

FERNANDO ANTONIO VIEIRA RODRIGUES

**CRESCIMENTO DE EUCALIPTO EM IDADE JOVEM E
MOVIMENTAÇÃO DE CÁLCIO E MAGNÉSIO NO SOLO EM
RESPOSTA À APLICAÇÃO DE CALCÁRIO E GESSO AGRÍCOLA**

**Tese 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
Doctor Scientiae.**

**VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2013**



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

T

R696c
2013

Rodrigues, Fernando Antonio Vieira, 1978-

Crescimento de eucalipto em idade jovem e movimentação de cálcio e magnésio no solo em resposta à aplicação de calcário e gesso agrícola / Fernando Antonio Vieira Rodrigues. – Viçosa, MG, 2013.

xi, 72f. : il. (algumas color.) ; 29cm.

Orientador: Víctor Hugo Alvarez Venegas
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.
Inclui bibliografia.

1. Fertilidade do solo. 2. Solos florestais - Fertilização.
3. Eucalipto. 4. Calagem dos solos. 5. Plantas - Efeito do enxofre. 6. Cálcio. 7. Solos - Teor de enxofre. 8. Plantas - Nutrição. 9. Solos - Lixiviação. 10. Fertilização de plantas.
11. Crescimento (Plantas). I. Universidade Federal de Viçosa.
Departamento de Solos. Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas. II. Título.


CDD 22. ed. 631.422

FERNANDO ANTONIO VIEIRA RODRIGUES

**CRESCIMENTO DE EUCALIPTO EM IDADE JOVEM E
MOVIMENTAÇÃO DE CALCIO E MAGNÉSIO NO SOLO EM
RESPOSTA À APLICAÇÃO DE CALCÁRIO E GESSO AGRÍCOLA**

**Tese 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
Doctor Scientiae.**

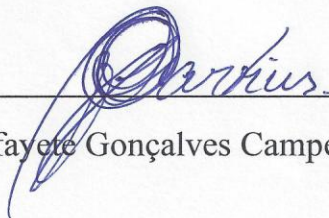
APROVADA: 05 de Abril de 2013.



Maurício Paulo Ferreira Fontes



Haroldo Nogueira de Paiva



Lafayette Gonçalves Campelo Martins



Nairam Félix de Barros
(Coorientador)



Víctor Hugo Álvarez V.
(Orientador)

**“O QUE MAIS ME SURPREENDE NA HUMANIDADE SÃO OS HOMENS.
PORQUE PERDEM A SAÚDE PARA JUNTAR DINHEIRO,
DEPOIS PERDEM O DINHEIRO PARA RECUPERAR A SAÚDE.
E POR PENSAREM ANSIOSAMENTE NO FUTURO,
ESQUECEM DO PRESENTE DE TAL FORMA QUE ACABAM POR
NÃO VIVER NEM O PRESENTE E NEM O FUTURO.
E VIVEM COMO SE NUNCA FOSSEM MORRER.
E MORREM COMO SE NUNCA TIVESSEM VIVIDO”**

(DALAILAMA)

A Deus

Ao meu amado filho Luiz Fernando

À minha querida Adriana

Aos meus pais Adalgizo e Jussara

Aos meus irmãos Welington e Álisson

À minha irmã Daniela

Aos meus Amigos

A todos os AGRICULTORES

Dedico.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela saúde, pela força e perseverança para eu jamais desistir dos meus sonhos, e por conduzir os meus passos.

À Universidade Federal de Viçosa, pela oportunidade de realização dos cursos de Graduação, Mestrado e Doutorado.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão de bolsa de estudo durante o doutorado.

À empresa Raiz Florestal, por acreditar na importância deste trabalho, disponibilizando área experimental e dando todo o apoio necessário para sua realização.

Ao professor Víctor Hugo Alvarez V., pela orientação, confiança, simplicidade, atenção, dedicação e conhecimento, exemplo de conduta que o tornam um grande Mestre, meu sincero agradecimento.

Ao professor Nairam Félix de Barros, pela coorientação, sugestões, ensinamentos e exemplo de trabalho, simplicidade e profissionalismo. Meu muito obrigado.

Ao professor Ivo Ribeiro da Silva, como coordenador do Nutree, deu todo apoio e confiança em todas as etapas deste trabalho.

Ao professor Júlio César Lima Neves, pela coorientação e estímulo, sugestões e idéias valiosas.

Ao professor Haroldo Nogueira de Paiva, pela presteza e valiosas sugestões para a melhoria deste trabalho.

Ao professor e consultor Lafayette Gonçalves Campelo Martins, pelas valiosas sugestões e observações.

Ao professor Maurício Paulo Ferreira Fontes, pelas contribuições para a Tese, mas em especial, pelos ensinamentos e coleguismo na SOL 220.

Aos professores do Departamento de Solos, pelos ensinamentos e experiências transmitidos, que com certeza foram de muitíssima relevância.

Aos amigos com os quais tive a oportunidade de compartilhar momentos marcantes de minha vida, em especial ao Jarbas, pela agradável convivência e amizade desde o curso de Agronomia.

Aos amigos do Departamento de Solos, Eric, Nicholás, André, Silvano, Marcus Locatelli, David, Guilherme Jesus, Guilherme Correa, Helton, Paul, Jefferson, Patrícia, Sabrina, Carolina e outros tantos que aqui não cito, mas nem por isso, foram esquecidos. Grande abraço a todos!!!

Aos amigos do futebol na Rua Nova, pelos sábados de descontração, alegria e confraternizações.

Ao Geraldo Vitor Teixeira pelo valioso apoio na implantação do experimento.

Ao José Luiz Teixeira pela valiosa ajuda na coleta dos dados.

Aos colaboradores da Raiz Florestal, em especial ao Evaldo, Vinícius, Guilherme, Fábio e estagiários, pelo apoio sempre que solicitados.

Aos funcionários do DPS por toda a ajuda, colaboração e convívio: Carlos Fonseca, Luciana, Claudinha, Sônia, Leiliane, Tatiana, Claudinho, Ciro, Beto, José Luiz, Geraldo Vítor, Edinaldo, Carlinhos, Janilson, José Francisco, Francisco, Mário e Cardoso.

Aos meus pais Adalgizo e Jussara pelos incentivos à minha formação acadêmica, por minha formação moral, pela amizade e amor. À minha irmã Daniela, pelo carinho e incentivo. Aos meus irmãos Welington e Álisson, pelo respeito, amizade e companherismo.

À minha companheira Adriana, pela compreensão em momentos especiais de minha vida.

Ao meu querido filho Luiz Fernando, pela alegria de sua companhia, por me ensinar diariamente a “doce missão” de ser pai, e me proporcionar momentos inesquecíveis, todos os dias quando chego em casa.

Às pessoas não citadas, que sei serem tão importantes na concretização de mais esta etapa na minha vida.

BIOGRAFIA

FERNANDO ANTONIO VIEIRA RODRIGUES, filho de Adalgizo Luiz Obregon Rodrigues e Jussara Vieira Rodrigues, nasceu em 22 de outubro de 1978, em São Borja – RS.

Estudou na Escola Municipal José Rodrigues onde cursou o ensino fundamental. Em 1995, concluiu o curso de Técnico em Agropecuária na Escola Agrotécnica Federal de São Vicente do Sul – RS, e em 1996 concluiu o curso Pós-Técnico em Zootecnia na Escola Agrotécnica Federal de Santa Teresa – ES. Entre 1997 e 2002, trabalhou na iniciativa privada no setor de mineração em Mariana-MG .

Em maio de 2002 iniciou o curso de Agronomia da Universidade Federal de Viçosa – MG, onde foi monitor das disciplinas de Botânica e Fertilidade do Solo. Em março de 2007 diplomou-se Engenheiro Agrônomo e iniciou o curso de Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas, no Departamento de Solos (DPS) da UFV, concluindo-o em fevereiro de 2009. Iniciou o doutorado, na mesma área e programa no DPS-UFV em março de 2009, concluindo-o em abril de 2013.

Durante o doutorado, foi professor substituto na área de Gênese do Solo, no DPS - UFV.

SUMÁRIO

RESUMO	viii
ABSTRACT	x
INTRODUÇÃO GERAL	1
HIPÓTESE GERAL	3
OBJETIVOS	3
LITERATURA CITADA	4
 <i>CAPÍTULO I</i>	
Produtividade de eucalipto em idade jovem em resposta à aplicação de calcário e gesso agrícola	7
RESUMO	7
SUMMARY	8
INTRODUÇÃO	9
MATERIAL E MÉTODOS	10
RESULTADOS E DISCUSSÃO	14
Produtividade dos componentes da parte aérea	14
Teores foliares de Ca, Mg e S	18
CONCLUSÕES	22
LITERATURA CITADA	22
 <i>CAPÍTULO II</i>	
Movimentação e taxas de recuperação de cálcio e magnésio no solo, pelo extrator e pelo eucalipto, em resposta à aplicação de calcário e gesso agrícola	25
RESUMO	25
SUMMARY	26

INTRODUÇÃO	27
MATERIAL E MÉTODOS	28
RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
Movimentação de Ca, Mg e S no perfil do solo	32
Taxas de recuperação de Ca, Mg e S pelo extrator.....	36
Taxas de recuperação de Ca, Mg e S pela planta.....	38
Demanda de Ca e Mg pela planta, estimada para o 7º ano	41
Taxas de recuperação de Ca e Mg pela planta, estimadas para o 7º ano	46
CONCLUSÕES	47
LITERATURA CITADA	48
 <i>CAPÍTULO III</i>	
Crescimento de raízes finas de eucalipto em resposta à aplicação de calcário e gesso agrícola	51
RESUMO	51
SUMMARY	52
INTRODUÇÃO	53
MATERIAL E MÉTODOS	54
RESULTADOS E DISCUSSÃO	58
Variação da densidade de raízes finas com a profundidade do solo	58
Amostragem com o método da cavadeira	59
Amostragem com o método da sonda	63
Comparação entre os métodos de amostragem	66
CONCLUSÕES	69
LITERATURA CITADA	69
CONCLUSÕES GERAIS	71

RESUMO

RODRIGUES, Fernando Antonio Vieira, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, Abril de 2013. **Crescimento de eucalipto em idade jovem e movimentação de cálcio e magnésio no solo em resposta à aplicação de calcário e gesso agrícola.** Orientador: Víctor Hugo Alvarez V. Coorientadores: Júlio César Lima Neves e Nairam Félix de Barros.

O eucalipto é uma espécie florestal tolerante a acidez do solo, ou seja, apresenta bom crescimento mesmo em solos com alta acidez ativa e trocável, sendo, portanto, dispensável a calagem com o objetivo de corrigir a acidez do solo. Por outro lado, para obtenção de produtividades em torno de 50 m³/ha/ano, considera-se que o eucalipto acumula grande quantidade de Ca na parte aérea, desde o plantio até a colheita que ocorre por volta de 6 a 7 anos de idade. Este trabalho teve o objetivo de avaliar o crescimento do eucalipto, aos 18 meses de idade, em resposta à aplicação de calcário e gesso agrícola, na região do Cerrado. O experimento foi conduzido em um Latossolo Vermelho-Amarelo, distrófico, textura média, com 20 % de argila. Os fatores em estudo foram: calcário-C (sem-sC e com-cC), localização (faixa-F e área total-T) e incorporação-I (sem-sI e com-cI), mais quatro tratamentos adicionais (dois com gesso-G e dois com fosfato natural reativo-FNR), arrançados em um fatorial $(2^3 - 1) + 2 + 2$, dispostos em blocos ao acaso, com quatro repetições. Os tratamentos foram: sCFsI, sCFcI, sCTcI, cCFsI, cCFcI, cCTsI e cCTcI completam o fatorial; e os adicionais (cCT+cGF)sI, (cCT+cGT)sI, sCFsIcFNR e cCTsIcFNR. Nos tratamentos do fatorial e nos dois com gesso utilizaram-se 200 kg/ha MAP (fosfato monoamônico) e nos dois restantes, 500 kg/ha de FNR. Tanto o MAP quanto o FNR foram aplicados no sulco de subsolagem. A dose de calcário foi de 3,0 t/ha, exceto nos tratamentos com gesso (1,0 t/ha) e, ou, com FNR, nos quais se aplicaram 2,4 t/ha de calcário. Após 18 meses da implantação do experimento, foi feita a medição do DAP (diâmetro a 1,30 m de altura) das 52 plantas da parcela útil para calcular o diâmetro médio de cada parcela. A árvore média foi abatida, medida sua altura e pesada a matéria fresca de seus componentes (folha, galho e tronco). Retirou-se amostra composta de cada componente em separado (folha, galho, casca e lenho) para determinação da massa de matéria seca e dos teores e conteúdos de nutrientes. Na árvore média também foi realizada a amostragem de raízes com dois métodos diferentes: cavadeira e sonda. Para isso, foram feitas duas repetições com cada método de amostragem, totalizando 22 plantas avaliadas por método. A amostragem

de solo foi feita de 0-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm de profundidade, com o auxílio de trado tipo sonda (2,5 cm de Ø). Foram coletadas 16 amostras simples de cada profundidade para compor uma amostra composta por parcela, na região correspondente a faixa de 35 cm de cada lado da linha de plantio, evitando o sulco de subsolagem. A aplicação de calcário mais gesso incrementa a produção de tronco em 96 %, comparado com a não aplicação de calcário e em 24 %, comparado com a aplicação isolada de 3,0 t/ha de calcário. Na aplicação de calcário mais gesso, o gesso aplicado em faixa, promove maior aumento nas variáveis de produção, comparado ao gesso em área total. Na ausência de calcário, a aplicação de FNR no sulco de subsolagem em relação ao MAP, aumenta a produção de tronco em 26 %. A aplicação de calcário mais gesso agrícola comparado com calcário isoladamente, aumenta os teores de Ca e S e diminui os de Mg, nas folhas do terço médio da copa. A aplicação de calcário em faixa promove melhor distribuição de Ca e Mg no perfil do solo, comparado à aplicação em área total. A aplicação de 3,0 t/ha de calcário, em faixa, sem ou com incorporação, promoveu incrementos expressivos nos teores de Ca e Mg até, pelo menos, 60 cm de profundidade. Na aplicação da mesma dose em área total, os efeitos restringiram-se a, no máximo, 20 cm. As taxas de recuperação do extrator foram em média de 22 e 36 % para Ca e Mg, respectivamente. As taxas de recuperação pela planta variaram de 2,5 a 7,5 % para Ca e de 3,2 a 7,9 % para Mg, até os 18 meses de idade. A demanda estimada de Ca e Mg para o eucalipto, para a produtividade de 46 m³/ha/ano, aos 84 meses, foi de 238 e 43 kg/ha, respectivamente, para os tratamentos com calcário mais gesso. A densidade de raízes finas é, em média, duas vezes maior na linha do que na entrelinha. A aplicação de calcário em área total promoveu aumento da densidade de raízes finas até 40 cm. Porém, a aplicação em faixa aumentou a densidade radicular na camada de 40-60 cm. A aplicação combinada de calcário mais gesso comparada com calcário isoladamente, mostrou que o gesso aumentou a densidade de raízes finas até 40 cm de profundidade. A aplicação do gesso, em faixa, aumentou a densidade de raízes finas, comparativamente à sua aplicação em área total. De forma geral, os resultados com os dois métodos de amostragem, cavadeira e sonda, mostraram que a melhoria química do solo promoveu incrementos na densidade de raízes finas no perfil do solo, embora não na mesma magnitude e clareza como as respostas da parte aérea. A utilização da sonda viabiliza a coleta de um número maior de pontos amostrados por árvore, possibilitando captar melhor a variabilidade espacial do sistema radicular.

ABSTRACT

RODRIGUES, Fernando Antonio Vieira, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, April 2013. **Growth of young eucalypt and movement of calcium and magnesium in soil in response to limestone and agricultural gypsum application.** Advisor: Víctor Hugo Alvarez V. Co-Advisors: Júlio César Lima Neves and Nairam Félix de Barros.

Eucalypt is tolerant forest specie to acids soil, i.e., it has good growth even in soils with high exchangeable and active acidity, therefore, being dispensable liming in order to correct soil acidity. On the other hand, to obtain productivity around 50 m³/ha/year, eucalypt accumulates large amount of Ca in the shoot, from planting to harvest (6-7 years old). The aim of this study was to evaluate the eucalypt's growth, at 18 months old, in response to limestone and gypsum application in Cerrado soil. The experiment was carried out in an Oxisol, medium texture with 20 % of clay. The factors studied were: limestone-L (without-sL and with-cL), location (strip-S and broadcast-B) and incorporation-I (without-sI and with-cI), plus four additional treatments (two with gypsum-G and two with reactive phosphate rock-RPR), arranged in a $[(2^3 - 1) + 2 + 2]$ factorial scheme, in a randomized block design, with four replications. Thus treatments were: sLsSI, sLScI, sLBcI, cLsSI, cLScI cLBsI and cLBcI complete factorial, and the additional (cLB+cGS)sI, (cLB+cGB)sI, sLsSIcRFR and cLBsIcRFR. In the treatments of the factorial and the two with gypsum was used 200 kg/ha of MAP (monoamonium phosphate) and for the two remaining treatments 500 kg/ha of RFR. Both, MAP and RFR were applied in furrow subsoiling. The application of limestone was 3.0 t/ha, except for treatments with gypsum (1.0 t/ha) and either with RFR, which were applied 2.4 t/ha of limestone. After 18 months of implementation of experiment was measured at 1.30 m from the ground the DBH (diameter at breast height) of 52 plants per plot to obtain its average diameter. A average tree was cut down, measured its height and fresh weight of the components (leaf, branch and trunk). We got a composite sample of each individual component (leaf, branch, bark and wood) for determination of dry matter and nutrient concentration and content. On average tree was also performed root sampling with two different methods: spade and probe. For this purpose, we got two replications with each sampling method, being therefore 22 plants evaluated by each method. Soil samples were collected in the layers of 0-10, 10-20, 20-40 and 40-60 cm of depth with a probe (2.5 cm of Ø). Were collected 16 single samples from each

soil depth to make one composite sample per plot, in the region of the strip of 35 cm on each side of the planting, avoiding the subsoiling furrow. Application of limestone plus gypsum increased trunk production in 96 % compared with no application of limestone, and 24 % compared with isolated application of 3.0 t/ha of limestone. Application of limestone plus gypsum, with gypsum applied in the strip, promoted greater increase on the production variables compared to gypsum the broadcast. In the absence of limestone, application in subsoiling furrow of the RFR compared to MAP, increased the production of trunk 26 %. Application of limestone plus gypsum compared with limestone alone, increases Ca and S concentrations and decreases of Mg, in the leaves from middle third of the crown. Application of limestone in the strip promoted better distribution of Ca and Mg in the soil profile, compared to broadcast. Application of 3.0 t/ha of limestone on the strip, with or without incorporation, promoted significant increases in Ca and Mg concentrations at least 60 cm soil depth. With application of this same dose in broadcast, the effects were restricted to a maximum of 20 cm of depth. Recovery rates extractor averaged 22 and 36 % for Ca and Mg, respectively. Plant recovery rates were from 2.5 to 7.5 % for Ca and from 3.2 to 7.9 % for Mg, up to 18 months old. Estimated demand of Ca and Mg for eucalypt for productivity of 46 m³/ha/year, at 84 months old, was 238 and 43 kg/ha, respectively, for the treatments with limestone plus gypsum. The density of fine roots of the row is 2-fold higher than space between rows. Application of limestone in broadcast promoted density increase of fine roots up to 40 cm of soil depth. However, strip application increased root density in the 40-60 cm layer. The combined application of limestone plus gypsum compared to limestone alone showed that gypsum increased the density of fine roots up to 40 cm soil depth. Gypsum application in strip increased the density of fine roots compared to its application in broadcast. In general, the results with the two sampling methods, spade and probe, showed that improvement chemical of soil promoted increases in the fine roots density in the soil profile, although not in the same extent and clarity as shoot responses. The use of the probe allows the sampling of a larger number of points per tree, making better to represent the spatial variability of root system.

INTRODUÇÃO GERAL

O Brasil é um dos maiores produtores de celulose, papel e carvão vegetal do mundo, principalmente de eucalipto cuja área plantada atinge 4,87 milhões de hectares, sendo que 29 e 21 % dessa área encontram-se nos Estados de Minas Gerais e São Paulo, respectivamente. Em relação à destinação da madeira, destacam-se o setor de papel e celulose (71,2 %) e de siderurgia a carvão vegetal (18,4 %) (ABRAF, 2012).

Na região tropical, radiação e temperatura não são limitantes e os fatores que determinam a produtividade florestal são, principalmente, água e nutrientes (Barros & Comerford, 2002). Mesmo sendo considerada uma essência florestal eficiente quanto ao uso da água e de nutrientes, em solos de baixa fertilidade, elevados ganhos de produtividade de eucalipto têm sido obtidos pela aplicação de fertilizantes (Barros & Novais, 1996; Barros et al., 2005).

Os plantios de eucalipto no Brasil, de modo geral, têm se expandido para áreas anteriormente ocupadas pela atividade agrícola e, ou, principalmente pela pecuária, em solos com graus variáveis de degradação física, química e biológica, e com baixa fertilidade natural, em sua maioria (Barros & Comerford, 2002). O plantio nesses locais constitui uma alternativa para a recuperação e incorporação dessas áreas ao processo produtivo.

Do ponto de vista ambiental, as plantações de eucalipto reduzem a pressão sobre os remanescentes florestais, concorrendo, assim, para sua preservação e dos recursos naturais neles existentes, além de mitigarem o aumento de CO₂ na atmosfera.

O eucalipto é uma espécie florestal tolerante à acidez do solo, ou seja, apresenta bom crescimento mesmo em solos com alta acidez trocável e ativa (Novais et al., 1990), sendo, portanto, dispensável a calagem com o objetivo de corrigir a acidez do solo (Barros & Novais, 1999). Por outro lado, para obtenção de produtividades em torno de 50 m³/ha/ano, o eucalipto acumula na parte aérea cerca de 420 kg/ha de Ca, desde o plantio até a colheita que ocorre por volta de 6 a 7 anos de idade, segundo estimativas do software NUTRICALC[®] (versão generalista) ajustado para locais com condições edafoclimáticas semelhantes às deste estudo.

Inicialmente, o preparo do solo para o plantio de eucalipto no Brasil, envolvia aração e gradagem, à semelhança do que se utilizava para as culturas agrícolas. Mais recentemente, com a adoção do sistema de cultivo mínimo na área florestal, ou seja, o preparo localizado apenas na linha ou na cova de plantio, a aplicação do calcário é feita, na maioria dos casos, na superfície do solo em área total ou em faixa e sem incorporação (Gonçalves et al., 2000). Porém, acredita-se que, apenas pequena parte do Ca aplicado é absorvida pelo eucalipto em um ciclo florestal, ou seja, baixas taxas de recuperação desse nutriente têm sido constatadas e comumente se encontram plantas com baixos teores de Ca no tecido foliar (Martins et al., 2007).

Alguns trabalhos indicam que o calcário não se movimenta para camadas profundas do solo (González-Erico et al., 1979; Ritchey et al., 1980; Pavan et al., 1984), enquanto que outros mostram consideráveis aumentos no pH e teores de Ca e Mg trocáveis abaixo da região de aplicação de calcário, em áreas de culturas anuais preparadas convencionalmente (Oliveira et al., 1997; Caires & Rosolem, 1998) e em culturas perenes (Chaves et al., 1984; Pavan, 1994).

A literatura tem mostrado consistentemente que a aplicação de gesso promove a movimentação de Ca, Mg e S no perfil do solo e, portanto, propicia ambiente químico mais adequado ao crescimento radicular (Caires et al., 2003; Caires et al., 2004; Camilo, 2007; Sobral et al., 2009; Neis et al., 2010; Nava et al., 2012). Por outro lado, o aumento de produtividade em resposta a aplicação de gesso é bastante variável, com ausência de resposta em soja (Caires et al., 2003; Neis et al., 2010), café (Camilo, 2007), e resposta positiva em café (Guimarães, 1992), milho (Caires et al., 2004), aveia-preta (Soratto & Crusciol, 2008), trigo (Caires, 2000; Caires et al., 2002), cevada (Caires et al., 2001), algodão à aplicação de S elementar (Reis Júnior et al., 2012).

Segundo Neves (2000), uma maior produtividade deve ser consequência de maior aquisição de recursos do ambiente (carbono, proveniente da fotossíntese e nutrientes minerais, provenientes do solo) pelas plantas e, ou, de utilização mais eficiente dos mesmos, justificando investigar o aparato fotossintético (representado pelas folhas) e o sistema de aquisição de água e nutrientes do solo, representado principalmente pelas raízes finas.

Os métodos utilizados para estudar as raízes geralmente apresentam sérias limitações. Além de muitos trabalhosos e demorados, a maioria dos métodos são pouco precisos (Köpke, 1981). Dentre as grandes dificuldades para estimar a

quantidade de raízes, incluem-se a variabilidade natural da distribuição das raízes, muito afetada pela variabilidade espacial do solo, dificuldades de definição dos procedimentos e época de amostragem, e perdas de parte das raízes amostradas durante seu preparo para as determinações no laboratório. Não há dúvidas de que a fase de maior consumo de tempo, e que requer maiores cuidados nos estudos desta natureza, é aquela relativa à separação das raízes do solo (Gonçalves & Mello, 2000).

A distribuição de raízes no perfil de solo está sob forte controle genético, não obstante a arquitetura radicular das árvores possa ser resultante da interação do genótipo com condições e fatores tais como a competição entre raízes, disponibilidade de fotoassimilados e densidade populacional de árvores (Gonçalves & Mello, 2000), podendo-se acrescentar a influência da condição física do solo, por exemplo, de sua resistência à penetração, como verificado por Santana (1986), para árvores de eucalipto.

HIPÓTESE GERAL

Diferentes formas de aplicação de calcário, combinadas ou não com gesso agrícola, influenciam na produtividade do eucalipto, na movimentação de Ca no perfil do solo, bem como na densidade de raízes finas.

OBJETIVOS

Este trabalho teve como objetivo geral: avaliar a resposta de plantio jovem de eucalipto à aplicação calcário, gesso agrícola, fosfato natural reativo e MAP, em um LVAd de textura média, na região do Cerrado do Estado de Minas Gerais.

Os objetivos específicos foram avaliar:

1. A produtividade de tronco e de outras características dendrométricas;
2. A movimentação de Ca e Mg no perfil do solo e determinar as taxas de recuperação desses nutrientes, pelo extrator e pelo eucalipto;
3. O crescimento e a distribuição radicular, por dois métodos de amostragem, cavadeira e sonda, e determinar a densidade de raízes finas (< 2,0 mm Ø).

LITERATURA CITADA

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS (ABRAF). Anuário estatístico da ABRAF: ano base 2011. Brasília, DF, 2012, 145p.
- BARROS, N. F. & COMERFORD, N. B. Sustentabilidade da produção de florestas plantadas na região tropical. In: ALVAREZ V., V. H.; SHAEFER, C. E. G. R.; BARROS, N. F.; MELLO, J. W. V. & COSTA, L. M., eds. Tópicos em Ciência do Solo II. Viçosa, SBCS, 2002, p.487-592.
- BARROS, N. F. & NOVAIS, R. F. Sugestões de Adubação para Grandes Culturas Anuais ou Perenes: Eucalipto. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G. & ALVAREZ V., V. H., eds. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais (5ª Aproximação). Viçosa, CFSEMG, 1999. p.305-307.
- BARROS, N. F. & NOVAIS, R. F. Eucalypt nutrition and fertilizer regimes in Brazil. In: ATTIWILL, P. M. & ADAMS, M. A., eds. Nutrition of eucalypts. Collingwood, CISRO, 1996, p.335-356.
- BARROS, N. F.; NEVES, J. C. L. & NOVAIS, R. F. Fertilidade de solos, nutrientes e produção florestal. R. Visão Agrícola, 4:76-79, 2005.
- CAIRES, E. F. Manejo da fertilidade do solo no sistema plantio direto: experiências no Estado do Paraná. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, Fertbio, Santa Maria-RS, SBCS, 2000. CD-ROM.
- CAIRES, E. F.; FELDHAUS, I. C.; BARTH, G. & GARBUIO, F. J. Lime and gypsum application on the wheat crop. Sci. Agric., 59:357-364, 2002.
- CAIRES, E. F.; FELDHAUS, I. C. & BLUM, J. Crescimento radicular e nutrição da cevada em função da calagem e aplicação de gesso. Bragantia, 60:213-223, 2001.
- CAIRES, E. F.; BLUM, J.; BARTH, G.; GARBUIO, F. J. & KUSMAN, M. T. Alterações químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na implantação do sistema plantio direto. R. Bras. Ci. Solo, 27:275-286, 2003.
- CAIRES, E. F.; KUSMAN, M. T.; BARTH, G.; GARBUIO, F. J. & PADILHA, J. M. Alterações químicas do solo e resposta do milho à calagem e aplicação de gesso. R. Bras. Ci. Solo, 28:125-136, 2004.
- CAIRES, E. F. & ROSOLEM, C. A. Correção da acidez do solo e desenvolvimento do sistema radicular do amendoim em função da calagem. Bragantia, 57:175-184, 1998.

- CAMILO, N. F. P. Produtividade do cafeeiro em resposta ao manejo da calagem e gessagem em Latossolo de Cerrado. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2007, 83p. (Dissertação de Mestrado)
- CHAVES, J. C. D.; PAVAN, M. A. & IGUE, K. Respostas do cafeeiro à calagem. *Pesq. Agropec. Bras.*, 19:573-582, 1984.
- GONÇALVES, J. L. M. Características do sistema radicular de absorção do *Eucalyptus grandis* sob diferentes condições edáficas. Piracicaba, Escola de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 1994. 84 p. (Tese de Livre Docência)
- GONÇALVES, J. L. M. & MELLO, S. L. M. O sistema radicular das árvores. In: GONÇALVES, J. L. M. & BENEDETTI, V., eds. *Nutrição e fertilização de florestal*. Piracicaba, IPEF, 2000, p. 221-267.
- GONÇALVES, J. L. M.; STAPE, J. L.; BENEDETTI, V.; FESSEL, V. A. G. & GAVA, J. L. Reflexos do cultivo mínimo e intensivo do solo em sua fertilidade e na nutrição das árvores. In: GONÇALVES, J. L. M. & BENEDETTI, V., eds. *Nutrição e fertilização de florestal*. Piracicaba, IPEF, 2000, p. 1-57.
- GONZALES-ERICO, E.; KAMPRATH, E. J.; NADERMANN, G. C. & SOARES, W. V. Effect of depth of lime incorporation on the growth of corn on an Oxisol of Central Brazil. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 43:1155-1158, 1979.
- GUIMARÃES, P. T. G. O uso do gesso agrícola na cultura do cafeeiro. In: II SEMINÁRIO SOBRE USO DO GESSO AGRÍCOLA NA AGRICULTURA. Anais, Uberaba, 1992.
- KÖPKE, U. Methods for studing root growth. In: RUSSEL, R.S.; KOZEN, I. & METHA, Y.R. *Proceedings of the symposium on the soil/root system*. Londrina, IAPAR, 1981, p.303-318.
- MARTINS, L. G. C.; BARROS, N. F.; SCATOLINI, F. M. Perda de produtividade de florestas de eucalipto em Minas Gerais causada pela deficiência de cálcio. In: XXXI CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO - Conquistas e Desafios da Ciência do Solo Brasileira, Gramado-RS, SBCS, 2007. v. 1. p. 168-168.
- NAVA, G.; ERNANI, P. R.; SÁ, A. A. & PEREIRA, A. J. Soil Composition and nutritional Status of apple as affected by long-term application of gypsum. *R. Bras. Ci. Solo*, 36:215-222, 2012.
- NEIS, L.; PAULINO, H. B.; SOUZA, E. D.; REIS, E. F. & PINTO, F. A. Gesso agrícola e rendimento de grãos de soja na região do sudoeste de Goiás. *R. Bras. Ci. Solo*, 34:409-416, 2010.
- NEVES, J. C. L. Produção e partição de biomassa, aspectos nutricionais e hídricos em plantações clonais de eucalipto na região litorânea do Espírito Santo. Universidade Estadual do Norte Fluminense, 2000. 191p. (Tese de Doutorado)

- NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F. & NEVES, J. C. L. Nutrição mineral do eucalipto. In: BARROS, N. F. & NOVAIS, R. F., eds. Relação solo-eucalipto. Viçosa, UFV, 1990. p. 25-98.
- OLIVEIRA, E. J.; PARRA, M. S. & COSTA, A. Resposta da cultura do milho, em um Latossolo Vermelho-Escuro álico, à calagem. R. Bras. Ci. Solo, 21:65-70, 1997.
- PAVAN, M. A. Movimentação de calcário no solo através de técnicas de manejo da cobertura vegetal em pomares de macieira. R. Bras. Frutic., 16:86-91, 1994.
- PAVAN, M. A.; BINGHAM, F. T. & PRATT, P. F. Redistribution of exchangeable calcium, magnesium and aluminum following lime and gypsum applications to a Brazilian Oxisol. Soil Sci. Soc. Am. J., 48:33-38, 1984.
- REIS JÚNIOR, A. R.; SILVA, D. R. G; ÁVILA, F. W.; ÁVILA, P. A.; SOARES, D. A. & FAQUIN, V. Productivity and agronomic efficiency of cotton plants in response to nitrogen and sulfur supply. R. Bras. Ci. Agrá., 7:555-561, 2012.
- RITCHEY, K.D.; SOUSA, D.M.G; LOBATO, E. & CORREA, O. Calcium leaching to increase rooting depth in a Brazilian Savannah Oxisol. Agron. J., Madison, 72:40-44, 1980.
- SANTANA, J. A. S. Efeitos de propriedades dos solos na produtividade de duas espécies de eucalipto na região do Médio Rio Doce - MG. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1986, 117p. (Dissertação de Mestrado)
- SOBRAL, L. F.; CINTRA, F. L. D. & SMYTH, J. T. Lime and gypsum to improve root depth of orange crop in an Ultisol of the Coastal Tablelands. R. Bras. Eng. Agríc. Amb., 13:836-839, 2009.
- SORATTO, R. P. & CRUSCIOL, C. A. C. Nutrição e produtividade de grãos da aveia-preta em função da aplicação de calcário e gesso em superfície na implantação do sistema plantio direto. R. Bras. Ci. Solo, 32:715-725, 2008.

CAPÍTULO I¹

Produtividade de eucalipto em idade jovem em resposta à aplicação de calcário e gesso agrícola

RESUMO

O eucalipto apresenta bom crescimento mesmo em solos ácidos, ou seja, é uma espécie florestal que dispensa a calagem com o objetivo de corrigir a acidez do solo. Este trabalho teve o objetivo de avaliar a produtividade de eucalipto aos 18 meses de idade, em resposta a aplicação de calcário e gesso agrícola, na região do Cerrado. O experimento foi conduzido em um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, textura média, com 20 % de argila. Os fatores em estudo foram: calcário-C (sem-sC e com-cC), localização (faixa-F e área total-T) e incorporação-I (sem-sI e com-cI), mais quatro tratamentos adicionais (dois com gesso-G e dois com fosfato natural reativo-FNR), arranjados em um fatorial $(2^3 - 1) + 2 + 2$, dispostos em blocos ao acaso, com quatro repetições. Os tratamentos foram: sCFsI, sCFcI, sCTcI, cCFsI, cCFcI, cCTsI e cCTcI completam o fatorial, além dos adicionais (cCT+cGF)sI, (cCT+cGT)sI, sCFsIcFNR e cCTsIcFNR. Nos tratamentos do fatorial e nos dois com gesso utilizaram-se 200 kg/ha MAP (fosfato monoamônico) e nos dois restantes, 500 kg/ha de FNR. Tanto o MAP quanto o FNR foram aplicados no sulco de subsolagem. A dose de calcário foi de 3,0 t/ha, exceto nos tratamentos com gesso (1,0 t/ha) e, ou, com FNR, nos quais se aplicaram 2,4 t/ha de calcário. A aplicação de calcário mais gesso incrementa a produção de madeira em 96 %, comparado com a não aplicação de calcário e em 24 %, comparado com a aplicação isolada de 3,0 t/ha de calcário. Na aplicação de calcário mais gesso, o gesso aplicado em faixa, promove maior aumento nas variáveis de produção, comparado ao gesso em área total. Na ausência de calcário, quando é aplicado o FNR no sulco de subsolagem em relação ao MAP, a produção de madeira é 26 % maior.

Termos de indexação: calagem, gessagem, enxofre, localização, crescimento, *Eucalyptus*.

¹ Capítulo escrito conforme as normas de submissão para a Revista Brasileira de Ciência do Solo

SUMMARY

Productivity eucalypt young in response to lime and gypsum application

Eucalypt has good growth even in acid soils and is forest specie that dispenses liming in order to correct soil acidity. The aim of this study was to evaluate the eucalypt's productivity, at 18 months old, in response to limestone and gypsum application in Cerrado soil. The experiment was carried out in an Oxisol, medium texture with 20 % of clay. The factors studied were: limestone-L (without-sL and with-cL), location (strip-S and broadcast-B) and incorporation-I (without-sI and with-cI), plus four additional treatments (two with gypsum-G and two with reactive phosphate rock-RPR), arranged in a $[(2^3 - 1) + 2 + 2]$ factorial scheme, in a randomized block design, with four replications. Thus treatments were: sLSsI, sLScI, sLBcI, cLSsI, cLScI cLBsI and cLBcI complete factorial, and the additional (cLB+cGS)sI, (cLB+cGB)sI, sLSsIcRFR and cLBsIcRFR. In the treatments of the factorial and the two with gypsum was used 200 kg/ha of MAP (monoamonium phosphate) and for the two remaining treatments 500 kg/ha of RFR. Both, MAP and RFR were applied in furrow subsoiling. The application of limestone was 3.0 t/ha, except for treatments with gypsum (1.0 t/ha) and either with RFR, which were applied 2.4 t/ha of limestone. Application of limestone plus gypsum increased trunk production in 96 % compared with no application of limestone, and 24 % compared with isolated application of 3.0 t/ha of limestone. Application of limestone plus gypsum, with gypsum applied in the strip, promoted greater increase on the production variables compared to gypsum the broadcast. In the absence of limestone, application in subsoiling furrow of the RFR compared to MAP, increased the production of trunk 26 %. Application of limestone plus gypsum compared with limestone alone, increases Ca and S concentrations and decreases of Mg, in the leaves from middle third of the crown.

Index terms: lime, sulfur, calcium, location, growth, *Eucalyptus*.

INTRODUÇÃO

O eucalipto apresenta bom crescimento mesmo em solos com alta acidez ativa e trocável, ou seja, é uma espécie florestal tolerante a acidez do solo que dispensa a calagem com o objetivo de corrigir a acidez do solo (Barros et al., 1990; Novais et al., 1990; Barros & Novais, 1999). Por outro lado, segundo estimativas feitas pelo software NUTRICALC[®], a quantidade de Ca acumulada na parte aérea até o 7º ano é de 416 kg/ha de Ca, em povoamentos com produtividade da ordem de 50 m³/ha/ano. Considerando os solos de regiões tropicais, como os de Cerrado, altamente intemperizados e com baixos teores de Ca, há, portanto, necessidade de fornecer esse nutriente via corretivos e, ou, fertilizantes. Devido ao menor custo, tem sido dada preferência à aplicação de calcários com o objetivo principal de fornecer Ca e Mg às plantas.

Os estudos iniciais sobre nutrição e fertilização para a cultura do eucalipto no Brasil, datam da década de 80, e mesmo para as produtividades obtidas naquela época, essa espécie florestal já se mostrava responsiva a aplicação de calcário e gesso (Barros et al., 1990). Com a adoção do sistema de cultivo mínimo na área florestal, que se constitui do preparo localizado apenas na linha ou na cova de plantio, a aplicação do calcário passou a ser feita, na maioria dos casos, na superfície do solo em área total e sem incorporação. Porém, comumente têm sido encontrados povoamentos de eucalipto com baixos teores de Ca nas folhas (Martins et al., 2007). Daí surge a seguinte questão: será que a aplicação de calcário em área total, sem incorporação é realmente a melhor forma (e fonte) de suprir Ca ao eucalipto?

A aplicação de gesso promovendo movimentação de Ca e S no perfil do solo, portanto, melhorando o ambiente para o crescimento radicular, possui relatos consistentes na literatura (Caires et al., 2004; Camilo, 2007; Sobral et al., 2009; Neis et al., 2010). Por outro lado, o aumento de produtividade em resposta a aplicação de gesso é bastante variável, com ausência de resposta em soja (Caires et al., 2003; Neis et al., 2010), café (Camilo, 2007), e resposta positiva em café (Guimarães, 1992), milho (Caires et al., 2004), aveia-preta (Soratto & Crusciol, 2008), trigo (Caires et al., 2002), cevada (Caires et al., 2001), algodão à aplicação de S elementar (Reis Júnior et al., 2012).

Vários setores produtivos têm buscado melhorar a eficiência dos seus processos, no uso de recursos naturais, recursos humanos, econômicos, entre outros.

Na área florestal, não é diferente, e atualmente com o plantio de materiais genéticos (clones) mais produtivos e exigentes nutricionalmente, aliado à colheita sem descascamento da madeira, têm aumentado a extração e remoção de nutrientes, entre eles o Ca. Caso não seja feita reposição adequada, a sustentabilidade florestal poderá ser comprometida. Portanto, é desejável que se busquem maneiras de melhorar a eficiência de aplicação dos corretivos e fertilizantes.

Este trabalho teve o objetivo de avaliar a produtividade de eucalipto aos 18 meses de idade, em resposta à aplicação de calcário e gesso agrícola, de plantio realizado em solo de textura média, na região do Cerrado do Estado de Minas Gerais.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na empresa Raiz Florestal Agropecuária LTDA, no município de Três Marias-MG, instalado em 1/12/2010, em um Latossolo Vermelho-Amarelo, distrófico (Quadro 1.1), em local com coordenadas geográficas de 18° 12' 07'' S e 45° 00' 01'' W. Trata-se de uma área de reforma com poucos resíduos na superfície do solo. As proporções de areia grossa, areia fina, silte e argila foram de 12,9; 62,4; 4,2 e 20,5 %, respectivamente (Ruiz, 2005).

Quadro 1.1. Caracterização química do LVAd antes da instalação do experimento

Prof.	pH H ₂ O	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	P	K	S	Cu	Zn	Fe	Mn	B	MOS	P-rem		
cm		cmol _c /dm ³				mg/dm ³										dag/kg	mg/L
0-10	4,06	n/d	0,01	0,81	4,6	0,9	17	16	0,20	0,34	125	10,2	0,14	2,35	23,1		
10-20	4,88	n/d	n/d	0,53	3,7	0,6	12	14	0,20	0,20	139	9,0	0,10	1,71	20,8		
20-40	5,25	n/d	n/d	0,31	2,9	0,3	9	14	0,17	0,10	125	7,8	0,07	1,33	21,4		
40-60	4,33	n/d	n/d	0,19	2,4	0,4	6	14	0,13	0,06	87	7,9	0,09	1,03	19,4		

n/d : não detectado; pH em água - relação 1:2,5; Ca²⁺, Mg²⁺ e Al³⁺ - extrator KCl 1,0 mol/L (Defelipo & Ribeiro, 1997); H+Al - extrator Ca(OAc)₂ 0,5 mol/L pH 7,0; S - extrator [Ca(H₂PO₄)₂] 500 mg/L de P, em HOAc 2,0 mol/L; P, K, Cu, Zn, Fe e Mn - extrator Mehlich-1; B - extrator CaCl₂ 5 mmol/L; MOS - C. org. x 1,724 -Walkley Black; P-rem - fósforo remanescente - Alvarez V. et al. (2000).

A dose de Ca e dos outros nutrientes aplicados foi definida pelo software NUTRICALC[®], que possui como princípio determinar a quantidade de nutrientes requerida pelo eucalipto para atingir uma determinada produtividade, considerando que o solo é capaz de suprir parte dos nutrientes.

O experimento teve os seguintes fatores em estudo: calcário-C (sem-sC e com-cC), localização (faixa-F e área total-T) e incorporação-I (sem-sI e com-cI),

mais quatro tratamentos adicionais (dois com gesso-G e dois com fosfato natural reativo-FNR), arranjados em um fatorial $(2^3 - 1) + 2 + 2$, dispostos em blocos ao acaso, com quatro repetições, totalizando 44 unidades experimentais.

O espaçamento de plantio foi de 3,40 x 2,65 m. Cada unidade experimental possui oito linhas com 19 plantas, sendo a bordadura constituída por duas linhas externas de cada lado e três plantas de cada extremidade, ou seja, a parcela útil foi constituída pelas 52 plantas centrais. Foram utilizadas mudas do clone I-144 (*Eucalyptus urophylla* x *E. grandis*).

Quadro 1.2. Descrição dos tratamentos de acordo com o fatorial $(2^3 - 1 + 2 + 2)$

TRATAMENTO	CALCÁRIO	Locali- zação	Incorpo- ração	GESSO	Locali- zação	Incorpo- ração	Fonte de P ¹
sCFsI	s	F	s	-	-	-	MAP
sCFcI	s	F	c	-	-	-	MAP
sCTcI	s	T	c	-	-	-	MAP
cCFsI	c	F	s	-	-	-	MAP
cCFcI	c	F	c	-	-	-	MAP
cCTsI	c	T	s	-	-	-	MAP
cCTcI	c	T	c	-	-	-	MAP
(cCT+cGF)sI	c	T	s	c	F	S	MAP
(cCT+cGT)sI	c	T	s	c	T	S	MAP
sCFsIcFNR	s	F	s	-	-	-	FNR
cCTsIcFNR*	c	T	s	-	-	-	FNR

s = sem; c = com; C = calcário; G = gesso; F = faixa; T = área total; I = incorporação;
¹Fonte de P no sulco de subsolagem: MAP = fosfato monoamônico e FNR = fosfato natural reativo.

O tratamento cCTsIcFNR em destaque no quadro 1.2, constitui-se naquilo que é praticado pela grande maioria das empresas do setor florestal. Os tratamentos sem gesso e com MAP compõem o fatorial, enquanto que os com gesso e com FNR são os tratamentos adicionais de interesse. O “- 1” do fatorial $(2^3 - 1)$ corresponde ao tratamento sCTsI, o qual não difere na prática do sCFsI.

Como fonte de P foram aplicados 200 kg/ha de fosfato monoamônico (MAP), exceto nos dois tratamentos adicionais sCFsIcFNR e cCTsIcFNR, os quais receberam 500 kg/ha de fosfato natural reativo (FNR). Tanto o MAP quanto o FNR foram aplicados no sulco de subsolagem a 45 cm de profundidade. O calcário foi aplicado em área total ou em faixa de 70 cm de largura. A incorporação, quando realizada, foi feita até 20 cm de profundidade.

O plantio das mudas foi feito sete dias após a aplicação dos tratamentos. No quinto dia após o plantio, foram aplicados 100 g/muda de NPK (6-30-6 + 1,5 % B + 0,5 % Cu + 0,5 % Zn), divididos em duas covetas laterais. Em cobertura, foram aplicados no 4º mês 52,8 kg/ha de K₂O; 1,8 kg/ha de B e 0,6 kg/ha de Cu, e no 13º mês, 70,4 kg/ha de K₂O; 2,4 kg/ha de B e 0,8 kg/ha de Cu, na forma de KCl (44 % K₂O + 1,5 % B + 0,5 % Cu).

Quadro 1.3. Caracterização química dos corretivos e fertilizantes utilizados nos tratamentos

Produto	N	P ₂ O ₅				Ca	Mg	S	PN	PRNT
		Total	Ác. cítrico	CNA+H ₂ O	H ₂ O					
		%								
Calcário	-	-	-	-	-	20,9	10,4	-	98,6	98,5
FNR	-	28,0	13,0	-	-	32,7	-	-	-	-
MAP	10,5	-	-	54,0	44,0	-	-	-	-	-
Gesso	-	-	-	-	-	23,0	-	14,3	-	-

N e P₂O₅: referem-se à garantia fornecida pelo fabricante do produto. Os demais foram determinados analiticamente.

Após 18 meses da implantação do experimento, foi feita a medição do DAP (diâmetro a 1,30 m de altura) das 52 plantas da parcela útil para calcular o diâmetro médio de cada parcela. A árvore média foi abatida, medida sua altura e pesada a matéria fresca de seus componentes (folha, galho e tronco). Retirou-se amostra composta de cada componente em separado (folha, galho, casca e lenho) para determinação da massa de matéria seca.

Com a finalidade de calcular o volume de madeira, foram retirados discos, com e sem casca (base, meio e ponta do tronco – na altura em que o Ø era de 3 cm), das árvores abatidas. De posse destas medidas, utilizando a fórmula de Smalian, calcularam-se os volumes com e sem casca e, pela diferença entre ambos, foi obtido o volume de casca de cada árvore. O volume de madeira produzido por hectare foi calculado pela multiplicação das medições da árvore pelo número de árvores/ha, ou seja, 1.111 árvores.

Foram retiradas amostras de folhas, pesadas e preservadas em geladeira, para medição da área foliar no Area Meter MK-2. Posteriormente a amostra foi secada e estufa e pesada novamente para determinar a massa de matéria seca da amostra. Com base na massa total de folhas da planta toda, calculou-se o índice de área foliar (IAF)

expresso em m² de área foliar (base seca) por m² de solo, tendo em vista que cada planta ocupa uma área de 9,0 m².

As amostras de material vegetal foram pesadas e acondicionadas em sacos de papel e levadas para a estufa de circulação forçada de ar a 65 °C até atingirem peso constante. Depois foram moídas em moinho tipo Wiley com peneira de 0,5 mm e submetidas à calcinação em mufla, com elevação gradativa da temperatura, gastando-se em torno de 2,5 h até atingir 480 °C, permanecendo nesta temperatura por mais 3 h. Após esfriar, adicionaram-se 10 mL de HCl 0,1 mol/L para dissolver as cinzas e posteriormente verteu-se sobre papel de filtragem rápida e completou-se o volume para 20 mL. No extrato obtido, foram determinadas as concentrações de nutrientes em Espectrofotômetro de Emissão Ótica em Plasma Induzido (ICP-OES).

Os dados foram submetidos à análise de variância e contrastes utilizando o software Statistica 8.0.

Quadro 1.4. Coeficientes (c_{ik}) dos contrastes (C_k) a serem estudados para os tratamentos i , reordenados de acordo com o fatorial $2^3 + 2 + 2$

TRATAMENTO	CONTRASTES															
	ORTOGONAL											ADICIONAL				
C - F T - I	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇	C ₈	C ₉	C ₁₀	C ₁₁	C _{A1}	C _{A2}	C _{A3}	C _{A4}	C _{A5}
sCFsI	-1	-1	-1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0
sCFcI	-1	-1	-1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
sCTsI	-1	-1	1	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
sCTcI	-1	-1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
cCFsI	-1	1	0	0	0	-1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	-1
cCFcI	-1	1	0	0	0	-1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	-1
cCTsI	-1	1	0	0	0	1	0	-1	0	0	0	-1	-1	0	-1	-1
cCTcI	-1	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	-1
(cCT+cGF)sI	2	0	0	0	0	0	0	0	-1	-1	0	1	0	0	0	2
(cCT+cGT)sI	2	0	0	0	0	0	0	0	-1	1	0	0	1	0	0	2
sCF-sIcFNR	2	0	0	0	0	0	0	0	1	0	-1	0	0	1	0	0
cCTsIcFNR	2	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0
$\sum c_{ik} $	16	8	4	2	2	4	2	2	4	2	2	2	2	2	2	8
$\sum c_{ik}^2$	24	8	4	2	2	2	2	2	4	2	2	2	2	2	2	12

s = sem; c = com; C = calcário; G = gesso; F = faixa; T = área total; I = incorporação; FNR = fosfato natural reativo. C₁: fatorial vs adicionais; C₂: sC vs cC d/MAP; C₃: F vs T d/sC d/MAP; C₄: sI vs cI d/sCF d/MAP; C₅: sI vs cI d/sCT d/ MAP; C₆: F vs T d/cC d/MAP; C₇: sI vs cI d/cCF d/MAP; C₈: sI vs cI d/cCT d/MAP; C₉: cC+cG vs cFNR; C₁₀: cGF vs cGT d/cCT; C₁₁: sC vs cC d/FNR; C_{A1}: cC vs cC+cGF d/TsI; C_{A2}: cC vs cC+cG-T d/TsI; C_{A3}: MAP vs FNR d/sCFsI; C_{A4}: MAP vs FNR d/cCTsI; C_{A5}: cC vs cC+cG d/MAP.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Produtividade dos componentes da parte aérea

Os resultados indicam que se podem classificar as produtividades de tronco em quatro grupos decrescentes, boa, média, baixa, muito baixa. Nessa sequência, os tratamentos com calcário+gesso ((cCT+cGF)sI e (cCT+cGT)sI) tiveram produtividade boa, os com calcário (cCFsI, cCFcI, cCTsI, cCTcI e cCTsIcFNR) média, o sem calcário mas com FNR (sCFsIcFNR) baixa, e aqueles, sem calcário e com MAP (sCFsI, sCFcI e sCTcI) muito baixa.

Primeiramente, há de se destacar o expressivo ganho de produção volumétrica de tronco nos tratamentos com aplicação conjunta de calcário+gesso chegando a atingir 96 % a mais de produção (média de 29,1 m³/ha) do que os tratamentos sem aplicação de calcário (sCFsI, sCFcI e sCTcI) que tiveram produção média de 14,9 m³/ha (Quadro 1.5). A aplicação de calcário+gesso, nas doses de 2,4 + 1,0 t/ha, respectivamente, produziu 24 % a mais do que a aplicação isolada de 3,0 t/ha de calcário, destacando-se o efeito do gesso no suprimento de Ca e também de S.

Quadro 1.5. Produção de mMSPA, características dendrométricas, % de ganho e IAF do eucalipto aos 18 meses de idade

TRATAMENTO ¹	mMSPA	Tronco	Lenho	Casca	Ganho	DAP	Altura	IAF
	t/ha	m ³ /ha			%	cm	m	m ² /m ²
sCFsI	9,9	14,9	11,5	3,4	-	6,4	8,1	2,65
sCFcI	10,5	15,5	12,2	3,3	-	6,5	8,4	2,65
sCTcI	10,2	14,2	11,4	2,8	-	6,4	8,2	2,68
cCFsI	14,8	23,2	18,7	4,5	56	7,5	9,6	3,67
cCFcI	14,4	23,1	18,3	4,8	55	7,5	9,5	3,30
cCTsI	14,5	24,2	19,2	5,0	63	7,6	9,7	3,13
cCTcI	15,9	24,1	19,3	4,8	62	7,8	9,6	3,78
Média (fatorial)	12,9	19,9	15,8	4,1	59	7,1	9,0	3,1
(cCT+cGF)sI	18,6	29,6	23,8	5,8	99	8,2	10,2	3,94
(cCT+cGT)sI	16,9	28,7	23,0	5,7	93	7,9	9,9	4,09
sCFsIcFNR	12,1	18,7	15,4	3,3	26	7,0	9,0	2,89
cCTsIcFNR	14,3	23,0	18,2	4,8	55	7,6	9,1	3,60
Média (adicionais)	15,5	25,0	20,1	4,9	64	7,7	9,5	3,6
Média geral	13,8	21,7	17,4	4,4	46	7,3	9,2	3,31
CV (%)	9,8	11,9	12,6	13,7	-	7,6	4,1	13,2

s = sem; c = com; C = calcário; G = gesso; F = faixa; T = área total; I = incorporação; mMSPA: massa de matéria seca da parte aérea; Ganho: no volume de tronco em relação à média dos tratamentos sem calcário do fatorial; IAF: índice de área foliar; DAP: diâmetro à altura do peito (1,30 m de altura); ¹Nos dois tratamentos indicados, a fonte de P no sulco de subsolagem é o FNR (fosfato natural reativo), nos demais é MAP (fosfato monoamônico).

Segundo Alvarez V. et al. (2007), o eucalipto é considerado uma planta exigente em S, mais do que a soja, por exemplo. Barros et al. (1990) detectaram aumento de 200 a 225 % no volume de tronco de *E. grandis*, em dois Latossolos (LV e LVA), quando foram aplicados em torno de 100 g/planta de gesso. Os critérios utilizados para a recomendação de gesso agrícola podem se encontrados em Alvarez V. et al. (1999).

Quadro 1.6. Contrastes médios e suas significâncias para mMSPA, características dendrométricas e IAF do eucalipto aos 18 meses de idade

CONTRASTE	mMSPA t/ha	Tronco m ³ /ha	Lenho	Casca	DAP cm	Altura m	IAF m ² /m ²
C ₁ : fatorial vs adicionais	2,97 **	5,8 **	4,8 **	0,9 **	0,7 **	0,65 **	0,57 **
C ₂ : sC vs cC d/MAP	4,81 **	8,8 **	7,2 **	1,5 **	1,2 **	1,36 **	0,81 **
C ₃ : F vs T d/sC d/MAP	- 0,18	- 0,7	- 0,4	- 0,3	- 0,1	- 0,09	0,02
C ₄ : sI vs cI d/sCF d/MAP	0,67	0,6	0,7	- 0,1	0,2	0,26	0,00
C ₅ : sI vs cI d/sCT d/MAP	0,31	- 0,7	- 0,1	- 0,6	0,0	0,07	0,03
C ₆ : F vs T d/cC d/MAP	0,60	1,0	0,8	0,2	0,2 °	0,11	- 0,03
C ₇ : sI vs cI d/cCF d/MAP	- 0,46	- 0,1	- 0,4	0,4	0,0	- 0,08	- 0,37
C ₈ : sI vs cI d/cCT d/MAP	1,38	- 0,1	0,1	- 0,2	0,2	- 0,10	0,65 *
C ₉ : cC+cG vs cFNR	- 4,57 **	- 8,3 **	- 6,6 **	- 1,7 **	- 0,8 **	- 1,00 **	- 0,77 **
C ₁₀ : cGF vs cGT d/cCT	- 1,72 °	- 0,9	- 0,8	- 0,1	- 0,3	- 0,38	0,14
C ₁₁ : sC vs cC d/FNR	2,25 *	4,3 *	2,8 °	1,5 **	0,6 *	0,18	0,71 *
C _{A1} : cC vs cC+cGF d/TsI	4,10 **	5,4 **	4,6 **	0,8 °	0,6 *	0,55 *	0,81 *
C _{A2} : cC vs cC+cGT d/TsI	2,37 *	4,6 *	3,8 *	0,8 °	0,3	0,18	0,96 **
C _{A3} : MAP vs FNR d/sCFsI	2,20 *	3,8 *	3,9 *	- 0,1	0,6 **	0,82 **	0,23
C _{A4} : MAP vs FNR d/cCTsI	- 0,21	- 1,1	- 1,0	- 0,1	0,0	- 0,55 *	0,47
C _{A5} : cC vs cC+cG d/MAP	2,85 **	5,5 **	4,5 **	1,0 **	0,4 **	0,47 **	0,55 **

°, * e ** = significativo a 10, 5, e 1 % pelo teste F, respectivamente.

s = sem; c = com; C = calcário; G = gesso; F = faixa; T = área total; I = incorporação; d/ = dentro de; FNR = fosfato natural reativo; MAP = fosfato monoamônico; mMSPA: massa de matéria seca da parte aérea; IAF: índice de área foliar; DAP: diâmetro à altura do peito (1,30 m de altura).

Ressalta-se também o ganho médio de 58 % no volume de tronco nos tratamentos que receberam a aplicação de calcário isoladamente em F ou T (cCFsI, cCFcI, cCTsI, cCTcI e cCTsIcFNR), comparado com a não aplicação (sCFsI, sCFcI e sCTcI), tornando evidente a resposta do eucalipto a aplicação de calcário, especialmente para suprir a demanda de Ca e Mg. As respostas do eucalipto a Ca influenciam mais o crescimento em diâmetro do que em altura (Barros et al., 1990). Plantas de *E. saligna*, com 24 meses de idade, que receberam 2,0 t/ha de calcário

apresentaram superioridade no DAP comparado com plantas sem adição de Ca (Melo, 1968). Resultados semelhantes foram obtidos por Valeri et al. (1983), num solo com $0,2 \text{ cmol/dm}^3$ de $(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})$, em que a aplicação de $2,0 \text{ t/ha}$ de calcário resultou em aumento do diâmetro de *E. grandis* até 18 meses de idade.

A média geral dos tratamentos da variável altura foi de $9,2 \text{ m}$. O crescimento em altura apresentou diferenças de menor magnitude do que as encontradas para volume de tronco, sendo em média de $8,2$, $9,5$ e de $10,0 \text{ m}$ de altura, para os tratamentos sem calcário, com calcário e calcário+gesso, respectivamente. Isso reforça o maior efeito da calagem no aumento do diâmetro, conforme registrado anteriormente.

O volume de casca foi em média igual a $20,2 \%$ do volume total do tronco, variando de $17,8$ a $22,7 \%$. A densidade do lenho teve média dos tratamentos de $0,357 \text{ kg/dm}^3$ e muito pouco variável entre os tratamentos, de $0,337$ a $0,376 \text{ kg/dm}^3$.

O contraste 1 (C_1) faz uma comparação ampla entre os tratamentos que compõem o fatorial 2^3 (calcário x localização x incorporação) com os tratamentos adicionais (calcário+gesso e FNR), mostrando a clara superioridade dos tratamentos adicionais, para todos os contrastes médios das características dendrométricas, significativos a 1% de probabilidade. Esse resultado se deve ao efeito do gesso e do calcário, pois no grupo do fatorial há quatro tratamentos sem calcário (50% dos tratamentos) e nos adicionais apenas um (25%).

Ao se comparar a aplicação de calcário com a aplicação de calcário+gesso dentro de MAP, percebe-se expressivo aumento de produção de todas as características variáveis avaliadas (Quadro 1.5), conforme indica o C_{A5} (Quadro 1.6). A massa de matéria seca da parte aérea (mMSPA) foi aumentada em $2,85 \text{ t/ha}$, em média, enquanto que a produção de tronco teve aumento de $5,5 \text{ m}^3/\text{ha}$ (C_{A5}) pelo efeito do gesso.

Na literatura, são frequentemente encontrados resultados consistentes mostrando que a aplicação de gesso promove maior movimentação de Ca e S no perfil do solo e, portanto, melhora o ambiente para o crescimento radicular (Quaggio et al., 1993; Caires et al., 2003; Caires et al., 2004; Camilo, 2007; Sobral et al., 2009; Neis et al., 2010). Por outro lado, o aumento de produtividade em resposta a aplicação de gesso é bastante variável, com efeitos nulos em soja (Caires et al., 2003; Neis et al., 2010), café (Camilo, 2007), e positivos em café (Guimarães, 1992), milho

(Caires et al., 2004), aveia-preta (Soratto & Crusciol, 2008), cevada (Caires et al., 2001), algodão ao S elementar (Reis Júnior et al., 2012).

Nos tratamentos que tiveram a aplicação combinada de calcário+gesso agrícola, na dose utilizada neste estudo (2,4 + 1,0 t/ha, respectivamente), houve diferença para aplicação em F vs T apenas na mMSPA (- 1,72 t/ha). Embora não significativo para as demais variáveis, houve tendência (significativo a 20 % de probabilidade) de aumento da maioria das variáveis de produção (massa de matéria seca de lenho, de casca, de folha e de galho – dados não mostrados, DAP e altura) pela aplicação do gesso em faixa comparado com a aplicação em área total, conforme indica o C₁₀. Portanto, diante dos dados obtidos até os 18 meses, seria adequada a aplicação do gesso (1,0 t/ha) em faixa combinado com 2,4 t/ha de calcário em área total.

Ao verificar os efeitos do calcário isoladamente e independente da forma de aplicação (faixa ou área total, sem ou com incorporação) frente à sua não aplicação, percebe-se um aumento médio significativo de 4,81 t/ha na mMSPA (C₂). O mesmo ocorreu para massa de matéria seca de todos componentes da árvore em separado (tronco, lenho, casca, folha e galho – dados não mostrados), para o IAF e também para as variáveis dendrométricas (DAP e altura), ou seja, a aplicação de calcário promoveu um aumento da “maquinaria fotossintética” (folhas e IAF) capaz de produzir plantas mais grossas (maior DAP) e com maiores alturas, culminando num aumento de 8,76 m³/ha, em média, no volume de tronco produzido, na idade de 18 meses.

Não houve diferença entre a aplicação de calcário em faixa ou área total para a grande maioria das características dendrométricas, a exceção da massa matéria seca de tronco e lenho (dados não mostrados) e DAP, que tiveram efeito positivo da aplicação em área total (C₆).

Quando a aplicação do calcário foi realizada em faixa, o tratamento sem incorporação não promoveu diferenças no crescimento (C₇). Isso provavelmente ocorreu devido às semelhanças na movimentação de Ca e Mg no perfil do solo (Cap. II) mesmo sem incorporação, pois a dose efetiva aplicada na faixa também foi de 3,0 t/ha, porém considerando que a área da faixa corresponde a 20 % da área total, ou seja, F = 1/5 T, a dose é equivalente a 15 t/ha na superfície que recebeu o calcário.

Na ausência de calcário, a aplicação de fosfato natural reativo (FNR) como fonte de P no sulco de subsolagem foi superior à aplicação de fosfato monoamônico

(MAP), para a grande maioria das variáveis de produção (C_{A3}). É importante ressaltar que, além do P, o FNR adicionou 163 kg/ha de Ca (37,2 % de Ca no FNR) enquanto o MAP adicionou 52,5 kg/ha de N (10,5 % de N no MAP). Esse resultado ocorreu especialmente na ausência de calcário, pois quando este foi aplicado, não houve diferença significativa na utilização do MAP ou FNR (C_{A4}). A aplicação do FNR também levou a uma maior taxa de recuperação pela planta, do Ca aplicado (Cap. II).

Os tratamentos que não tiveram a aplicação de calcário, mas tiveram incorporação (revolvimento do solo em faixa ou área total), não diferiram daqueles sem incorporação (C_4 e C_5). O revolvimento do solo acelera a decomposição de resíduos e da matéria orgânica do solo e isso pode liberar nutrientes neles contidos, estimulando o crescimento inicial das plantas, fato que não ocorreu neste estudo, provavelmente pela baixa quantidade de resíduos disponível.

Os resultados obtidos nesse trabalho tornam evidente que, mesmo sendo uma espécie tolerante à acidez do solo (Novais et al., 1990; Barros & Novais, 1999), o eucalipto responde positivamente a aplicação de Ca, especialmente em solos que apresentam teores de Ca trocável próximos de zero ou não detectáveis, como o solo deste estudo. É bastante razoável considerar que parte considerável das respostas positivas da aplicação do gesso se deve ao S nele contido conforme indicam também nos resultados encontrados por Barros et al. (1990).

Teores foliares de Ca, Mg e S

Os teores médios de Ca nas folhas, da copa inteira, terço médio e terço superior foram de 4,05; 14,8 e 1,86 g/kg (Quadro 1.7), respectivamente, mostrando claramente grande diferença de concentração, devido à sua imobilidade na planta, com teores cerca de oito vezes maiores nas folhas do terço médio, comparado com o terço superior. Já para Mg os teores médios foram de 1,98, 2,36 e 1,32 g/kg, nas folhas da copa inteira, terço médio e superior, respectivamente. Para o S, os teores nas folhas das diferentes posições da copa foram semelhantes (0,52, 0,42 e 0,46 g/kg de S, respectivamente) como o ocorrido com o Mg (Quadro 1.7).

Os teores de Ca e Mg encontrados nas folhas do terço médio encontram-se mais próximos daqueles considerados adequados (6,0-10,0 e 3,5-5,0 g/kg para Ca e Mg, respectivamente) para o eucalipto, conforme sugerem Cantarutti et al. (2007) e

Martinez et al. (1999). Esses autores recomendam amostrar folhas recém-maduras de ramos primários, na época de verão/outono, sem mencionar em qual porção da copa. Por outro lado, amostrar o 3º e 4º pares de folhas completamente desenvolvidas, no terço superior da copa, é a recomendação de Silveira et al. (2000) para se avaliar o estado nutricional do eucalipto, sendo nesse caso, os teores considerados adequados de 7,1 a 11,0 e 2,5 a 5,0 g/kg de Ca e Mg, respectivamente.

Quadro 1.7. Teores de Ca, Mg e S nas folhas de diferentes partes da copa do eucalipto

Tratamento	Copa Inteira			Terço Médio			Terço Superior		
	Ca	Mg	S	Ca	Mg	S	Ca	Mg	S
	g/kg								
sCFsI	4,12	1,46	0,62	11,0	1,21	0,37	1,24	0,84	0,38
sCFcI	5,21	2,36	0,74	10,3	1,28	0,35	1,16	0,89	0,44
sCTcI	3,96	2,20	0,47	11,9	1,10	0,39	1,12	0,82	0,36
Média dos sem-C	4,43	2,01	0,61	11,07	1,20	0,37	1,17	0,85	0,39
cCFsI	3,57	1,86	0,46	14,2	3,12	0,41	2,22	1,61	0,47
cCFcI	3,05	1,57	0,44	15,9	3,14	0,47	2,23	1,80	0,58
cCTsI	4,20	2,40	0,53	11,8	2,98	0,35	2,00	1,56	0,43
cCTcI	4,26	2,12	0,52	19,5	3,39	0,50	2,57	1,78	0,53
Média dos com-C	3,77	1,99	0,49	15,35	3,16	0,43	2,26	1,69	0,50
(cCT+cGF)sI	3,82	1,56	0,41	17,4	2,72	0,46	2,24	1,44	0,52
(cCT+cGT)sI	4,54	2,19	0,51	20,7	2,76	0,52	2,50	1,49	0,48
sCFsIcFNR	3,52	1,90	0,48	13,0	1,32	0,40	1,42	0,95	0,46
cCTsIcFNR	4,35	2,17	0,49	17,4	2,95	0,44	1,78	1,38	0,44
Média geral	4,05	1,98	0,52	14,8	2,36	0,42	1,86	1,32	0,46
CV (%)	14,6	15,8	25,7	16,7	9,6	11,1	35,7	28,6	14,5

A aplicação combinada de calcário+gesso comparado com calcário isoladamente (CA5), alterou os teores nas folhas do terço médio, aumentando os de Ca e S em 3,72 e 0,05 g/kg, respectivamente, e diminuindo os teores de Mg (- 0,42 g/kg) (Quadro 1.8). Aumento dos teores de Ca e S e redução de Mg no tecido foliar, devido a aplicação de gesso, têm sido relatados com frequência para várias culturas (Quaggio et al., 1993; Oliveira & Pavan, 1996; Caires et al., 2003; Caires et al., 2004; Soratto & Crusciol, 2008). Isso provavelmente ocorre pelo efeito de diluição da quantidade de Mg absorvida pela planta, em decorrência do aumento na produção de matéria seca promovido pela aplicação de gesso.

Quadro 1.8. Contrastes médios e suas significâncias para os teores de Ca, Mg e S nas folhas de diferentes partes da copa

CONTRASTE	Folhas da planta inteira			Folhas do terço médio			Folhas do terço superior		
	Ca	Mg	S	Ca	Mg	S	Ca	Mg	S
	g/kg								
C ₁ : fatorial vs adicionais	0,00	0,03	-0,07 °	3,92 **	0,26 **	0,05 **	0,26	0,0	0,03
C ₂ : sC vs cC d/MAP	- 0,59 **	0,12	- 0,13 *	4,28 **	1,96 **	0,06 **	1,06 **	0,84 **	0,11 **
C ₃ : F vs T d/sC d/MAP	- 0,63 *	- 0,08	- 0,14 °	0,80	- 0,09	0,02	- 0,02	- 0,03	- 0,04
C ₄ : sI vs cI d/sCF d/MAP	1,09 *	0,90 **	0,12	- 0,65	0,07	- 0,02	- 0,08	0,05	0,06
C ₅ : sI vs cI d/sCT d/MAP	- 0,17	0,74 **	- 0,15	0,96	- 0,11	0,02	- 0,13	- 0,02	- 0,01
C ₆ : F vs T d/cC d/MAP	0,92 **	0,55 **	0,07	0,68	0,06	- 0,01	0,06	- 0,04	- 0,04
C ₇ : sI vs cI d/cCF d/MAP	- 0,52	- 0,29	- 0,01	1,70	0,03	0,06 °	0,00	0,19	0,11 *
C ₈ : sI vs cI d/cCT d/MAP	0,06	- 0,27	- 0,01	7,70 **	0,41 *	0,15 **	0,56	0,22	0,10 *
C ₉ : cC+cG vs cFNR	- 0,25	0,16	0,03	- 3,88 **	- 0,60 **	- 0,07 **	- 0,77 *	- 0,30	- 0,05
C ₁₀ : cGF vs cGT d/cCT	0,72 °	0,63 **	0,10	3,33 °	0,04	0,06 °	0,26	0,06	- 0,04
C ₁₁ : sC vs cC d/FNR	0,83 °	0,27	0,01	4,43 *	1,63 **	0,03	0,37	0,43	- 0,02
C _{A1} : cC vs cC+cGF d/TsI	- 0,38	- 0,83 **	- 0,11	5,57 **	- 0,26	0,10 **	0,23	- 0,12	0,08 °
C _{A2} : cC vs cC+cGT d/TsI	0,35	- 0,20	- 0,01	8,90 **	- 0,23	0,17 **	0,49	- 0,06	0,05
C _{A3} : MAP vs FNR d/sCFsI	- 0,61	0,44 °	- 0,14	1,98	0,11	0,03	0,17	0,11	0,08
C _{A4} : MAP vs FNR d/cCTsI	0,15	- 0,23	- 0,03	5,56 **	- 0,03	0,09 *	- 0,22	- 0,18	0,01
C _{A5} : cC vs cC+cG d/MAP	0,42	- 0,11	- 0,02	3,72 **	- 0,42 **	0,05 *	0,11	- 0,22	0,00

°, * e ** = significativo a 10, 5, e 1 % pelo teste F, respectivamente. s = sem; c = com; C = calcário; G = gesso; d/ = dentro de; F = faixa; T = área total; I = incorporação; FNR = fosfato natural reativo; MAP = fosfato monoamônico.

Além disso, a lixiviação de Mg^{2+} promovida pelo gesso e pelo aumento do Ca^{2+} e do SO_4^{2-} em relação Mg^{2+} na solução do solo, causando um efeito competitivo e de diluição, no qual o Mg fica em desvantagem, resultando na maior absorção de Ca e S pela planta em detrimento ao Mg, também contribui para a redução dos teores de Mg na planta. Outro aspecto relacionado a isso, refere-se ao raio iônico do Ca que é maior que o do Mg, em contrapartida o Mg possui maior raio iônico hidratado, conseqüentemente a força com o Mg que fica retido nas micelas do solo será menor, portanto mais facilmente lixiviado.

Ao se comparar os tratamentos sem e com aplicação de calcário, nota-se que o calcário aumentou os teores de Ca, Mg e S, em 4,28, 1,96 e 0,06 g/kg, respectivamente (C_2 - Quadro 1.8), nas folhas da porção mediana de ramos do terço médio, ou seja, nas folhas as quais se recomenda a amostragem para verificar o estado nutricional das plantas.

Nas folhas da porção mediana de ramos do terço apical, esse aumento foi em menor proporção para Ca e Mg (1,06 e 0,84 g/kg) e maior para S (0,11 g/kg). Resultado diferente foi verificado nas folhas da planta toda, onde ocorreu uma redução dos teores de Ca e S (- 0,59 e - 0,13 g/kg) e não houve diferença significativa para Mg.

Por outro lado, ao se comparar os efeitos da localização do calcário, em faixa ou área total (C_6), apenas nas folhas da planta inteira, houve diferença nos teores de Ca e Mg, com aumento de 0,92 e 0,55 g/kg quando da aplicação em área total. Os teores das folhas das demais porções da planta não foram alterados. Diferentemente do efeito obtido nas variáveis de produção, a aplicação do gesso em área total aumentou os teores de Ca e Mg (folhas da planta inteira) e de Ca e S (folhas do terço médio), quando comparado com a aplicação em faixa (C_9).

Quando a aplicação foi realizada em faixa, incrementos significativos foram constatados apenas nos teores de S em folhas do terço médio e superior, ao se realizar a incorporação do calcário, comparado com a não incorporação (C_7). Em área total, a incorporação promoveu aumento médio de 7,70, 0,41 e 0,15 g/kg, nos teores de Ca, Mg e S, respectivamente, nas folhas do terço médio e de 0,10 g/kg S nas folhas do terço superior (C_8).

A aplicação de FNR no sulco de subsolagem comparada com MAP, não promoveu diferenças nos teores foliares de Ca de nenhuma porção da planta. Aumentou, apenas os teores Mg nas folhas da planta inteira (C_{A3}).

Os tratamentos sem a aplicação de calcário, mas com incorporação (C₄ e C₅), mostram que, nas folhas da planta inteira, a incorporação em faixa aumentou os teores de Ca e Mg (1,09 e 0,90 g/kg), e em área total (C₄), esse aumento foi de 0,74 g/kg nos teores de Mg. Esse aumento nos teores foliares, promovido pela incorporação, não se refletiu em aumentos nas variáveis de produção, conforme discutido anteriormente.

CONCLUSÕES

A aplicação de calcário mais gesso, nas doses de 2,4 e 1,0 t/ha, aumentou a produção de tronco em 96 %, comparado com a não aplicação de calcário, e em 24 %, comparado com a aplicação isolada de 3,0 t/ha de calcário, em avaliação feita aos 18 meses de idade.

Na aplicação de calcário mais gesso, o gesso aplicado em faixa, promoveu maior aumento nas variáveis de produção, comparado a sua aplicação em área total.

A aplicação de calcário isoladamente promoveu incremento médio de 58 % no volume de tronco, em relação ao controle, sem calcário.

Na ausência de calcário, a aplicação de fosfato natural reativo no sulco de subsolagem em relação ao MAP, aumentou a produção de tronco em 26 %.

Na ausência de calcário, o revolvimento do solo não alterou a produção volumétrica de madeira.

A aplicação combinada de calcário mais gesso agrícola comparado com calcário isoladamente, aumentou os teores de Ca e S e diminuiu os de Mg, nas folhas do terço médio da copa.

LITERATURA CITADA

ALVAREZ V., V. H.; DIAS, L. E.; RIBEIRO, A. C. & SOUZA, R. B. Uso de gesso agrícola. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G. & ALVAREZ V., V. H., eds. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais (5^a Aproximação). Viçosa, CFSEMG, 1999. p.67-78.

ALVAREZ V., V. H.; NOVAIS, R. F.; DIAS, L. E. & OLIVEIRA, J. A. Determinação e uso do fósforo remanescente. B. Inf. SBCS, 25:27-32, 2000.

- ALVAREZ V., V. H. ROSCOE, R.: KURIRARA, C. H. & PEREIRA, N. F. Enxofre. 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, SBCS, 2007. p.595-644.
- 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., eds. Relação solo-eucalipto. Viçosa, UFV, 1990. p.127-186.
- BARROS, N. F. & NOVAIS, R. F. Sugestões de Adubação para Grandes Culturas Anuais ou Perenes: Eucalipto. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G. & ALVAREZ V., V. H., eds. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais (5ª Aproximação). Viçosa, CFSEMG, 1999. p.305-307.
- CAIRES, E. F.; FELDHAUS, I. C.; BARTH, G. & GARBUIO, F. J. Lime and gypsum application on the wheat crop. *Sci. Agric.*, 59:357-364, 2002.
- CAIRES, E. F.; FELDHAUS, I. C. & BLUM, J. Crescimento radicular e nutrição da cevada em função da calagem e aplicação de gesso. *Bragantia*, 60:213-223, 2001.
- CAIRES, E. F.; BLUM, J.; BARTH, G.; GARBUIO, F. J. & KUSMAN, M. T. Alterações químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na implantação do sistema plantio direto. *R. Bras. Ci. Solo*, 27:275-286, 2003.
- CAIRES, E. F.; KUSMAN, M. T.; BARTH, G.; GARBUIO, F. J. & PADILHA, J. M. Alterações químicas do solo e resposta do milho à calagem e aplicação de gesso. *R. Bras. Ci. Solo*, 28:125-136, 2004.
- CAMILO, N. F. P. Produtividade do cafeeiro em resposta ao manejo da calagem e gessagem em Latossolo de Cerrado. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2007, 83p. (Dissertação de Mestrado)
- CANTARUTTI, R. B.; BARROS, N. F.; MARTINEZ, H. E. P. & NOVAIS, R. F. Avaliação da fertilidade do solo e recomendação de fertilizantes. 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, SBCS, 2007. p.769-850.
- DEFELIPO, B. V. & RIBEIRO, A. C. Análise química do solo (metodologia). 2. ed. Viçosa, MG: UFV, 1997. 26p. (Boletim de extensão 29).
- GUIMARÃES, P. T. G. O uso do gesso agrícola na cultura do cafeeiro. In: II SEMINÁRIO SOBRE USO DO GESSO AGRÍCOLA NA AGRICULTURA. Anais, Uberaba, 1992.
- MARTINEZ, H. E. P.; CARVALHO, J. G. & SOUZA, R. B. Diagnose foliar. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G. & ALVAREZ V., V. H., eds. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais (5ª Aproximação). Viçosa, CFSEMG, 1999. p.143-168.

- MARTINS, L. G. C.; BARROS, N. F.; SCATOLINI, F. M. Perda de produtividade de florestas de eucalipto em Minas Gerais causada pela deficiência de cálcio. In: XXXI CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO - Conquistas e Desafios da Ciência do Solo Brasileira, Gramado-RS, SBCS, 2007. v. 1. p. 168-168.
- MELO, H. A. Aspectos do emprego de fertilizantes minerais no reflorestamento de solos de cerrado do Estado de São Paulo, com *Eucalyptus saligna* Sm. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 1968, 176p. (Tese Prof. Cat.)
- NEIS, L.; PAULINO, H. B.; SOUZA, E. D.; REIS, E. F. & PINTO, F. A. Gesso agrícola e rendimento de grãos de soja na região do sudoeste de Goiás. R. Bras. Ci. Solo, 34:409-416, 2010.
- NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F. & NEVES, J. C. L. Nutrição mineral do eucalipto. In: BARROS, N. F. & NOVAIS, R. F., eds. Relação solo-eucalipto. Viçosa, UFV, 1990. p.25-98.
- OLIVEIRA, E. L. & PAVAN, M. A. Control of soil acidity in no tillage system for soybean production. Soil Till. Res., 38:47-57, 1996.
- QUAGGIO, J. A.; RAIJ, B. van; GALLO, P. B. & MASCARENHAS, H. A. A. Respostas da soja à aplicação de calcário e gesso e lixiviação de íons no perfil do solo. Pesq. Agropec. Bras., Brasília, 28:375-383, 1993.
- REIS JÚNIOR, A. R.; SILVA, D. R. G.; ÁVILA, F. W.; ÁVILA, P. A.; SOARES, D.A. & FAQUIN, V. Productivity and agronomic efficiency of cotton plants in response to nitrogen and sulfur supply. R. Bras. Ci. Agrárias 7:555-561, 2012.
- RUIZ, H. A. Incremento da exatidão da análise granulométrica do solo por meio da coleta da suspensão (silte + argila). R. Bras. Ci. Solo, 29:297-300, 2005.
- SILVEIRA, R. L. V. A.; HIGASHI, E. N.; GONÇALVES, A. N. & MOREIRA, A. Avaliação do estado nutricional do *Eucalyptus*: diagnose visual, foliar e suas interpretações. In: GONÇALVES, J. L. M. & BENEDETTI, V., eds. Nutrição e Fertilização Florestal. Piracicaba, IPEF, 2000, p.79-104.
- SOBRAL, L. F.; CINTRA, F. L. D. & SMYTH, J. T. Lime and gypsum to improve root depth of orange crop in an Ultisol of the Coastal Tablelands. R. Bras. Eng. Agríc. Amb., 13:836-839, 2009.
- SORATTO, R. P & CRUSCIOL, C. A. C. Nutrição e produtividade de grãos da aveia-preta em função da aplicação de calcário e gesso em superfície na implantação do sistema plantio direto. R. Bras. Ci. Solo, 32:715-725, 2008.
- VALERI, S. V.; CORRADINI, L.; FAZZIO, E. C. M.; CARRARA, M. A.; SOUZA, E. A.; AGUIAR, I. B.; BANZATTO, D. A.; BALERONI, J. & ABRAHÃO, I. S. Efeitos da adubação NPK e do calcário dolomítico no desenvolvimento de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Madein. R. Silvicultura, 8:531-536, 1983.

CAPÍTULO II²

Movimentação e taxas de recuperação de cálcio e magnésio no solo, pelo extrator e pelo eucalipto, em resposta à aplicação de calcário e gesso agrícola

RESUMO

A racionalidade no uso de fertilizantes e corretivos é dependente da eficiência de absorção e utilização dos nutrientes pela planta. A absorção depende da técnica de aplicação dos insumos e capacidade das raízes em absorver os nutrientes do solo. Este trabalho teve por objetivo avaliar a movimentação de Ca e Mg no perfil do solo e as taxas de recuperação desses nutrientes, pelo extrator e pelo eucalipto, em resposta à aplicação de calcário e gesso, em solo de Cerrado. O experimento foi conduzido em um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, textura média, com 20 % de argila. Os fatores em estudo foram: calcário (sem-sC e com-cC), localização (faixa-F e área total-T) e incorporação (sem-sI e com-cI), mais quatro tratamentos adicionais (dois com gesso-G e dois com fosfato natural reativo-FNR), arrançados em um fatorial $(2^3 - 1) + 2 + 2$, dispostos em blocos ao acaso, com quatro repetições, totalizando 44 unidades experimentais. Os tratamentos foram: sCFsI, sCFcI, sCTcI, cCFsI, cCFcI, cCTsI e cCTcI completam o fatorial, além dos adicionais (cCT+cGF)sI, (cCT+cGT)sI, sCFsIcFNR e cCTsIcFNR. Nos tratamentos do fatorial e nos dois com gesso utilizaram-se 200 kg/ha MAP (fosfato monoamônico) e nos dois restantes, 500 kg/ha de FNR. Tanto o MAP quanto o FNR foram aplicados no sulco de subsolagem. A dose de calcário foi de 3,0 t/ha, exceto nos tratamentos com gesso (1,0 t/ha) e, ou, com FNR, nos quais se aplicaram 2,4 t/ha de calcário. A aplicação de 3,0 t/ha de calcário, em faixa, sem ou com incorporação, promoveu incrementos expressivos nos teores de Ca e Mg até, pelo menos, 60 cm de profundidade. A aplicação da mesma dose em área total, os efeitos restringiram-se a, no máximo, 20 cm. As médias das taxas de recuperação do método KCl 1,0 mol/L foram de 22 e 36 % para Ca e Mg, respectivamente. As taxas de recuperação pela planta variaram de 2,5 a 7,5 % para Ca e de 3,2 a 7,9 % para Mg, até os 18 meses.

Termos de indexação: calagem, cálcio, gessagem, lixiviação, localização, *Eucalyptus*.

² Capítulo escrito conforme as normas de submissão para a Revista Brasileira de Ciência do Solo

SUMMARY

Calcium and magnesium movement and recovery rates in soil, by extractor and by eucalypt, in response to limestone and gypsum application

The rational use of fertilizers and is dependent on the efficiency of absorption and utilization of nutrients by the plant. The absorption depends of application technique of the inputs and the ability of the roots to absorb nutrients from soil. The aim of this study was to evaluate the movement of Ca and Mg in the soil profile and recovery rates of these nutrients, by extractor and by eucalypt, in response to limestone and gypsum application in Cerrado soil. The experiment was carried out in an Oxisol, medium texture with 20 % of clay. The factors studied were: limestone-L (without-sL and with-cL), location (strip-S and broadcast-B) and incorporation-I (without-sI and with-cI), plus four additional treatments (two with gypsum-G and two with reactive phosphate rock-RPR), arranged in a $[(2^3 - 1) + 2 + 2]$ factorial scheme, in a randomized block design, with four replications. Thus treatments were: sLSsI, sLScI, sLBcI, cLSsI, cLScI cLBsI and cLBcI complete factorial, and the additional (cLB+cGS)sI, (cLB+cGB)sI, sLSsIcRFR and cLBsIcRFR. In the treatments of the factorial and the two with gypsum was used 200 kg/ha of MAP (monoammonium phosphate) and for the two remaining treatments 500 kg/ha of RFR. Both, MAP and RFR were applied in furrow subsoiling. The application of limestone was 3.0 t/ha, except for treatments with gypsum (1.0 t/ha) and either with RFR, which were applied 2.4 t/ha of limestone. Application of limestone in the strip promoted better distribution of Ca and Mg in the soil profile, compared to broadcast. Application of 3.0 t/ha of limestone on the strip, with or without incorporation, promoted significant increases in Ca and Mg concentrations at least 60 cm soil depth. With application of this same dose in broadcast, the effects were restricted to a maximum of 20 cm of depth. Recovery rates extractor averaged 22 and 36 % for Ca and Mg, respectively. Plant recovery rates were from 2.5 to 7.5 % for Ca and from 3.2 to 7.9 % for Mg, up to 18 months old.

Index terms: limestone, calcium, sulfur, leaching, location, growth, *Eucalyptus*.

INTRODUÇÃO

O conteúdo de Ca em plantações de eucalipto com altas produtividades é elevado, especialmente na casca. Quando a colheita é realizada sem o descascamento no campo, a exportação do nutriente é elevada, o que pode comprometer a manutenção da produtividade em solos com baixos teores do nutriente, como a grande maioria dos solos de Cerrados.

O conteúdo de Ca na parte aérea do eucalipto varia com as condições edafoclimáticas e material genético, principalmente. Segundo cálculos feito pelo software NUTRICALC[®] (Barros et al. 1995) – versão generalista (ajustada com dados de vários locais), estimou-se a quantidade de Ca acumulada na parte aérea de 416 kg/ha de Ca, em povoamentos com produtividade da ordem de 50 m³/ha/ano, na idade de corte, que ocorre por volta de seis a sete anos. Portanto, na maioria das situações há necessidade de fornecer o nutriente via corretivos e, ou, fertilizantes.

Com a adoção do sistema de cultivo mínimo na área florestal, que se constitui em realizar um preparo localizado apenas na linha ou na cova de plantio, a aplicação do calcário é feita, na maioria dos casos, na superfície do solo em área total ou em faixa e sem incorporação (Gonçalves et al., 2000). Porém, aparentemente, apenas pequena parte do Ca aplicado é absorvida pelo eucalipto em um ciclo florestal, ou seja, baixas taxas de recuperação desse nutriente têm sido constatadas e comumente se encontram plantas com baixos teores de Ca no tecido foliar (Martins et al., 2007).

Alguns trabalhos indicam que o Ca do calcário não se movimenta para camadas profundas do solo (González-Erico et al., 1979; Ritchey et al., 1980; Pavan et al., 1984), enquanto que outros mostram consideráveis aumentos no pH e teores de Ca e Mg trocáveis abaixo da região de aplicação de calcário, em áreas de culturas anuais preparadas convencionalmente (Oliveira et al., 1997; Caires & Rosolem, 1998) e em culturas perenes (Chaves et al., 1984; Pavan, 1994). Por outro lado, a literatura tem mostrado consistentemente que, a aplicação de gesso promove a movimentação de Ca, Mg e S no perfil do solo, portanto, propicia ambiente químico mais adequado ao crescimento radicular (Caires et al., 2003; Caires et al., 2004; Camilo, 2007; Sobral et al., 2009; Neis et al., 2010; Nava et al., 2012). Portanto, buscar maneiras de melhorar a eficiência, refletido pelo aumento nas taxas de recuperação, seja pela forma de aplicação ou pelo uso de fontes alternativas de corretivos e, ou fertilizantes, é extremamente desejável.

Este trabalho teve por objetivo avaliar a movimentação de Ca e Mg no perfil do solo e determinar as taxas de recuperação desses nutrientes, pelo extrator e pelo eucalipto, em resposta à aplicação de calcário e gesso agrícola, em solo de textura média, na região do Cerrado do Estado de Minas Gerais.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na empresa Raiz Florestal Agropecuária LTDA, no município de Três Marias-MG, instalado em 1/12/2010, em um Latossolo Vermelho-Amarelo, distrófico (Quadro 2.1), em local com coordenadas geográficas de 18° 12' 07'' S e 45° 00' 01'' W. Trata-se de uma área de reforma com poucos resíduos na superfície do solo. As proporções de areia grossa, areia fina, silte e argila foram de 12,9; 62,4; 4,2 e 20,5 %, respectivamente (Ruiz, 2005).

Quadro 2.1. Caracterização química do LVAd antes da instalação do experimento

Prof.	pH H ₂ O	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	P	K	S	Cu	Zn	Fe	Mn	B	MOS	P-rem		
cm		cmol _c /dm ³				mg/dm ³										dag/kg	mg/L
0-10	4,06	n/d	0,01	0,81	4,6	0,9	17	16	0,20	0,34	125	10,2	0,14	2,35	23,1		
10-20	4,88	n/d	n/d	0,53	3,7	0,6	12	14	0,20	0,20	139	9,0	0,10	1,71	20,8		
20-40	5,25	n/d	n/d	0,31	2,9	0,3	9	14	0,17	0,10	125	7,8	0,07	1,33	21,4		
40-60	4,33	n/d	n/d	0,19	2,4	0,4	6	14	0,13	0,06	87	7,9	0,09	1,03	19,4		

n/d : não detectado; pH em água - relação 1:2,5; Ca²⁺, Mg²⁺ e Al³⁺ - extrator KCl 1,0 mol/L (Defelipo & Ribeiro, 1997); H+Al - extrator Ca(OAc)₂ 0,5 mol/L pH 7,0; S - extrator [Ca(H₂PO₄)₂] 500 mg/L de P, em HOAc 2,0 mol/L; P, K, Cu, Zn, Fe e Mn - extrator Mehlich-1; B - extrator CaCl₂ 5 mmol/L; MOS - C. org. x 1,724 -Walkley Black; P-rem - fósforo remanescente - Alvarez V. et al. (2000).

A dose de Ca e dos outros nutrientes aplicados foi definida pelo software NUTRICALC[®], que possui como princípio determinar a quantidade de nutrientes requerida pelo eucalipto para atingir uma determinada produtividade, considerando que o solo é capaz de suprir parte dos nutrientes.

O experimento teve os seguintes fatores em estudo: calcário-C (sem-sC e com-cC), localização (faixa-F e área total-T) e incorporação-I (sem-sI e com-cI), mais quatro tratamentos adicionais (dois com gesso-G e dois com fosfato natural reativo-FNR), arranjados em um fatorial (2³ - 1) + 2 + 2, dispostos em blocos ao acaso, com quatro repetições, totalizando 44 unidades experimentais (Quadro 2.2).

O espaçamento de plantio foi de 3,40 x 2,65 m. Cada unidade experimental possui oito linhas com 19 plantas, sendo a bordadura constituída por duas linhas

externas de cada lado e três plantas de cada extremidade, ou seja, a parcela útil foi constituída pelas 52 plantas centrais. Foram utilizadas mudas do clone I-144 (*Eucalyptus urophylla* x *E. grandis*).

Quadro 2.2. Descrição dos tratamentos de acordo com o fatorial ($2^3 - 1 + 2 + 2$)

TRATAMENTO	CALCÁRIO	Locali- zação	Incorpo- ração	GESSO	Locali- zação	Incorpo- ração	Fonte de P ¹
sCFsI	s	F	s	-	-	-	MAP
sCFcI	s	F	c	-	-	-	MAP
sCTcI	s	T	c	-	-	-	MAP
cCFsI	c	F	s	-	-	-	MAP
cCFcI	c	F	c	-	-	-	MAP
cCTsI	c	T	s	-	-	-	MAP
cCTcI	c	T	c	-	-	-	MAP
(cCT+cGF)sI	c	T	s	c	F	S	MAP
(cCT+cGT)sI	c	T	s	c	T	S	MAP
sCFsIcFNR	s	F	s	-	-	-	FNR
cCTsIcFNR*	c	T	s	-	-	-	FNR

s = sem; c = com; C = calcário; G = gesso; F = faixa; T = área total; I = incorporação;
¹Fonte de P no sulco de subsolagem: MAP = fosfato monoamônico e FNR = fosfato natural reativo.

O tratamento cCTsIcFNR em destaque no quadro 2.2, constitui-se naquilo que é praticado pela grande maioria das empresas do setor florestal. Os tratamentos sem gesso e com MAP compõem o fatorial, enquanto que os com gesso e com FNR são os tratamentos adicionais de interesse. O “- 1” do fatorial ($2^3 - 1$) corresponde ao tratamento sCTsI, o qual não difere na prática do sCFsI.

Quadro 2.3. Caracterização química dos corretivos e fertilizantes utilizados nos tratamentos

Produto	N	P ₂ O ₅				Ca	Mg	S	PN	PRNT
		Total	Ác. cítrico	CNA+H ₂ O	H ₂ O					
		%								
Calcário	-	-	-	-	-	20,9	10,4	-	98,6	98,5
FNR	-	28,0	13,0	-	-	32,7	-	-	-	-
MAP	10,5	-	-	54,0	44,0	-	-	-	-	-
Gesso	-	-	-	-	-	23,0	-	14,3	-	-

N e P₂O₅: referem-se à garantia fornecida pelo fabricante do produto. Os demais foram determinados analiticamente.

Como fonte de P foram aplicados 200 kg/ha de fosfato monoamônico (MAP), exceto nos dois tratamentos adicionais sCFsIcFNR e cCTsIcFNR, os quais receberam

500 kg/ha de fosfato natural reativo (FNR). Tanto o MAP quanto o FNR foram aplicados no sulco de subsolagem a 45 cm de profundidade. O calcário foi aplicado em área total ou em faixa de 70 cm de largura. A incorporação, quando realizada, foi feita até 20 cm de profundidade.

O plantio das mudas foi feito sete dias após a aplicação dos tratamentos. No quinto dia após o plantio, foram aplicados 100 g/muda de NPK (6-30-6 + 1,5 % B + 0,5 % Cu + 0,5 % Zn), divididos em duas covetas laterais. Em cobertura, foram aplicados no 4º mês 52,8 kg/ha de K₂O; 1,8 kg/ha de B e 0,6 kg/ha de Cu, e no 13º mês, 70,4 kg/ha de K₂O; 2,4 kg/ha de B e 0,8 kg/ha de Cu, na forma de KCl (44 % K₂O + 1,5 % B + 0,5 % Cu).

Após 18 meses da implantação do experimento, foi feita a medição do DAP (diâmetro a 1,30 m de altura) das 52 plantas da parcela útil para calcular o diâmetro médio de cada parcela. A árvore média foi abatida, medida sua altura e pesada a matéria fresca de seus componentes (folha, galho e tronco). Retirou-se amostra composta de cada componente em separado (folha, galho, casca e lenho) para determinação da massa de matéria seca e dos teores e conteúdos de nutrientes.

Com a finalidade de calcular o volume de madeira, foram retirados discos, com e sem casca (base, meio e ponta do tronco – na altura em que o Ø era de 3 cm), das árvores abatidas. De posse destas medidas, utilizando a fórmula de Smalian, calcularam-se os volumes com e sem casca e, pela diferença entre ambos, foi obtido o volume de casca de cada árvore. O volume de madeira produzido por hectare foi calculado pela multiplicação das medições da árvore pelo número de árvores/ha, ou seja, 1.111 árvores.

A amostragem de solo foi feita de 0-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm de profundidade, com o auxílio de trado tipo sonda (2,5 cm de Ø interno). Foram coletadas 16 amostras simples de cada profundidade para compor uma amostra composta por parcela, na região correspondente à faixa de 35 cm de cada lado da linha de plantio, evitando o sulco de subsolagem, distribuídas por toda a área da parcela. As amostras foram secadas ao ar e passadas em peneira de malha de 2,0 mm de diâmetro (TFSA) para análise química e granulométrica.

Para Ca e Mg, a etapa de extração foi feita conforme o método proposto por Defelipo & Ribeiro (1997), que consiste na extração com KCl 1,0 mol/L, relação solo:extrator de 1:10, com agitação a 200 rpm por 5 min em agitador horizontal. Os extratos foram pipetados após 16 h. A dosagem foi realizada em Espectrofotômetro

de Absorção Atômica. O S foi determinado pelo método proposto por Alvarez V. et al. (2001), o qual a extração é feita com $[\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2]$ 500 mg/L de P, em HOAc 2,0 mol/L] e dosagem em Espectrofotômetro UV-Visível.

As amostras de material vegetal foram pesadas e acondicionadas em sacos de papel e levadas para a estufa de circulação forçada de ar a 65 °C até atingirem peso constante. Depois foram moídas em moinho tipo Wiley com peneira de 0,5 mm e submetidas à calcinação em mufla, com elevação gradativa da temperatura, gastando-se em torno de 2,5 h até atingir 480 °C, permanecendo nesta temperatura por mais 3 h. Após esfriar, adicionaram-se 10 mL de HCl 0,1 mol/L para dissolver as cinzas e posteriormente verteu-se sobre papel de filtragem rápida e completou-se o volume para 20 mL. No extrato obtido, foram dosados os nutrientes em Espectrofotômetro de Emissão Ótica em Plasma Induzido (ICP-OES).

Taxas de recuperação

A partir das quantidades de nutrientes recuperados pelo extrator e pela planta e da quantidade disponibilizada pela aplicação de calcário e gesso, foi possível calcular a taxa de recuperação pelo extrator e pela planta, pelas seguintes equações:

Taxa de recuperação pelo extrator

A taxa de recuperação pelo extrator (trEx), foi calculada pela seguinte equação:

$$\text{trNu}_{ij}\text{Ex} = (\text{qrNu}_{ij} - \text{qrNu}_{i0}) / \text{qaNu}_{ij} \quad \text{Eq. 1}$$

Em que:

$\text{trNu}_{ij}\text{Ex}$ = taxa de recuperação do nutriente i pelo extrator de formas disponíveis, em $\text{kg ha}^{-1} / \text{kg ha}^{-1}$, no tratamento j, de acordo com a quantidade aplicada, em kg/ha, do nutriente i no tratamento j;

qrNu_{ij} = quantidade do nutriente i recuperado pelo extrator de formas disponíveis no tratamento j, em kg/ha;

qrNu_{i0} = quantidade média do nutriente i recuperado pelo extrator de formas disponíveis nos tratamentos sem aplicação do nutriente i, em kg/ha;

qaNu_{ij} = quantidade do nutriente i aplicada no tratamento j, em kg/ha.

Taxa de recuperação pela planta

A taxa de recuperação pela planta ($trPI$) indica a eficiência da planta em absorver o nutriente (i) proveniente do tratamento (j) e foi calculada pela seguinte equação:

$$trNu_{ij}PI = (cNu_{ij} - cNu_{i0}) / qaNu_{ij} + qsNu_i \quad \text{Eq. 2}$$

Em que:

$trNu_{ij}PI$ = taxa de recuperação do nutriente i pela planta, em $kg\ ha^{-1}/kg\ ha^{-1}$, no tratamento j , de acordo com a quantidade do nutriente i aplicado no tratamento j , em kg/ha ;

cNu_{ij} = conteúdo do nutriente i nas plantas do tratamento j , em kg/ha ;

cNu_{i0} = conteúdo médio do nutriente i nas plantas dos tratamentos sem aplicação do nutriente i (dose zero), em kg/ha ;

$qaNu_{ij}$ = quantidade do nutriente i aplicada no tratamento j , em kg/ha .

$qsNu_{ij}$ = quantidade do nutriente i suprida pelo solo, em kg/ha .

A quantidade do nutriente i suprida ($qsNu_{ij}$) pelo solo foi calculada dividindo-se o teor do nutriente i , em mg/dm^3 , pela taxa de recuperação pelo extrator, dessa forma, transforma-se o teor em dose.

A soma do conteúdo de nutrientes nas folhas, galho, lenho e casca resulta no conteúdo total de nutriente acumulado na parte aérea, indicando a demanda de nutriente pela planta, para determinada produção na época de avaliação do experimento.

Os dados foram submetidos à análise de variância e contrastes utilizando o software Statistica 8.0.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Movimentação de Ca, Mg e S no perfil do solo

Nos tratamentos sem aplicação de calcário ($sCFsI$, $sCFcI$ e $sCTcI$) o eucalipto apresentou um volume médio de tronco de $14,9\ m^3/ha$, em um solo onde não se conseguiu detectar Ca até a profundidade de 60 cm, sem a adição de fertilizante que contivesse Ca. Nessa condição as árvores acumularam $37,6\ kg/ha$ de Ca (média nos

mesmos tratamentos) na parte aérea (Quadro 2.4). O mesmo raciocínio se aplica ao Mg, com valores no solo da ordem de 5,5 kg/ha disponível até 60 cm, e acúmulos médios de 20,0 kg/ha de Mg na parte aérea.

Por se tratar de uma área de reforma, é possível que parte do Ca e Mg tenha vindo da mineralização dos resíduos e da matéria orgânica. Se os resíduos tivessem liberado grande quantidade desses nutrientes, esperar-se-ia detectar, pelo menos, parte deles na análise de solo feita após 18 meses, o que não aconteceu (Quadro 2.4). Poderia ainda o eucalipto ter absorvido Ca de profundidades maiores que 60 cm, porém, estudos mostram que grande parte do sistema radicular ativo se concentra na camada superficial (Neves, 2000; Lourenço, 2009), e, portanto, é dela a contribuição maior no suprimento de nutrientes para a planta.

Esses resultados mostram que o KCl 1,0 mol/L, não foi eficiente como extrator de Ca e Mg disponível para a cultura do eucalipto. Portanto, estudos adicionais, visando quantificar formas de Ca e Mg absorvíveis são necessários para melhor elucidar e estimar o potencial do solo em suprir esses nutrientes para o eucalipto. Resultados de análises de solo têm sido frequentemente encontrados com valores de Ca baixos e muito semelhantes, para solos com diferente capacidade de suprimento desse nutriente para o eucalipto (Informação pessoal, Lafayete Campelo Martins- Professor e Consultor na Área Florestal).

Por outro lado, o eucalipto se mostrou eficiente na absorção de Ca, tendo em vista que, em um solo com teor não detectável de Ca disponível, produziu a metade do volume de madeira dos melhores tratamentos (2,4 + 1,0 t/ha de calcário+gesso, respectivamente).

A aplicação de calcário em faixa promoveu melhor distribuição de Ca e Mg no perfil (cCFsI e cCFcI), quando comparada com os demais tratamentos (Quadro 2.4). Isso pode ser atribuído ao efeito de concentração, pois a área da faixa corresponde a 20 % da área total, e como a dose aplicada por hectare foi a mesma, então a dose de calcário corresponde a cinco vezes mais, ou seja, é equivalente a 15 t/ha ou 3.135 e 1.560 kg/ha de Ca e Mg, respectivamente. A textura franco-arenosa do solo favoreceu a percolação de água bem como a descida de cátions no perfil, corroborando os resultados de vários trabalhos que indicam que a movimentação de Ca é mais evidente após um longo tempo da aplicação de altas doses em solos de textura arenosa e, ou, mais bem estruturados (Caires, 2000; Miranda, et al., 2005).

Quadro 2.4. Conteúdos de Ca, Mg e S disponíveis, por camada e totais (0-60 cm), e as respectivas taxas de recuperação pelo extrator, aos 18 meses após aplicação dos tratamentos

TRATAMENTO	Dose			Prof.	Recuperado – Extrator						Taxa recuperação EXTRATOR ³			pH
	Ca	Mg	S		Ca	Mg	S	Ca	Mg	S	Ca	Mg	S	
	kg/ha			cm	kg/ha			Total (0-60) em kg/ha			– kg ha ⁻¹ / kg ha ⁻¹ –			H ₂ O
sCFsI	-	-	-	0-10	0,0	1,4	7,6	0,0	6,2	42,0	-	-	-	4,65
				10-20	0,0	1,1	6,9							4,69
				20-40	0,0	2,1	13,5							4,92
				40-60	0,0	1,6	13,9							4,97
sCFcI	-	-	-	0-10	0,0	1,3	7,7	0,0	5,3	40,1	-	-	-	4,53
				10-20	0,0	1,1	6,9							4,73
				20-40	0,0	1,5	12,5							4,85
				40-60	0,0	1,4	13,0							5,03
sCTcI	-	-	-	0-10	0,0	1,4	7,0	0,0	4,9	41,2	-	-	-	4,44
				10-20	0,0	1,0	7,2							4,75
				20-40	0,0	1,7	13,1							4,87
				40-60	0,0	0,7	13,9							5,03
cCFsI	3135 ⁽¹⁾	1560	-	0-10	333,8	154,8	4,0	744,1	441,5	30,3	0,237	0,282	-	6,95
				10-20	149,7	97,0	5,0							6,27
				20-40	159,8	114,7	11,8							5,96
				40-60	100,8	75,0	9,5							6,05
cCFcI	3135 ⁽¹⁾	1560	-	0-10	376,6	181,5	2,4	932,5	540,7	30,3	0,297	0,346	-	7,30
				10-20	202,9	130,1	5,2							6,67
				20-40	191,6	129,8	12,4							6,09
				40-60	161,4	99,3	10,3							6,28
cCTsI	627	312	-	0-10	140,5	70,8	5,7	167,7	152,0	36,6	0,267	0,482	-	5,76
				10-20	27,2	28,4	6,3							5,38
				20-40	0,0	17,1	12,5							5,19
				40-60	0,0	35,7	12,1							5,25
cCTcI	627	312	-	0-10	96,0	55,3	5,4	97,6	83,0	38,9	0,156	0,261	-	5,78
				10-20	1,6	15,1	6,8							5,12
				20-40	0,0	8,2	13,9							5,07
				40-60	0,0	4,5	12,9							5,14
(cCT+cGF)sI	1652 ⁽¹⁾	250	715	0-10	194,6	53,5	25,0	251,7	86,1	208,4	0,152	0,344	0,233	5,40
				10-20	20,8	14,6	38,1							5,05
				20-40	6,8	11,5	75,7							5,00
				40-60	29,5	6,5	69,5							5,19
(cCT+cGT)sI	731,6	250	143	0-10	107,9	48,4	15,7	148,1	95,6	116,1	0,202	0,376	0,536	5,42
				10-20	30,0	21,3	23,7							4,83
				20-40	10,5	16,7	43,9							4,87
				40-60	0,0	9,2	32,7							5,14
sCFsIcFNR	163	-	-	0-10	0,0	0,8	7,9	0,0	3,8	45,0	-	-	-	4,48
				10-20	0,0	1,0	7,0							4,67
				20-40	0,0	1,2	15,0							4,96
				40-60	0,0	0,7	15,0							5,20
cCTsIcFNR	665	250	-	0-10	127,7	63,9	5,4	151,6	114,3	38,9	0,228	0,451	-	5,78
				10-20	23,9	30,4	6,4							5,36
				20-40	0,0	13,4	13,5							5,30
				40-60	0,0	6,6	13,6							5,21
Média geral										0,220	0,362	0,386		
CV (%)										66,3	49,7	13,0		

s = sem; c = com; C = calcário; G = gesso; F = faixa; T = área total; FNR = fosfato natural reativo; Quantidade recuperada pelos extratores KCl 1,0 mol/L (Ca e Mg) e [Ca(H₂PO₄)₂] 500 mg/L de P, em HOAc 2,0 mol/L para S: os teores obtidos pelos extratores, em mg/dm³, foram transformados para kg/ha (kg/ha = mg/dm³ x 1, para as camadas 0-10 e 10-20 cm, e kg/ha = mg/dm³ x 2, para 20-40 e 40-60 cm);

⁽¹⁾ Dose: a área da F é de 20 % de T. Como a dose/ha é fixa, a superfície da faixa recebe uma dose 5 vezes maior;

⁽²⁾ Nesse caso, a faixa recebeu uma dose de 501,6 kg/ha de Ca (calcário) mais 1.150 kg/ha de Ca (gesso);

⁽³⁾ Taxa de recuperação: calculada com base na dose aplicada na faixa, local onde foi realizada a amostragem do solo.

Outro fator que pode ter contribuído para essa boa movimentação é a granulometria do calcário, que tinha eficiência relativa de 99,9 % e PRNT de 98,5 %. Partículas mais finas do corretivo têm maior reatividade e podem dissociar rapidamente, liberando mais Ca e Mg para o solo que partículas maiores (Mello et al., 2003).

Nos tratamentos cCFsI e cCFcI, a aplicação na faixa de uma dose equivalente a 15 t/ha de calcário (considerando a superfície aplicada) promoveu elevação de pH (acima do ideal entre 5,5 e 6,0), atingindo valores de até 7,30 na camada de 0-10 cm. Isso poderia provocar desbalanços nutricionais, principalmente a redução da disponibilidade de micronutrientes, em especial dos catiônicos, como Cu, Fe, Zn e Mn. Porém, não foram detectados sintomas visuais de deficiências, isso se deve provavelmente, pelo efeito do pH elevado se restringir a faixa aplicada (70 cm de largura), e o restante do solo (80 % da superfície) permanecer com o pH de 4,80, em média, semelhante ao pH dos tratamentos sem calcário (sCFsI, sCFcI e sCTcI) (Quadro 2.4).

Os resultados encontrados com a aplicação do calcário em faixa, na dose equivalente a 15 t/ha de calcário, além de mostrarem a expressiva movimentação de Ca e Mg até, pelo menos, 60 cm de profundidade, deixam indícios de que a movimentação foi além dessa profundidade, e como não se determinou até que profundidade isso ocorreu, fica o alerta para três pontos importantes. Primeiro, a preocupação dos nutrientes terem descido além do alcance do sistema radicular, diminuindo a eficiência de aquisição dos mesmos. Segundo, pela elevação considerável do pH do solo na faixa, em níveis acima do ideal, o que pode causar redução da disponibilidade de micronutrientes catiônicos e desbalanços nutricionais diversos, embora prejuízos esses não constatados neste estudo. E por último, mas não menos importante, a preocupação de que uma lixiviação mais intensa possa levar Ca e Mg e outros elementos até o lençol freático. Qualquer uma dessas situações não é desejável do ponto de vista da racionalização da fertilização, nem da manutenção da qualidade ambiental das águas que drenam as microbacias hidrográficas com plantações florestais.

Os resultados desse trabalho foram promissores no sentido de mostrar que a aplicação em faixa pode ser bastante interessante, pelo aprofundamento do Ca e do Mg quando o calcário foi aplicado faixa, tornado evidente de que aumentar a disponibilidade de Ca em profundidade pode ser mais interessante do que fazê-lo em

área total apenas na camada superficial. Entretanto, mais pesquisas são necessárias principalmente para definir melhor doses ambientalmente seguras e agronomicamente eficientes na movimentação dos nutrientes e no condicionamento químico do perfil do solo, favorecendo o crescimento radicular e o aumento da produção de madeira.

Nos demais tratamentos com aplicação de calcário, o pH do solo variou entre 5,10 e 5,80, valores adequados para o eucalipto, a exceção do tratamento (cCT+cGT)sI, que praticamente não diferiu dos tratamentos controle (sem calcário), com pH de 4,83 e 4,87 (10-20 e 20-40 cm), o que não comprometeu a produtividade, conforme mostrado no quadro 2.8 para esse tratamento, reforçando os relatos da pouca sensibilidade do eucalipto à acidez do solo.

O aumento nos teores de S ocorreu até, pelo menos 60 cm de profundidade, mesmo no tratamento que recebeu 1,0 t/ha em área total. Quando essa mesma dose foi aplicada em faixa (1/5 da área total) a superfície da faixa recebeu uma dose equivalente a 5,0 t/ha, e nesse caso os incrementos nos teores de S foram ainda maiores e possivelmente a movimentação do SO_4^{2-} foi além da profundidade medida.

Taxas de recuperação de Ca, Mg e S pelo extrator

O cálculo das taxas de recuperação pelo extrator foi realizado com base na Eq. 1. Para isso, considerou-se a dose aplicada na faixa (F) de 70 cm, mesmo local de onde foi realizada a amostragem do solo, e extrapolou-se o resultado para área total (T), ou seja, a taxa de recuperação pelo extrator reflete o que ocorreu na faixa, mas é expressa como se T tivesse recebido as doses equivalentes aplicadas em F. Por exemplo, onde o calcário foi aplicado em faixa (cCFsI e cCFcI), a dose efetiva foi de 627 kg/ha de Ca, mas como a área da F é de 1/5 de T, a superfície do solo da faixa recebeu uma dose equivalente de calcário 5 vezes maior. Ilustrando os cálculos para os tratamentos cCFsI e cCTsI, fica da seguinte maneira:

$$\text{trCaEx}_{\text{cCFsI}} = (744,1 - 0,0)/3.135 = 0,237 \text{ kg ha}^{-1} / \text{kg ha}^{-1}, \text{ ou seja, } 23,7 \text{ \%}.$$

$$\text{trCaEx}_{\text{cCTsI}} = (167,7 - 0,0)/627 = 0,267 \text{ kg ha}^{-1} / \text{kg ha}^{-1}, \text{ ou seja, } 26,7 \text{ \%}.$$

No caso do tratamento (cCT+cGF)sI, aplicou-se em T a dose de 2,4 t/ha de calcário com 20,9 % de Ca (501,6 kg/ha de Ca) mais 1,0 t/ha de gesso em F, ou seja, uma dose equivalente a 5,0 t/ha de gesso com 23,0 % de Ca (1.150 kg/ha), totalizando 1.651,6 kg/ha de Ca aplicado. No tratamento (cCT+cGT)sI a dose de Ca

foi de 2,4 t/ha de calcário mais 1,0 t/ha de gesso, ambos em T, ou seja, 731,6 kg/ha de Ca (501,6 + 230). Dessa forma, as taxas de recuperação pelo extrator serão de:

$$\text{trCaEx}_{(\text{cCT}+\text{cGF})\text{SI}} = (251,7 - 0,0)/1.651,6 = 0,152 \text{ kg ha}^{-1}/ \text{kg ha}^{-1}, \text{ ou seja, } 15,2 \text{ \%}.$$

$$\text{trCaEx}_{(\text{cCT}+\text{cGT})\text{SI}} = (148,1 - 0,0)/731,6 = 0,202 \text{ kg ha}^{-1}/ \text{kg ha}^{-1}, \text{ ou seja, } 20,2 \text{ \%}.$$

As taxas médias de recuperação de Ca pelo extrator (trCaEx) variaram de 15,2 a 29,7 %, valores considerados bem abaixo do esperado, principalmente por se tratar de um cátion com fraca força de adsorção na fase sólida (ligação eletrostática) e pelas características do corretivo aplicado, que são favoráveis a dissolução. Essas baixas taxas de recuperação pelo extrator podem estar relacionadas com a movimentação dos cátions para além da profundidade amostrada, conforme indica os teores na camada de 40-60 cm, em especial quando a aplicação foi realizada em faixa (cCFsI e cCFcI) (Quadro 2.4). Aliado a isso, um possível recobrimento das partículas de calcário por óxidos de Fe existentes no solo, dificultando a extração pelo KCl 1,0 mol/L, também pode estar contribuindo para essas baixas taxas.

Nenhum contraste foi significativo para a trCaEx (Quadro 2.5). Para Mg, as taxas de recuperação pelo extrator (trMgEx) foram também baixas, porém mais elevados que as de Ca, variando de 26,1 a 48,2 %, com média de 36,2 %. Também se observou alta correlação das trMgEx com as trCaEx ($r = 0,83^{***}$, dado não mostrado). Entre os contrastes testados (Quadro 2.6), apenas o C₃, indicou redução de 22,1 % na trMgEx de forma significativa, quando o calcário aplicado em área total, é incorporado. O mesmo contraste sinalizou a mesma tendência para Ca, ou seja, uma redução de 11,2 % na trCaEx, porém, não foi significativo até 10 % de probabilidade.

Essa tendência de redução das taxas de recuperação pelo extrator com a incorporação pode ser explicada pela força de adsorção e ocupação dos sítios de adsorção (melhor homogeneização), os quais são mais facilmente saturados por elevadas doses (aplicação em faixa de dose equivalente a 15 t/ha) sendo neste caso a incorporação pouco relevante em levar os cátions até sítios de adsorção vazios, haja vista que, mesmo sem a incorporação, os cátions movimentaram-se satisfatoriamente pelo perfil, pelo efeito da alta dose aplicada. Contrariamente, a incorporação de “doses menores” (área total – 3,0 t/ha), facilita o contato dos íons com a superfície adsorvente não saturada tornando mais estável sua ligação às micelas do solo.

Quadro 2.5. Contrastes médios e suas significâncias para as taxas de recuperação de Ca e Mg pelo extrator

CONTRASTES	EXTRATOR KCl 1,0 mol/L	
	trCaEx	trMgEx
	kg/ha ⁻¹ / kg ha ⁻¹	
C ₁ : F vs T d/cC d/MAP	- 0,056	0,058
C ₂ : sI vs cI d/cCF d/MAP	0,060	0,064
C ₃ : sI vs cI d/cCT d/MAP	- 0,112	- 0,221 °
C ₄ : cC+cG vs FNR d/cCTsI	0,051	0,094
C ₅ : cGF vs cGT d/cC	0,050	0,038
C _{A1} : cC vs cC+cGF d/TsI	- 0,115	- 0,144
C _{A2} : cC vs cC+cGT d/TsI	- 0,065	- 0,106
C _{A3} : MAP vs FNR d/cCTsI	- 0,039	- 0,031
C _{A4} : cC vs cC+cG d/MAP	-0,062	0,015

° = significativo a 10 % pelo teste F. s = sem; c = com; d/ = dentro de; C = calcário; G = gesso; F = faixa; T = área total; I = incorporação.

A redução de 26,7 para 15,6 % na trCaEx (Quadro 2.4) evidencia um “desaparecimento” de Ca aplicado, provocado pela incorporação, e reforça os argumentos anteriores de que o método proposto por Defelipo & Ribeiro (1997), que possui a solução de KCl 1,0 mol/L como extrator, não está cumprindo sua função, que é de estimar satisfatoriamente o Ca disponível para a cultura do eucalipto.

Quanto ao S, As taxas médias de recuperação de S pelo extrator (trSEx) foram de 23,3 a 53,6 %, para a aplicação de gesso em faixa (dose equivalente a 5,0 t/ha) e em área total (1,0 t/ha), respectivamente. Essa menor trSEx para a faixa, se deve, pelo menos em parte, a movimentação de S além da profundidade medida (60 cm) conforme indica o teor de S encontrado na camada de 40-60 cm (Quadro 2.4), ou seja, parte do S que o extrator poderia encontrar não foi computado no cálculo da taxa porque a amostragem limitou-se até 60 cm.

Camilo (2007) encontrou valores médios de taxas de recuperação pelo KCl 1,0 mol/L para a camada de 0-20 cm de 18 e 25 % para Ca e de 21 e 29 % para Mg, em área total e faixa, respectivamente.

Taxas de recuperação de Ca, Mg e S pela planta

De forma semelhante ao ocorrido com a trCaEx, as médias das taxas de recuperação de Ca pela planta (trCaPl) variaram de 2,5 a 7,5 %, taxas muito abaixo do esperado. Vale ressaltar que, para o cálculo da taxa foi utilizada a equação (2), ou seja, trata-se da taxa descontando o valor médio do conteúdo do nutriente dos

tratamentos sem aplicação de Ca (sCFsI, sCFcI e sCTcI). Para Mg, as trMgPI também foram bastante baixas, variando de 3,2 a 7,9 %, em média (Quadro 2.6). É importante mencionar que maior parte do Ca será acumulada na casca e no lenho. Esses componentes aumentarão consideravelmente a partir do 3º ano (Figura 2.1).

O que provavelmente limita o acúmulo de Ca e Mg na planta e consequentemente as taxas de recuperação pela planta, é a baixa produção de massa de matéria seca da parte aérea (mMSPA) nessa idade jovem (18 meses), pois em média, a partir de 24 meses inicia a fase de crescimento exponencial, típico da dinâmica do crescimento das plantações de eucalipto. Portanto, é razoável considerar que essas taxas, extremamente baixas em plantas com 18 meses de idade, deverão aumentar em idade mais avançada.

Quadro 2.6. Conteúdos de Ca, Mg e S na matéria seca da parte aérea, e as respectivas taxas de recuperação pela planta

TRATAMENTO	Dose aplicada			Conteúdo na mMSPA			Taxa recuperação PLANTA ¹		
	Ca	Mg	S	Ca	Mg	S	Ca	Mg	S
	kg/ha						kg ha ⁻¹ / kg ha ⁻¹		
sCFsI	0	0	0	34,4	17,5	7,4	-	-	-
sCFcI	0	0	0	41,5	22,1	7,7	-	-	-
sCTcI	0	0	0	37,0	20,3	6,2	-	-	-
cCFsI	627	312	0	57,4	32,4	9,9	0,032	0,040	-
cCFcI	627	312	0	52,6	30,1	9,7	0,025	0,032	-
cCTsI	627	312	0	64,3	37,4	9,8	0,042	0,056	-
cCTcI	627	312	0	75,1	37,0	11,4	0,060	0,054	-
(cCT+cGF)sI	732	250	143	77,2	36,7	12,6	0,054	0,067	0,024
(cCT+cGT)sI	732	250	143	83,4	39,8	12,9	0,063	0,079	0,025
sCFsIcFNR	163	0	0	48,7	22,9	8,0	0,075	-	-
cCTsIcFNR	665	250	0	64,1	29,4	8,5	0,040	0,044	-

s = sem; c = com; C = calcário; G = gesso; F = faixa; T = área total; FNR = fosfato natural reativo; mMSPA = massa de matéria seca da parte aérea;

¹trNu_jPI = (conteúdo Nu_j - conteúdo Nu_{i dose 0})/quantidade Nu_j aplicada + quantidade Nu_i do solo

É relevante ressaltar que a maior trCaPI ocorreu no tratamento sCFsIcFNR que, ao se aplicar fosfato natural reativo (FNR) no sulco de subsolagem, e pelo fato do FNR conter 32,7 % de Ca (Quadro 2.3), adicionou-se 165 kg/ha de Ca, e isso promoveu um aumento de 25,5 % no volume de madeira (18,7 m³/ha) comparado com a produtividade média dos tratamentos sem calcário e com MAP no sulco de subsolagem (sCFsI, sCFcI e sCTcI - 14,9 m³/ha) (Cap. I).

A aplicação de calcário+gesso comparado com aplicação isolada de calcário (Quadro 2.7), aumentou significativamente a trCaPl e a trMgPl em 1,9 e 2,7 %, respectivamente (C_{A4}).

Efeito positivo também se verificou ao comparar a aplicação combinada de calcário+gesso com o tratamento utilizado em escala operacional por muitas empresas do setor florestal, que consiste na aplicação de calcário em área total sem incorporação e com FNR no sulco de subsolagem (cCTsIcFNR), promovendo incremento de 1,9 % na trCaPl e de 2,9 % na trMgPl (C₄).

Quadro 2.7. Contrastes médios e suas significâncias para as taxas de recuperação de Ca e Mg pela planta

CONTRASTES	PLANTA	
	trCaPl	trMgPl
	kg/ha ⁻¹ / kg ha ⁻¹	
C ₁ : F vs T d/cC d/MAP	0,023 **	0,019 **
C ₂ : sI vs cI d/cCF d/MAP	-0,006	-0,007
C ₃ : sI vs cI d/cCT d/MAP	0,017	-0,001
C ₄ : cC+cG vs FNR d/cCTsI	-0,019 *	-0,029 **
C ₅ : cGF vs cG-T d/cC	0,008	0,012
C _{A1} : cC vs cC+cGF d/TsI	0,012	0,011
C _{A2} : cC vs cC+cGT d/TsI	0,020 °	0,023 °
C _{A3} : MAP vs FNR d/cCTsI	-0,003	-0,012
C _{A4} : cC vs cC+cG d/MAP	0,019 *	0,027 **

°, * e ** = significativo a 10, 5, e 1 % pelo teste F, respectivamente. s = sem; c = com; d/ = dentro de; C = calcário; G = gesso; F = faixa; T = área total; I = incorporação.

Quando da aplicação de calcário+gesso, não foi possível verificar na trCaPl nem na trMgPl (C₅), efeito positivo do gesso em faixa comparado a aplicação em área total.

De forma geral, com os dados deste trabalho, não foi possível constatar diferenças nas taxas de recuperação pela planta, ao comparar a aplicação de calcário+gesso, com o gesso em faixa ((cCT+cGF)sI)), com calcário em área total sem incorporação (cCTsI) conforme indicou o C_{A1} (Quadro 2.7). Por outro lado, quando o gesso foi aplicado em área total ((cCT+cGT)sI)), obteve-se um aumento na trCaPl de 2,0 % e na trMgPl de 2,3 % (C_{A2}) comparado ao tratamento cCTsI.

Nos tratamentos com calcário isoladamente, a aplicação em área total aumentou a trCaPl significativamente, em média, em 2,3 %, comparado com a aplicação em faixa e em 1,9 % a trMgPl (C₁, Quadro 2.7). Ao se verificar o efeito da

incorporação, sem e com, não houve diferenças nas taxas de recuperação pela planta para a aplicação em faixa ou área total, de acordo com C₂ e C₃, respectivamente.

De modo geral, como indicam os dados deste estudo, as taxas de recuperação pela planta tenderam a diminuir quando se aplicam calcário e gesso em faixa comparativamente à área total. Porém é importante lembrar que o efeito do gesso aplicado em faixa foi superior a sua aplicação em área total para mMSPA. Em adição a isso, mesmo que a taxa de recuperação pela planta tenha diminuído, o fato da aplicação em faixa de ter promovido uma melhor distribuição de Ca e Mg no perfil, pode ser uma estratégia interessante no estímulo ao aprofundamento do sistema radicular especialmente em locais com déficit hídrico.

Diferentemente do que ocorre para o P, para Ca e Mg, esse efeito de concentração (aplicar a mesma dose da área total em faixa) não favorece o acúmulo do nutriente pela planta, resultando em menor taxa de recuperação. Isso possivelmente ocorreu devido ao aumento da distância entre o nutriente concentrado na faixa e as raízes que crescem fora dela, bem como a diminuição das chances de interceptação radicular, que pode ser um mecanismo importante de aquisição pela planta, especialmente para atender a demanda de Ca (Vargas et al., 1983).

Demanda de Ca e Mg pela planta, estimada para o 7º ano

Em termos gerais, os resultados indicam que se pode classificar as produtividades em quatro grupos crescentes, muito baixa, baixa, média, e boa. Nesse sequência os tratamentos sem calcário (sCFsI, sCFcI e sCTcI) tiveram produtividade muito baixa, seguido do sem calcário mas com fosfato natural reativo (sCFsIcFNR), considerada baixa, os com calcário (cCFsI, cCFcI, cCTsI, cCTcI e cCTsIcFNR) média, e os aqueles com calcário+gesso ((cCT+cGF)sI e (cCT+cGF)sI) boa. Dessa forma, agrupando os tratamentos com produtividades semelhantes, expressam-se os conteúdos de Ca e Mg nos diferentes componentes da parte aérea de eucalipto (Quadro 2.8).

Avaliações feitas precocemente, como nesse estudo, retratam o que aconteceu até a idade avaliada, sendo necessário que se façam avaliações posteriores até a idade de colheita, para completar as informações e subsidiar a tomada de decisão. Por outro lado, pelo uso da modelagem, é possível prever algumas respostas, mediante algumas pressuposições. Portanto, a partir dos dados iniciais desse trabalho, obtidos

aos 18 meses, integrando com experimentos locais em condições semelhantes, projetar-se-ão a produção volumétrica até idade de colheita que ocorre por volta do 7º ano.

Quadro 2.8. Produção de matéria seca e conteúdo de Ca e Mg nos diferentes componentes da parte aérea de eucalipto, aos 18 meses de idade

Compo- nente	PRODUÇÃO de MS				Conteúdo de Ca				Conteúdo de Mg			
	Grupos de tratamentos											
	sCcMAP	sCcFNR	cC	cC+cG	sCcMAP	sCcFNR	cC	cC+cG	sCcMAP	sCcFNR	cC	cC+cG
	t/ha				kg/ha							
Folhas	3,16	3,55	4,08	4,60	13,97	12,50	15,84	19,20	6,37	6,80	8,22	8,55
Galhos	1,95	2,17	2,57	3,15	7,93	9,80	13,70	18,00	3,80	4,40	6,66	6,85
(Copa)	5,10	5,71	6,64	7,75	21,90	22,30	29,52	37,20	10,20	11,20	14,84	15,45
Casca	0,92	1,15	1,36	1,56	4,40	6,00	9,78	12,40	1,80	2,00	3,90	4,00
Lenho	4,14	5,19	6,78	8,45	12,53	21,60	25,44	32,75	9,50	11,00	15,90	20,40
(Tronco)	5,07	6,34	8,14	10,00	16,93	27,60	35,24	45,15	11,33	13,00	19,80	24,45
(PA)	10,18	12,05	14,79	17,75	38,83	49,90	64,76	82,35	21,47	24,20	34,68	39,90
	m ³ /ha											
Tronco	14,9	18,7	23,5	29,2	-	-	-	-	-	-	-	-

s = sem; c = com; C = calcário; G = gesso; F = faixa; T = área total; MAP = fosfato monoamônico; FNR = fosfato natural reativo; MS = matéria seca; Copa = folhas + galhos; Tronco = lenho + casca; PA = parte aérea = tronco + copa.

Utilizando-se dados de três clones cultivados comercialmente em condições edafoclimáticas semelhantes, e suas respectivas produtividades de tronco em diferentes idades, usou-se a função de crescimento logística, a qual é amplamente utilizada na mensuração florestal.

Para validar essa projeção, pelo menos duas pressuposições devem ser atendidas, a seguir:

- Admite-se que o clone I-144 apresentará a tendência de crescimento média dos clones A, B e C;
- Nenhuma adversidade biótica ou abiótica afetar o crescimento de forma expressiva.

A figura 2.1 apresenta os dados observados e a linha por onde passam os valores estimados.

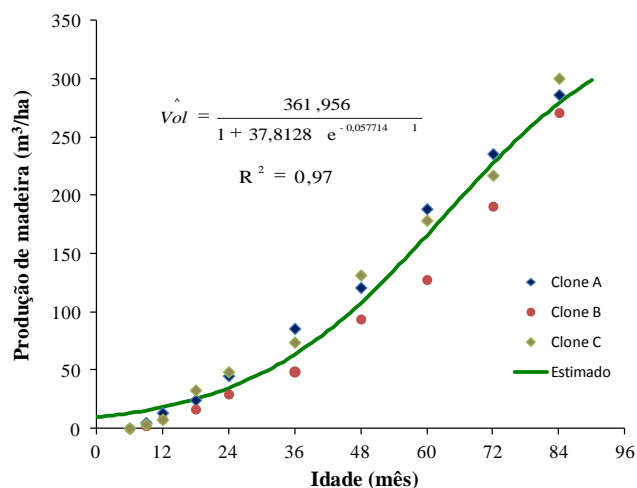


Figura 2.1. Estimativa da produção volumétrica de madeira do clone I-144, em função da idade, usando a função logística.

A análise da figura 2.1, permite concluir que o modelo ajustado apresenta boas estimativas do comportamento médio dos três clones, a exceção da fase inicial de crescimento, até os 12 meses, para a qual o modelo está superestimando. Esse problema não é relevante, pois para esta fase, se dispõe dos dados observados, medidos aos 18 meses de idade.

Com base no modelo ajustado, estimou-se o volume aos 18 meses, e com os valores observados obtidos nessa idade, para o grupo de tratamentos com produtividade similar, calculou-se o índice de consistência volumétrica (IcV), que consiste em dividir o volume estimado pelo observado ($IcV = V_{est} / V_{obs}$). Dessa forma, estima-se o volume para qualquer idade e divide-se pelo IcV do grupo de tratamentos correspondentes (Quadro 2.9).

Quadro 2.9. Volume de tronco observado e estimado nas idades atual e futura

TRAT	I _{atual} mês	V _{atual obs} m ³ /ha	V _{atual est} m ³ /ha	IcV	I _{futura} mês	V _{futuro est} m ³ /ha	ICA	IMA m ³ /ha/ano
sCcMAP	18	14,86	25,17	1,69	84	164,9	30,7	23,6
sCcFNR	18	18,73	25,17	1,34	84	207,8	38,6	29,7
cC	18	23,51	25,17	1,07	84	260,8	48,5	37,3
cC+cG	18	29,17	25,17	0,86	84	323,5	60,2	46,2

s = sem; c = com; C = calcário; G = gesso; F = faixa; T = área total; obs = observado; est = estimado; MAP = fosfato monoamônico; FNR = fosfato natural reativo. I = idade; V= volume; IcV= índice de consistência volumétrica; ICA: incremento corrente anual; IMA: incremento médio anual.

A figura 2.2 apresenta de forma gráfica e contínua a estimativa de produção volumétrica de tronco esperada para os diferentes grupos de tratamentos, até o 7º ano, a partir da avaliação inicial aos 18 meses, utilizando a função logística da figura 1 e o uso do IcV.

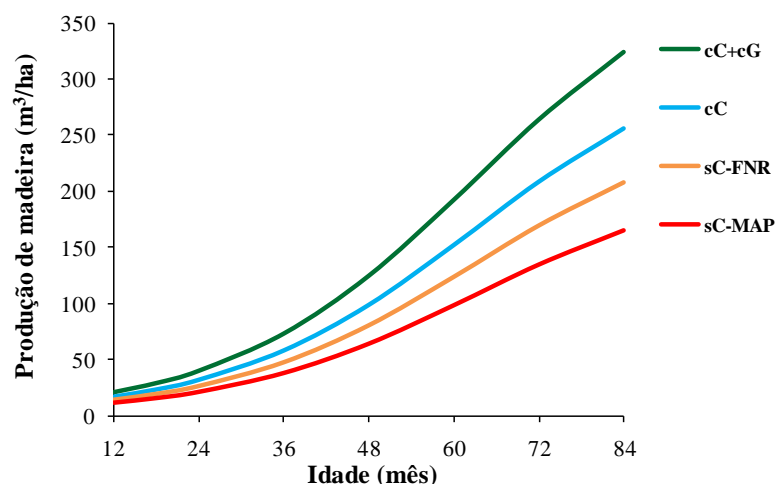


Figura 2.2. Estimativa da produção volumétrica de madeira do clone I-144 para os grupos de tratamentos.

Nos tratamentos sem aplicação de calcário (sCFsI, sCFcI e sCTcI), as análises de solo, antes da implantação e após 18 meses, revelaram teores não detectáveis de Ca (Quadros 2.1 e 2.4). No entanto, a planta acumulou, em média, 37,6 kg/ha de Ca na parte aérea (PA) (Quadro 2.4), atingindo um valor máximo de 53,5 kg/ha de Ca, em um daqueles tratamentos, em uma repetição. Essa quantidade de Ca absorvida pelo eucalipto pode ter sido suprida pela mineralização da matéria orgânica e, ou, principalmente por formas não “detectáveis” pelo KCl 1,0 mol/L de Ca, mas que de alguma forma, a planta absorveu esse “pool de Ca”.

Semelhante ao ocorrido para os tratamentos sem calcário e com MAP (sCFsI, sCFcI e sCTcI), o tratamento sCFsIcFNR, sem calcário também, porém com 163 kg/ha de Ca no sulco de subsolagem via FNR, acumulou em média, 48,7 kg/ha de Ca na parte aérea (Quadro 2.4), com um valor máximo de 61,2 kg/ha de Ca. Não obstante, a produtividade atingida pelo tratamento sCFsIcFNR foi 25 % maior que aqueles com MAP (18,7 e 14,9 m³/ha, respectivamente).

Além da produtividade de tronco para os três clones (A, B e C), tem-se também a produção dos diferentes componentes da árvore ao longo do tempo, bem como os resultados de análise química, com os quais se permitem calcular a demanda de nutrientes (conteúdo) da parte aérea, necessária para se atingir determinada produção de tronco.

Dado que a demanda de nutrientes é dada em kg/t matéria seca (MS) produzida, faz-se necessário converter então, a produção volumétrica desejada, em m³/ha para t/ha de MS, utilizando a seguinte equação:

$$\hat{mMS} = 0,777 + 0,462^{**} tro ; R^2 = 0,972 ; n = 51 \quad \text{Eq. 3}$$

onde:

mMS = massa de matéria seca (t/ha);

tro = produção de tronco (m^3/ha);

** = significativo a 1 % de probabilidade.

Após estimar a produção de matéria seca de tronco (Eq. 3), usando as equações da figura 2.3, obteve-se a demanda de Ca e Mg da parte aérea. Esses resultados, calculados ano a ano são apresentados no quadro 2.10.

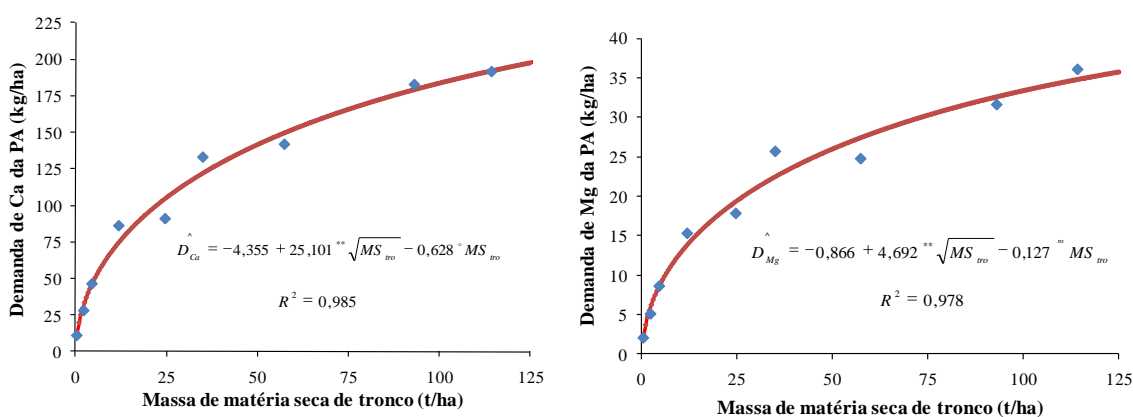


Figura 2.3. Demanda de Ca e Mg do clone I-144 para produção da parte aérea, em função da produção da matéria seca de tronco.

Trabalhos mostram que a demanda de nutrientes do sistema radicular, encontra-se na faixa de 10 a 18 % da demanda da parte aérea (Neves, 2000; NUTRICALC[®]). Assumindo um valor médio de 14 %, para obter a demanda total de Ca e Mg pelo eucalipto, multiplica-se a demanda calculada para a parte aérea por 1,14, e se obtêm 238 e 43,2 kg/ha de Ca e Mg, aos 84 meses, para os tratamentos com calcário+gesso ((cCT+cGF)sI e (cCT+cGF)sI)), os quais apresentaram melhor crescimento inicial, e para essa idade, se estimou um IMA₇ de 46,2 $m^3/ha/ano$.

A diferença das demandas estimada pelo NUTRICALC[®] (versão generalista) de 420 kg/ha de Ca e estimado neste trabalho de 238 kg/ha, ressalta a importância do ajuste do software com dados obtidos localmente, ou seja, para um determinado clone ou grupo de clones, cultivados em condições efafoclimáticas similares.

Quadro 2.10. Demanda de Ca e Mg da parte aérea, estimada com base na produção de tronco esperada para os grupos de tratamentos

Idade	<i>Trats. cC+cG</i>			<i>Trats. cC</i>			<i>Trat. sCcFNR</i>			<i>Trats. sCcMAP</i>		
	Tronco	Demanda PA		Tronco	Demanda PA		Tronco	Demanda PA		Tronco	Demanda PA	
		Ca	Mg		Ca	Mg		Ca	Mg		Ca	Mg
mês	m ³ /ha	kg/ha		m ³ /ha	kg/ha		m ³ /ha	kg/ha		m ³ /ha	kg/ha	
12	21	70	13,0	17	63	11,7	14	58	10,7	11	52	9,6
18	29	81	15,0	23	73	13,6	19	67	12,3	15	60	11,1
24	40	94	17,3	32	85	15,6	26	77	14,2	20	69	12,8
36	73	122	22,3	58	110	20,3	47	101	18,5	37	91	16,8
48	125	151	27,5	99	137	25,2	80	126	23,2	63	114	21,0
60	192	177	32,1	152	163	29,6	123	150	27,4	98	137	25,1
72	263	196	35,5	209	182	33,0	169	169	30,8	134	155	28,3
84	323	209	37,5	256	195	35,2	208	182	33,0	165	168	30,5

Demanda total = demanda da parte aérea x 1,14. O fator 1,14 refere-se à demanda nutricional do sistema radicular, neste caso assumido como sendo de 14 % da demanda da parte aérea (PA).

Taxas de recuperação de Ca e Mg pela planta, estimadas para o 7º ano

A partir dos dados do quadro 2.9, da eq. 3 e das equações apresentadas na figura 2.3, é possível estimar as taxas de recuperação dos nutrientes pela planta, em qualquer idade, para os diferentes grupos de tratamentos com produtividade semelhante. Tomando-se como base a idade de corte aos sete anos, utilizando a eq. 2 (com o adicional da demanda de nutrientes pelo sistema radicular de 14 % da demanda da parte aérea), ter-se-á:

Para Ca:

$$\text{Trats. cC+cG} \implies \text{trCaPl} = ((209 \times 1,14) - (168 \times 1,14)) / 732 = 0,064$$

$$\text{Trats. cCcMAP} \implies \text{trCaPl} = ((195 \times 1,14) - (168 \times 1,14)) / 627 = 0,049$$

$$\text{Trat. cCcFNR} \implies \text{trCaPl} = ((195 \times 1,14) - (168 \times 1,14)) / 665 = 0,046$$

$$\text{Trat. sCcFNR} \implies \text{trCaPl} = ((182 \times 1,14) - (168 \times 1,14)) / 163 = 0,098$$

Para Mg:

$$\text{Trats. cC+cG} \implies \text{trMgPl} = ((37,5 \times 1,14) - (30,5 \times 1,14)) / 250 = 0,032$$

$$\text{Trats. cCcMAP} \implies \text{trMgPl} = ((35,2 \times 1,14) - (30,5 \times 1,14)) / 312 = 0,017$$

$$\text{Trat. cCcFNR} \implies \text{trMgPl} = ((35,2 \times 1,14) - (30,5 \times 1,14)) / 250 = 0,021$$

A semelhança do ocorrido com as taxas de recuperação pela planta obtida aos 18 meses, as taxas estimadas para o 7º ano, também se encontram muito abaixo do esperado, variando de 4,6 a 9,8 % para Ca e de 1,7 a 3,2 % para o Mg. Isso é

esperado caso se confirme a tendência inicial de crescimento em função dos tratamentos. Uma redução no crescimento dos tratamentos sem calcário (sCFsI, sCFcI e sCTcI) e, conseqüentemente, no conteúdo de nutrientes acumulado na parte aérea, poderia alterar as taxas de recuperação pela planta de maneira mais expressiva.

Alguns aspectos devem ser considerados com relação a essas taxas de recuperação de Ca e Mg pela planta consideravelmente baixas:

- o cálculo das taxas depende do conteúdo de nutrientes acumulado nos tratamentos controle, sem calcário (sCFsI, sCFcI e sCTcI), que neste caso, estimou-se absorver 168 e 30,5 kg/ha de Ca e Mg, respectivamente, valores elevados se considerar que o solo é extremamente pobre em Ca e Mg disponível (valores não detectados de Ca e muito próximo de 0,0 mg/dm³ de Mg), extraídos pelo KCl 1,0 mol/L.

- trata-se de estimativas e, portanto, podem sofrer variações, especialmente em função da ciclagem biogeoquímica de Ca e Mg e bioquímica para Mg muito importantes para o eucalipto, particularmente em idades mais avançadas (Reis & Barros, 1990) e também da produtividade alcançada.

Portanto, existe a necessidade de se efetuar novamente as medições e análises realizadas aos 18 meses, anualmente, até a idade de corte. Realizar também a caracterização da serapilheira para estimar a contribuição da ciclagem biogeoquímica no suprimento de Ca, pois isso assume importância com o aumento da idade das plantas, haja vista o teor considerável de Ca na serapilheira. Por outro lado, a realização de pesquisas com enfoque nas formas de Ca absorvíveis, métodos de extração, extratores que acessam tais formas, ou seja, em aspectos que esclareçam melhor o crescimento do eucalipto em solos como desse estudo, no qual não se detectou Ca e baixíssimos teores de Mg, na profundidade até 60 cm.

CONCLUSÕES

Plantado em um solo que não recebeu aplicação de Ca e que tinha um teor não detectável até 60 cm de profundidade, mesmo assim, o eucalipto apresentou um crescimento relativo de 50 %, comparado aos melhores tratamentos (calcário mais gesso) e acumulou 38 kg/ha de Ca na parte aérea, até os 18 meses de idade.

A aplicação de calcário em faixa, promoveu melhor distribuição de Ca e Mg no perfil do solo, comparado a aplicação em área total. Esse aprofundamento no

perfil pode ser mais importante do que a disponibilidade em toda a superfície apenas nas camadas superiores, especialmente para locais com restrições hídricas.

A aplicação de 3,0 t/ha de calcário, em faixa, sem ou com incorporação, promoveu incrementos expressivos nos teores de Ca e Mg até, pelo menos, 60 cm de profundidade. Com a aplicação da mesma dose em área total, os efeitos restringiram-se a, no máximo, 20 cm.

As taxas médias de recuperação pelo extrator KCl 1,0 mol/L foram de 22 e 36 % para Ca e Mg, respectivamente.

As taxas de recuperação pela planta variaram de 2,5 a 7,5 % para Ca e de 3,2 a 7,9 % para Mg, até os 18 meses. À semelhança das taxas de recuperação pelo extrator, valores abaixo do esperado.

A demanda estimada de Ca e Mg pelo eucalipto, para a produtividade esperada de 46 m³/ha/ano, aos 84 meses, foi de 238 e 43 kg/ha, respectivamente, para os tratamentos com calcário mais gesso.

LITERATURA CITADA

- ALVAREZ V., V. H.; DIAS, L. E.; RIBEIRO JR., E. S. SOUZA, R. B. & FONSECA, C. A. Métodos de análises de enxofre em solos e plantas. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2001. 131p.
- ALVAREZ V., V. H.; NOVAIS, R. F.; DIAS, L. E. & OLIVEIRA, J. A. Determinação e uso do fósforo remanescente. B. Inf. SBCS, 25:27-32, 2000.
- BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F.; TEIXEIRA, J. L. & FERNANDES FILHO, E. I. NUTRICALC 2.0 - Sistema para calculo del balance nutricional y recomendacion de fertilizantes para el cultivo de eucalipto. Bosque 16:129- 131, 1995.
- CAIRES, E. F. Manejo da fertilidade do solo no sistema plantio direto: experiências no Estado do Paraná. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, Fertbio, Santa Maria-RS, SBCS, 2000. CD-ROM.
- CAIRES, E. F.; BLUM, J.; BARTH, G.; GARBUIO, F. J. & KUSMAN, M. T. Alterações químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na implantação do sistema plantio direto. R. Bras. Ci. Solo, 27:275-286, 2003.
- CAIRES, E. F.; KUSMAN, M. T.; BARTH, G.; GARBUIO, F. J. & PADILHA, J. M. Alterações químicas do solo e resposta do milho à calagem e aplicação de gesso. R. Bras. Ci. Solo, 28:125-136, 2004.

- CAIRES, E. F. & ROSOLEM, C. A. Correção da acidez do solo e desenvolvimento do sistema radicular do amendoim em função da calagem. *Bragantia*, 57:175-184, 1998.
- CAMILO, N. F. P. Produtividade do cafeeiro em resposta ao manejo da calagem e gessagem em Latossolo de Cerrado. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2007, 83p. (Dissertação de Mestrado)
- CHAVES, J. C. D.; PAVAN, M. A. & IGUE, K. Respostas do cafeeiro à calagem. *Pesq. Agropec. Bras.*, Brasília, 19:573-582, 1984.
- DEFELIPO, B. V. & RIBEIRO, A. C. Análise química do solo (metodologia). 2. ed. Viçosa, MG: UFV, 1997. 26p. (Boletim de extensão 29).
- GONÇALVES, J. L. M.; STAPE, J. L.; BENEDETTI, V.; FESSEL, V. A. G. & GAVA, J. L. Reflexos do cultivo mínimo e intensivo do solo em sua fertilidade e na nutrição das árvores. In: GONÇALVES, J. L. M. & BENEDETTI, V., eds. *Nutrição e Fertilização Florestal*. Piracicaba, IPEF, 2000, p.1-57.
- GONZALES-ERICO, E.; KAMPRATH, E. J.; NADERMANN, G. C. & SOARES, W. V. Effect of depth of lime incorporation on the growth of corn on an Oxisol of Central Brazil. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Madison, 43:1155-1158, 1979.
- LOURENÇO, H. M. Crescimento e eficiência do uso da água e nutrientes em eucalipto fertirrigado. Universidade Federal de Viçosa, 2009. 145p. (Dissertação de Mestrado)
- MARTINS, L. G. C.; BARROS, N. F.; SCATOLINI, F. M. Perda de produtividade de florestas de eucalipto em Minas Gerais causada pela deficiência de cálcio. In: XXXI CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO - Conquistas e Desafios da Ciência do Solo Brasileira, Gramado-RS, SBCS, 2007. v. 1. p. 168-168.
- MELLO, J. C. A.; VILLAS BÔAS, R. L.; LIMA, V.; CRUSCIOL C. A. C. & BÜLL, L. T. Alterações nos atributos químicos de um Latossolo distroférico decorrentes da granulometria e doses de calcário em sistemas plantio direto e convencional. *R. Bras. Ci. Solo*, 27:553-561, 2003.
- MIRANDA, L. N.; MIRANDA, J. C. C.; REIN, T. A. & GOMES, A. C. Utilização de calcário em plantio direto e convencional de soja e milho em Latossolo-Vermelho. *Pesq. Agropec. Bras.*, 40:563-572, 2005.
- NAVA, G.; ERNANI, P. R.; SÁ, A. A. & PEREIRA, A. J. Soil Composition and nutritional Status of apple as affected by long-term application of gypsum. *R. Bras. Ci. Solo*, 36:215-222, 2012.
- NEIS, L.; PAULINO, H. B.; SOUZA, E. D.; REIS, E. F. & PINTO, F. A. Gesso agrícola e rendimento de grãos de soja na região do sudoeste de Goiás. *R. Bras. Ci. Solo*, 34:409-416, 2010.

- NEVES, J. C. L. Produção e partição de biomassa, aspectos nutricionais e hídricos em plantações clonais de eucalipto na região litorânea do Espírito Santo. Universidade Estadual do Norte Fluminense, 2000. 191p. (Tese de Doutorado)
- OLIVEIRA, E. J.; PARRA, M. S. & COSTA, A. Resposta da cultura do milho, em um Latossolo Vermelho-Escuro álico, à calagem. R. Bras. Ci. Solo, 21:65-70, 1997.
- PAVAN, M. A. Movimentação de calcário no solo através de técnicas de manejo da cobertura vegetal em pomares de macieira. R. Bras. Frutic., 16:86-91, 1994.
- PAVAN, M. A.; BINGHAM, F. T. & PRATT, P. F. Redistribution of exchangeable calcium, magnesium and aluminum following lime and gypsum applications to a Brazilian Oxisol. Soil Sci. Soc. Am. J., 48:33-38, 1984.
- QUAGGIO, J. A.; RAIJ, B. van; GALLO, P. B. & MASCARENHAS, H. A. A. Respostas da soja à aplicação de calcário e gesso e lixiviação de íons no perfil do solo. Pesq. Agropec. Bras., 28:375-383, 1993.
- REIS, M. G. F. & BARROS, N. F. Ciclagem de nutrientes em plantios de eucalipto. In: BARROS, N. F. & NOVAIS, R. F., eds. Relação solo-eucalipto. Viçosa, UFV, 1990. p.265-301.
- RITCHEY, K. D.; SOUSA, D. M. G; LOBATO, E. & CORREA, O. Calcium leaching to increase rooting depth in a Brazilian Savannah Oxisol. Agron. J., Madison, 72:40-44, 1980.
- RUIZ, H. A. Incremento da exatidão da análise granulométrica do solo por meio da coleta da suspensão (silte + argila). R. Bras. Ci. Solo, 29:297-300, 2005.
- SOBRAL, L. F.; CINTRA, F. L. D. & SMYTH, J. T. Lime and gypsum to improve root depth of orange crop in an Ultisol of the Coastal Tablelands. R. Bras. Eng. Agríc. Amb., 13:836-839, 2009.
- VARGAS, R. M. B.; MEURER, E. J. & ANGHINONI, I. Mecanismos de suprimento de fósforo, potássio, cálcio e magnésio às raízes de milho em solos do Rio Grande do Sul. R. Bras. Ci. Solo, 7:143-148, 1983.

CAPÍTULO III³

Crescimento de raízes finas de eucalipto em resposta à aplicação de calcário e gesso agrícola

RESUMO

Solos com teores adequados de Ca em subsuperfície permitem que plantas aprofundem suas raízes, explorando um maior volume de solo. Essa característica é extremamente desejável, especialmente em locais com ocorrência de veranicos e, ou, com períodos de déficit hídrico prolongados. O objetivo deste trabalho foi de avaliar o crescimento de raízes finas de eucalipto, até os 18 meses, em resposta à aplicação de calcário e gesso agrícola, na região do Cerrado. O experimento foi conduzido em um Latossolo Vermelho-Amarelo, distrófico, de textura média, com 20 % de argila. Os fatores em estudo foram: calcário (sem-sC e com-cC), localização (faixa-F e área total-T) e incorporação (sem-sI e com-cI), mais quatro tratamentos adicionais (dois com gesso-G e dois com fosfato natural reativo-FNR), arrançados em um fatorial ($2^3 - 1$) + 2 + 2, dispostos em blocos ao acaso, com quatro repetições. Os tratamentos foram: sCFsI, sCFcI, sCTcI, cCFsI, cCFcI, cCTsI e cCTcI completam o fatorial, além dos adicionais (cCT+cGF)sI, (cCT+cGT)sI, sCFsIcFNR e cCTsIcFNR. Nos tratamentos do fatorial e nos dois com gesso utilizaram-se 200 kg/ha MAP (fosfato monoamônico) e nos dois restantes, 500 kg/ha de FNR. Tanto o MAP quanto o FNR foram aplicados no sulco de subsolagem. Na árvore média foi realizada a amostragem do sistema radicular com dois métodos diferentes: cavadeira e sonda. Para isso, foram feitas duas repetições com cada método de amostragem. A densidade de raízes finas é, em média, duas vezes maior na linha do que na entrelinha. A aplicação de calcário em área total incrementa a densidade de raízes finas até 40 cm de profundidade. Porém, a aplicação em faixa aumenta a densidade radicular na camada de 40-60 cm. A aplicação de calcário mais gesso comparada com calcário isoladamente, mostra que o gesso aumenta a densidade de raízes até 40 cm de profundidade. A aplicação do gesso em faixa aumenta a densidade de raízes finas, comparativamente à sua aplicação em área total.

Termos de indexação: calagem, gessagem, enxofre, cálcio, raiz, *Eucalyptus*.

³ Capítulo escrito conforme as normas de submissão para a Revista Brasileira de Ciência do Solo

SUMMARY

Eucalypt fine root growth in response to limestone and gypsum application

Soils with adequate Ca subsurface allow plants to deepen its roots, exploring a greater soil volume. This feature is highly desirable, especially in areas with occurrence of dry spells and, or, with long periods of drought. The aim of this study was to evaluate the growth of fine roots of eucalypt, at 18 months old, in response to limestone and gypsum application in Cerrado soil. The experiment was carried out in an Oxisol, medium texture with 20 % of clay. The factors studied were: limestone-L (without-sL and with-cL), location (strip-S and broadcast-B) and incorporation-I (without-sI and with-cI), plus four additional treatments (two with gypsum-G and two with reactive phosphate rock-RPR), arranged in a $[(2^3 - 1) + 2 + 2]$ factorial scheme, in a randomized block design, with four replications. Thus treatments were: sLSsI, sLSsI, sLBcI, cLSsI, cLSsI, cLBsI and cLBcI complete factorial, and the additional (cLB+cGS)sI, (cLB+cGB)sI, sLSsIcRFR and cLBsIcRFR. In the treatments of the factorial and the two with gypsum was used 200 kg/ha of MAP (monoammonium phosphate) and for the two remaining treatments 500 kg/ha of RFR. Both, MAP and RFR were applied in furrow subsoiling. The application of limestone was 3.0 t/ha, except for treatments with gypsum (1.0 t/ha) and either with RFR, which were applied 2.4 t/ha of limestone. On average tree was also performed root sampling with two different methods: spade and probe. For this purpose, we got two replications with each sampling method, being therefore 22 plants evaluated by each method. The density of fine roots of the row is 2-fold higher than space between rows. Application of limestone in broadcast promoted density increase of fine roots up to 40 cm of soil depth. However, strip application increased root density in the 40-60 cm layer. The combined application of limestone plus gypsum compared to limestone alone showed that gypsum increased the density of fine roots up to 40 cm soil depth. Gypsum application in strip increased the density of fine roots compared to its application in broadcast.

Index terms: liming, gypsum, sulfur, calcium, root, *Eucalyptus*.

INTRODUÇÃO

O teor de Ca nas camadas inferiores do solo tem efeito direto no crescimento das raízes e na produtividade das culturas. Teores adequados de Ca em subsuperfície permitem que plantas aprofundem suas raízes, explorando um maior volume de solo. Essa característica é extremamente desejável em locais com ocorrência de veranicos e, ou, de déficits hídricos prolongados, adversidades climáticas bastante comuns, principalmente na região dos Cerrados (Raij, 2008).

Segundo Neves (2000) uma maior produtividade deve ser consequência de maior aquisição de recursos do ambiente (carbono, proveniente da fotossíntese e nutrientes minerais e água, provenientes do solo) pelas plantas e, ou, de utilização mais eficiente dos mesmos, justificando investigar, o aparato fotossintético (representado pelas folhas) e o sistema de aquisição de água e nutrientes do solo, representado principalmente pelas raízes finas.

É consenso que o fator que coordena a distribuição das raízes no solo é o genótipo, mas ele pode ser influenciado por outros fatores inerentes ao solo, como fertilidade, densidade, disponibilidade de oxigênio, textura, temperatura e, também, pelas circunstâncias em que as árvores se desenvolvem, por exemplo, competição e espaçamento (Gonçalves & Mello, 2000). Apesar disso, o sistema radicular do eucalipto tem sido pouco estudado, e isso está relacionado à complexidade desses estudos, que envolvem grande demanda de tempo e mão-de-obra, o que resulta em pesquisas dispendiosas e que nem sempre se dispõe de recursos para tal.

O conhecimento das características do sistema radicular auxilia na definição de práticas de preparo de solo e fertilização (local e época de aplicação), assim como o conhecimento da configuração do sistema radicular é fundamental para explicar processos ecofisiológicos básicos, principalmente os relacionados com a nutrição mineral e o balanço hídrico das árvores (Gonçalves & Mello, 2000).

Os principais trabalhos que englobaram estudos sobre o sistema radicular de absorção, em eucalipto, foram desenvolvidos por Reis et al. (1985 e 1987), Gonçalves (1994) e Mello et al. (1998). Estes autores verificaram grande efeito das condições climáticas, das características físicas e químicas do solo e da produtividade de florestas de eucaliptos sobre a quantidade e distribuição de raízes de absorção no perfil de solo. A redução da acidez e a melhoria da fertilidade do solo

têm sido responsabilizadas por alterações na distribuição e densidade radicular, mas pouca informação é disponível para eucalipto na região do Cerrado.

Este trabalho teve por objetivo avaliar o crescimento e a distribuição de raízes finas de eucalipto, em resposta à aplicação de calcário e gesso agrícola, em plantio em solo de textura média, na região do Cerrado do Estado de Minas Gerais.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na empresa Raiz Florestal Agropecuária LTDA, no município de Três Marias-MG, instalado em 1/12/2010, em um Latossolo Vermelho-Amarelo, distrófico (Quadro 3.1), em local com coordenadas geográficas de 18° 12' 07'' S e 45° 00' 01'' W. Trata-se de uma área de reforma com poucos resíduos na superfície do solo. As proporções de areia grossa, areia fina, silte e argila foram de 12,9; 62,4; 4,2 e 20,5 %, respectivamente (Ruiz, 2005).

Quadro 3.1. Caracterização química do LVAd antes da instalação do experimento

Prof.	pH H ₂ O	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	P	K	S	Cu	Zn	Fe	Mn	B	MOS	P-rem		
cm		cmol _c /dm ³				mg/dm ³										dag/kg	mg/L
0-10	4,06	n/d	0,01	0,81	4,6	0,9	17	16	0,20	0,34	125	10,2	0,14	2,35	23,1		
10-20	4,88	n/d	n/d	0,53	3,7	0,6	12	14	0,20	0,20	139	9,0	0,10	1,71	20,8		
20-40	5,25	n/d	n/d	0,31	2,9	0,3	9	14	0,17	0,10	125	7,8	0,07	1,33	21,4		
40-60	4,33	n/d	n/d	0,19	2,4	0,4	6	14	0,13	0,06	87	7,9	0,09	1,03	19,4		

n/d : não detectado; pH em água - relação 1:2,5; Ca²⁺, Mg²⁺ e Al³⁺ - extrator KCl 1,0 mol/L (Defelipo & Ribeiro, 1997); H+Al - extrator Ca(OAc)₂ 0,5 mol/L pH 7,0; S - extrator [Ca(H₂PO₄)₂] 500 mg/L de P, em HOAc 2,0 mol/L; P, K, Cu, Zn, Fe e Mn - extrator Mehlich-1; B - extrator CaCl₂ 5 mmol/L; MOS - C. org. x 1,724 -Walkley Black; P-rem - fósforo remanescente - Alvarez V. et al. (2000).

A dose de Ca e dos outros nutrientes aplicados foi definida pelo software NUTRICALC[®], que possui como princípio determinar a quantidade de nutrientes requerida pelo eucalipto para atingir uma determinada produtividade, considerando que o solo é capaz de suprir parte dos nutrientes.

O experimento teve os seguintes fatores em estudo: calcário-C (sem-sC e com-cC), localização (faixa-F e área total-T) e incorporação-I (sem-sI e com-cl), mais quatro tratamentos adicionais (dois com gesso-G e dois com fosfato natural reativo-FNR), arranjados em um fatorial (2³ - 1) + 2 + 2, dispostos em blocos ao acaso, com quatro repetições, totalizando 44 unidades experimentais (Quadro 3.2).

O espaçamento de plantio foi de 3,40 x 2,65 m. Cada unidade experimental possui oito linhas com 19 plantas, sendo a bordadura constituída por duas linhas externas de cada lado e três plantas de cada extremidade, ou seja, a parcela útil foi constituída pelas 52 plantas centrais. Foram utilizadas mudas do clone I-144 (*Eucalyptus urophylla* x *E. grandis*).

Quadro 3.2. Descrição dos tratamentos de acordo com o fatorial ($2^3 - 1 + 2 + 2$)

TRATAMENTO	CALCÁRIO	Locali- zação	Incorpo- ração	GESSO	Locali- zação	Incorpo- ração	Fonte de P ¹
sCFsI	s	F	s	-	-	-	MAP
sCFcI	s	F	c	-	-	-	MAP
sCTcI	s	T	c	-	-	-	MAP
cCFsI	c	F	s	-	-	-	MAP
cCFcI	c	F	c	-	-	-	MAP
cCTsI	c	T	s	-	-	-	MAP
cCTcI	c	T	c	-	-	-	MAP
(cCT+cGF)sI	c	T	s	c	F	S	MAP
(cCT+cGT)sI	c	T	s	c	T	S	MAP
sCFsIcFNR	s	F	s	-	-	-	FNR
cCTsIcFNR*	c	T	s	-	-	-	FNR

s = sem; c = com; C = calcário; G = gesso; F = faixa; T = área total; I = incorporação;
¹Fonte de P no sulco de subsolagem: MAP = fosfato monoamônico e FNR = fosfato natural reativo.

O tratamento cCTsIcFNR em destaque no quadro 3.2, constitui-se naquilo que é praticado pela grande maioria das empresas do setor florestal. Os tratamentos sem gesso e com MAP compõem o fatorial, enquanto que os com gesso e com FNR são os tratamentos adicionais de interesse. O “- 1” do fatorial ($2^3 - 1$) corresponde ao tratamento sCTsI, o qual não difere na prática do sCFsI.

Quadro 3.3. Caracterização química dos corretivos e fertilizantes utilizados nos tratamentos

Produto	N	P ₂ O ₅				Ca	Mg	S	PN	PRNT
		Total	Ác. cítrico	CNA+H ₂ O	H ₂ O					
%										
Calcário	-	-	-	-	-	20,9	10,4	-	98,6	98,5
FNR	-	28,0	13,0	-	-	32,7	-	-	-	-
MAP	10,5	-	-	54,0	44,0	-	-	-	-	-
Gesso	-	-	-	-	-	23,0	-	14,3	-	-

N e P₂O₅: referem-se à garantia fornecida pelo fabricante do produto. Os demais foram determinados analiticamente.

Como fonte de P foram aplicados 200 kg/ha de fosfato monoamônico (MAP), exceto nos dois tratamentos adicionais sCFslcFNR e cCTslcFNR, os quais receberam 500 kg/ha de fosfato natural reativo (FNR). Tanto o MAP quanto o FNR foram aplicados no sulco de subsolagem a 45 cm de profundidade. O calcário foi aplicado em área total ou em faixa de 70 cm de largura. A incorporação, quando realizada, foi feita até 20 cm de profundidade.

O plantio das mudas foi feito sete dias após a aplicação dos tratamentos. No quinto dia após o plantio, foram aplicados 100 g/muda de NPK (6-30-6 + 1,5 % B + 0,5 % Cu + 0,5 % Zn), divididos em duas covetas laterais. Em cobertura, foram aplicados no 4º mês 52,8 kg/ha de K₂O; 1,8 kg/ha de B e 0,6 kg/ha de Cu, e no 13º mês, 70,4 kg/ha de K₂O; 2,4 kg/ha de B e 0,8 kg/ha de Cu, na forma de KCl (44 % K₂O + 1,5 % B + 0,5 % Cu).

Após 18 meses da implantação do experimento, foi feita a medição do DAP (diâmetro a 1,30 m de altura) das 52 plantas da parcela útil para calcular o diâmetro médio de cada parcela. A árvore média foi abatida, e nela realizada a amostragem de raízes utilizando dois métodos: cavadeira e sonda. Para isso, foram feitas duas repetições com cada método de amostragem, totalizando 22 plantas avaliadas por método. Para os blocos 1 e 2 foi utilizada a cavadeira e para os blocos 3 e 4, a sonda.

A amostragem de solo foi feita de 0-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm de profundidade, com o auxílio de trado tipo sonda (2,5 cm de Ø interno). Foram coletadas 16 amostras simples de cada profundidade para compor uma amostra composta por parcela, na região correspondente à faixa de 35 cm de cada lado da linha de plantio, evitando o sulco de subsolagem, distribuídas por toda a área da parcela. As amostras foram secadas ao ar e passadas em peneira de malha de 2,0 mm de diâmetro (TFSA) para análise química e granulométrica.

O método da cavadeira consiste na abertura de covas cilíndricas até a profundidade desejada. As covas tiveram diâmetros que variaram de 22 a 26 cm, e todas foram medidas para cálculo dos respectivos volumes.

A sonda consiste em tubo de aço, com 7,5 cm Ø, o qual possui um furo na parte superior onde atravessa uma barra de ferro para facilitar sua retirada do solo. A sonda é introduzida no solo com o auxílio de uma marreta, até a profundidade desejada.

Com a cavadeira foram feitas sete perfurações (três na linha e quatro na entrelinha) e com a sonda 14, sendo duas por ponto de amostragem (Figura 3.1). Nos

pontos foram coletadas amostras nas profundidades de 0-10; 10-20; 20-40 e 40-60 cm, totalizando 28 amostras por árvore. Os pontos próximos da árvore estavam a 30 cm de sua base e os demais distanciados a 40 cm (centro a centro), conforme esquema apresentado na figura 3.1.

Após a retirada da massa de solo+raízes, a mistura foi cuidadosamente passada em peneira de malha de 2,0 mm de diâmetro. Na massa de solo remanescente do peneiramento, sobre uma mesa, foi complementada a separação das raízes, manualmente. Depois, com a utilização de um gabarito, foram separadas as raízes finas (< 2,0 mm diâmetro), lavadas em água corrente, colocadas para secar em estufa de circulação forçada de ar, a 65 °C, até atingir peso constante. Após a secagem elas foram pesadas para determinação da matéria seca de raízes finas. Calculado o volume de solo coletado de cada ponto por profundidade, pôde-se, então, determinar os valores de densidade radicular, expresso em g/dm³ de matéria seca de raízes finas.

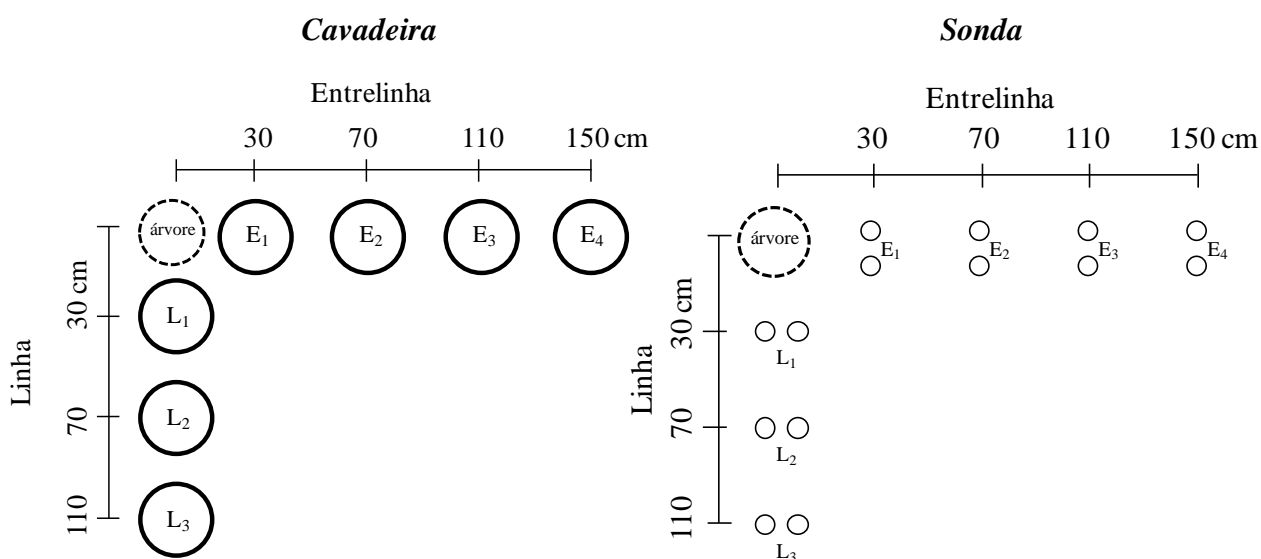


Figura 3.1. Esquema dos pontos de amostragem de uma árvore para a coleta de raízes finas, na linha-L e entrelinha-E, com o método da cavadeira e da sonda.

Os dados foram submetidos à análise de variância e contrastes utilizando o software Statistica 8.0.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Varição da densidade de raízes finas com a profundidade do solo

A densidade radicular decresce com a profundidade (Figura 3.2). Os dados ajustaram-se ao modelo potencial, com valores de R^2 elevados, mostrando ser este modelo adequado para descrever a variação da densidade de raízes finas com o aprofundamento do sistema radicular no perfil do solo. Resultados mostrando essa tendência foram relatados por outros autores (Neves, 2000; Lourenço, 2009), ao avaliarem a densidade radicular de clones de *Eucalyptus* em idades mais avançadas.

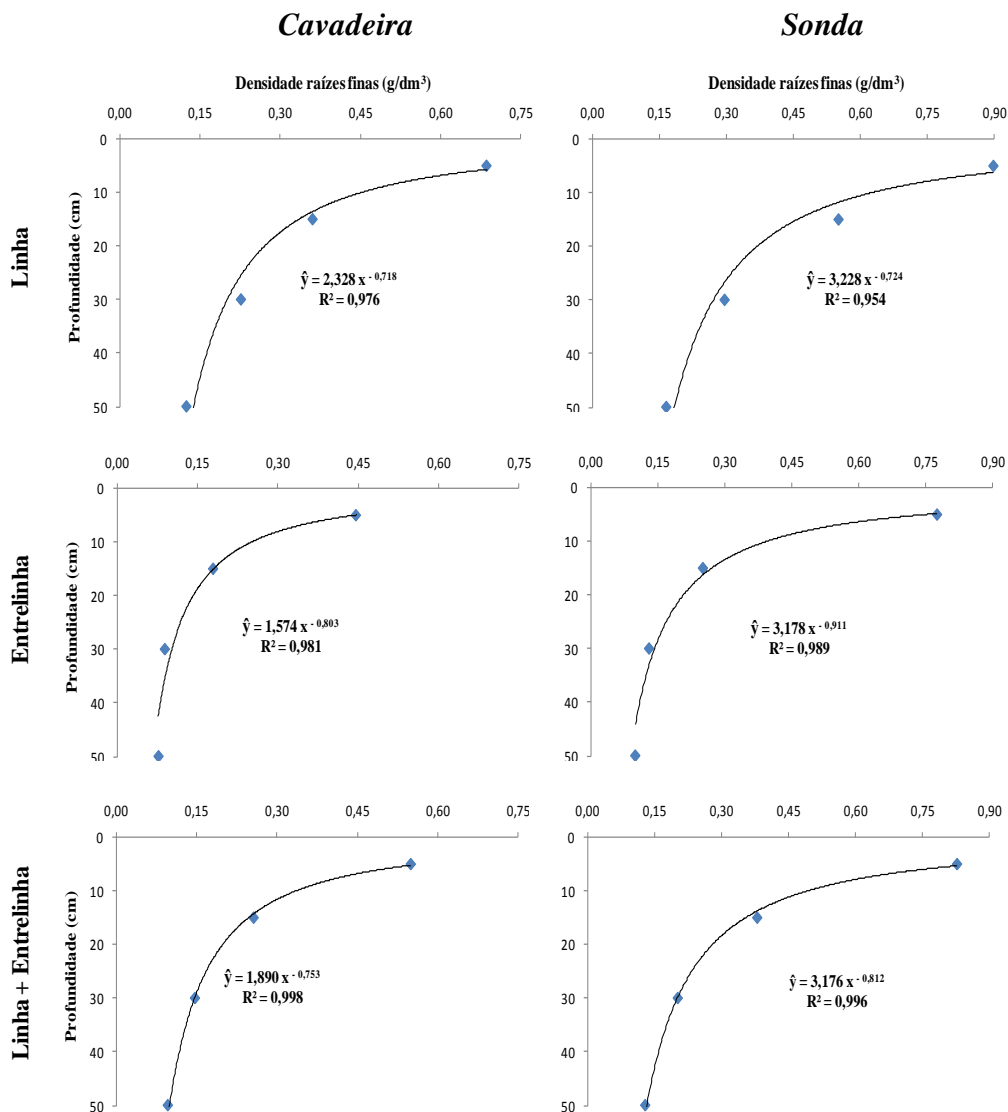


Figura 3.2. Densidade de raízes finas (< 2,0 mm Ø) na linha, entrelinha e linha+entrelinha de plantio de eucalipto com 18 meses de idade (médias dos 11 tratamentos).

Na camada de 0-20 cm, Lourenço (2009) usando a sonda encontrou maior densidade de raízes finas, em média, nos tratamentos fertirrigados (0,80) e irrigados (0,40) em relação ao controle (0,20 g/dm³). Para as camadas mais profundas (20-40 e 40-60 cm), o autor não observou diferença entre os tratamentos. Dos quatro clones estudados, apenas dois apresentaram diferenças significativas na densidade radicular, e apenas na camada superficial (0-20 cm), evidenciando a forte influência do material genético no crescimento radicular, bem como nas respostas diferenciadas ao fornecimento de água e nutrientes. Trabalhando com oito clones, Neves (2000) também verificou alta variabilidade na densidade de raízes finas devido ao material genético.

A densidade de raízes finas na linha foi maior do que na entrelinha, para ambas as formas de amostragem, porém mais pronunciada para a cavadeira (Figura 3.2). Isso evidencia a concentração de raízes na linha de plantio, em virtude das fertilizações serem direcionadas para uma faixa próxima das plantas, contrariamente aos dados obtidos por Mello et al. (1999), em que a densidade de raízes finas na linha e entrelinha de plantio não diferiu.

Optou-se por calcular a média geral, ou seja, a densidade cumulativa com os pontos coletados na linha e entrelinha, e dessa forma expressar a densidade de raízes finas, por profundidade e para cada tratamento, pelos métodos da cavadeira e da sonda (Quadros 3.3 e 3.5).

Amostragem com o método da cavadeira

Analisando os contrastes do quadro 3.4, com a amostragem utilizando a cavadeira, inicialmente numa abordagem mais ampla feita pelo contraste 1 (C₁), fez-se a comparação dos tratamentos do fatorial (sem e com calcário, com MAP) com os adicionais (com calcário+gesso e os com FNR), e concluiu-se que o uso do gesso e do FNR aumentou a densidade radicular apenas na camada 10-20 cm.

Ao se comparar os tratamentos sem e com calcário, percebe-se o efeito do calcário no aumento das raízes finas nas camadas de 10-20 cm (0,07 g/dm³) e 40-60 cm (0,04 g/dm³) e diminuição na camada de 20-40 cm (- 0,04 g/dm³), conforme indica o C₂.

Quadro 3.3. Densidade de raízes finas (< 2,0 mm Ø), obtida pela amostragem com a cavadeira, teores de Ca, Mg e S disponíveis no solo, em diferentes profundidades e produção de mMSPA e de tronco (blocos 1 e 2)

TRATAMENTO	Amostragem com a cavadeira									
	0 - 10	10 - 20	20 - 40	40 - 60	0 - 20	0 - 40	0 - 60	10 - 40	10 - 60	20 - 60
	g/dm ³									
sC-F-sl	0,63	0,20	0,21	0,07	0,41	0,31	0,23	0,20	0,15	0,14
sC-F-cl	0,53	0,23	0,17	0,07	0,38	0,28	0,21	0,19	0,14	0,12
sC-T-cl	0,41	0,18	0,10	0,09	0,30	0,20	0,16	0,13	0,11	0,10
cC-F-sl	0,60	0,21	0,11	0,08	0,41	0,26	0,20	0,15	0,12	0,10
cC-F-cl	0,53	0,34	0,15	0,13	0,43	0,29	0,24	0,21	0,18	0,14
cC-T-sl	0,50	0,22	0,12	0,12	0,36	0,24	0,20	0,15	0,14	0,12
cC-T-cl	0,61	0,32	0,16	0,11	0,47	0,31	0,25	0,22	0,18	0,14
(cC-T+cG-F)sl	0,77	0,36	0,17	0,09	0,57	0,37	0,28	0,24	0,18	0,13
(cC-T+cG-T)sl	0,40	0,30	0,13	0,09	0,35	0,24	0,19	0,18	0,15	0,11
cC-T-sl-FNR	0,60	0,27	0,16	0,11	0,44	0,30	0,23	0,19	0,16	0,13
cC-T-sl-FNR	0,46	0,19	0,13	0,09	0,33	0,23	0,18	0,15	0,13	0,11
Média geral	0,55	0,26	0,15	0,10	0,40	0,28	0,22	0,18	0,15	0,12
CV ¹ (%)	25,9	26,3	29,7	25,4	22,9	21,0	19,5	22,4	18,8	24,3

Prof.	TRATAMENTOS										
	sC-F-sl	sC-F-cl	sC-T-cl	cC-F-sl	cC-F-cl	cC-T-sl	cC-T-cl	(cC-T+cG-F)sl	(cC-T+cG-T)sl	sC-F-sl FNR	cC-T-sl FNR
	Cálcio (mg/dm ³)										
0-10	0,0	0,0	0,0	351	374	238	96	198	76	0,0	143
10-20	0,0	0,0	0,0	232	312	54	3,2	39	9,9	0,0	46
20-40	0,0	0,0	0,0	88	192	0,0	0,0	6,7	0,0	0,0	0,0
40-60	0,0	0,0	0,0	55	161	0,0	0,0	7,6	0,0	0,0	0,0
	Magnésio (mg/dm ³)										
0-10	0,0	0,0	0,3	163	194	108	54	56	39	0,0	71
10-20	0,0	0,0	0,0	137	178	46	20	20	14	0,0	42
20-40	0,0	0,0	0,0	61	111	14	3,7	6,3	4,4	0,0	8,3
40-60	0,0	0,0	0,0	43	91	7,8	1,2	2,7	2,2	0,0	4,4
	Enxofre (mg/dm ³)										
0-10	7,3	7,5	6,4	3,4	2,5	4,6	5,2	28	15	7,4	5,0
10-20	6,5	6,7	7,6	3,6	4,4	5,5	6,6	35	23	7,0	5,3
20-40	6,2	5,7	6,8	5,3	4,9	5,8	6,7	36	22	8,3	6,7
40-60	6,5	6,0	6,4	3,6	3,4	5,8	5,8	34	16	7,5	6,0
	Produtividade										
mMSPA ²	8,7	9,4	8,4	13,4	12,2	10,6	14,4	16,5	15,3	11,1	13,0
Tronco ³	11,8	13,1	11,2	20,2	18,2	16,8	20,9	23,7	23,0	16,3	20,6

s = sem; c = com; F = faixa; T = área total; I = incorporação; C = calcário; G = gesso; FNR = fosfato natural reativo, e nos demais tratamentos utilizou-se o MAP = fosfato monoamônico; ¹CV da ANOVA; ²MSPA = massa de matéria seca da parte aérea (t/ha); ³Tronco (m³/ha).

Quadro 3.4. Contrastes médios e suas significâncias para densidade de raízes finas (< 2,0 mm Ø) pelo método da cavadeira

CONTRASTE	Amostragem com a cavadeira									
	0 - 10	10 - 20	20 - 40	40 - 60	0 - 20	0 - 40	0 - 60	10 - 40	10 - 60	20 - 60
	g/dm ³									
C ₁ : fatorial vs adicionais	0,01	0,04 °	-0,01	0,00	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00
C ₂ : sC vs cC d/MAP	0,01	0,07 *	-0,04 °	0,04 **	0,04	0,00	0,01	0,00	0,02	0,00
C ₃ : F vs T d/sC d/MAP	-0,06	-0,02	-0,04 +	0,01	-0,04	-0,04	-0,02	-0,03 +	-0,01	-0,01
C ₄ : sI vs cI d/sCF d/MAP	-0,10	0,03	-0,03	0,00	-0,04	-0,03	-0,02	-0,01	-0,01	-0,01
C ₅ : sI vs cI d/sCT d/MAP	-0,22 °	-0,02	-0,10 **	0,02	-0,12 °	-0,11 *	-0,07 °	-0,07 *	-0,04 +	-0,04 °
C ₆ : F vs T d/cC d/MAP	-0,01	0,00	0,01	0,01	-0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01
C ₇ : sI vs cI d/cCF d/MAP	-0,07	0,12 *	0,04	0,06 *	0,02	0,03	0,04	0,06 *	0,06 *	0,05 °
C ₈ : sI vs cI d/cCT d/MAP	0,10	0,10 °	0,04	-0,01	0,10 +	0,07 +	0,05 +	0,06 °	0,03 +	0,02
C ₉ : cC+cG vs cFNR	-0,05	-0,10 *	-0,01	0,01	-0,08 +	-0,04	-0,03	-0,04 °	-0,02	0,00
C ₁₀ : cGF vs cGT d/cCT	-0,37 **	-0,07	-0,04	0,00	-0,22 **	-0,13 *	-0,09 *	-0,05 +	-0,03 +	-0,02
C ₁₁ : sC vs cC d/FNR	-0,14	-0,08 +	-0,03	-0,01	-0,11 +	-0,07 +	-0,05 +	-0,04 +	-0,03 +	-0,02
C _{A1} : cC vs cC+cGF d/TsI	0,27 *	0,14 *	0,05 +	-0,03 +	0,21 **	0,13 *	0,08 *	0,08 *	0,04 °	0,01
C _{A2} : cC vs cC+cGT d/TsI	-0,10	0,08 +	0,01	-0,03 °	-0,01	0,00	-0,01	0,03	0,01	-0,01
C _{A3} : MAP vs FNR d/sCFsI	-0,03	0,07	-0,05 +	0,04 °	0,02	-0,01	0,00	-0,01	0,01	-0,01
C _{A4} : MAP vs FNR d/cCTsI	-0,04	-0,03	0,01	-0,03 +	-0,03	-0,01	-0,02	0,00	-0,01	-0,01
C _{A5} : cC vs cC+cG d/MAP	0,03	0,06 °	0,01	-0,02 °	0,04	0,03	0,01	0,03 +	0,01	0,00

+ , ° , * e ** = significativo a 15, 10, 5, e 1 % pelo teste F, respectivamente. s = sem; c = com; C = calcário; G = gesso; F = faixa; T = área total; I = incorporação; d/ = dentro de; FNR = fosfato natural reativo; MAP = fosfato monoamônio.

Nos tratamentos sem calcário (sCFsI, sCFcI e sCTcI), o efeito do revolvimento do solo, quando feito na faixa, não teve influência sobre a densidade de raízes finas (C₄), diferentemente de quando realizado em área total, que foi sistematicamente prejudicial ao crescimento das raízes em quase todas as profundidades, reduzindo sua densidade (C₅).

Aplicar o calcário em faixa ou área total mostrou não ter efeito na densidade de raízes finas (C₆). Vale ressaltar que os dados do quadro 3.3 são uma média geral dos pontos coletados na linha e entrelinha e quando a aplicação é feita em faixa, três pontos amostrados na entrelinha não são influenciados pela faixa de aplicação do calcário.

Nos tratamentos com calcário (cCFsI, cCFcI, cCTsI e cCTcI), o efeito da incorporação foi positivo no aumento da densidade radicular, tanto para o calcário aplicado na faixa (C₇), quanto para o aplicado em área total (C₈).

Contrariando as expectativas, a densidade de raiz fina diminuiu quando se aplicou calcário, na presença do FNR no sulco (C₁₁). Pode-se imaginar que a utilização do FNR no sulco de subsolagem induz a um crescimento de raízes finas que suplanta o efeito do calcário, pois o FNR possui além de Ca, o P, que sabidamente estimula o crescimento de raízes finas (Marschner, 2012).

Ao se comparar o MAP com o FNR como fonte de P no sulco de subsolagem, na ausência de calcário (sCFsIcMAP vs sCFsIcFNR), percebe-se um aumento significativo de raízes finas pelo uso do FNR, na camada de 40-60 cm, ou seja, na profundidade enriquecida com Ca presente no FNR, e reduziu de 20-40 cm, conforme indica o C_{A3}. Por outro lado, quando se aplica calcário, em área total, não há diferença entre essas fontes (C_{A4}).

A aplicação combinada de calcário+gesso, comparada à de calcário isoladamente (C_{A5}), aumentou a densidade de raízes na camada de 10-20 cm e reduziu na de 40-60 cm, contrariamente ao esperado. Porém, como o C_{A5} é um contraste mais amplo, efeitos importantes podem ficar diluídos, e isso pode gerar interpretações inadequadas se desdobramentos posteriores não forem feitos, como será visto a seguir.

Ao analisar o C_{A1} o qual compara a aplicação de calcário+gesso ((cCT+cGF)sI) com calcário (cCTsIcMAP), percebe-se o claro efeito do gesso aplicado em faixa no aumento expressivo da densidade de raízes finas em quase todas as profundidades estudadas, comparativamente à aplicação de calcário, em área total e

sem incorporação. Por outro lado, essas diferenças desaparecem se o gesso for aplicado em área total (C_{A2}).

O C_{10} confirma essa tendência, ao testar o efeito da localização do gesso, quando combinado com calcário, o gesso promove os melhores efeitos aumentando a densidade de raízes finas se aplicado em faixa, comparativamente à área total, para a dose utilizada nesse trabalho (2,4 + 1,0 t/ha de calcário+gesso, respectivamente).

Amostragem com o método da sonda

Numa abordagem ampla comparando os tratamentos do fatorial (sem e com calcário, com MAP) com os adicionais (com calcário+gesso e os com FNR) (C_1), conclui-se não haver diferença significativa entre os grupos de tratamentos. Ressalta-se, porém, a necessidade de desdobrar os efeitos, como será feito adiante, haja vista que esse é um contraste mais amplo e pode mascarar efeitos importantes.

Ao se comparar os tratamentos sem e com calcário, percebe-se uma redução das raízes finas na camada superficial (0-10 cm) e um aumento das raízes nas camadas abaixo, pela aplicação do calcário (C_2). Isso ocorreu quando a fonte de P no sulco foi o MAP. Por outro lado, quando o FNR foi a fonte de P no sulco, o calcário aumentou o crescimento das raízes nas camadas superficiais (0-10 e 0-20 cm) e reduziu em profundidade (40-60 cm) conforme indica o C_{11} .

Nos tratamentos sem calcário (sCFsI, sCFcI e sCTcI), o revolvimento do solo, quando feito na faixa, promoveu aumento das raízes finas (C_4) em todas as camadas, exceto de 0-10 cm, diferentemente de quando realizado em área total, quando reduziu a densidade de raízes na camada superficial (C_5). Este resultado é similar ao encontrado com o método da cavadeira para área total.

A densidade radicular foi maior quando a aplicação do calcário foi feita em área total (C_6), exceto para a camada de 40-60 cm, fato também encontrado para a cavadeira, provavelmente pela maior movimentação de Ca e Mg no solo quando a aplicação foi feita em faixa, o que teria estimulado o crescimento de raízes finas em maiores profundidades (Quadro 3.6). Caires et al. (2006), trabalhando com variedade de trigo moderadamente sensível ao Al, também constaram aumento da densidade radicular com a melhora das condições químicas do solo (aumento de Ca^{2+} e redução da acidez), promovido pelo calcário aplicado em superfície.

Quadro 3.5. Densidade de raízes finas (< 2,0 mm Ø), obtida pela amostragem com a sonda, teores de Ca, Mg e S disponíveis no solo, em diferentes profundidades e produção de mMSPA e de tronco (blocos 3 e 4)

TRATAMENTO	Amostragem com a sonda									
	0 - 10	10 - 20	20 - 40	40 - 60	0 - 20	0 - 40	0 - 60	10 - 40	10 - 60	20 - 60
	g/dm ³									
sC-F-sl	0,91	0,28	0,16	0,11	0,59	0,38	0,29	0,20	0,16	0,14
sC-F-cl	0,99	0,44	0,22	0,16	0,71	0,47	0,36	0,29	0,24	0,19
sC-T-cl	0,69	0,32	0,18	0,11	0,51	0,35	0,27	0,23	0,18	0,15
cC-F-sl	0,76	0,28	0,20	0,14	0,52	0,36	0,29	0,23	0,19	0,17
cC-F-cl	0,70	0,41	0,20	0,15	0,56	0,38	0,30	0,27	0,22	0,18
cC-T-sl	1,00	0,50	0,26	0,13	0,75	0,50	0,38	0,34	0,25	0,19
cC-T-cl	0,60	0,33	0,17	0,13	0,47	0,32	0,25	0,22	0,18	0,15
(cC-T+cG-F)sl	0,92	0,51	0,27	0,17	0,71	0,49	0,38	0,35	0,28	0,22
(cC-T+cG-T)sl	0,86	0,37	0,16	0,09	0,62	0,39	0,29	0,23	0,17	0,13
cC-T-sl-FNR	0,67	0,34	0,20	0,13	0,51	0,35	0,28	0,25	0,20	0,16
cC-T-sl-FNR	1,00	0,39	0,19	0,09	0,70	0,45	0,33	0,26	0,19	0,14
Média geral	0,83	0,37	0,20	0,13	0,60	0,40	0,31	0,26	0,20	0,16
CV ¹ (%)	21,9	28,8	21,9	19,5	20,7	18,3	16,6	23,6	21,9	19,6

Prof.	TRATAMENTOS										
	sC-F-sl	sC-F-cl	sC-T-cl	cC-F-sl	cC-F-cl	cC-T-sl	cC-T-cl	(cC-T+cG-F)sl	(cC-T+cG-T)sl	sC-F-sl FNR	cC-T-sl FNR
	Cálcio (mg/dm ³)										
0-10	0,0	0,0	0,0	316	379	42,8	96	191	140	0,0	113
10-20	0,0	0,0	0,0	67	94	0,0	0,0	2,4	49	0,0	1,9
20-40	0,0	0,0	0,0	72	0,0	0,0	0,0	0,1	11	0,0	0,0
40-60	0,0	0,0	0,0	46	0,0	0,0	0,0	22	0,0	0,0	0,0
	Magnésio (mg/dm ³)										
0-10	2,7	2,6	2,6	181	201	33	56	52	58	1,6	56
10-20	2,2	2,3	2,1	57	82	11	11	9,3	29	2,1	19
20-40	2,1	1,5	1,7	53	19	3,4	4,5	5,2	12	1,2	5,2
40-60	1,6	1,4	0,7	32	8,2	28	3,3	3,8	7,0	0,7	2,2
	Enxofre (mg/dm ³)										
0-10	8,0	7,8	7,5	4,7	2,3	6,8	5,6	22	16	8,5	5,7
10-20	7,4	7,1	6,8	6,3	6,1	7,2	7,0	41	24	7,1	7,6
20-40	7,3	6,8	6,3	6,5	7,5	6,7	7,2	38	22	6,7	6,8
40-60	7,4	7,1	7,5	5,9	6,9	6,3	7,1	35	17	7,5	7,6
	Produtividade										
mMSPA ²	11,0	11,6	11,9	16,2	16,5	18,5	17,4	20,7	18,5	13,0	15,6
Tronco ³	18,0	17,9	17,2	26,2	28,0	31,6	27,3	35,5	34,5	21,1	25,5

s = sem; c = com; F = faixa; T = área total; I = incorporação; C = calcário; G = gesso; FNR = fosfato natural reativo, e nos demais tratamentos utilizou-se o MAP = fosfato monoamônico; ¹CV da ANOVA; ²MSPA = massa de matéria seca da parte aérea (t/ha); ³Tronco (m³/ha).

Quadro 3.6. Contrastes médios e suas significâncias para densidade de raízes finas (< 2,0 mm Ø) pelo método da sonda

CONTRASTE	Método da sonda									
	0 - 10	10 - 20	20 - 40	40 - 60	0 - 20	0 - 40	0 - 60	10 - 40	10 - 60	20 - 60
	g/dm ³									
C ₁ : fatorial vs adicionais	0,04	0,05	0,01	-0,01	0,05	0,03	0,02	0,02	0,01	0,00
C ₂ : sC vs cC d/MAP	-0,11 ⁺	0,05	0,03 ⁺	0,01	-0,03	0,00	0,00	0,04 ⁺	0,03 ⁺	0,02 ⁺
C ₃ : F vs T d/sC d/MAP	-0,15 ⁺	-0,06	-0,02	-0,02 ^o	-0,10 ⁺	-0,06 ⁺	-0,05 ^o	-0,03	-0,03	-0,02
C ₄ : sI vs cI d/sCF d/MAP	0,08	0,16 ^o	0,06 ^o	0,04 [*]	0,12	0,09 ⁺	0,07 ^o	0,10 ^o	0,07 [*]	0,05 [*]
C ₅ : sI vs cI d/sCT d/MAP	-0,22 ⁺	0,04	0,03	-0,01	-0,09	-0,03	-0,02	0,03	0,02	0,01
C ₆ : F vs T d/cC d/MAP	0,07	0,07 ⁺	0,01	-0,02 ^o	0,07 ⁺	0,04 ⁺	0,02	0,03	0,01	0,00
C ₇ : sI vs cI d/cCF d/MAP	-0,06	0,13 ⁺	0,01	0,01	0,04	0,02	0,02	0,05	0,03	0,01
C ₈ : sI vs cI d/cCT d/MAP	-0,39 [*]	-0,17 [*]	-0,09 [*]	0,00	-0,28 ^{**}	-0,19 ^{**}	-0,12 ^{**}	-0,12 [*]	-0,07 [*]	-0,04 ^o
C ₉ : cC+cG vs cFNR	-0,05	-0,07	-0,01	-0,02	-0,06	-0,04	-0,03	-0,03	-0,03	-0,02
C ₁₀ : cGF vs cGT d/cCT	-0,05	-0,14 ^o	-0,11 ^{**}	-0,07 ^{**}	-0,10	-0,10 ^o	-0,09 [*]	-0,12 [*]	-0,10 ^{**}	-0,09 ^{**}
C ₁₁ : sC vs cC d/FNR	0,33 [*]	0,06	-0,01	-0,03 ^o	0,19 ^o	0,09 ⁺	0,05	0,01	-0,01	-0,02
C _{A1} : cC vs cC+cGF d/TsI	-0,08	0,01	0,01	0,04 [*]	-0,04	-0,01	0,00	0,01	0,02	0,02
C _{A2} : cC vs cC+cGT d/TsI	-0,13	-0,13 ⁺	-0,10 ^{**}	-0,03 ⁺	-0,13 ⁺	-0,12 [*]	-0,09 [*]	-0,11 [*]	-0,08 ^{**}	-0,07 [*]
C _{A3} : MAP vs FNR d/sCFsI	-0,24 ^o	0,06	0,04	0,01	-0,09	-0,02	-0,01	0,05	0,03	0,03
C _{A4} : MAP vs FNR d/cCTsI	0,01	-0,11	-0,07 ^o	-0,03 ⁺	-0,05	-0,06	-0,05	-0,08 ^o	-0,06 ^o	-0,05 ^o
C _{A5} : cC vs cC+cG d/MAP	0,13 ⁺	0,06	0,00	-0,01	0,09 ⁺	0,05 ⁺	0,03	0,02	0,01	0,00

⁺, ^o, ^{*} e ^{**} = significativo a 15, 10, 5, e 1 % pelo teste F, respectivamente. s = sem; c = com; C = calcário; G = gesso; F = faixa; T = área total; I = incorporação; d/ = dentro de; FNR = fosfato natural reativo; MAP = fosfato monoamônio.

Diferentemente do encontrado para o método da cavadeira, nos tratamentos com calcário (cCFsI, cCFcI, cCTsI e cCTcI), houve efeito positivo da incorporação na densidade radicular, apenas quando o calcário foi aplicado na faixa e somente na camada de 10-20 cm (C₇). Ao passo que na aplicação em área total, a incorporação reduziu sistematicamente as raízes finas (< 2,0 mm Ø) (C₈).

Ao se comparar o MAP vs FNR dentro de sCFsI como fonte de P no sulco de subsolagem (C_{A3}), percebe-se um aumento significativo de raízes finas pelo uso do MAP, apenas na camada de 0-10 cm. Isso pode ser explicado, pelo menos em parte, pela alta mobilidade do P no floema, que após ser absorvido de local enriquecido com o P solúvel (MAP no sulco de subsolagem) pode ser translocado para estimular o crescimento de raízes em outro local, neste caso, raízes mais superficiais. Por outro lado, quando se aplica calcário, em área total, o uso do MAP aumentou a densidade de raízes em várias camadas (C_{A4}). Esse resultado corrobora os mostrados por Novais & Smyth (1999) que indicam a forte interação de P e N no estímulo ao crescimento radicular. Neste estudo, o efeito do MAP mesmo sendo uma fonte solúvel de P e que contenha N, foi suplantado pelo FNR, que é uma fonte menos solúvel de P e também de Ca.

A aplicação combinada de calcário+gesso, comparada a de calcário isoladamente (C_{A5}), mostrou que o gesso aumentou a densidade de raízes finas na camada de 0-10; 0-20 e 0-40 cm.

Ao analisar o C_{A1}, o qual compara a aplicação combinada de calcário+gesso com calcário isoladamente, percebe-se o efeito positivo do gesso aplicado em faixa no aumento da densidade de raízes finas, especialmente na profundidade de 40-60 cm, comparativamente a aplicação de calcário, em área total e sem incorporação. Por outro lado, quando o gesso foi aplicado em área total, a densidade de raízes finas foi menor (C_{A2}).

O C₁₀ confirma essa tendência, de que o gesso combinado com calcário, causa maior aumento na densidade de raízes finas, se aplicado em faixa comparativamente à sua aplicação em área total.

Comparação entre os métodos de amostragem

Primeiramente é importante ressaltar que não foi objetivo principal a comparação entre os dois métodos de amostragem, pela limitação de não amostrar os

mesmos indivíduos com os dois métodos (cavadeira - blocos 1 e 2; a sonda blocos 3 e 4), o que não invalida de relatar as experiências e dificuldades percebidas com a utilização de cada método.

Pela análise dos dados de densidade de raízes finas (< 2,0 mm Ø) obtida pelos dois métodos de amostragem, conclui-se que, em média, a densidade radicular obtida pelo método da sonda, foi de 30 a 51 % maior do que a obtida pela cavadeira (média geral dos quadros 3.3 e 3.5). O contraste 1 do quadro 3.7 mostra que tais aumentos na densidade de raízes finas obtidas pelo método da sonda, foram significativos para todas as camadas estudadas.

Quadro 3.7. Contrastes médios e suas significâncias para densidade de raízes finas (< 2,0 mm Ø) pelo método da cavadeira e da sonda

CONTRASTE	Profundidade (cm)				
	0 - 10	10 - 20	20 - 40	40 - 60	0 - 20
	g/dm ³				
C ₁ : Cavadeira vs sonda	0,28 **	0,12 *	0,05 *	0,03 *	0,20 **
C ₂ : Bl 1 vs Bl 2 d/cavadeira	-0,03	0,03	0,02	0,00	0,00
C ₃ : Bl 3 vs Bl 4 d/sonda	-0,26 °	-0,05	-0,02	0,02	-0,16 °
	0 - 40	0 - 60	10 - 40	10 - 60	20 - 60
C ₁ : Cavadeira vs sonda	0,13 **	0,10 **	0,08 *	0,06 **	0,04 *
C ₂ : Bl 1 vs Bl 2 d/cavadeira	0,01	0,01	0,03	0,01	0,01
C ₃ : Bl 3 vs Bl 4 d/sonda	-0,09 +	-0,05 +	-0,03	-0,01	0,00

+ , ° , * e ** = significativo a 15, 10, 5, e 1 % pelo teste F, respect. Bl = bloco; d/ = dentro de.

Essa diferença pode ser devida à própria amostragem (diferentes locais amostrados), pois como mencionado anteriormente, a cavadeira foi utilizada para amostrar os blocos 1 e 2 e a sonda o 3 e 4. Outro ponto relevante que ajuda a explicar tal diferença é o volume de solo mobilizado, que no método da cavadeira é em torno de cinco vezes maior, e, mesmo tendo todo o cuidado no peneiramento e na separação das raízes finas, inevitavelmente, a perda delas tende a ser maior ao se aumentar o volume de solo amostrado. É interessante ressaltar que os dados obtidos pelos dois métodos apresentam-se estreitamente correlacionados ($r = 0,90^{***}$).

O C₂ (Quadro 3.7) mostra não haver diferença na densidade radicular de nenhuma camada, entre os blocos 1 e 2, ambos amostrados com a cavadeira. Por

outro lado, para os blocos 3 e 4, amostrados com a sonda, evidencia que o bloco 3 teve maior densidade de raízes finas.

Uma dificuldade no uso da cavadeira reside na padronização das medidas da cova, bem como na retirada do solo das profundidades desejadas e isso influencia o valor do resultado final, no caso, a densidade de raízes finas.

Em um trabalho visando avaliar o sistema radicular, deve-se ter bem claro o objetivo principal que se deseja (quantificação de matéria seca do sistema radicular, conteúdo de nutrientes, raízes de sustentação, raízes absorventes – distribuição, densidade, arquitetura, etc.). Além disso, um aspecto que deve ser levado em conta na escolha de um método de estudo do sistema radicular, é o custo e o tempo para execução da amostragem, ou seja, o rendimento do trabalho.

Exemplificando isso, com uma equipe de 7 - 8 integrantes, com o método da cavadeira conseguiu-se coletar e separar as raízes do solo, sem classificá-las por tamanho, no solo textura média, no máximo de 4 árvores/dia. Por outro lado, usando a sonda, com a mesma equipe, conseguiu-se pelo menos, o dobro do rendimento, ou seja, 8 árvores/dia, além de efetuar a classificação por tamanho já no campo. Compensando o menor volume de solo e maior rendimento, a utilização da sonda viabiliza a coleta de um número maior de repetições e principalmente, de pontos amostrados por árvore, possibilitando captar melhor a variabilidade espacial do sistema radicular.

Os resultados encontrados com os dois métodos de amostragem, cavadeira e sonda, foram similares e complementares, indicando que qualquer um dos dois pode ser utilizado para amostragem de raízes finas. Entretanto, o método da sonda seria o mais recomendado quando o objetivo é avaliar a distribuição das raízes finas da planta, devido ao seu maior rendimento e possibilidade de realização de maior número de pontos por árvore. Por outro lado, se o objetivo também é amostragem de raízes grossas, o método da cavadeira deve ser o preferido.

De forma geral, os resultados com ambos os métodos de amostragem, mostraram que a melhoria química do solo promoveu incrementos na densidade de raízes finas no perfil do solo, talvez não na mesma magnitude e clareza que foram as respostas da parte aérea. Entretanto, estudos que avaliem não só a densidade radicular como também características mais intensivas como superfície e comprimento radicular, subdividir em subclasses de diâmetros menores, entre outros,

deve ser considerado para obtenção de informações mais detalhadas e que melhor se correlacionem com os atributos químicos e físicos do solo.

CONCLUSÕES

A densidade de raízes finas é, em média, duas vezes maior na linha do que na entrelinha.

A aplicação de calcário em área total aumentou a densidade de raízes finas até 40 cm. Por outro lado, a aplicação em faixa aumentou a densidade radicular na camada de 40-60 cm.

A aplicação combinada de calcário mais gesso, comparada com calcário isoladamente, mostrou que o gesso aumentou a densidade de raízes até 40 cm de profundidade.

A aplicação do gesso, em faixa, aumentou a densidade de raízes finas, comparativamente à sua aplicação em área total.

O revolvimento do solo e a incorporação do calcário diminuiram a densidade radicular.

De forma geral, os resultados com ambos os métodos de amostragem, cavadeira e sonda, mostraram que a melhoria química do solo promoveu incrementos na densidade de raízes finas no perfil do solo, embora não na mesma magnitude e clareza como as respostas da parte aérea.

Pelo maior rendimento, a utilização da sonda viabiliza a coleta de um número maior de repetições ou de pontos amostrados por árvore, possibilitando captar melhor a variabilidade espacial do sistema radicular.

LITERATURA CITADA

- ALVAREZ V., V. H.; NOVAIS, R. F.; DIAS, L. E. & OLIVEIRA, J. A.
Determinação e uso do fósforo remanescente. B. Inf. SBCS, 25:27-32, 2000.
- CAIRES, E. F.; CORRÊA, J. C. L.; CHURKA, S.; BARTH, G. & GARBUIO, F. J.
Surface application of lime ameliorates subsoil acidity and improves root growth and yield of wheat in an acid soil under no-till system. Sci. Agric., 63:502-509, 2006.

- DEFELIPO, B. V. & RIBEIRO, A. C. Análise química do solo (metodologia). 2. ed. Viçosa, MG: UFV, 1997. 26p. (Boletim de extensão 29).
- GONÇALVES, J. L. M. Características do sistema radicular de absorção do *Eucalyptus grandis* sob diferentes condições edáficas. Piracicaba, Escola de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 1994. 84 p. (Tese de Livre Docência)
- GONÇALVES, J. L. M. & MELLO, S. L. M. O sistema radicular das árvores. In: GONÇALVES, J. L. M. & BENEDETTI, V., eds. Nutrição e fertilização de florestal. Piracicaba, IPEF, 2000, p. 221-267.
- LOURENÇO, H. M. Crescimento e eficiência do uso da água e nutrientes em eucalipto fertirrigado. Universidade Federal de Viçosa, 2009. 145p. (Dissertação de Mestrado)
- MARSCHNER, P. Marschner’s Mineral Nutrition of Higher Plants. Third Edition, San Diego, Academic Press, 2012, 651p.
- MELLO, S. L. M.; GONÇALVES, J. L. M. & OLIVEIRA, L. E. G. Características do sistema radicular em povoamentos de eucaliptos propagados por sementes e estacas. Sci. Flor., 54:16-26, 1998.
- MELLO, S. L. M.; GONÇALVES, J. L. M. & OLIVEIRA, L. E. G.; BENEDETTI, V. & NIELSEN, I. R. Configuração do sistema radicular, antes e após a colheita, de um povoamento clonal do híbrido *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla*, manejado no sistema de talhadia. IPEF, 1999, 14 p. (Relatório de pesquisa)
- NEVES, J. C. L. Produção e partição de biomassa, aspectos nutricionais e hídricos em plantações clonais de eucalipto na região litorânea do Espírito Santo. Universidade Estadual do Norte Fluminense, 2000. 191p. (Tese de Doutorado)
- NOVAIS, R. F. & SMYTH, T. J. Fósforo em solo e planta em condições tropicais. Viçosa, UFV, 1999, 399p.
- RAIJ, B. van. Gesso na agricultura. Campinas, IAC, 2008, 233p.
- REIS, M. G. F.; BARROS, N. F.; KIMMINS, J. P. Acúmulo de nutrientes em uma seqüência 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.
- REIS, M. G. F.; KIMMINS, J. P.; REZENDE, G. C.; BARROS, N. F. Acúmulo de biomassa em uma seqüência de idade de *Eucalyptus grandis* plantado no cerrado em duas áreas com diferentes produtividades. R. Árvore, 9:149-162, 1985.
- RUIZ, H. A. Incremento da exatidão da análise granulométrica do solo por meio da coleta da suspensão (silte + argila). R. Bras. Ci. Solo, 29:297-300, 2005.

CONCLUSÕES GERAIS

1. A aplicação de calcário mais gesso, nas doses de 2,4 e 1,0 t/ha, aumentou a produção de tronco em 96 %, comparado com a não aplicação de calcário, e em 24 %, comparado com a aplicação isolada de 3,0 t/ha de calcário, em avaliação feita aos 18 meses de idade.

2. Na aplicação de calcário mais gesso, o gesso aplicado em faixa, promoveu maior aumento nas variáveis de produção, comparado ao gesso em área total.

3. A aplicação de calcário isoladamente promoveu incremento médio de 58 % no volume de tronco, em relação ao controle, sem calcário.

4. Na ausência de calcário, a aplicação de fosfato natural reativo no sulco de subsolagem em relação ao MAP, aumentou a produção de tronco em 26 %.

5. A aplicação combinada de calcário mais gesso comparado com calcário isoladamente, aumentou os teores de Ca e S e diminuiu os de Mg, nas folhas do terço médio da copa.

6. Plantado em um solo que não recebeu aplicação de Ca e que tinha um teor não detectável até 60 cm de profundidade, mesmo assim, o eucalipto apresentou um crescimento relativo de 50 %, comparado aos melhores tratamentos (calcário mais gesso) e acumulou 38 kg/ha de Ca na parte aérea, até os 18 meses de idade.

7. A aplicação de calcário em faixa, promoveu melhor distribuição de Ca e Mg no perfil do solo, comparado a aplicação em área total. Esse aprofundamento no perfil pode ser mais importante do que a disponibilidade em toda a superfície apenas nas camadas superiores, especialmente para locais com restrições hídricas.

8. A aplicação de 3,0 t/ha de calcário, em faixa, sem ou com incorporação, promoveu incrementos expressivos nos teores de Ca e Mg até, pelo menos, 60 cm de profundidade. Com a aplicação da mesma dose em área total, os efeitos restringem-se a, no máximo, 20 cm.

9. As taxas de recuperação pela planta variaram de 2,5 a 7,5 % para Ca e de 3,2 a 7,9 % para Mg. A semelhança das taxas de recuperação pelo extrator, valores abaixo do esperado.

10. As taxas médias de recuperação pelo extrator KCl 1,0 mol/L são de 22 e 36 % para Ca e Mg, respectivamente.

11. A demanda estimada de Ca e Mg pelo eucalipto, para a produtividade de 46 m³/ha/ano, aos 84 meses, foi de 238 e 43 kg/ha, respectivamente, para os tratamentos com calcário mais gesso.

12. A densidade de raízes finas é, em média, duas vezes maior na linha do que na entrelinha.

13. A aplicação de calcário em área total aumentou a densidade de raízes finas até 40 cm. Por outro lado, a aplicação em faixa aumentou a densidade radicular na camada de 40-60 cm.

14. A aplicação combinada de calcário mais gesso comparada com calcário isoladamente, mostrou que o gesso aumentou a densidade de raízes até 40 cm de profundidade.

15. A aplicação do gesso, em faixa, aumentou a densidade de raízes finas, comparativamente à sua aplicação em área total.

16. O revolvimento do solo e a incorporação do calcário diminuíram a densidade radicular.

17. De forma geral, os resultados com ambos os métodos de amostragem, mostraram que a melhoria química do solo promoveu incrementos na densidade de raízes finas no perfil do solo, embora não na mesma magnitude e clareza como as respostas da parte aérea.

18. Pelo maior rendimento, a utilização da sonda viabiliza a coleta de um número maior de repetições ou de pontos amostrados por árvore, possibilitando captar melhor a variabilidade espacial do sistema radicular.

19. Recomenda-se a realização de estudos com extratores de formas de Ca absorvíveis pelo eucalipto, haja vista que o método do KCl 1,0 mol/L não foi eficaz em prever adequadamente o suprimento de Ca para essa cultura.

20. Devido ao grande potencialidade da aplicação em faixa, faz-se necessário desenvolver estudos de refinamento de doses e largura ideal da faixa de aplicação.