Ribeiro da Silva.

Supplementation of Ca in eucalyptus plantations have been necessitated by the poverty of this nutrient in most soils for reforestation and the high demand for Ca by culture. Wastes from pulp industry have potential for use as sources of Ca, but need to have their behavior in soil and crop response to your application further studies. The objectives of this study were to evaluate the effects of applying a mixture of industrial waste cellulose (CCM 40:4, composed of biomass ash, dregs, grits and lime mud) on some soil chemical properties and as a source of Ca for eucalyptus and its effect on the growth of this species. A experiment was installed in Eunapolis-BA in a randomized block with nine treatments derived from a factorial combination of two sources of Ca (lime and CCM 40:4) and four doses of Ca (0, 5, 1, 2 and 3 times the need for supplemental Ca estimated by Nutricalc for a yield of $60 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$), plus a treatment without the application of the sources of Ca. The sources were applied in total area, without incorporation. Soil samples were collected at layers 0-10, 10-20 and 20-40 cm depth for chemical analysis at 120 days after treatment. Around this time, samples of leaves for analysis of macro and micronutrients. One year after planting, the diameter at breast height and height were measured and stem volume with bark estimated. In soil samples were analyzed for pH, Ca^{2+} , Mg^{2+} , Al^{3+} and Na^+ , and the levels of available K, P, Cu, Mn, Fe, Zn, Cr, Cd, Ni and Pb. Was performed analysis of variance each collection depth and the dose effects were assessed by regression analysis. The pH and Al^{3+} , Ca^{2+} Mg^{2+} soil in three layers examined were influenced by the application of CCM 40:4 mixture, reducing in Al^{3+} and increase other elements analyzed. The implementation of CCM 40:4 mixture caused increased availability of P in the surface layer and cubically influenced the availability of K in the deeper layers. There was no influence of application of the sources in the levels of Na, Mn and Zn in any of the studied layers. However, sources have reduced levels of Fe available, 120 days after application. There was a quadratic response to both Cu through the application of doses of Ca as CCM 40:4. The available contents of Cr, Cd, Ni and Pb extracted by DTPA-TAE were below the detection limit of the device used. There was

no influence of the doses of both sources in foliar Ca, Mg, P and Zn by four months of age, however, these levels were within the normal range for growing eucalyptus. For K linearly increased when using CCM 40:4, with no change in its nutrient content when using lime. For Fe there was a reduction in its content depending on the dose. There was no influence of the doses from both sources in plant height and volume with bark. We conclude that the mixing of wastes from pulp industry can be used as liming and as a source of Ca, the application of mixing did not increase the concentration of heavy metals available and increased small amount of Na⁺, and that the Ca natural soil along with the phosphate rock applied on the initial demand met by Ca eucalyptus

INTRODUÇÃO

Cálcio, de modo geral, é o segundo nutriente mais absorvido pelo eucalipto (Barros et al., 1990). No Brasil o conteúdo de Ca na parte aérea das árvores aos 6,5 anos de idade varia de 176 a 590 kg ha⁻¹, dependendo da região, considerando uma produção de biomassa de 100 t ha⁻¹ (Santana et al., 2008). Assim, dada a pobreza de Ca da maioria dos solos, sua suplementação é necessária para que altas produtividades sejam alcançadas. Além disso, a reposição do Ca retirado pela exploração é necessária para que a sustentabilidade do sistema seja mantida.

Os calcários são as principais fontes de Ca em cultivos florestais, entretanto, parte do Ca requerido pelas plantas é suprido pela aplicação do fosfato natural reativo da adubação fosfatada, que apresenta este nutriente em sua constituição. Porém, o uso de produtos alternativos, como resíduos industriais, que apresentam menor custo em comparação a essas fontes é crescente (Simonete et al., 2003; Almeida et al., 2007a).

O processo Kraft é o mais usado para produção de celulose no mundo (Chakar & Ragauskas, 2004). Vários resíduos sólidos e líquidos são gerados durante esse processo (Silva et al., 2009). Dentre os sólidos, podem ser citados dregs, grits, lama de cal, cinza de biomassa, biomassa de eucalipto, lodo primário e secundário da estação de tratamento de efluentes (Jordan & Rodriguez, 2004). Esses resíduos sólidos, geralmente, são dispostos em aterros sanitários, uma medida dispendiosa e com potencial de contaminação ambiental, ocupando grande espaço físico e demandando cuidados, para sua contenção, por parte das empresas (Bellote et al., 1998). Porém, os avanços no tratamento de resíduos nos últimos anos têm tornado possível o seu uso na agricultura, seja como fonte de nutrientes para as plantas ou como corretivo da acidez do solo (Mello & Vitti, 2002). Segundo Albuquerque et al. (2002) e Mieli (2007), alguns destes resíduos, e suas combinações, já são utilizados para correção da acidez do solo.

Os resíduos gerados durante o processo Kraft podem passar diferentes processos de tratamento e beneficiamento produzindo produtos comercializáveis. Dentre esses está a cinza cálcio-magnésio CCM 40:4, constituída basicamente de cinza de biomassa, grits, dregs e lama de cal, sendo esses resíduos ricos em Ca e, ou, Mg na forma de óxidos, hidróxidos ou carbonatos, o que a qualifica como substituta de calcários na correção da acidez do solo e fornecimento de Ca e Mg para plantas (Guerra, 2007; Almeida et al., 2007b; Silva et al, 2009).

Resíduos da indústria de celulose como substitutos do calcário já foram testados em diversas pesquisas, podendo ser melhores que o próprio calcário, já que possuem outros elementos essenciais às plantas (Almeida et al., 2007b).

Um dos primeiros trabalhos que avaliaram o efeito de resíduos da indústria de celulose como corretivo da acidez do solo e fonte de nutrientes no Brasil foi o de Stappe & Balloni (1988). Esses autores verificaram que a aplicação de lama de cal (6 t ha^{-1}) e cinza de biomassa (6 t ha^{-1}) aumentou o volume de tronco produzido e que a aplicação de lama de cal aumentou o teor de Ca no solo, elevou o pH e reduziu o Al^{3+} em um Neossolo Quatzarênico com 90 g dm^{-3} de argila.

O efeito da aplicação de cinza de biomassa também foi avaliado por Gonçalves & Moro (1995). Os autores observaram que o conteúdo de macronutrientes, principalmente Ca e K, nas plantas de *E. grandis* aumentou com a aplicação de 20 t ha^{-1} cinza de biomassa. Observaram também aumento no pH e nos teores de Ca, K e Mg trocáveis, P disponível, além de redução do Al^{3+} de um Latossolo Vermelho-Amarelo argiloso, em função da aplicação de doses crescentes ($0, 15, 30$ e 45 t ha^{-1}) de cinza de biomassa.

Avaliando a eficiência de neutralização da acidez do solo da lama de cal, Lourenço (1997) verificou resultados semelhantes aos encontrados com aplicação de CaCO_3 p.a. e de um calcário comercial em um Cambissolo de textura muito argilosa. Porém, o uso de 14 t ha^{-1} de lama de cal aumentou o teor de Na trocável no solo, indicando possíveis problemas futuros de dispersão de argila e comprometimento de características físicas pelo seu uso contínuo.

Analisando a composição química do Dregs, tendo em vista seu potencial corretivo e como fonte de contaminantes do solo, Almeida et al. (2007b) concluíram que esse material pode ser utilizado como corretivos de solo e fonte de Ca, Mg e alguns micronutrientes, sem que haja risco de contaminação de metais pesados a curto e médio prazo.

Aumentos no pH, na saturação por bases e nos teores de Ca até 40 cm foram verificados por Corrêa et al. (2007) três meses após aplicação superficial de lama de cal (8 t ha^{-1}) em colunas de solo com um Latossolo Vermelho distrófico textura média. Os autores concluíram que esse resíduo pode ser usado como corretivo da acidez do solo e que sua capacidade de neutralização se dá até mesmo em maiores profundidades (40 cm) favorecendo o deslocamento de Ca.

Mais recentemente, Medeiros et al. (2009) verificaram que a aplicação de doses crescentes de Dregs ($0; 2,6; 5,3$ e $10,5 \text{ t ha}^{-1}$) na superfície do solo melhorou as características químicas de um Cambissolo Húmico Hálico textura argilosa, sobretudo

nos primeiros 5 cm, aumentando o pH, os teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} , porém, também elevou os teores de Na^+ .

As fontes alternativas de Ca precisam ter seu comportamento no solo mais bem entendido, tendo em vista sua composição e as alterações nas características do solo e resposta das plantas causadas pela sua aplicação (Ferreira et al., 2003). Albuquerque et al. (2002) ressaltaram que nenhum critério vem sendo adotado para quantificar a dose recomendada, o que pode comprometer as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. Assim, trabalhos que avaliem os efeitos desses resíduos sobre características do solo e na nutrição de plantas são de grande valia.

Este trabalho teve como objetivos avaliar o efeito da aplicação de uma mistura de resíduos da indústria de celulose sobre alguns atributos químicos do solo e como fonte de Ca para eucalipto; e seu efeito no crescimento inicial do eucalipto.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em uma área de eucalipto em segunda rotação, da Veracel Celulose S/A, localizada no município de Eunápolis-BA ($16^{\circ}18'40''\text{S}$ e $39^{\circ}41'53''\text{W}$) e iniciado em outubro de 2008. O solo da área é classificado como Latossolo Amarelo, textura franco-arenosa (Quadro 1), com predomínio de caulinita na fração argila. A análise química do solo da camada 0-20 cm de profundidade apresentou: pH= 4,72; $\text{H}+\text{Al}= 4,50 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; $\text{Ca}^{2+}= 0,66 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; $\text{Mg}^{2+}= 0,35 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; $\text{Al}^{3+}= 0,48 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; $\text{K}= 32 \text{ mg dm}^{-3}$; $\text{P}= 1,9 \text{ mg dm}^{-3}$. A temperatura e a precipitação pluviométrica durante o período experimental são apresentadas no quadro 2.

Foram avaliados dois insumos: calcário dolomítico comercial (CD) e uma mistura de resíduos alcalinos da indústria de celulose, denominada cinza cálcio-magnésio (CCM 40:4) que apresenta relação $\text{CaO}:\text{MgO}$ 40:4 e é composta por cinza de biomassa, dregs, grits e lama de cal. O calcário dolomítico apresentou a seguinte composição química: $\text{CaO}= 289 \text{ g kg}^{-1}$, $\text{MgO}= 216 \text{ g kg}^{-1}$ e poder relativo de neutralização total (PRNT) de 90,9 %. Já a mistura CCM 40:4 era composta por $\text{CaO}= 443 \text{ g kg}^{-1}$, $\text{MgO}= 48 \text{ g kg}^{-1}$, $\text{P}_2\text{O}_5=4,6 \text{ g kg}^{-1}$, $\text{K}_2\text{O}= 13,3 \text{ g kg}^{-1}$, $\text{Na}= 12 \text{ g kg}^{-1}$ e PRNT= 58,7 %. Todas as análises para caracterização dos corretivos foram realizadas em material seco e segundo métodos descritos por MAPA (2007). Determinação dos teores totais (Brasil, 2006) e testes de lixiviação e solubilização (ABNT, 2004a e 2004b) foram realizados para avaliação do potencial contaminante da mistura de resíduos da indústria da celulose (Quadro 3).

Quadro 1- Frações granulométricas dos horizontes do solo utilizado no experimento

Horizonte	Profundidade inicial	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila
	cm				
		----- kg kg ⁻¹ -----			
A1	0	0,57	0,11	0,05	0,27
BA	14	0,35	0,11	0,05	0,49
Bw1	43	0,30	0,09	0,04	0,57
Bw2	98	0,23	0,09	0,03	0,65

Quadro 2- Temperatura e precipitação na área durante o período experimental

Mês/Ano	Temperatura (°C)			Precipitação (mm)
	média	mínima	máxima	
Outubro/2008	21,7	18,2	27,6	54,10
Novembro/2008	21,9	19,0	26,4	151,38
Dezembro/2008	22,1	19,5	26,5	140,47
Janeiro/2009	22,8	20,2	27,3	306,08
Fevereiro/2009	23,2	20,4	27,9	47,75

Quadro 3- Teores⁽¹⁾ de metais nos extratos lixiviado⁽²⁾ e solubilizado⁽³⁾ e totais⁽⁴⁾ da mistura CCM 40:4

Extrato	pH	----- mg L ⁻¹ -----							
		Cu	Mn	Fe	Zn	Cr	Ni	Cd	Pb
Lixiviado	6,84	0,007	0,319	0,018	0,000	0,000	0,070	0,000	0,000
Solubilizado	11,83	0,019	0,012	0,009	0,000	0,124	0,009	0,000	0,000

Teores totais							
Cu	Mn	Fe	Zn	Cr	Ni	Cd	Pb
----- mg kg ⁻¹ -----							
32,5	469,0	0,34	73,5	20,0	50,0	0,3	2,0

⁽¹⁾Determinados por espectrofotometria de absorção atômica; Spectra AA 220 FS/Varian; limites de detecção: Cu=0,1-24 mg L⁻¹; Mn=0,5-60 mg L⁻¹; Fe=1-100 mg L⁻¹; Zn=0,01-2 mg L⁻¹; Cd=0,02-3 mg L⁻¹; Cr=0,06-15 mg L⁻¹; Pb=0,1-30 mg L⁻¹; Ni=0,1-30 mg L⁻¹; ⁽²⁾NBR 10005/2004 ABNT; ⁽³⁾NBR 10006/2004 ABNT; ⁽⁴⁾ Digestão nitro-perclórica/ICP-OES (Brasil, 2006).

O experimento foi constituído por nove tratamentos oriundos da combinação fatorial entre dois insumos (CD e CCM 40:4), quatro doses de Ca (0,5; 1; 2 e 3 vezes a necessidade de suplementação de Ca estimada pelo software Nutricalc para 60 m³ ha⁻¹ ano⁻¹, correspondendo aos níveis N0,5; N1; N2 e N3) além de um tratamento sem aplicação de corretivo que correspondeu à testemunha ou N0. O delineamento

experimental foi de blocos casualizados, com quatro repetições e as unidades experimentais foram compostas por 63 plantas (7 linhas x 9 plantas) no espaçamento 5 x 2,4 m (756 m²). A área útil da parcela foi de 25 plantas (5 linhas x 5 plantas = 300 m²) e a área total do experimento foi de aproximadamente 2,72 ha.

As quantidades dos insumos foram definidas utilizando-se o software Nutricalc, que fornece o valor da necessidade de suplementação de Ca dada pela diferença entre a demanda do eucalipto e o suprimento via solo. A dose N1 foi calculada subtraindo-se da necessidade de suplementação de Ca (400 kg ha⁻¹ de Ca) a contribuição do Fosfato Natural Reativo (FNR), que foi utilizado na adubação de base (350 kg ha⁻¹). Assim, o N1 foi de 274 kg ha⁻¹ e os demais níveis 0,5; 2 e 3 vezes esse valor.

Antes da instalação do experimento, os resíduos da colheita foram removidos de área com auxílio de um trator de esteira contendo um ancinho acoplado na parte dianteira, com o objetivo de retirar a contribuição de Ca dos resíduos.

Depois da retirada dos resíduos, foi realizada subsolagem na linha de plantio, com auxílio de um trator de esteira, na profundidade de 90 cm, com aplicação do FNR. A seguir, foram aplicados 100 g de adubo NPK 06-30-06 para cada muda, em duas covetas laterais. Após isso foram aplicados superficialmente, sem incorporação, e em área total, os insumos dos tratamentos do experimento. Devido à presença de P, Mg e K na CCM 40:4 e de Mg no CD, houve a necessidade de se ajustar os teores destes nutrientes para os tratamentos em cada nível de Ca, individualmente por dose. Para isso, foram utilizados os seguintes insumos: magnesita (MgO), cloreto de potássio e FNR.

No plantio de eucalipto, realizado em 10 de outubro de 2008, foram utilizadas mudas clonais do material genético 865 (*Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*) da Veracel Celulose S/A.

Aos 120 dias após a instalação do experimento, foi realizada amostragem de solo, em cada parcela experimental, sendo coletada uma amostra composta por 10 amostras simples, obtidas em pontos distintos dentro da área útil de cada parcela. Foi utilizado um trado com 1,8 cm de diâmetro para retirar as amostras simples em três profundidades: 0-10, 10-20 e 20-40 cm.

As amostras de solo foram secas ao ar, destorroadas, passadas em peneira de 2 mm e submetidas às análises químicas. Foram determinados o pH em água (relação solo:solução 1:2,5), os teores de Ca²⁺, Mg²⁺, Al³⁺, extraídos com KCl 1 mol L⁻¹, na relação solo:extrator 1:10, sendo os primeiros dosados por espectrofotometria de absorção atômica e o Al³⁺ por titulometria; P, K, Na⁺ extraídos com Mehlich-1, na

relação solo:extrator 1:10, sendo o P dosado por colorimetria e os demais por fotometria de chama (Defelipo & Ribeiro, 1997), Cu, Fe, Zn, Mn, Cd, Cr, Ni e Pb extraídos pelo extrator DTPA-TEA (Raij et al., 2001) e dosados por espectrofotometria de absorção atômica. Aos 120 dias após a aplicação dos tratamentos foram coletadas também amostras compostas de folhas que foram secas ao ar e passadas em moinho do tipo Wiley para posterior análise química de macro e micronutrientes. Foram avaliadas, ainda, a altura e o diâmetro à altura do peito (DAP) das plantas e o volume de madeira produzido aos 360 dias após o plantio.

Foi realizada análise de variância para cada profundidade de coleta. O fator quantitativo (dose de Ca) foi analisado com ajuste de equações de regressão polinomial, usando o polinômio significativo de maior grau. O tratamento testemunha foi considerado como dose zero para o calcário e para a mistura de resíduos CCM 40:4.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve aumento no pH do solo em função das doses, nas três camadas avaliadas, apenas para CCM 40:4 (Figura 1), com elevação de pH nas camadas 0-10 e 10-20 cm para valores próximos a 6,5 na maior dose, enquanto que para a camada de 20-40 cm o pH chegou próximo a 6, mostrando que essa mistura é efetiva na neutralização da acidez também em camadas mais profundas.

O fato de não haver aumento do pH aos 120 dias após a aplicação do calcário não era esperado em virtude de seu elevado PRNT e da elevada precipitação durante o período experimental (Quadro 2), evidenciando que não houve limitação de umidade para a dissolução do corretivo. Moreira et al. (2001) verificaram que não houve aumento no valor de pH sete meses após a calagem superficial com calcário em área sob plantio direto por três anos. Por outro lado, Holzschuh (2007) verificou aumento no pH apenas na camada 0-5 cm 12 meses após aplicação superficial de calcário. A hipótese levantada para justificar tal fato é a de que, sendo a dissolução do calcário dependente da velocidade de retirada ou saída dos produtos dessa reação da solução do solo, principalmente de Ca, teria havido permanência do Ca nos primeiros centímetros do solo limitando, assim, a reação de dissolução.

A maior reatividade e capacidade da CCM 40:4 em neutralizar a acidez do solo pode ser explicada pela constituição química dos diversos materiais nela presentes.

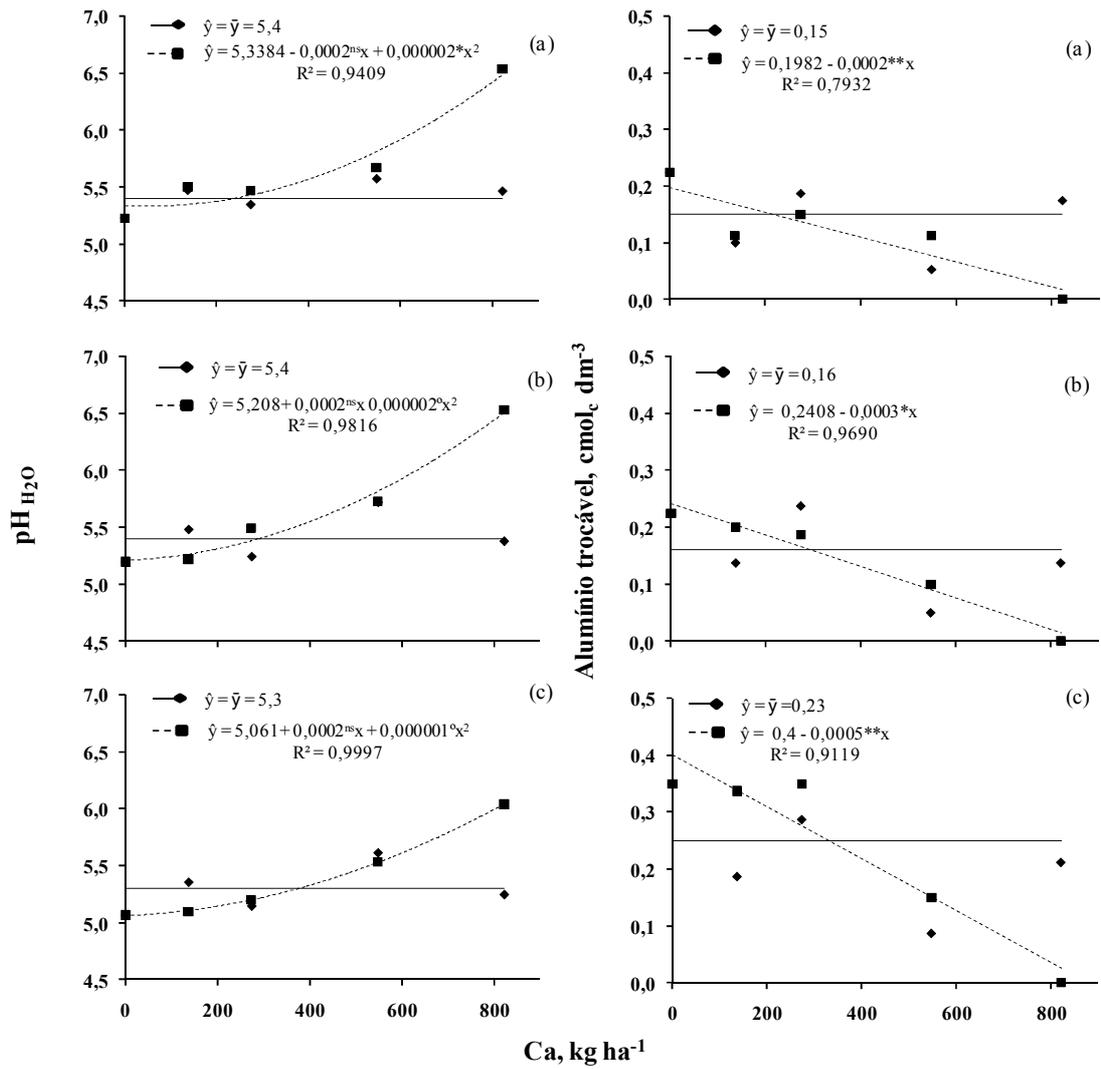


Figura 1- Valor de pH do solo e alumínio trocável, nas camadas 0-10 cm (a), 10-20 cm (b) e 20-40 cm (c) aos 120 dias após aplicação, em função da aplicação de doses de Ca na forma de calcário dolomítico (—◆) e CCM 40:4 (---■).

Segundo Almeida et al. (2007a e 2007b), o pequeno diâmetro das partículas de Dregs e elevada quantidade de ânions OH^- e HCO_3^- conferem a este resíduo e elevada reatividade e capacidade de neutralização da acidez. Corrêa et al. (2007) verificaram que 99,9 % das partículas de lama cal apresentam diâmetro inferior a 0,30 mm e, portanto, alta reatividade. Gonçalves & Moro (1995) observaram aumentos de aproximadamente 2,5 unidades de pH 120 dias após aplicação de 20 t ha^{-1} de cinza de biomassa, mostrando a grande capacidade de neutralização da acidez apresentada por esse resíduo. Corrêa et al. (2007) verificaram que a aplicação de 8 t ha^{-1} de lama de cal, foi eficiente na neutralização da acidez do solo até a camada de 0-40 cm de profundidade, e atribuíram esse efeito à elevada concentração de compostos resultantes da reação de neutralização, permitindo maior disponibilidade e possibilidade de deslocamento desses compostos e de uma frente alcalinizante em subsuperfície.

Vale salientar que o baixo PRNT (58,7 %) aponta para uma baixa reatividade da CCM 40:4, porém, este está ligado à formação de torrões que, apesar de solúveis, ficam retidos na peneira de 2 mm de malha e são considerados sem efeito de correção da acidez, indicando que o método proposto pela legislação vigente parece não refletir o verdadeiro potencial de reação e neutralização do produto.

O teor de Al^{3+} decresceu linearmente, devido as alterações do pH em resposta às doses, sendo o efeito de neutralização verificado apenas para a CCM 40:4, para a qual na dose mais elevada todo o Al^{3+} do solo foi neutralizado nas três camadas estudadas (Figura 2). Porém, não houve alteração no teor de Al^{3+} em resposta à aplicação das doses de calcário dolomítico. Esse fato pode ser explicado pela pequena dissolução do corretivo, conforme explicitado anteriormente.

O teor de Ca^{2+} não foi alterado pela aplicação das doses do calcário dolomítico. Entretanto, as doses da mistura CCM 40:4 elevaram os teores de Ca^{2+} de forma quadrática na camada de 0-10 cm e de forma linear nas demais camadas (Figura 2). O aumento na primeira camada foi de, aproximadamente, 50 % em relação à testemunha ao se utilizar a maior dose, com o teor de Ca^{2+} chegando a 1,5 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$. Nas demais camadas o aumento foi ainda maior, chegando a 95 e 67 % nas camadas 10-20 e 20-40 cm, respectivamente. O aumento do Ca^{2+} em profundidade, mesmo com a aplicação superficial do insumo, pode ser explicado pela presença de ânions como SO_4^{2-} e HCO_3^- no mesmo (Almeida et al., 2007b), além do Cl^- advindo do KCl presente na mistura NPK 5-30-6 usado na adubação de base, que apresentam grande mobilidade no solo, indicando a formação de par iônico (CaSO_4), de $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ e do efeito do ânion

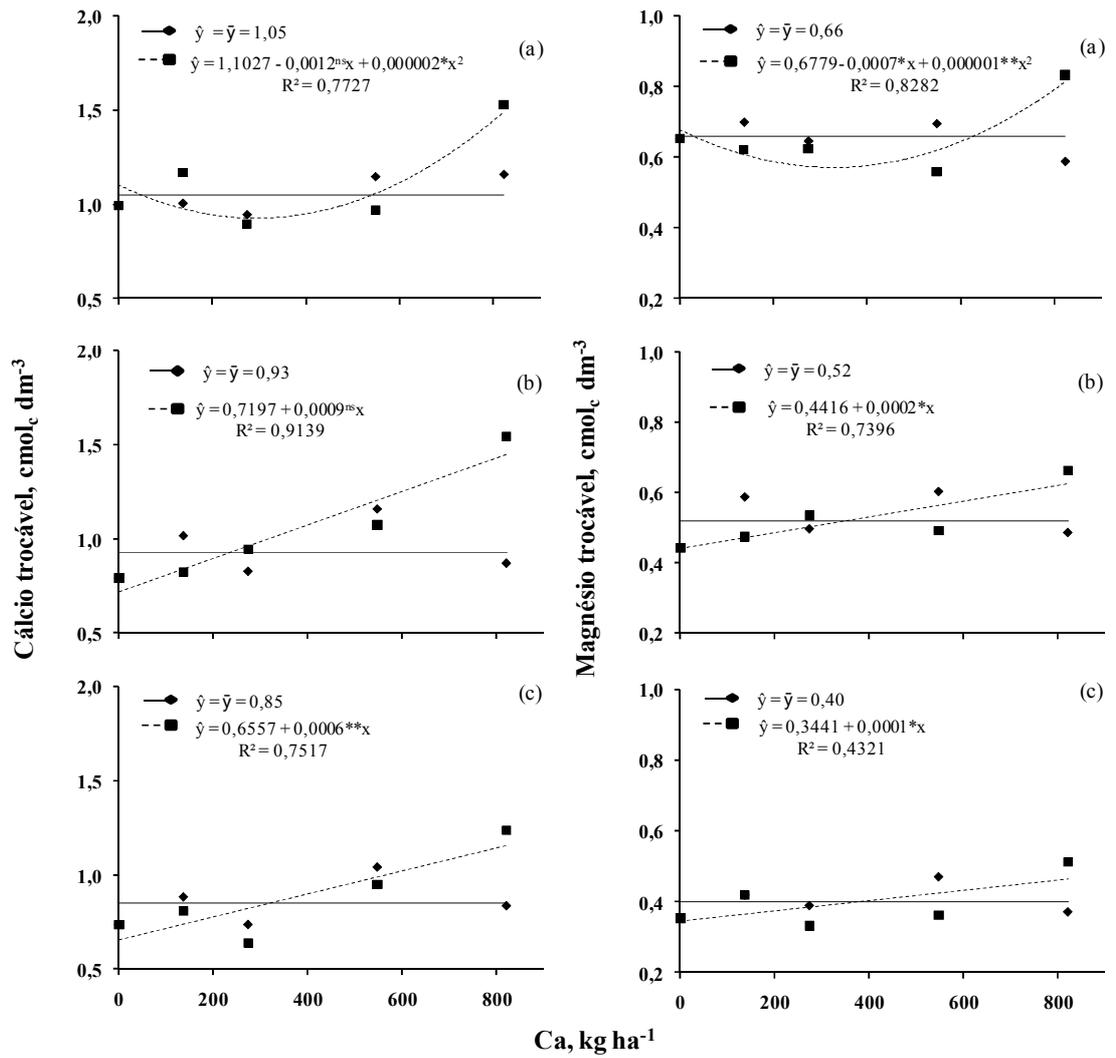


Figura 2- Cálcio e magnésio trocáveis, nas camadas 0-10 cm (a), 10-20 cm (b) e 20-40 cm (c) aos 120 dias após aplicação, em função da aplicação de doses de Ca na forma de calcário dolomítico (—◆) e CCM 40:4 (--■).

acompanhante que favorecem a mobilização do Ca^{2+} no perfil (Caires et al., 2000; Foloni & Rosolem 2006; Novais & Mello, 2007; Medeiros et al., 2009). O deslocamento de partículas por canais formados pelas raízes do eucalipto e das plantas de sub-bosque do cultivo anterior (Pavan et al., 1994) e insetos (Gassen & Kochhann, 1998), além da manutenção da porosidade do solo pelo não revolvimento do solo (Caires et al., 2000, Amaral et al, 2004), é outra possibilidade de aumento do Ca^{2+} nas camadas mais profundas.

Aumentos no teor de Ca^{2+} com uso de resíduos da indústria de celulose também foram encontrados por Medeiros et al. (2009) com a aplicação de Dregs, em que a maior dose fez com que o Ca^{2+} chegasse a $13 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ na camada superficial, e por Corrêa et al. (2007) que verificaram aumento de Ca^{2+} até 40 cm profundidade pela aplicação de lama de cal.

As alterações nos teores de Mg^{2+} seguiram a mesma tendência observada para o Ca^{2+} (Figura 2). Decorridos 120 dias após a aplicação da CCM 40:4, houve aumento quadrático do Mg^{2+} na primeira camada e linear nas camadas 10-20 e 20-40 cm, sendo o aumento percentual um pouco menor do que os encontrados para Ca^{2+} . Vale salientar o ajuste do teor de Mg para cada nível de Ca aplicado, devido à presença desse elemento no calcário, por meio da adubação com magnesita antes da aplicação dos tratamento, que pode ter contribuído com a maior parte do Mg^{2+} . Medeiros et al. (2009) verificaram aumento no teor de Mg^{2+} do solo nas camadas 0-5, 5-10 e 10-20 cm de profundidade com a aplicação isolada de Dregs, mostrando que há contribuição do resíduo para o aumento deste nutriente no solo. Levando em consideração os resultados desses autores, o fato de o calcário dolomítico também apresentar MgO na sua constituição e que este pouco reagiu, visto a não resposta de pH, Al^{3+} e Ca^{2+} , pode-se inferir que parte do aumento de Mg^{2+} foi devido a aplicação da CCM 40:4.

A aplicação do calcário dolomítico não alterou o teor de K nas camadas, mas a mistura CCM 40:4 influenciou de forma cúbica o teor deste nutriente nas duas camadas mais profundas (Figura 3). A razão para a forma dessa relação não é clara, embora a mesma seja consistente.

A aplicação das doses de calcário dolomítico não alterou os teores de P nas camadas avaliadas, porém, houve elevação do teor de P na maior dose da CCM 40:4, o que pode ter sido decorrente do aumento do pH do solo (Figura 3). A disponibilidade de P tende a aumentar com a elevação do pH do solo até a faixa de 6,5-7,0 pois nessa condição o potencial elétrico negativo das superfícies minerais aumenta causando repulsão entre as mesmas e os íons fosfatos (Novais et al., 2007) e as hidroxilas geradas competem pelos mesmos sítios de adsorção (Ernani, 2008).

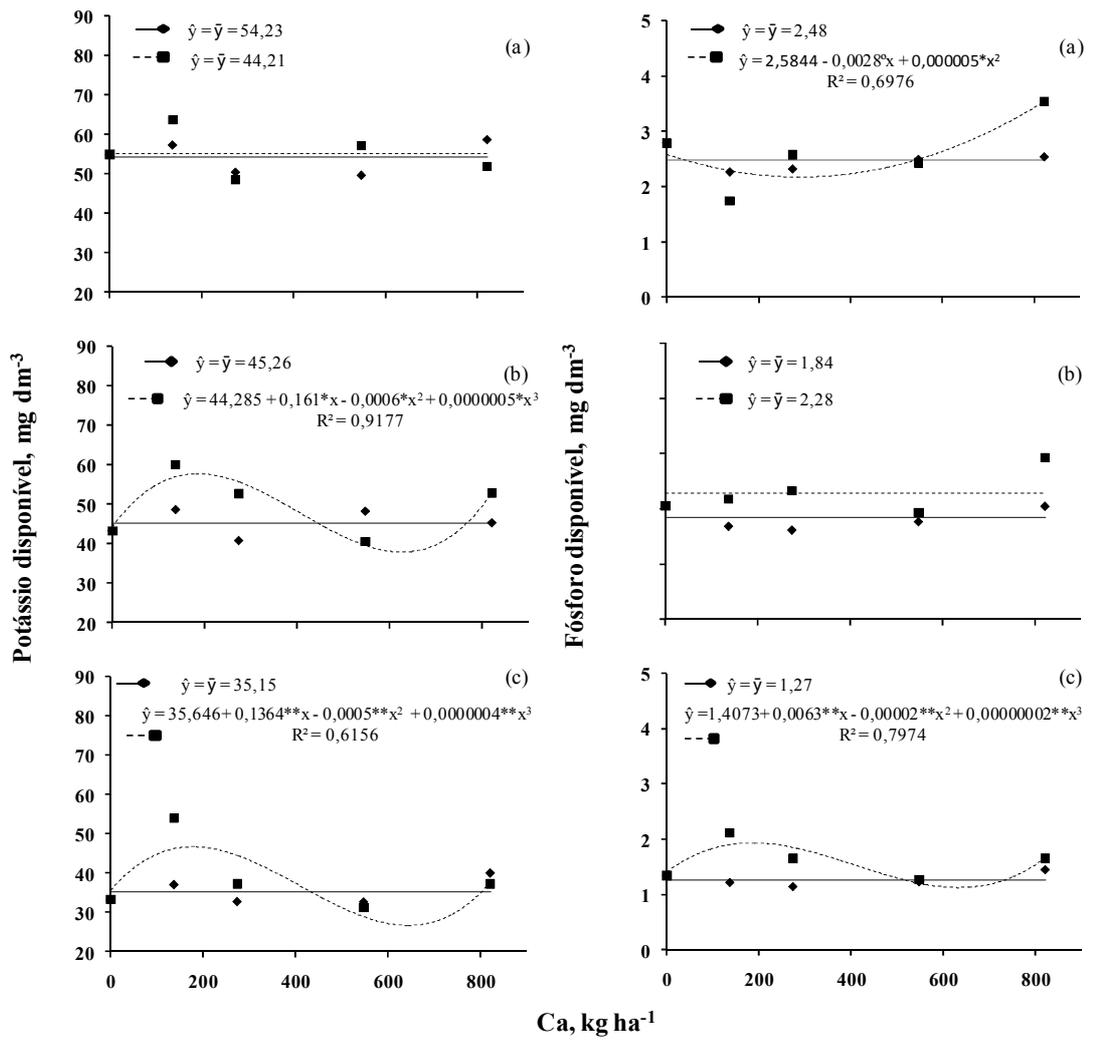


Figura 3- Potássio e fósforo disponíveis, nas camadas 0-10 cm (a), 10-20 cm (b) e 20-40 cm (c) aos 120 dias após aplicação, em função da aplicação de doses de Ca na forma de calcário dolomítico (—◆) e CCM 40:4 (--■).

A aplicação das fontes de Ca não elevou os teores de Na^+ em nenhuma das camadas avaliadas (Figura 4). Os incrementos nos teores de Na^+ foram muito pequenos chegando ao máximo de $0,08 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$. Assim, a preocupação expressa por diversos autores (Albuquerque et al., 2002; Santana et al., 2006; Almeida et al., 2007b; Almeida et al., 2008; Medeiros et al., 2009), quanto aos riscos de aumento no teor de Na^+ no solo pelo uso de alguns resíduos da indústria de celulose, não foi verificada neste estudo. Ou seja, os teores de Na^+ são baixos para causar dispersão de argila, redução na estabilidade de agregados, redução da porosidade e condutividade hidráulica. Esses resultados vêm mostrar que a utilização de misturas, com diferentes proporções, de resíduos da indústria de celulose como fonte de nutriente e, ou, corretivo da acidez do solo, pode representar uma opção para sua disposição sem riscos elevados de perda de qualidade dos solos pois há diluição da concentração de Na e, ou, outros elementos presentes em maior quantidade nos resíduos isolados.

Houve variação nos teores de Cu nas três camadas avaliadas quando se aplicou a CCM 40:4, sendo o efeito quadrático e maior nas camadas 0-10 e 10-20 cm (Figura 5). Isso não era esperado visto que a disponibilidade de Cu tende a diminuir com o aumento do pH (Abreu et al., 2001; Abreu et al., 2007; Ernani, 2008). Uma explicação para tal fato pode ser a presença deste nutriente nos resíduos (Almeida, 2007b), de modo que o aumento das doses também aumentou a disponibilidade de Cu, sendo o efeito do pH efetivo apenas na maior dose onde houve redução no teor de Cu mais intensa em pH a partir de 6,5.

O teor de Fe disponível foi reduzido nas três camadas para a CCM 40:4 e nas camadas 0-10 e 10-20 cm para o calcário (Figura 5). Para a CCM 40:4 essa redução na camada 0-10 cm foi quadrática, mostrando-se mais intensa com o aumento das doses, nas demais camadas a redução foi linear. Para o calcário, a redução apresentou tendência cúbica na primeira camada e quadrática na segunda, tendendo a aumentar com o aumento das maiores doses. Esse resultado não era esperando em virtude da ausência de resposta do pH à aplicação das doses de Ca na forma deste insumo. A redução da disponibilidade de Fe em resposta à aplicação das doses de Ca na forma de CCM 40:4 pode ser explicada pelo aumento do pH do solo (Abreu et al., 2007), de modo semelhante ao Al^{3+} , conforme observado neste trabalho.

Os teores de Mn e Zn não foram influenciados pelas doses das duas fontes de Ca (dados não apresentados). Para os metais pesados Cr, Cd, Ni e Pb (dados não apresentados) as concentrações dos extratos ficaram abaixo dos limites de detecção do

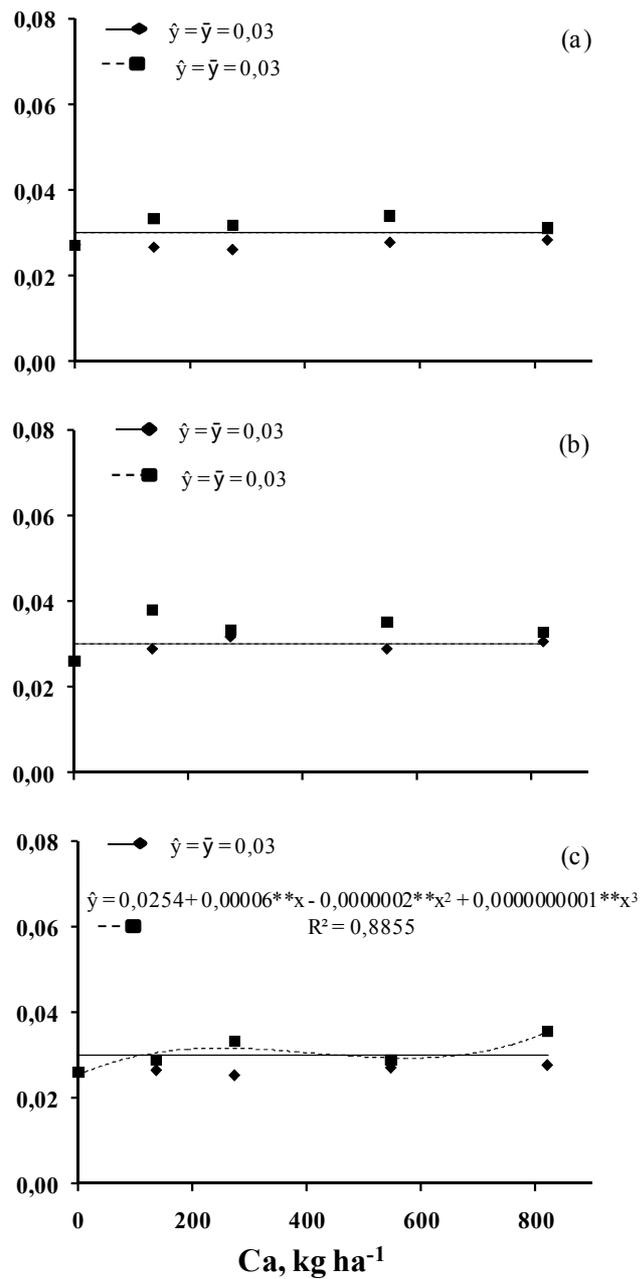


Figura 4- Sódio trocável, nas camadas 0-10 cm (a), 10-20 cm (b) e 20-40 cm (c) aos 120 dias após aplicação, em função da aplicação de doses de Ca na forma de calcário dolomítico (—◆) e CCM 40:4 (- -■).

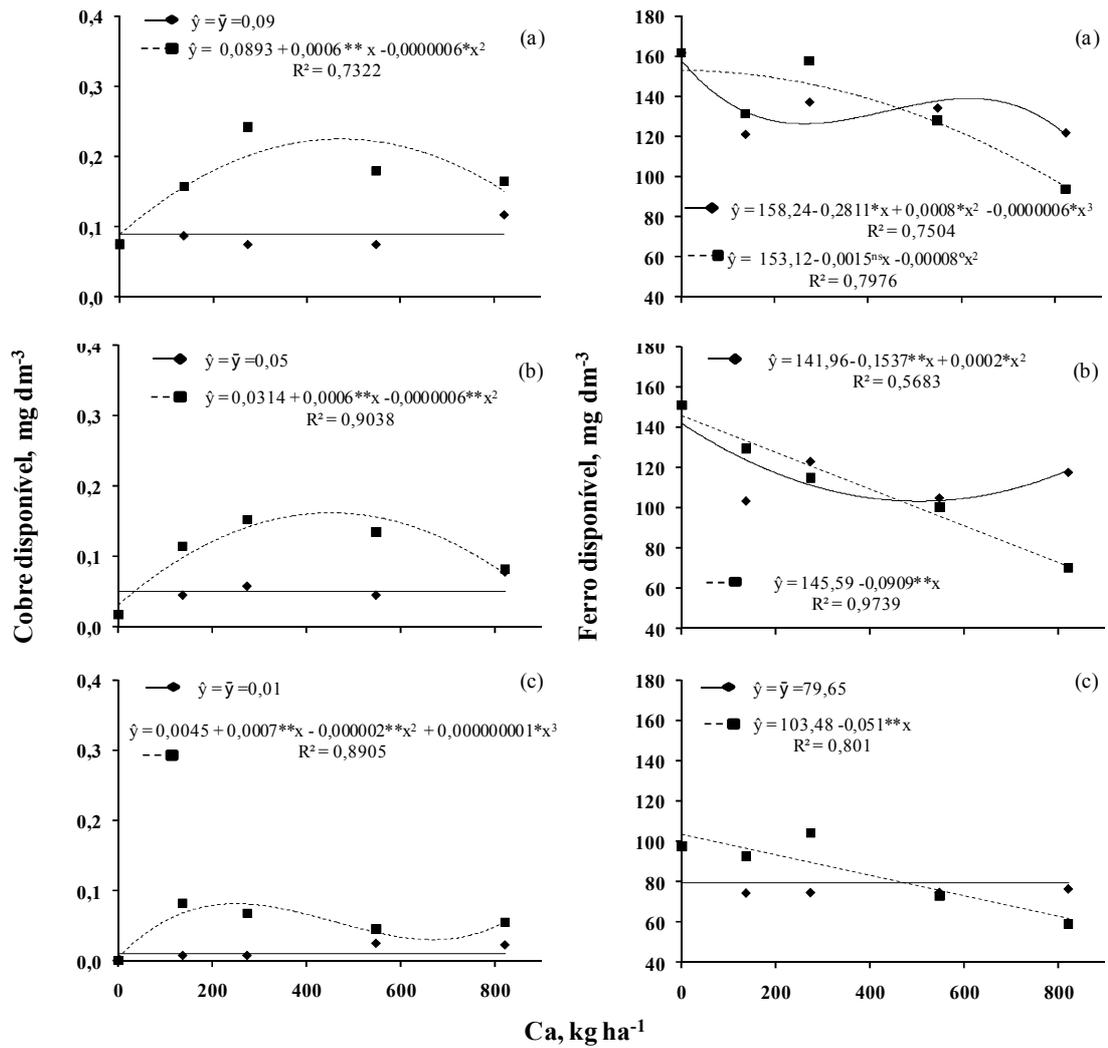


Figura 5- Cobre e ferro disponíveis, nas camadas 0-10 cm (a), 10-20 cm (b) e 20-40 cm (c) aos 120 dias após aplicação, em função da aplicação de doses de Ca na forma de calcário dolomítico (—◆) e CCM 40:4 (--■).

aparelho usado nas determinações ($Cd=0,02 \text{ mg L}^{-1}$; $Cr=0,06 \text{ mg L}^{-1}$; $Pb=0,1 \text{ mg L}^{-1}$; $Ni=0,1-30 \text{ mg L}^{-1}$). As concentrações desses elementos nos extratos obtidos nos testes de lixiviação e solubilização (ABNT 2004a e 2004b), bem como os teores totais (Quadro 2) ficaram abaixo dos limites estabelecidos pela NBR 10004 (ABNT 2004c) e da Instrução Normativa nº 27/2006 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Brasil, 2006) que fixa a concentração máxima admitida de metais pesados em corretivos e fertilizantes. Segundo Nurmesniemi et al. (2005), Pöykiö et al. (2006) e Almeida et al. (2007b), o uso de Dregs não apresenta risco de contaminação com metais pesados a curto e médio prazo, e os dados obtidos neste trabalho parecem indicar isso para o uso da mistura CCM 40:4, porém, mais trabalhos precisam ser realizados para confirmarem essa hipótese.

A aplicação do calcário dolomítico e da mistura CCM 40:4 não influenciou os teores foliares de Ca, Mg, P e Zn das plantas de eucalipto aos quatro meses de idade (Figura 6). Porém, vale salientar que a aplicação das doses de Ca na forma de CCM 40:4 também não causou redução na absorção desses nutrientes, visto que os teores até os quatro meses encontram-se na faixa de suficiência sugerida por Gonçalves (1995). A não resposta à aplicação das doses de Ca na forma de CCM 40:4 pode ser justificada pelo fato de nessa fase o crescimento da cultura ser ainda lento e, portanto, a demanda pelo nutriente pode ser suprida pelo teor natural de Ca no solo ($0,66 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) e o Ca aplicado via fosfato natural reativo.

O teor foliar de K não foi influenciado pela aplicação das doses de Ca quando aplicadas na forma de calcário dolomítico, porém, quando na forma de CCM 40:4, houve aumento linear no teor desse nutriente (Figura 6).

A aplicação de ambas as fontes de Ca reduziu o teor foliar de Fe das plantas de eucalipto aos quatro meses de idade (Figura 6). Isso ocorreu em virtude da redução do teor disponível desse elemento no solo com o aumento das doses de Ca.

As doses de Ca, independente da fonte, também não influenciaram a altura das plantas e o volume com casca das plantas de eucalipto após o primeiro ano de idade (Figura 7). Nessa fase o crescimento da planta ainda é lento e a demanda de nutrientes não é tão elevada, sendo o Ca natural do solo e o originado do FNR suficientes para suprir a planta, de modo que ainda não houve limitação ao crescimento. Espera-se que com o aumento da idade da floresta e, conseqüentemente, da produção de biomassa e demanda de nutrientes, respostas à aplicação das doses de Ca sejam evidenciadas .

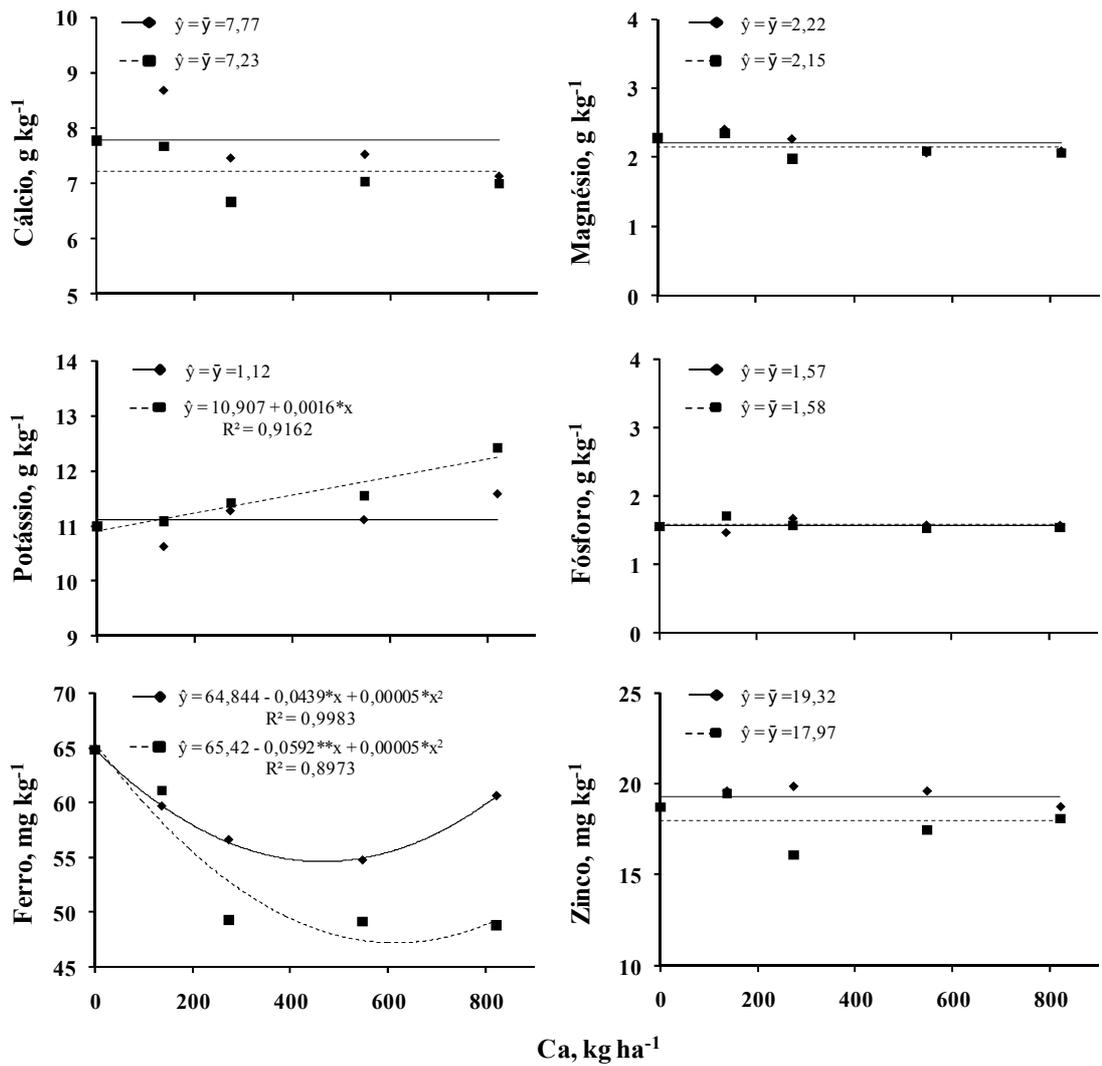


Figura 6- Teores foliares de cálcio, magnésio, potássio, fósforo, ferro e zinco do eucalipto em função de doses de Ca na forma de calcário dolomítico (—◆) e CCM 40:4 (--■) aos quatro meses de idade.

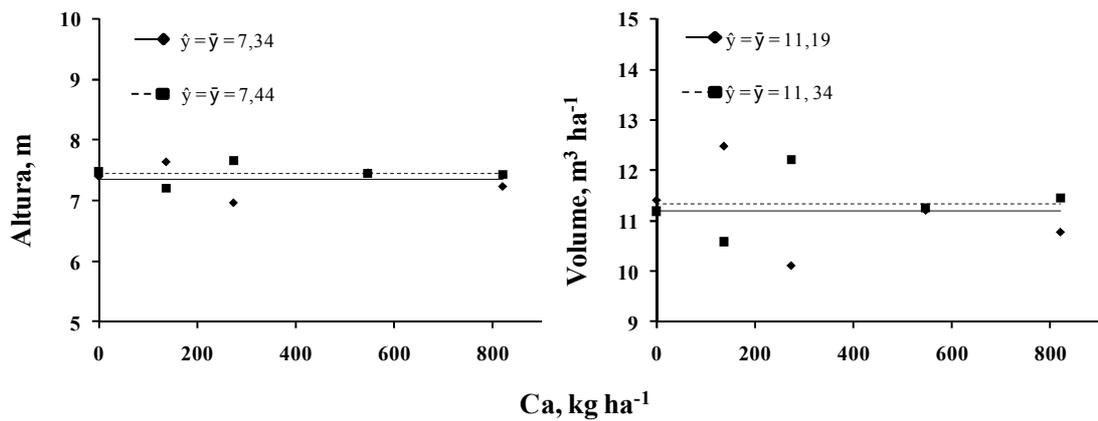


Figura 7- Altura e volume com casca do eucalipto com um ano de idade em função de doses de Ca na forma de calcário dolomítico (—●) e CCM 40:4 (--■).

CONCLUSÕES

A mistura de resíduos da indústria de celulose mostrou-se efetiva na correção da acidez do solo, neutralização do Al^{3+} e elevação dos teores de Ca, podendo ser utilizada em substituição aos calcários.

A aplicação da mistura de resíduos não elevou os teores disponíveis de metais pesados e incrementou pequena quantidade de Na trocável.

O Ca natural do solo juntamente com o aplicado via fosfato natural reativo atenderam a demanda inicial por Ca do eucalipto, não havendo resposta na nutrição e no crescimento das plantas à aplicação da mistura de resíduos.

LITERATURA CITADA

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas; Procedimento para a obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos, NBR-10005, 2004a.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas; Procedimento para a obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos, NBR-10006, 2004b.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas; Resíduos sólidos- Classificação, NBR-10005, 2004c.
- ABREU, C.A.; FERREIRA, M.E. & BORKERT, C.M. Disponibilidade e avaliação de elementos catiônico: zinco e cobre. In: FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C. P. ; RAIJ, B.V. & ABREU, C.A. Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura. Jaboticabal: CNPq/FAPESP/POTAFOS, 2001, p. 125 - 150.
- ABREU, C.A.; LOPES, A.S. & SANTOS, G. Micronutrientes. NOVAIS, R.F. ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B. & NEVES, J.C.L.. (Org.). Fertilidade do Solo. 1 ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007, p. 645-736.
- ALBUQUERQUE, J.A.; ARGENTON, J.; FONTANA, E.C.; COSTA, F.S. & RECH, T.D. Propriedades físicas e químicas de solos incubados com resíduo alcalino da indústria de celulose. R. Bras. Ci. Solo, v. 26, p.1065-1073, 2002.
- ALMEIDA, H.C.; ERNANI, P.R. MARIN, H.H.; ESCAPINI, E.H. & MECABÔ JUNIOR, J. Influência da adição de um resíduo industrial alcalino na velocidade de neutralização da acidez do solo, adsorção de sódio e disponibilidade de magnésio para o trigo. Ciências Agroveterinárias, v.6, p. 104-113, 2007a.
- ALMEIDA, H.C.; SILVEIRA, C.B.; ERNANI, P.R.; CAMPOS, M.L. & ALMEIDA, D. Composição química de um resíduo alcalino da indústria de papel e celulose (dregs). Química Nova, v.30, n.7, p. 1669-1672, 2007b.
- ALMEIDA, H.C.; ERNANI, P.R.; ALBUQUERQUE, J.A.; MECABO, 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, v. 32, p. 1775-1784, 2008.
- AMARAL, A. S.; ANGHINONI, I.; HINRICHES, R. & BERTOL, I. Movimentação de partículas de calcário no perfil de um cambissolo em plantio direto. R. Bras. Ci. Solo, v. 28, p. 359-367, 2004.
- BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F. & NEVES, J.C.L. Fertilização e correção do solo para o plantio de Eucalipto. In: BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F. (Org.). Relação solo-eucalipto. Viçosa, MG: Folha de Viçosa, 1990, p. 127-186.
- BELLOTE, A.F.J.; SILVA, H.D.; FERREIRA, C.A. & ANDRADE, G.C. Resíduos da indústria de celulose em plantios florestais. Boletim de Pesquisa Florestal, n. 37, p. 99-106, 1998.
- BRASIL. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Instrução Normativa nº 27. DOU 09/06/2006, sec. 1, p. 15, 2006.
- CAIRES, E.F.; BANZATTO, D.A. & FONSECA, A.F. Calagem na superfície em sistema plantio direto. R. Bras. Ci. Solo. v. 24, n. 1, p. 161-169, 2000.
- CHAKAR, F.S. & RAGAUSKAS, A.J. Review of current and future softwood kraft lignin process chemistry. Industrial Crops and Products, v. 20, p. 131-141, 2004.

- 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. Brasileira*, v. 42, p. 1307-1317, 2007.
- DEFELIPO, B.V. & RIBEIRO, A.C. Análise química do solo. Metodologia. Viçosa, UFV. Imprensa Universitária. 1997. 26p. (Boletim de Extensão 29).
- ERNANI, P. R.; NASCIMENTO, J. A. L.; CAMPOS, M. L. & CAMILLO, R. J. Influência da combinação de fósforo e calcário no rendimento de milho. *R. Bras. Ci. Solo*, v. 24, p. 537-544, 2000.
- ERNANI, P. R. Química do Solo e Disponibilidade de Nutrientes. 1. ed., 2008. 230 p.
- FERREIRA, A.S.; CAMARGO, F.A.O.; TEDESCO M.J. & BISSANI, C. A. Alterações de atributos químicos e biológicos de solo e rendimento de milho e soja pela utilização de resíduos de curtume e carbonífero. *R. Bras. Ci. Solo*, v. 27, p.755-763, 2003.
- FOLONI, J.S.S. & ROSOLEM, C. A. Efeito da calagem e sulfato de amônio no algodão. I - Transporte de cátions ânions no Solo. *R. Bras. Ci. Solo*, v. 30, p. 425-432, 2006.
- GASSEN, D.N. & KOCHHANN, R.A. Benefícios de insetos de solo sob plantio direto. In: NUERNBERG, N.J. (ed.). Conceitos e fundamentos do sistema plantio direto. Lages: SBCS - Núcleo Regional Sul, 1998, p. 151-160.
- GONÇALVES, J.L.M. & MORO, L. Efeitos da “cinza” de biomassa florestal sobre a produtividade de povoamentos puros de *Eucalyptus grandis* e avaliação financeira. *Scientia Florestalis*, n.48/49, p.18-27,1995.
- GUERRA, M.A.S. L. Avaliação de indicadores biológicos e físico-químicos no composto orgânico produzido a partir de resíduos da indústria de celulose. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2007. 61 p. (Dissertação de Mestrado)
- HOLZSCHUH, M.J. Eficiência do calcário calcítico e dolomítico na correção da acidez de solos sob plantio direto. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 2007. 85 p. (Tese de Mestrado)
- JORDAN, M & RODRIGUEZ, E. Effect of solid residues from the cellulose industry on plant growth. *J. Plant Nutr. Soil Sci*, v. 167, p. 351-356, 2004.
- LOURENÇO, R.S. Curvas de neutralização de solo com lama de cal, comparada com CaCO₃ p.a. e calcário. *Boletim de Pesquisa Florestal*, n. 35, p.49-57, 1997.
- 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*, v. 33, p. 1657-1665, 2009.
- MELLO, S. C. & VITTI, G. C. Influência de materiais orgânicos no desenvolvimento do tomateiro e nas características químicas do solo em ambiente protegido. *Hort. Bras.* v. 20, p.452-458, 2002.
- MIELI, J.C.A. Sistema de avaliação ambiental da indústria de celulose e papel. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2007. 99p. (Tese de Doutorado)
- MAPA-MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Métodos Analíticos Oficiais para Fertilizantes Mineraiis, Orgânicos, Organo-Mineraiis e Corretivos (Instrução Normativa nº 28/2007). Disponível em: <<http://extranet.agricultura.gov.br/sislegis-consulta/servlet/VisualizarAnexo?id=13105>> Acesso em: 14 de fevereiro de 2008.

- MOREIRA, S.G.; KIEHL, J.C.; PROCHNOW, L.I. & PAULETTI, V. Calagem em sistema de semeadura direta e efeitos sobre a acidez do solo. R. Bras.Ci. Solo, v. 25, p. 71-82, 2001.
- NOVAIS, R.F.; MELLO, J.W.V. Relação solo-planta: transporte de nutrientes no solo. In: NOVAIS, R.F. ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B. & NEVES, J.C.L. (Org.). Fertilidade do Solo. 1 ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007, p.170-186.
- NOVAIS, R. F.; SMYTH, J. T. & NUNES, F. N. Fósforo. In: NOVAIS, R.F. ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B. & NEVES, J.C.L. (Org.). Fertilidade do Solo. 1 ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007, p. 471-550.
- NURMESNIEMI, H.; PÖYKIO, R.; PERÄMÄKI, P. & KUOKKANEN, T. The use of a sequential leaching procedure for heavy metal fractionation in green liquor dregs from a causticizing process at a pulp mill. Chemosphere, v.61, p.1475-1484, 2005.
- PAVAN, M.A. Movimentação de calcário no solo através de técnicas de manejo da cobertura vegetal em pomares de macieira. R. Bras. Frutic., v. 16, p. 86-91, 1994.
- PÖYKIÖ, R.; NURMESNIEMI, H.; KUOKKANEN, T. & PERÄMÄKI, P. Green liquor dregs as an alternative neutralizing agent at a pulp mill. Environ. Chem. Lett., v. 4, p. 37-40, 2006.
- RAIJ, B.V.; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H. & QUAGGIO, J.A. Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. 285p.
- SANTANA A.C.; ALBUQUERQUE, J.A.; SILVA, F.R. & ALBERTON, A. Uso de resíduo alcalino para corrigir a acidez de solos. In: FERTBIO 2006, Anais. BONITO, SBCS/EMBRAPA, 2006. CD ROM
- SANTANA, R.C.; BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F.; LEITE, H.G. & COMERFORD, N.B. Alocação de nutrientes em plantios de eucalipto no Brasil. R. Bras. Ci. Solo, v. 32, p. 2723-2733, 2008. (Número especial)
- SILVA, F.R.; ALBUQUERQUE, J.A.; GATIBONI, L.C. & MARANGONI, J.M. Cinza da biomassa florestal: alterações nos atributos de solos ácidos do Planalto Catarinense. Scientia Agraria, v. 10, p. 475-484, 2009.
- SIMONETE, M.A.; KIEHL, J.C.; ANDRADE, C.A. & TEIXEIRA, C.F.A. Efeito do lodo de esgoto em um Argissolo e no crescimento e nutrição de milho. Pesq. Agropec. Bras. v. 38, p. 1187-1195, 2003.
- STAPPE, J.L. & BALLONI, E.A. O uso de resíduos da indústria de celulose como insumos na produção florestal. Scientia Florestalis, n. 40, p.33-47, 1988.