

DANIEL ALEXANDRE IOCHIMS

**CRESCIMENTO INICIAL DE *Eucalyptus benthamii* E *Pinus taeda* COM
DIFERENTES NÍVEIS DE pH E CÁLCIO NO SOLO**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre no curso de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC

Orientador: Dr. Luciano Colpo Gatiboni
Coorientador: Dr. Paulo Cezar Cassol

LAGES, SC

2018

Ficha catalográfica elaborada pelo(a) autor(a), com
auxílio do programa de geração automática da
Biblioteca Setorial do CAV/UDESC

Iochims, Daniel Alexandre
Crescimento inicial de *Eucalyptus benthamii* e
Pinus taeda com diferentes níveis de pH e cálcio no
solo / Daniel Alexandre Iochims. - Lages, 2018.
96 p.

Orientador: Luciano Colpo Gatiboni
Coorientador: Paulo Cezar Cassol
Dissertação (Mestrado) - Universidade do Estado
de Santa Catarina, Centro de Ciências
Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em
Ciência Do Solo, Lages, 2018.

1. Calagem. 2. Plantios Florestais. 3.
Fertilidade Florestal. I. Gatiboni, Luciano Colpo.
II. Cassol, Paulo Cezar .III. Universidade do
Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências
Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em
Ciência Do Solo. IV. Título.

DANIEL ALEXANDRE IOCHIMS

**CRESCIMENTO INICIAL DE *Eucalyptus benthamii* E *Pinus taeda* COM
DIFERENTES NÍVEIS DE pH E CÁLCIO NO SOLO**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre no curso de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Estadual de Santa Catarina – UDESC.

Banca examinadora:

Orientador: _____



Professor Dr. Luciano Colpo Gatiboni
Universidade do Estado de Santa Catarina

Membro: _____



Professor Dr. Frederico Costa Beber Vieira
Universidade Federal do Pampa

Membro: _____



Professor Dr. Marcio Carlos Navroski
Universidade do Estado de Santa Catarina

Lages, 26 de Fevereiro de 2018.

Dedico esse trabalho aos meus pais, Sirlei Teresinha Becker lochims e Flavio lochims.

AGRADECIMENTOS

À família, meus pais Flavio e Sirlei, a irmã Rafaela e aos avós Petronila e Dinaldo por me apoiar nesse sonho, compreender os momentos de ausência e me ajudar durante esses dois anos de mestrado.

A minha namorada, Vanessa Santos Salvadé, por todo carinho e estar ao meu lado durante o período da pós-graduação, ajudando em diversos momentos.

Ao meu orientador Prof. Dr. Luciano Colpo Gatiboni obrigado por todo apoio durante a condução dos experimentos e projeto, disponibilidade para atender e tirar dúvidas e pelos ensinamentos passados em aula e fora dela.

Aos colegas do GEFOSC, obrigado por toda ajuda disponibilizada para a condução e colheita do experimento, além dos ensinamentos passados. Agradeço em especial a ajuda dos bolsistas Gabriel Jesus, Gabriel Zulian e Nilson Junior.

Aos velhos amigos de São Gabriel, Leonardo, Maycon e Gustavo pelos momentos convividos em Lages durante esses dois anos.

Aos novos amigos Ivan Sutil, Vagner Picolo, Élcio Bonfada e Everson Sbruzzi, pela amizade e bons momentos vividos durante o período do mestrado.

Ao colega Gilmar Mumbach por toda ajuda e apoio durante a condução e análises do experimento e aos demais colegas e amigos do mestrado.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, aos professores e técnicos pelos ensinamentos passados e por toda ajuda.

A Universidade do Estado de Santa Catarina por ter cedido toda a estrutura para a condução do experimento e análises.

A KLABIN pelo fornecimento das mudas e do solo para a montagem do experimento.

A FAPESC pela bolsa de estudo concedida durante o período do mestrado.

RESUMO

IOCHIMS, Daniel Alexandre. **Crescimento inicial de *Eucalyptus benthamii* e *Pinus taeda* com diferentes níveis de pH e cálcio no solo.** 2018. 96 p. Dissertação de Mestrado em Ciência do Solo. Área: Fertilidade e Química do solo. Universidade do Estado de Santa Catarina – Centro de Ciências Agroveterinárias, Lages, 2018.

As culturas florestais dos gêneros *Eucalyptus* e *Pinus* geralmente apresentam baixa resposta a elevação do pH pela calagem e os resultados positivos desta são normalmente atribuídos a elevação dos teores de cálcio no solo. Para elucidar isso, o objetivo do estudo foi avaliar níveis de pH e cálcio no crescimento inicial de clones de *Eucalyptus benthamii* e *Pinus taeda* cultivados em vasos em um Cambissolo Húmico, do Planalto Sul Catarinense. O experimento foi conduzido em vasos com 20 kg de solo, em ambiente aberto e os tratamentos foram duas fontes de cálcio (carbonato de cálcio ou cloreto de cálcio, o primeiro elevando o pH e o segundo não) e cinco doses (0, 0,4, 0,8, 4,0 e 6,0 Mg ha⁻¹ de Ca) para eucalipto e quatro doses (0, 0,4, 0,8 e 2,0 Mg ha⁻¹ de Ca) para pinus. O experimento foi conduzido em blocos casualizados em esquema fatorial com quatro repetições para eucalipto e três para pinus. Foram medidos periodicamente a altura e o diâmetro do colo e, ao final do experimento, aos 310 dias após o plantio para eucalipto e 370 para o pinus, foram avaliados os atributos químicos do solo e a massa seca da parte aérea (divididos em galho, folha e fuste) e radicular, além dos teores de nutrientes contidos no tecido vegetal. O aumento do teor de cálcio no solo aumentou a massa seca de folhas e galhos do eucalipto e a correção do pH aumentou a massa seca de parte aérea, raízes e total. Porém, não houve resposta aos tratamentos para as variáveis altura de plantas, diâmetro do colo e massa seca do fuste. Para o pinus, a elevação dos níveis de pH não proporcionou aumento nas variáveis analisadas, inclusive ocorrendo redução na massa seca de acículas com a elevação do pH. Já a elevação dos níveis de cálcio, sem elevar o pH do solo, promoveu maior desenvolvimento nas variáveis massa seca de acículas, galhos, parte aérea e total da planta. Os resultados mostraram que o pinus apresentou melhor desenvolvimento com a elevação dos níveis de cálcio, sem aumento do pH, enquanto para eucalipto a elevação do pH melhorou o crescimento das plantas, contudo em razão do pequeno aumento do desempenho e elevada dose de corretivo necessária, essa prática pode não ser economicamente viável, exceto se as respostas forem mais consistentes durante a fase adulta das plantas, o que não foi avaliado neste experimento.

Palavras-chave: Calagem, Plantios Florestais, Fertilidade Florestal

ABSTRACT

IOCHIMS, Daniel Alexandre. **Initial growth of *Eucalyptus benthamii* and *Pinus taeda* with different levels of pH and calcium in the soil.** 2018. 96 p. Dissertation (Master's Degree in Soil Science. Area: Fertility and Soil Chemistry. Santa Catarina State University, Lages, 2018.

Forest crops as *Eucalyptus* and *Pinus* usually present low response to pH elevation by liming and the positive results of liming are usually attributed to the elevation of calcium contents in the soil. To clarify this, the objective of the study was to evaluate pH and calcium levels in the initial growth of *Eucalyptus benthamii* and *Pinus taeda* cultivated in pots in a Humic Cambisol. Both experiments were conducted in pots with 20 kg of soil in an open environment and the treatments were two sources of calcium (calcium carbonate and calcium chloride; the first raising the pH and the second not) and five rates for eucalyptus (0, 0,4, 0,8, 4,0 and 6,0 Mg ha⁻¹ of Ca) and four rates for pine (0, 0,4, 0,8 and 2,0 Mg ha⁻¹ of Ca). The experiment was conducted in a randomized complete block design with four replicates for eucalyptus and three for pine. The height and diameter were measured periodically and, at the end of the experiment, at 310 days after planting for eucalyptus and 370 for pine, the soil chemical attributes and the dry mass were evaluated (divided in branches, leaf, stem and roots), as also it were evaluated the contents of nutrients in the plant tissue. The increase of calcium content in the soil increased the dry mass of leaves and branches of the eucalyptus and the correction of the pH increased the dry mass of shoot, roots and total. However, there was no response to treatments for the variables plant height, diameter and dry mass of the stem. For pine, the elevation of pH levels did not improve the analyzed variables; conversely, it was reduced the dry mass of the needles with the pH elevation. However, the elevation of calcium levels, without raising soil pH, promoted greater development in the dry mass of the needles, branches, shoot and total plant. The results showed that the pine had a better development with the elevation of calcium levels, without increase of pH, while for eucalyptus the pH elevation improved the plant growth. However, due to the small increase of the performance and high rate of lime tested, this practice may not be economically feasible unless if the responses would be more consistent during the adult stage of the plants, which was not evaluated in this experiment.

Keywords: Liming, Forest Planting, Forest Fertility

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 – Atributos químicos: pH do solo (A), pH SMP (B), Al^{+3} (C), saturação por Al^{+3} (D) e (H+Al) (E) em Cambissolo Húmico após cultivo de mudas de *Eucalyptus benthamii* por 310 dias com diferentes níveis de pH e cálcio.37
- Figura 2 – Atributos químicos: teor de cálcio (A), soma de bases (B), saturação por bases (C) CTC efetiva (D) e $CTC_{pH\ 7,0}$ (E) em Cambissolo Húmico após cultivo de mudas de *Eucalyptus benthamii* por 310 dias com diferentes níveis de pH e cálcio.40
- Figura 3 – Atributos químicos: teor de magnésio (A), potássio (B) e fósforo (C) em Cambissolo Húmico após o cultivo de mudas de *Eucalyptus benthamii* por 310 dias com diferentes níveis de pH e cálcio.43
- Figura 4 – Curva de crescimento em altura (A) e diâmetro do colo (B) de mudas de *Eucalyptus benthamii* cultivadas em Cambissolo Húmico por 310 dias com diferentes níveis de pH e cálcio.....45
- Figura 5 – Crescimento em altura (A) diâmetro do colo (B) e volume do fuste (C) de mudas de *Eucalyptus benthamii* cultivadas em Cambissolo Húmico por 310 dias com diferentes níveis de pH e cálcio.47
- Figura 6 - Massa seca folhas (A), massa seca galhos (B), massa seca fuste (C), massa seca raiz (D), massa seca total da parte aérea (E) e massa seca total da planta (F) de mudas de *Eucalyptus benthamii* cultivadas em Cambissolo Húmico por 310 dias com diferentes níveis de pH e cálcio.49
- Figura 7 – Teor de cálcio nas folhas (A), galhos (B), fuste (C), raízes (D) de mudas de *Eucalyptus benthamii* cultivadas em Cambissolo Húmico por 310 dias com diferentes níveis de pH e cálcio.....51
- Figura 8 – Teor de fósforo nas folhas (A), galhos (B), fuste (C), raízes (D) de mudas de *Eucalyptus benthamii* cultivadas em Cambissolo Húmico por 310 dias com diferentes níveis de pH e cálcio.....53

Figura 9 – Teor de potássio nas folhas (A), galhos (B), fuste (C), raízes (D) de mudas de <i>Eucalyptus benthamii</i> cultivadas em Cambissolo Húmico por 310 dias com diferentes níveis de pH e cálcio.	55
Figura 10 – Teor de magnésio nas folhas (A), galhos (B), fuste (C), raízes (D) de mudas de <i>Eucalyptus benthamii</i> cultivadas em Cambissolo Húmico por 310 dias com diferentes níveis de pH e cálcio.	56
Figura 11 –Atributos químicos: pH do solo (A), pH SMP (B), Al^{+3} (C), saturação por Al^{+3} (D) e (H+Al) (E) em Cambissolo Húmico após cultivo de mudas de <i>Pinus taeda</i> por 370 dias com diferentes níveis de pH e cálcio.	67
Figura 12 – Atributos químicos: teor de cálcio (A), soma de bases (B), saturação por bases (C) CTC efetiva (D) e $CTC_{pH\ 7,0}$ (E) em Cambissolo Húmico após cultivo de mudas de <i>Pinus taeda</i> por 370 dias com diferentes níveis de pH e cálcio.	69
Figura 13 – Atributos químicos: teor de magnésio (A), potássio (B) e fósforo (C) em Cambissolo Húmico após o cultivo de mudas de <i>Pinus taeda</i> por 370 dias com diferentes níveis de pH e cálcio.	71
Figura 14 – Curva de crescimento em altura (A) e diâmetro do colo (B) de mudas de <i>Pinus taeda</i> cultivadas em Cambissolo Húmico por 370 dias com diferentes níveis de pH e cálcio.	72
Figura 15 – Crescimento em altura (A) diâmetro do colo (B) e volume do fuste (C) de mudas de <i>Pinus taeda</i> cultivadas em Cambissolo Húmico por 370 dias com diferentes níveis de pH e cálcio.	74
Figura 16 - Massa seca acículas (A), massa seca galhos (B), massa seca fuste (C), massa seca raízes (D), massa seca total da parte aérea (E) e massa seca total da planta (F) de mudas de <i>Pinus taeda</i> cultivadas em Cambissolo Húmico por 370 dias com diferente	76
Figura 17 –Teor de cálcio nas acículas (A), galhos (B), fuste (C), raízes (D) de mudas de <i>Pinus taeda</i> cultivadas em Cambissolo Húmico por 370 dias com diferentes níveis de pH e cálcio.	78

- Figura 18 – Teor de fósforo nas acículas (A), galhos (B), fuste (C), raízes (D) de mudas de *Pinus taeda* cultivadas em Cambissolo Húmico por 370 dias com diferentes níveis de pH e cálcio79
- Figura 19 – Teor de magnésio nas acículas (A), galhos (B), fuste (C), raízes (D) de mudas de *Pinus taeda* cultivadas em Cambissolo Húmico por 370 dias com diferentes níveis de pH e cálcio.....80
- Figura 20 – Teor de potássio nas acículas (A), galhos (B), fuste (C), raízes (D) de mudas de *Pinus taeda* cultivadas em Cambissolo Húmico por 370 dias com diferentes níveis de pH e cálcio.....81

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Principais atributos físico-químicos do Cambissolo Húmico utilizado para a montagem do experimento com mudas de *Eucalyptus benthamii*.31

Tabela 2 – Principais atributos físico-químicos do Cambissolo Húmico utilizado para a montagem do experimento com mudas de *Pinus taeda*.62

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL.....	21
2 OBJETIVO	25
3 CAPÍTULO 1: NÍVEIS DE pH E CÁLCIO PARA O CRESCIMENTO INICIAL DE CLONE DE <i>Eucalyptus benthamii</i> EM CAMBISSOLO HÚMICO, NO PLANALTO SUL CATARINENSE	27
3.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	27
3.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	30
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
3.3.1 Atributos químicos do solo após a condução do experimento com mudas de <i>Eucalyptus benthamii</i>	35
3.3.2 Crescimento da parte aérea e radicular das mudas de <i>Eucalyptus benthamii</i>	44
3.3.3 Teor de nutrientes na parte aérea e radicular das mudas de <i>Eucalyptus benthamii</i>	50
3.4 CONCLUSÕES.....	57
4 CAPÍTULO 2: NÍVEIS DE pH E CÁLCIO PARA O CRESCIMENTO INICIAL DE CLONE DE <i>Pinus taeda</i> EM CAMBISSOLO HÚMICO, NO PLANALTO SUL CATARINENSE.....	59
4.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	59
4.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	62
4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	66
4.3.1 Atributos químicos do solo após a condução do experimento com mudas de <i>Pinus taeda</i>	66
4.3.2 Crescimento da parte aérea e radicular das mudas de <i>Pinus taeda</i>	71
4.3.3 Teor de nutrientes na parte aérea e radicular das mudas de <i>Pinus taeda</i>	77
4.4 CONCLUSÕES.....	82

5 CONCLUSÕES GERAIS.....	83
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	85
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	87
APÊNDICES.....	93

1 INTRODUÇÃO GERAL

Aproximadamente 30% dos solos no mundo apresentam algum problema relacionado à acidez, englobando importantes regiões para produção de alimentos e demais produtos necessários para a população (HAVLIN et al., 2005). Os problemas com a acidez são mais comuns em regiões tropicais e subtropicais e, neste contexto, os solos da região sul do Brasil apresentam geralmente baixa fertilidade natural e elevada acidez, contendo altos valores de alumínio trocável (Al^{+3}), baixa saturação por bases e baixos níveis de fósforo (P), necessitando serem corrigidos para o crescimento adequado da maioria das culturas (KAMINSKI et al., 2007; BISSANI et al., 2008).

A acidez nos solos pode estar associada ao material de origem, o qual pode apresentar baixos níveis de bases trocáveis cálcio (Ca), magnésio, potássio (K) e sódio (Na), como é o caso dos solos de cerrado, ou estar associado a regiões onde a precipitação pluviométrica é maior que a evapotranspiração, ocorrendo a lixiviação dos cátions de reação básica (FAGERIA e STONE, 1999). Nesses casos, os complexos de troca de cátions do solo passam a ser ocupado por Al^{+3} e hidrogênio não dissociado (RAIJ, 2011), reduzindo a capacidade de armazenamento de nutrientes do solo, aumentando o teor de elementos indesejáveis, contribuindo para uma menor performance do solo como sustentados do crescimento das plantas. A acidez também pode estar associada a práticas de manejo, como a utilização de fertilizantes de reação ácida, nitrificação, erosão, absorção de cátions pelas plantas, produção de gás carbônico e decomposição da matéria orgânica (ERNANI, 2016).

Os solos do Planalto Sul Catarinense geralmente apresentam acúmulo de matéria orgânica devido às condições de altitude aliados ao clima mais frio, diminuindo assim a taxa de decomposição microbiana do solo em boa parte do ano (DIAS et al., 2003). Esses solos apresentam acidez elevada, pois a matéria orgânica é aliada ao Al^{+3} e um grande reservatório de íons hidrogênio não dissociados. Esses fatores, somado ao médio a alto teor de argila dos solos da região, são responsáveis pelo alto poder tampão de acidez dos mesmos (ERNANI e ALMEIDA, 1986), exigindo muitas vezes grandes quantidades de calcário (até 21 t ha^{-1}) para a elevação do pH para valores até 6,0 (COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - CQFS-

RS/SC, 2016). Assim, para a maioria das culturas, se faz necessária a correção da acidez do solo para condicionar o crescimento das plantas.

Dentre as principais formas de correção da acidez do solo esta aplicação de calcário agrícola, o qual está presente em maior quantidade na natureza, de fácil extração e uso, além de apresentar um baixo custo, comparado com os demais insumos (ERNANI, 2016). A aplicação de calcário agrícola eleva o pH, os teores de Ca e magnésio, diminui ou elimina os efeitos tóxicos do Al e manganês (Mn) trocáveis e, em solos com cargas variáveis, aumenta a CTC, favorecendo maior retenção de cátions (ALBUQUERQUE et al., 2003). Também ocorre a diminuição da fixação de P, aumenta a atividade microbiana, e a liberação de nutrientes contidos na matéria orgânica como nitrogênio (N), P, enxofre (S) e boro (B).

As culturas agrícolas em geral respondem muito bem a elevação do pH, aumentando seu crescimento e produção. Entretanto, as culturas florestais como as do gênero *Pinus* e *Eucalyptus*, em sua maioria, apresentam baixa resposta a elevação do pH pela calagem, pois apresentam tolerância a solos ácidos. Para essas culturas florestais, a resposta das plantas a aplicação de calcário, quando existente, tem sido atribuída à elevação dos níveis de Ca e magnésio no solo, e não diretamente devido a correção da acidez do solo.

Devido a isso, a maioria das empresas brasileiras do ramo florestal, ao implantar os povoamentos comerciais, não elevam o pH para 5,5 ou a saturação por bases até 65% como recomendava a Comissão (CQFS-RS/SC, 2004). O manejo prático das empresas tem sido geralmente a aplicação de 1 a 2 t ha⁻¹ de calcário dolomítico durante a implantação da floresta, utilizado apenas para aumentar os níveis de Ca e magnésio do solo e suprir as exportações geradas pelas culturas durante o ciclo, principalmente Ca, que é exportado em maior quantidade pela colheita.

No ano de 2016 o sistema de recomendação de calagem e adubação para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina passou por uma reformulação (CQFS-RS/SC, 2016) e a recomendação para as espécies do gênero *Pinus* e *Eucalyptus* foi modificada. Nessa, todas as culturas florestais foram classificadas como plantas “sem pH de referência”, ou seja, essas plantas não podem ser classificadas dentro do sistema clássico que separa as plantas em três categorias de resposta a elevação do pH (pH 5,5, pH 6,0 e pH 6,5). Para essas culturas, o sistema de recomendação passou a sugerir a calagem apenas para elevar a saturação por bases até 40% e os teores de Ca e magnésio até o nível alto (Ca \geq 4,0 Mg \geq 1,0 cmol_c dm⁻³). No entanto, mesmo

com o conhecimento prático das empresas florestais e a mudança de classificação das culturas florestais pela CQFS-RS/SC, ainda paira a dúvida se a resposta das plantas é pelo aumento do teor de Ca no solo ou pela pequena elevação do pH que ocorre com a aplicação das subdoses de calcário praticadas.

Por este motivo, o presente trabalho testa a hipótese de que as plantas do gênero *Pinus* e *Eucalyptus* respondem exclusivamente ao aumento do teor de Ca, não sendo sensíveis ao incremento no pH do solo. Para isso, foram conduzidos experimentos testando doses de Ca em ambas culturas utilizando duas fontes: CaCO_3 (aumenta Ca e eleva pH do solo) e CaCl_2 (apenas aumenta Ca no solo). Em se confirmando a hipótese proposta, consolida-se a possibilidade de utilização em culturas florestais de outros produtos, além do calcário, para aumento dos teores de Ca, como gesso agrícola e resíduos industriais contendo o nutriente.

2 OBJETIVO

O objetivo principal do estudo foi avaliar níveis de pH e cálcio para o crescimento inicial de clones de *Eucalyptus benthamii* e *Pinus taeda* em Cambissolo Húmico, no Planalto Sul Catarinense.

3 CAPÍTULO 1: NÍVEIS DE pH E CÁLCIO PARA O CRESCIMENTO INICIAL DE CLONE DE *Eucalyptus benthamii* EM CAMBISSOLO HÚMICO, NO PLANALTO SUL CATARINENSE

3.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A área com florestas plantadas no Brasil atingiu 7,84 milhões de hectares no ano de 2016, sendo que o plantio de eucalipto representa 5,7 milhões de hectares (72,7%) desse total e as florestas de pinus 1,6 milhões de hectares (20,40%). Juntos os dois gêneros representam quase 93% das florestas plantadas. Outras espécies como acácia, teca, seringueira e paricá apresentam plantios comerciais, porém de menor abrangência (IBA, 2017).

Dentre os estados que apresentam a maior área plantada de eucalipto se destacam os estados de Minas Gerais (24%), São Paulo (17%), Mato Grosso do Sul (15%), Bahia (11%) e Rio Grande do Sul (5,5%), totalizando aproximadamente 73% do total das florestas plantadas de eucalipto no Brasil (IBA, 2017).

Os solos utilizados para os plantios florestais em geral são solos de baixa fertilidade natural, elevada acidez e baixa saturação de bases, os quais muitas vezes apresentam baixa aptidão agrícola e necessitam de grandes quantidades de corretivos e fertilizantes para se tornarem apropriados para o cultivo.

Apesar disso, o Brasil apresenta uma das melhores médias de produtividade de eucalipto, quando comparado com os demais países do Mundo. Dentre os fatores responsáveis por este aumento está a melhora no material genético (maior qualidade, resistência e maior produtividade) e a seleção de espécies tolerantes a geada para a região sul (*Eucalyptus dunnii* Maiden, *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage e híbridos) (HIGHASI et al., 2000).

A espécie *E. benthamii* ocorre naturalmente em uma pequena área na costa Leste do estado de Nova Gales do Sul, Austrália, encontrando-se principalmente nas margens de rios, em solos planos com declividade pouco acentuada, com boa fertilidade (BOLAND et al., 1984) e pH que variam de 5,5 a 6,5 (BENSON e McDOUGALL, 1998). As temperaturas mínimas médias variam de 1 a 3 graus e as temperaturas máximas chegam a 27° C (BOLAND et al., 1984).

Recentemente, a espécie *E. benthamii* passou a ser introduzida na região sul do Brasil, principalmente nas regiões mais altas dos estados do Paraná, Santa

Catarina e Rio Grande do Sul. Nessas regiões é frequente a ocorrência de geadas e as precipitações médias anuais variam de 1500 a 1900 mm (HIGA et al., 2012). No estado de Santa Catarina, principalmente no Planalto Sul Catarinense, os povoamentos florestais estão implantados sobre Cambissolos, exigindo muitas vezes grandes quantidades de calcário (até 21 t ha⁻¹) para a elevação do pH para valores até 6,0 (CQFS-RS/SC, 2016).

Os primeiros estudos referentes à calagem e fertilização para eucalipto no Brasil foram realizados nas décadas de 70 e 80. Dentre os principais resultados obtidos com os estudos foram que o gênero *Eucalyptus* apresenta baixa resposta a elevação do pH e neutralização do Al⁺³, sendo os melhores resultados atribuídos ao aumento dos níveis de Ca e de magnésio no solo (NOVAIS et al., 1979, NOVAIS et al., 1980). A simples adição de fertilizantes fosfatados com Ca na composição já foi o suficiente para mudas de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden não apresentarem resposta a calagem (NOVAIS et al., 1979).

Entretanto, apesar do eucalipto ser uma planta de ciclo longo e a exigência para alguns nutrientes ser menor quando comparado com culturas agrícolas, algumas condições mínimas são necessárias para que a cultura atinja 80% do rendimento relativo no crescimento inicial, dentre elas a saturação por bases de no mínimo 8%, o teor de magnésio 0,3 cmol_c dm⁻³ e valores de saturação por Al⁺³ inferiores a 79% (GUIMARÃES et al., 2015).

A baixa resposta a elevação do pH pode estar associada a tolerância do eucalipto ao Al⁺³ (cátion predominante em pH < 5,5). Ao avaliar seis espécies de eucalipto em resposta ao Al⁺³ em solução nutritiva, Silva et al. (2004), constatou que as plantas passaram a ter exsudação radicular de ácidos orgânicos, dentre eles o ácido cítrico e ácido málico e que o principal mecanismo de tolerância ao Al⁺³ pode estar ligado a desintoxicação interna de Al devido à complexação com ácido málico. Os altos níveis de Al⁺³ reduzem o crescimento radicular da maioria das culturas inclusive das espécies arbóreas, entretanto o crescimento radicular de eucalipto parece ser pouco afetado pela acidez do solo em comparação com outras espécies florestais (VALE et al., 1996).

As culturas florestais apresentam um ciclo mais longo e uma absorção mais lenta de nutrientes, o que pode induzir a um pensamento errado de que apresentam baixa exportação de nutrientes. Entretanto a constante exportação de nutrientes dos sítios pela retirada da madeira, tanto nas operações de desbaste como na colheita

final promove um empobrecimento nutricional dos sítios para os povoamentos futuros. A quantidade de nutrientes exportados pode variar de acordo com a espécie de eucalipto, sua idade e o manejo de colheita observando-se na maioria dos estudos a seguinte ordem de exportação $\text{Ca} > \text{N} > \text{K} > \text{Mg} > \text{P}$ (RAIJ et al., 1997).

Povoamentos de *Eucalyptus saligna* Sm. com sete anos de idade tem como principal nutriente acumulado o Ca, chegando a valores acumulado no tronco (casca + madeira) de 404 kg ha^{-1} de Ca. Os valores de exportação quando a madeira é retirada com casca são elevados, sendo que o descasque no campo pode representar uma redução nas taxas de exportação de nutrientes de 60% para Ca, 48% para Mg, 21% para K, 19% para P e 18% para N, mesmo que a casca represente apenas 6% da biomassa do tronco (WITSCHORECK e SCHUMACHER, 2015).

Devido às elevadas exportações de Ca pela colheita da madeira de eucalipto se faz necessário repor o mesmo para manter as condições adequadas para os povoamentos futuros. A calagem é a principal forma de se adicionar Ca ao solo, com a utilização de calcário (calcítico ou dolomítico), entretanto outros materiais alternativos também podem ser utilizados como é o caso do gesso agrícola e a lama de cal, um subproduto da indústria de celulose.

A maioria dos manuais de recomendações disponíveis do Brasil indicam para a cultura do eucalipto a calagem para a elevação dos níveis de Ca e Mg e saturação por bases. No estado de Minas Gerais a recomendação de calagem só é recomendada quando os níveis de Ca e Mg não forem constituintes de outros fertilizantes utilizados ou quando os níveis de Ca e Mg estiverem aquém daqueles necessários para atingir a produtividade esperada. Nesses casos, para cada décimo de $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ abaixo do nível crítico de Ca, é recomendado aplicar 100 kg ha^{-1} de calcário com 100% de PRNT, em área total (RIBEIRO et al., 1999).

Em solos do Cerrado a recomendação é para a elevação da saturação por bases para 25% e manutenção dos níveis de Ca e Mg iguais ou superiores $1,5$ e $0,5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, respectivamente, bem como a adição de gesso agrícola até 80 cm para subsolo ácidos (SOUZA e LOBATO, 2002).

Para o estado do Pará as recomendações são para a elevação da saturação por bases para valores de 40 – 50%, (CRAVO et al., 2007). No estado de São Paulo a calagem visa suprir as exportações de Ca pela colheita, na ordem de 300 a 500 kg ha^{-1} (RAIJ et al., 1997). Para o estado de Goiás, as recomendações são para aplicar 500 g de calcário dolomítico por cova, quando o teor de Ca e Mg forem inferiores a

0,5 meq/100 mL (CFSG, 1988). O estado do Paraná recomenda a elevação da saturação por bases para 25 - 30% ou a manutenção dos níveis de Ca e Mg iguais ou superiores 1,1 e 0,5 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$, respectivamente (SBCS/NEPAR, 2017).

Nos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, até 2016 a calagem em plantios de eucalipto era recomendada quando o solo fosse muito ácido ($\text{pH} < 5,0$) ou quando os teores de Ca e magnésio se apresentavam baixos. O objetivo era elevar o pH do solo a 5,5 e a saturação por bases a 65%. (CQFS-RS/SC, 2004). Após 2016, o sistema de recomendação foi atualizado e, para as culturas florestais não há mais pH de referência, passando a recomendação a sugerir a calagem apenas para elevar a saturação por bases até 40% e os teores de Ca e Mg até o nível alto (Ca $\geq 4,0$ Mg $\geq 1,0 \text{ cmol}_c \text{dm}^{-3}$) (CQFS-RS/SC, 2016).

Visto que a maioria das reposições de Ca no solo é realizada com utilização de calcário, ainda fica uma dúvida se as respostas da cultura do eucalipto são a elevação dos níveis de Ca ou a pequena elevação do pH do solo referente a adição do calcário. Com isso, o presente estudo teve como objetivo principal avaliar níveis de pH e Ca para o crescimento inicial de um clone de *Eucalyptus benthamii* cultivado em vaso em Cambissolo Húmico, no Planalto Sul Catarinense.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no período de setembro de 2016 a agosto de 2017, em ambiente aberto, na Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), campus Centro de Ciências Agroveterinárias (CAV), situado no município de Lages, SC. O clima da região é do tipo Cfb segundo a classificação de Köppen. A temperatura média anual em Lages é de 15,7°C, umidade relativa do ar média de 79% e precipitação anual de 1555 mm, com ocorrência de geadas no período de inverno (WREGGE et al., 2011).

Para a condução do experimento foi usado um clone de *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cabbage, cedido pela empresa Klabin, localizada no município de Otacílio Costa, SC.

O solo utilizado no experimento foi um Cambissolo Húmico coletado na camada de 0 – 0,20 m na cidade de Otacílio Costa, SC. Após a coleta, o solo foi peneirado em

malha 4 mm, homogeneizado e analisado quanto aos principais atributos físico-químicos (Tabela 1), seguindo metodologias descritas em Tedesco et al. (1995).

Tabela 1 - Principais atributos físico-químicos do Cambissolo Húmico utilizado para a montagem do experimento com mudas de *Eucalyptus benthamii*.

Atributos	Valores	Interpretação*
Argila (%)	41,6	2
Matéria Orgânica (%)	4,54	Média
pH-H ₂ O	4,45	Baixo
pH-SMP	4,25	
Ca (cmol _c kg ⁻¹)	0,24	Baixo
Mg (cmol _c kg ⁻¹)	0,39	Baixo
Al ⁺³ (cmol _c kg ⁻¹)	8,87	
P (mg kg ⁻¹)	1,74	Muito baixo
K (mg kg ⁻¹)	78,17	Médio
H+Al (cmol _c kg ⁻¹)	32,57	
CTC efetiva (cmol _c kg ⁻¹)	9,70	
CTC pH 7,0 (cmol _c kg ⁻¹)	33,40	Muito Alta
SB (cmol _c kg ⁻¹)	0,83	
m (%)	91,44	
V (%)	2,48	

*Interpretação segundo o Manual de Adubação e Calagem para os Estados do RS e SC, 2016.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

O experimento foi conduzido em delineamento de blocos casualizados em esquema fatorial e quatro repetições (uma planta por repetição). Os tratamentos foram duas fontes de cálcio: Fonte 1 - carbonato de cálcio (CaCO₃); Fonte 2 - cloreto de cálcio (CaCl₂), aplicadas em cinco doses de cálcio (0, 0,4, 0,8, 4,0 e 6,0 Mg ha⁻¹ de Ca). Para a aplicação das doses de cálcio nos vasos, as mesmas foram corrigidas, levando em consideração a massa de 20 kg de solo vaso⁻¹ (0, 4, 8, 40 e 60 g Ca vaso⁻¹). Os tratamentos utilizados tiveram a finalidade de gerar uma curva de pH e/ou cálcio no solo. A última dose aplicada com a fonte CaCO₃ teve como objetivo corrigir o pH do solo para 5,5 (CQFS-RS/SC., 2016). Ambas as fontes de cálcio foram provenientes de regentes P. A.

Para o plantio utilizou-se vasos plásticos com capacidade para 25 litros, com as perfurações de drenagem do fundo revestidas com tecido para evitar perdas de

solo durante a condução do experimento. Os vasos foram preenchidos com 20 kg de solo seco e peneirado.

Na montagem dos vasos, as quatro repetições de cada tratamento foram colocadas em uma caixa plástica com a finalidade de aplicar o tratamento e a adubação de P, K e magnésio (Apêndice A), que foi a mesma para todos os tratamentos. Depois da aplicação homogeneizou-se o solo com auxílio de uma enxada.

Para a determinação das doses de P e K necessárias para atingir o teor crítico do solo, realizou-se um estudo prévio pela confecção de uma curva de calibração de P e K, utilizando-se fosfato de potássio monobásico (KH_2PO_4) para elevar os níveis no solo. Baseando-se na recomendação do manual de adubação e calagem da CQFS-RS/SC (2016) e na incubação realizada, calculou-se as doses de P e K necessárias para elevar os teores de P e K para valores considerados “altos” para o cultivo de eucalipto. Aplicaram-se 50 mg kg^{-1} de P e 63 mg kg^{-1} de K, elevando os níveis para 16 mg dm^{-3} de P e 127 mg dm^{-3} de K, respectivamente. Aos 270 dias após o plantio, realizou-se uma análise de solo com a finalidade de verificar os teores de nutrientes, os resultados demonstraram que o teor de K era médio e o de P estava no limite entre médio e alto. Após a análise do solo, aplicou-se uma dose de $12,5 \text{ mg kg}^{-1}$ de P e 16 mg kg^{-1} de K.

Para a adubação com Mg, calculou-se a quantidade necessária para a elevação do teor no solo até $1,0 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, utilizando-se $20,2 \text{ g vaso}^{-1}$ de cloreto de magnésio hexahidratado ($\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), desprezando-se o valor inicial de Mg contido no solo. A recomendação de Mg para eucalipto segundo Comissão... (CQFS-RS/SC., 2016) é de, no mínimo, $1,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$.

Depois de adicionar o solo e os tratamentos aos vasos, elevou-se a umidade do mesmo para 80% da capacidade de campo mantendo-se o solo incubado por um período de 15 dias. Após a incubação realizou-se uma lixiviação em todos os vasos com a finalidade da eliminação do excesso de cloro (Cl^-) contido no solo devido a aplicação dos tratamentos com CaCl_2 e a adubação com magnésio ($\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), evitando assim problemas com excesso de sais nas plantas.

Em setembro de 2016 implantou-se o experimento, plantando uma muda do clone de *E. benthamii*, por vaso. Todas as mudas receberam um tutor com a finalidade de conduzir a muda e impedir injúrias e tombamento causados pelo vento em excesso (Apêndice B).

Ao longo do experimento as mudas receberam irrigação para manter a umidade do solo entre 70 e 75% da capacidade de campo. Para isso, montou-se um sistema de irrigação automático (Apêndice C), utilizando-se um timer digital programável e uma válvula solenóide para abertura e fechamento do fluxo de água. Por ser utilizada água da rede de abastecimento municipal, após a válvula solenóide foi instalado um abrandador de dureza da água para retirar cátions dissolvidos (principalmente Ca e Mg). O abrandador foi constituído de um recipiente de PVC contendo aproximadamente 5 kg de resina de troca catiônica em esferas (tipo AmberliteIR 120). Para ajuste do tempo de irrigação e da quantidade de água a ser utilizada, pesou-se aleatoriamente uma vez por semana cinco vasos com a finalidade de saber o teor de umidade e assim fazer o ajuste na programação no timer digital. Nos períodos de chuva com grande duração e intensidade o sistema foi desligado, sendo religado apenas quando a capacidade de campo se aproximava de 70%. A partir de meados do experimento, também foi instalado sobre os vasos uma cobertura plástica, fixada ao colo da planta, para evitar entrada de excesso de água da chuva.

Para a adubação com nitrogênio (N) aplicou-se 30 mg de N vaso⁻¹ com auxílio de uma seringa no intervalo de 21-30 dias entre aplicações totalizando 13 aplicações de N ao longo do experimento, totalizando o equivalente a 40 kg/ha de N, utilizando como fonte ureia (45% de N). No início do experimento foi realizada uma aplicação de boro de 17,6 mg de B vaso⁻¹ para prevenir a doença “seca das ponteiros do eucalipto”, como fonte de B foi utilizado tetraborato de sódio (Na₂B₄O₇.10H₂O). A dose foi baseada no estudo de Dias et al. (2017).

No período de condução do experimento, a cada 30 dias foram medidas altura e diâmetro do colo das plantas com auxílio de uma régua graduada e um paquímetro, respectivamente. As variáveis foram utilizadas para a construção das curvas de crescimento e avaliação do desenvolvimento das plantas.

Aos 310 dias após o plantio (Apêndice D) foi realizado a cubagem do fuste das mudas, sendo medido o diâmetro do fuste a cada 10cm com auxílio de um paquímetro, com a finalidade de gerar o volume da planta.

Para o cálculo do volume do fuste com casca pelo método de cubagem, utilizou-se a fórmula de Smalian:

$$V = \frac{AS_1 + AS_2}{2} \cdot L$$

V= volume do fuste (m³)

AS= área seccional com casca, obtidas nas extremidades da seção (m²)

L= comprimento da seção (m)

$$AS = \frac{\pi \cdot d^2}{40.000}$$

$\pi = 3,1416$

d= diâmetro em um ponto n do fuste (cm)

O corte das mudas ocorreu 310 dias após o plantio. Após o corte, separou-se a parte aérea da radicular. A parte aérea foi separada em folhas, galhos e fuste (Apêndice E). O volume de solo de cada vaso foi dividido em bandejas e realizou-se separação manual do sistema radicular (Apêndice F), após as raízes foram lavadas com jato fraco de água corrente sobre uma peneira até a retirada completa do solo. Para finalizar o sistema radicular foi lavado com água deionizada. Foi coletada uma amostra de solo por vaso para determinação dos atributos químicos do solo. O solo foi seco e moído na fração terra fina seca ao ar (TFSA).

Os tecidos vegetais foram secos em estufa de ventilação forçada a 60°C até atingirem massa constante, após foram pesados para a determinação da massa seca da parte aérea (folhas, galhos e fuste) e parte radicular. As amostras de tecido foram moídas em moinho tipo “Willey” e armazenadas para posterior análise dos teores nutricionais.

Para as amostras de solo foram realizadas análises dos teores de Ca, Mg, Al trocável e pH-H₂O e pH-SMP, de acordo com metodologia propostas por Tedesco et al. (1995) e para K e P as amostras foram extraídas por Mehlich 1 (TEDESCO et al., 1995) e determinados por colorimetria em espectrofotômetro de absorção molecular segundo a metodologia de Murphy & Riley (1962).

As amostras de tecido vegetal passaram por digestão sulfúrica seguindo método descrito em Tedesco et al. (1995). Os teores analisados no tecido vegetal foram N, K, Ca e Mg determinados de acordo com Tedesco et al. (1995) e P de acordo com Murphy & Riley (1962).

Os resultados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e os efeitos significativos ($p < 0,05$) de dose e interação entre dose x fonte, foram ajustadas por regressão, pelo software Sisvar® versão 5.6 (FERREIRA, 2010). Os gráficos do estudo foram gerados utilizando-se o software SigmaPlot® versão 12.5 (Systat Software, San Jose, CA).

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.3.1 Atributos químicos do solo após a condução do experimento com mudas de *Eucalyptus benthamii*

A adição de carbonato de cálcio (CaCO_3) elevou o pH do solo (Figura 1A) de forma linear, passando de 5,46 na testemunha ($0,0 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ Ca}$) para 6,27 na maior dose ($6,0 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ Ca}$). Já para os tratamentos com cloreto de cálcio (CaCl_2) não houve diferença de pH em relação as doses utilizadas. Entretanto ocorreu uma elevação natural do pH (1,0 unidade) em relação ao pH inicial do solo (pH 4,45) essa elevação ocorreu para todos os tratamentos independente da fonte utilizada. O aumento natural do pH do solo, pode ter relação com as alterações proporcionadas no mesmo devido a retirada do solo do local de origem, e o cultivo do mesmo em vaso, alterando sua estrutura original, além da constante alteração da umidade provocada pela irrigação. Uma maior absorção de ânions em relação a cátions pelas plantas, pode promover um aumento no pH do solo, devido a planta liberar uma OH^- ou HCO_3^- para cada ânion absorvido (ERNANI, 2016).

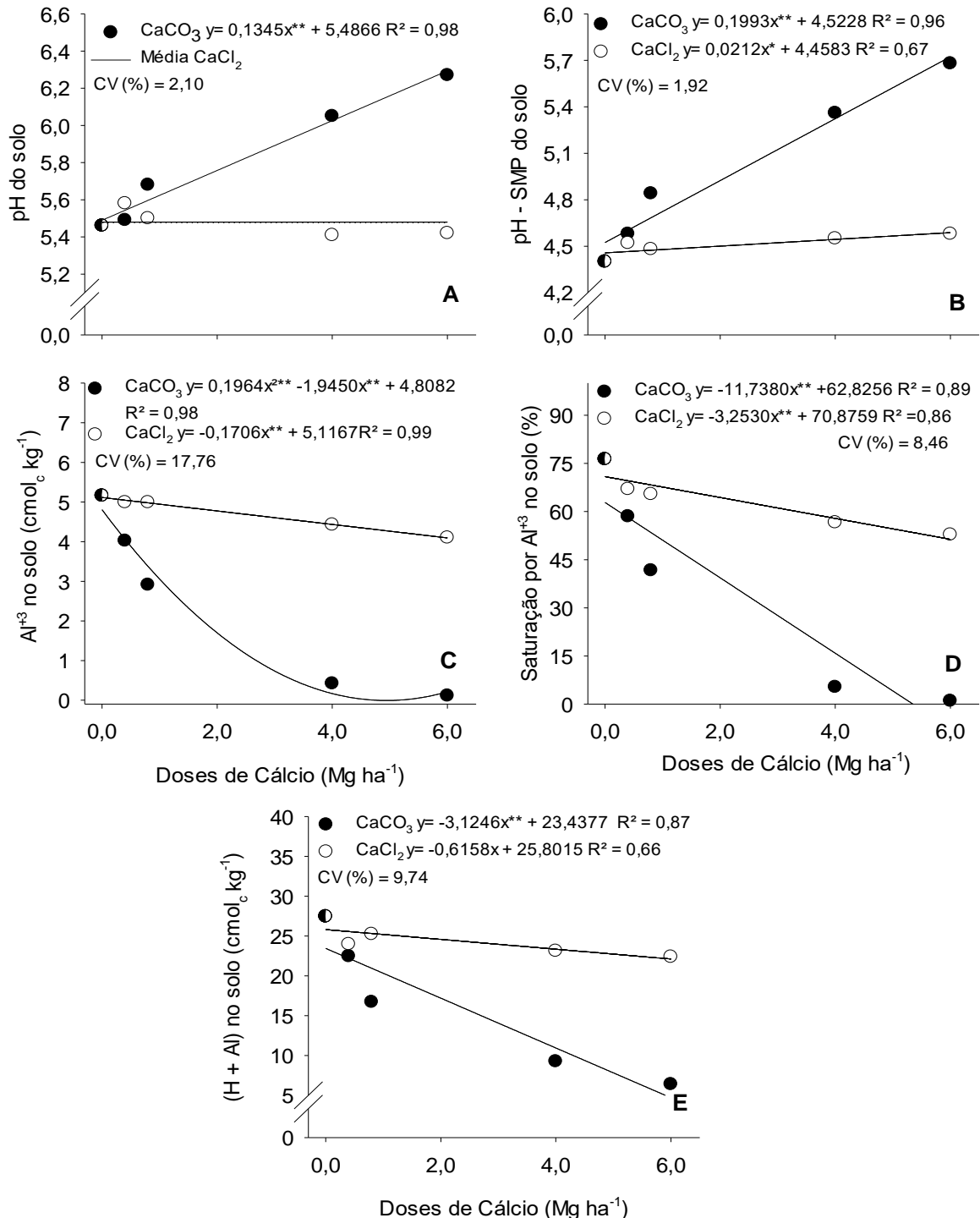
Para o pH SMP do solo (Figura 1B) as duas fontes promoveram aumento linear nos valores do pH, mas em magnitudes diferentes. Enquanto que para a fonte de CaCO_3 o aumento foi de 0,19 unidade por tonelada de Ca, para o CaCl_2 foi apenas de 0,02 unidade, efeito do pequeno deslocamento de OH^- da CTC proporcionado pela adição de Cl^- ao solo.

Com o aumento do pH do solo proporcionado pela utilização de CaCO_3 ocorreu a diminuição do Al^{+3} no solo (Figura 1C) da saturação por Al^{+3} (Figura 1D) e do (H + Al) (Figura 1E). Os teores de Al^{+3} no solo reduziram de 5,2 para 0,11 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ na última dose de Ca (6,0 $\text{Mg ha}^{-1}\text{Ca}$), a saturação de Al^{+3} passou de 76,25% para 1% e o (H + Al) de 27,44 para 6,37 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$.

Para os tratamentos os quais se utilizou CaCl_2 ocorreu uma redução no teor de Al^{+3} entretanto em menor escala, sendo que para cada tonelada de Ca adicionada ocorre a redução de 0,17 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ de Al^{+3} , 0,61 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ de H+Al e redução de 3,25% na saturação por Al^{+3} . Mesmo com a redução dos teores e da saturação de Al^{+3} , os valores ainda são considerados altos para o cultivo da maioria das culturas, sendo que com a última dose de Ca aplicada com CaCl_2 a saturação por alumínio e o teor de Al^{+3} ainda apresenta valores de 52% e 4,1 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ de Al^{+3} , respectivamente. O manual de Minas Gerais apresenta que os limites toleráveis pela cultura do eucalipto seriam 30% de saturação por bases mínima e teor máximo de 1,5 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ de Al^{+3} . Entretanto, resultados recentes contradizem esses valores, demonstram que pode se atingir até 80% do rendimento relativo em plantios de *E. saligna* mesmo com o solo apresentando 79% de saturação por alumínio (GUIMARÃES et al., 2015).

Apesar da adição de CaCl_2 ao solo não ser frequente, a adição de doses de calcário e gesso são comuns, e os resultados demonstram que o calcário promove a elevação do pH do solo, a neutralização do Al^{+3} , e a diminuição da saturação por Al^{+3} além de aumentar os níveis de Ca no solo. Já o gesso aumenta o teor de cálcio e diminui a saturação por alumínio, entretanto a redução da saturação por Al^{+3} é atribuída a elevação dos teores de Ca e, conseqüentemente, a elevação da $\text{CTC}_{\text{pH}7,0}$ (VARGAS e MARQUES, 2017), os efeitos do gesso são semelhantes aos encontrados no solo do experimento ao se adicionar o CaCl_2 , entretanto o gesso ainda adiciona enxofre ao solo.

Figura 1 – Atributos químicos: pH do solo (A), pH SMP (B), Al^{3+} (C), saturação por Al^{3+} (D) e (H+Al) (E) em Cambissolo Húmico após cultivo de mudas de *Eucalyptus benthamii* por 310 dias com diferentes níveis de pH e cálcio.



* = P-valor significativo a 5% pelo teste F. ** = P-valor significativo a 1% pelo teste F. CV: coeficiente de variação.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

As duas fontes de cálcio utilizadas no experimento elevaram os teores de Ca no solo (Figura 2A), a soma (Figura 2B) e saturação por bases (Figura 2C). O maior

teor de Ca no solo foi para CaCO_3 na dose de ($6,0 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ Ca}$), passando de $0,3$ ($0,0 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ Ca}$) para $8,9 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, entretanto a dose de $4,0 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ Ca}$ elevou o teor para $5,4 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, valor este considerado suficiente para a cultura do eucalipto nos estados do RS e SC, onde se considera como nível alto valores a partir de $4 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ (CQFS-RS/SC, 2016). Usando as recomendações vigentes no estado do Paraná, a dose de $0,8 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ Ca}$ foi suficiente para elevar os níveis para valores adequados, considerados acima de $1,1 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ de Ca (SBCS/NEPAR, 2017).

Para os tratamentos em que foi utilizado CaCl_2 , mesmo na maior dose de Ca ($6,0 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ Ca}$), os teores chegaram apenas a $2,4 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, o que corresponde 60% da recomendação para RS e SC. Entretanto esse valor é o dobro do que é recomendado para o estado do Paraná. Já para o estado de Minas Gerais, para a produção de $50 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{ano}$ é necessário que o teor de Ca seja no mínimo de $0,8 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ (RIBEIRO et al., 1999), valores esses alcançados no solo com a adição a partir da segunda dose de Ca ($0,4 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ Ca}$), independente da fonte utilizada.

O aumento dos teores de Ca no solo junto com a elevação dos teores de K e Mg proporcionados pela adubação inicial, elevaram a saturação por bases acima de 40% para a dose de $4,0 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ Ca}$ com CaCO_3 . Este valor é considerado suficiente para o estabelecimento dos povoamentos com eucalipto segundo o manual vigente para os estados do RS e SC (CQFS-RS/SC, 2016) e também para o estado do Paraná, que utiliza de 25 – 30% de saturação por bases (SBCS/NEPAR, 2017). Quando utilizado a maior dose de CaCl_2 os valores encontrados foram inferiores a 15% para saturação por bases.

Entretanto, alguns estudos recentes têm demonstrado não ser necessário elevar a saturação por bases a valores tão elevados, sendo que 8% foram suficientes para atingir 80% do rendimento relativo das plantas de eucalipto, podendo não ser viável economicamente a elevação a valores superiores (GUIMARÃES et al., 2015). Além disso, valores superiores 64% de saturação por bases podem provocar redução no crescimento em altura e diâmetro do colo de eucalipto, além de desequilíbrio nutricional, diminuindo a relação Ca/Mg nas folhas (ROCHA et al., 2008).

Os maiores valores para as variáveis analisadas (Figura 2A, 2B e 2C), encontrados para os tratamentos que receberam as doses com CaCO_3 , quando comparados aos tratamentos com CaCl_2 , estão relacionados com os benefícios gerados pela adição de carbonato ao solo. O carbonato ao reagir com a água libera duas hidroxilas (OH^-) e dois bicarbonatos (HCO_3^-) os quais consomem íons de

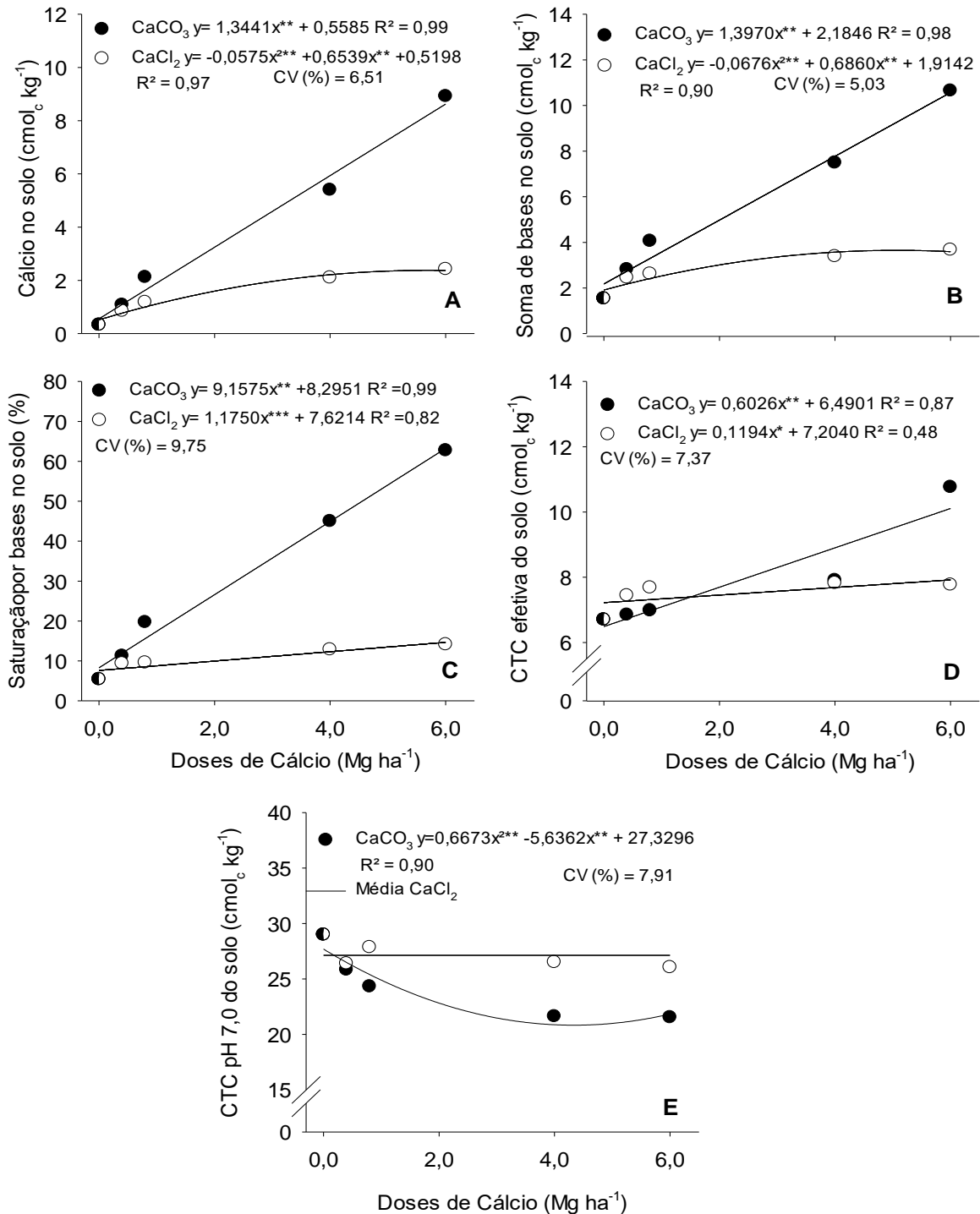
hidrogênio (H^+) presentes no solo, ocorrendo assim a elevação do pH. O aumento do pH, a dissociação de íons H^+ de componentes sólidos e a neutralização de Al^{+3} faz com que aumente o número de cargas negativas no solo (ERNANI, 2016). As cargas negativas liberadas pelo Al^{+3} e as geradas pelo aumento do pH passam então, a serem ocupadas por outros cátions existentes na solução do solo dentre ele Ca, Mg e K (PAVINATO et al., 2009).

O $CaCl_2$ ao se dissociar libera $2Cl^-$ e Ca^{+2} e, como não há carbonato presente na fórmula, não são geradas hidroxilas e não há consumo de íons H^+ , não ocorrendo o aumento do pH do solo. Consequentemente, o Al^{+3} continua ocupando a maioria das cargas negativas. Devido a isso, não a aumento de cargas negativas dependentes do pH no solo, e o Ca decorrente da dissociação do $CaCl_2$ encontra poucas cargas para se ligar, podendo ser lixiviado ou translocado para outras camadas do solo. O incremento dos teores de Ca no solo com a utilização de $CaCl_2$ possivelmente ocorreu devido à alta dose utilizada, o que proporcionou um aumento do elemento na solução do solo, fazendo com que o mesmo tenha preferência pelas cargas, deslocando outros cátions das cargas.

A elevação dos teores de Ca no solo pode ser conseguida não só com a adição de calcário, mas sim com produtos e resíduos que contenham Ca na composição. Atualmente diversos produtos vêm sendo testados para a elevação dos níveis de Ca e substituição do calcário nos povoamentos florestais, dentre eles escória de siderúrgica contendo silicato de Ca (SILVA e COELHO, 2010), lama de cal proveniente da indústria de celulose (SIMONETE et al., 2013), além de subprodutos das fábricas de fertilizantes, como é o caso do gesso agrícola (RODRIGUES et al., 2016).

Para a capacidade de troca de cátions efetiva (CTC efetiva) do solo (Figura 2D) ocorreu aumento linear para ambas as fontes, porém o aumento proporcionado pelo $CaCO_3$ foi de $0,6 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ por tonelada de Ca aplicada, enquanto que para o $CaCl_2$ foi de apenas $0,1 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ por tonelada de Ca. O aumento na CTC efetiva está relacionado com o aumento das cargas negativas criadas pela aplicação de carbonato, o que resulta em uma maior adsorção de cátions, dentre eles o Ca (ALBUQUERQUE et al., 2003). Para a $CTC_{pH 7,0}$ (Figura 2E) não houve efeito de dose para os tratamentos com aplicação de $CaCl_2$ como fonte, já para o $CaCO_3$ ocorreu redução da $CTC_{pH 7,0}$ conforme se aumentou a dose de Ca.

Figura 2– Atributos químicos: teor de cálcio (A), soma de bases (B), saturação por bases (C) CTC efetiva (D) e CTC_{pH 7,0} (E) em Cambissolo Húmico após cultivo de mudas de *Eucalyptus benthamii* por 310 dias com diferentes níveis de pH e cálcio.



* = P-valor significativo a 5% pelo teste F. ** = P-valor significativo a 1% pelo teste F. CV: coeficiente de variação.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

A redução da $CTC_{pH7,0}$, possivelmente tem ligação com a maior taxa de decomposição da matéria orgânica do solo promovida pelos microrganismos, devido à melhora nas condições do solo proporcionada pela elevação da fertilidade do solo pela adubação inicial, diminuição da toxidez de Al^{+3} pela adição de $CaCO_3$, além da manutenção constante da umidade do solo pela irrigação dos vasos. Outro fator que deve ser levado em consideração é que o solo foi coletado e peneirado, diminuindo o tamanho dos agregados e, conseqüentemente, aumentando a área superficial específica. Com essa modificação da estrutura original do solo, a matéria orgânica passa a ficar mais exposta e sujeita a maior ação de degradação pelos microrganismos do solo.

Os teores de magnésio e de potássio no solo (Figura 3A e 3B) apresentaram comportamento diferente em relação às fontes utilizadas. Nos tratamentos os quais foram utilizados $CaCO_3$ ocorreu elevação de forma crescente nos teores no solo até a dose de $4,0 \text{ Mg ha}^{-1}\text{Ca}$, com redução nos teores na última dose ($6,0 \text{ Mg ha}^{-1}\text{Ca}$).

Para magnésio, os valores passaram de $1,0 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ de magnésio (dose $0,0 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ Ca}$) para $1,8 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ de magnésio (dose $4,0 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ Ca}$), com redução na última dose para valores de $1,5 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ de magnésio. Já para K, os valores passaram de 101 mg kg^{-1} de K (dose $0,0 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ Ca}$) para 113 mg kg^{-1} de K (dose $4,0 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ Ca}$), com redução na última dose para valores de 101 mg kg^{-1} de K.

A adição de carbonato de cálcio no solo reduz o Al^{+3} e aumenta o pH do solo, conforme o aumento da dose. Nesse processo, ocorre a liberação das cargas negativas da CTC antes ocupadas pelo Al^{+3} , além de serem geradas novas cargas dependentes do pH devido a desidrogenação das cargas de superfície. As cargas negativas geradas passam a ser ocupadas pelos outros cátions existentes no solo, dentre eles magnésio e K.

Para a maior dose de calcário aplicada, ocorreu uma redução nos valores de magnésio e K devido à grande concentração de Ca adicionado ao solo pelo corretivo. Esse efeito pode ser explicado devido à preferência de ligação das cargas pelo Ca em relação a magnésio e K. Em relação ao magnésio, o Ca tem preferência pelas cargas devido ao seu menor raio hidratado e por estar presente em maior concentração na solução do solo devido a adição da dose de $6,0 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ Ca}$. Já em relação ao K, a preferência pelas cargas é devido à maior valência (Ca^{+2} e K^{+}) e pela maior concentração na solução do solo, sendo que os valores adicionados de K e magnésio foram fixos. Assim, independente do tratamento e o aumento da dose de Ca, aumenta

a proporção do elemento em relação aos demais. Entretanto, vale ressaltar que caso fosse aplicado calcário dolomítico, os teores de magnésio no solo iriam aumentar conforme o aumento da dose de calcário utilizada, visto que o aumento da dose de calcário não muda a proporção de Ca e magnésio no produto.

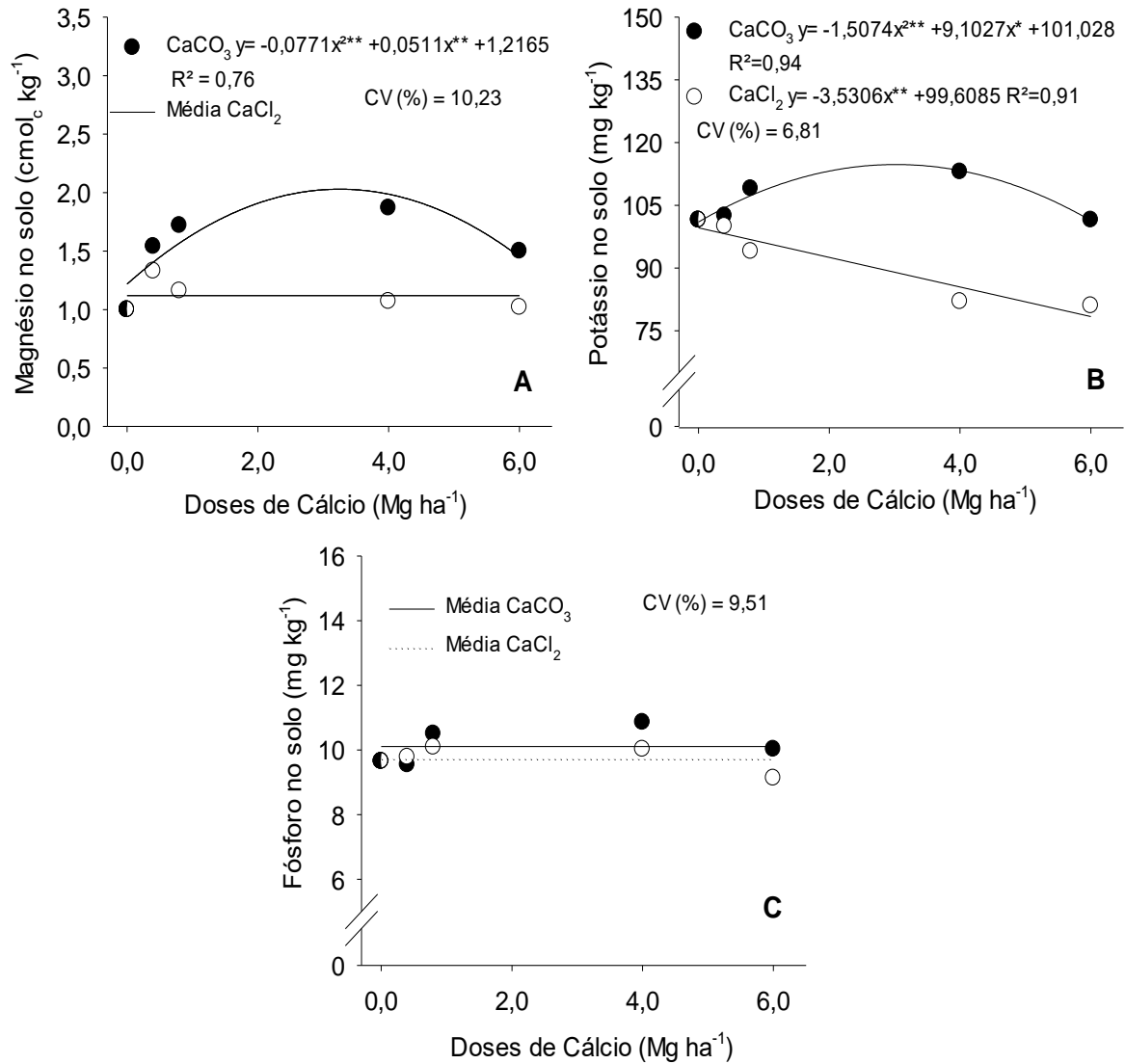
Os tratamentos nos quais utilizaram-se doses de CaCl_2 não apresentaram diferença entre os teores de magnésio no solo, sendo que a média foi de $1,1 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, entretanto uma parte da dose de magnésio adicionada no início do experimento foi lixiviada. Para K, conforme aumentou-se a dose de CaCl_2 ocorreu a redução de forma linear dos teores de K, passando de 101 mg kg^{-1} de K (dose $0,0 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ Ca}$) para 81 mg kg^{-1} de K (dose $6,0 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ Ca}$).

A adição de CaCl_2 no solo eleva os níveis de Ca na solução do solo, entretanto como não há criação de cargas negativas na CTC, ocorre uma competição entre os cátions pelas cargas existentes. O Ca, por ter maior valência e estar em maior concentração na solução do solo, acaba deslocando o K das cargas para a solução. Assim, o K, por ser monovalente, tende a ser lixiviado com maior facilidade. Os efeitos de perdas de K, magnésio e de Ca por lixiviação, também ocorrem após a aplicação de gesso, o qual eleva os teores de Ca, provocando o deslocamento de K e magnésio no perfil de solo. Por outro lado, a aplicação de calcário tende a elevar as cargas negativas e reter mais os cátions, não provocando deslocamentos significativos desses nutrientes no perfil de solo (MARIA et al., 1993).

Apesar da diferença de comportamento em relação à fonte ou dose, todos os tratamentos estão com teores de magnésio considerados alto para a cultura do eucalipto (CQFS-RS/SC., 2016). Para K, apenas as doses de $0,8$ e $4,0 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ Ca}$, as quais utilizaram CaCO_3 como fonte, apresentam valores classificados como “alto”. As demais doses, incluindo as com CaCl_2 , são classificados como “médio” para a cultura do eucalipto (CQFS-RS/SC., 2016).

Para os teores de P no solo (Figura 3C) não houve efeito em relação à dose ou fonte de Ca utilizada no experimento. O valor médio de fósforo foi de $10,1$ e $9,7 \text{ mg kg}^{-1}$ de P para os tratamentos com CaCO_3 e CaCl_2 , respectivamente. Os valores são considerados “alto” para a cultura do eucalipto (CQFS-RS/SC, 2016).

Figura 3 – Atributos químicos: teor de magnésio (A), potássio (B) e fósforo (C) em Cambissolo Húmico após o cultivo de mudas de *Eucalyptus benthamii* por 310 dias com diferentes níveis de pH e cálcio.



* = P-valor significativo a 5% pelo teste F. ** = P-valor significativo a 1% pelo teste F. CV: coeficiente de variação.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

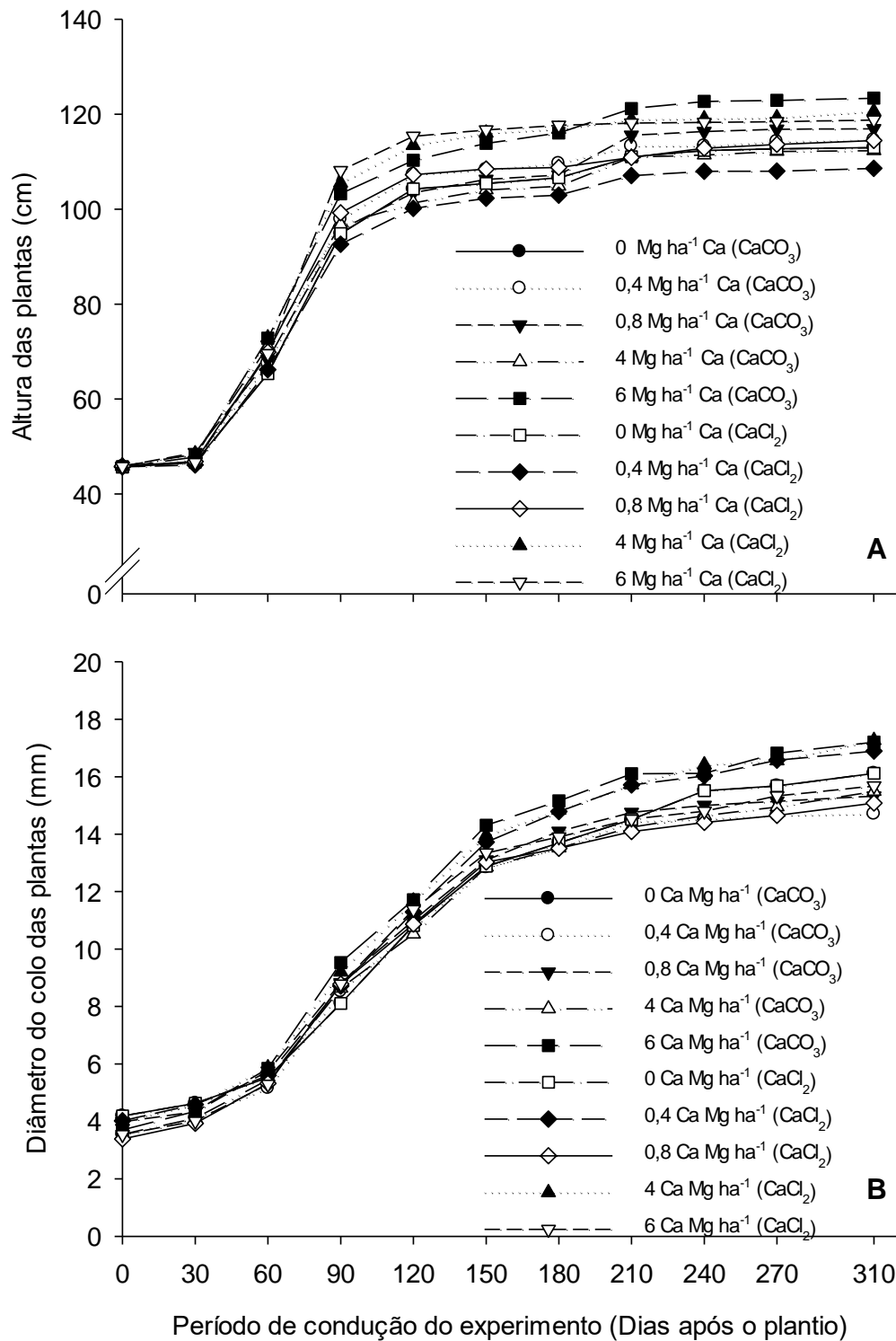
3.3.2 Crescimento da parte aérea e radicular das mudas de *Eucalyptus benthamii*

A curva de crescimento em altura (Figura 4A) e diâmetro do colo (Figura 4B) ao longo do experimento apresenta comportamento semelhante para todos os tratamentos, independente da fonte ou dose utilizada. Para ambos os parâmetros avaliados, o desenvolvimento das mudas começou após os 30 dias de plantio. No período de 30 a 120 dias após o plantio ocorreu o maior desenvolvimento em altura das plantas. Para o diâmetro do colo, o crescimento mais expressivo ocorreu dos 30 aos 210 dias após o plantio, nos meses seguintes verificou-se incremento, entretanto em menor taxa.

A ausência de crescimento inicial nos primeiros 30 dias de crescimento das plantas corresponde ao período de adaptação das mudas as quais foram retiradas dos tubetes e plantadas nos vasos contendo o solo com os tratamentos. Após os 150 dias de plantio as plantas ganharam pouco incremento em altura, possivelmente devido a limitação do vaso, entretanto as plantas continuaram a ganhar incremento em diâmetro. Essa situação é semelhante ao que ocorre com povoamentos florestais implantados em solos rasos, ao qual as árvores chegam a um limite de crescimento em altura, mas ainda ocorre incremento em diâmetro.

Devido à manutenção no incremento em diâmetro do colo e conseqüentemente o aumento do volume do fuste, optou-se pela continuação da condução do experimento. Visto que o maior acúmulo de Ca ocorre na casca e no fuste do eucalipto e a necessidade de Ca aumenta com a idade da planta, o corte antecipado poderia ir contra os objetivos do trabalho em questão.

Figura 4 – Curva de crescimento em altura (A) e diâmetro do colo (B) de mudas de *Eucalyptus benthamii* cultivadas em Cambissolo Húmico por 310 dias com diferentes níveis de pH e cálcio.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

Para os dados da parte aérea: altura (Figura 5A), diâmetro do colo (Figura 5B) e volume do fuste (Figura 5C), avaliados aos 310 dias após o plantio, não houve diferença entre as fontes e as doses de cálcio utilizadas. Os resultados demonstram não haver resposta das variáveis analisadas em relação à elevação dos níveis de pH do solo e dos níveis de cálcio, indicando que as mudas de eucalipto apresentam desenvolvimento mesmo em condições de acidez e baixos teores de Ca no solo.

A ausência de resposta para o volume do fuste também são relatadas para *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh., em que sítios florestais com pH mais elevados apresentaram resultados inferiores para volume em relação a sítios com pH mais baixo (LIMA et al., 2010).

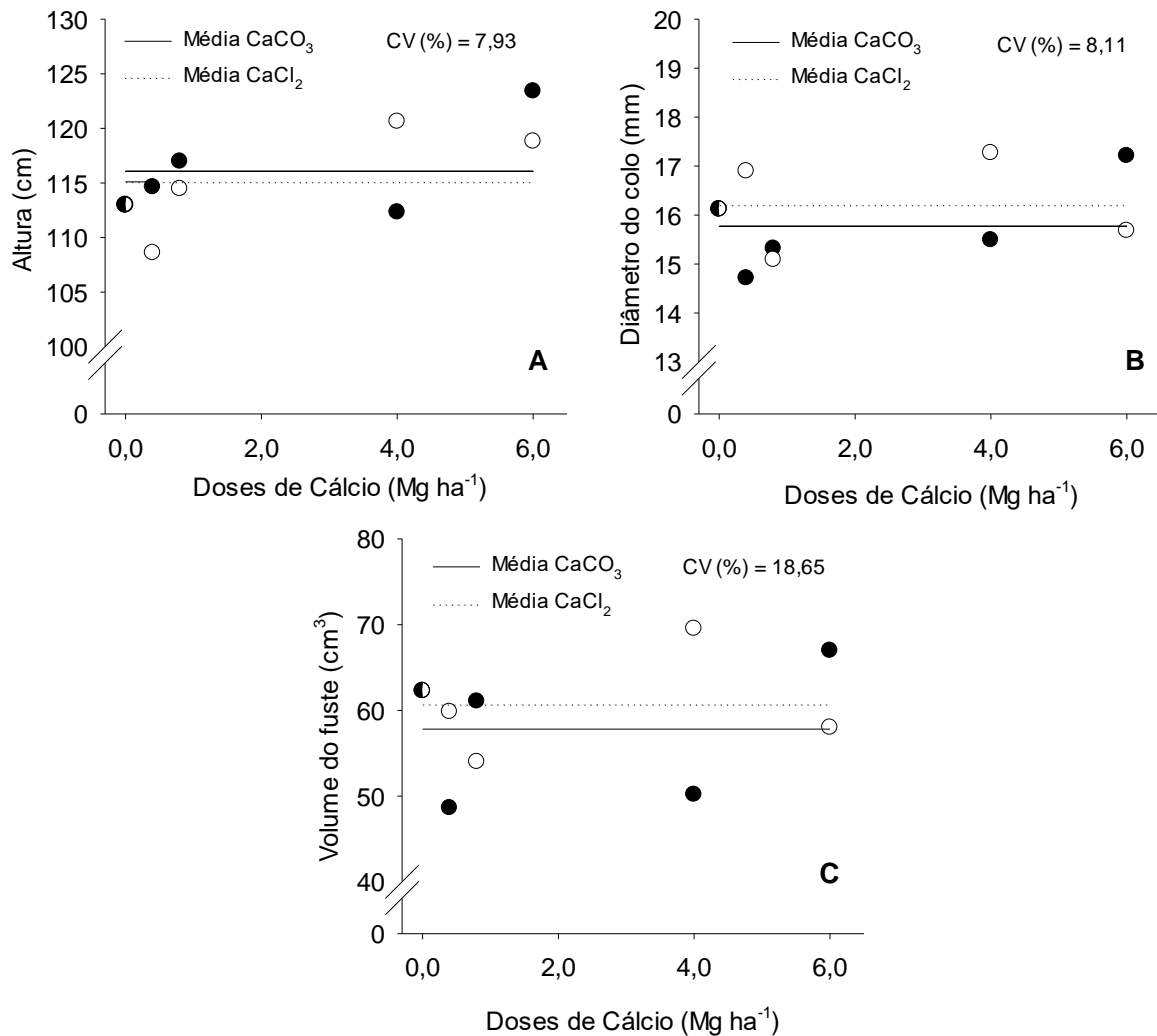
Alguns estudos demonstram haver resposta das mudas de eucalipto a calagem, entretanto esses efeitos são relacionados ao aumento dos níveis de Ca e magnésio, devido aos baixos níveis de Ca encontrados nos solos utilizados ($0,1 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) e não a elevação do pH do solo promovida pela calagem (NOVAIS et al., 1980a, 1980b). Os níveis críticos de Ca para o crescimento inicial de eucalipto são apontados como $0,25 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ e a simples utilização de fertilizantes fosfatados contendo Ca na composição podem levar a ausência ou baixa resposta a calagem (NOVAIS et al., 1979; DIAS et al., 2015).

O teor de Ca no solo dos tratamentos com dose de $0,0 \text{ Mg ha}^{-1}$ Ca, foi de $0,33 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ aumentando para os demais tratamentos conforme se aumentou a dose de Ca. Em relação ao teor de magnésio, todos os tratamentos apresentaram valores iguais ou superiores a $1 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ de magnésio. Esses teores podem ter suprido a necessidade de Ca e magnésio no crescimento inicial das plantas de eucalipto, determinando assim a falta de resposta das mudas em relação a elevação dos níveis de Ca no solo. Teores de $0,25$ e $0,05 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de Ca e magnésio, respectivamente são considerados suficientes para implantação de povoamentos florestais em Minas Gerais, levando em consideração os três primeiros meses da cultura de eucalipto (RIBEIRO et al., 1999).

Entretanto, esses resultados são para o crescimento inicial da planta, onde o acúmulo de Ca ainda é pequeno devido à pequena quantidade de casca e o pequeno volume do fuste, não refletindo a necessidade de povoamentos adultos. As recomendações para Ca e magnésio em povoamentos adultos para os estados do RS e SC são de $4,0$ e $1,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, respectivamente (CQFS-RS/SC., 2016). Para o estado do Paraná a recomendação é de $1,1$ e $0,5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ para Ca e magnésio,

respectivamente. Para o cultivo de *E. saligna* em solos arenosos, o valor crítico para magnésio é de $0,3 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ (GUIMARÃES et al., 2015).

Figura 5 – Crescimento em altura (A) diâmetro do colo (B) e volume do fuste (C) de mudas de *Eucalyptus benthamii* cultivadas em Cambissolo Húmico por 310 dias com diferentes níveis de pH e cálcio.



CV: coeficiente de variação.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

Para a variável massa seca de folhas (Figura 6A), ocorreu incremento significativo em relação à dose de Ca aplicado no solo, sendo que quanto maior a dose, maior a produção de folhas, independente da fonte utilizada. Para massa seca de galhos (Figura 6B) o aumento da dose de Ca elevou a produção, porém com comportamento diferente para cada fonte. As respostas das duas variáveis ao aumento dos níveis de Ca no solo podem estar relacionadas à função do Ca no tecido

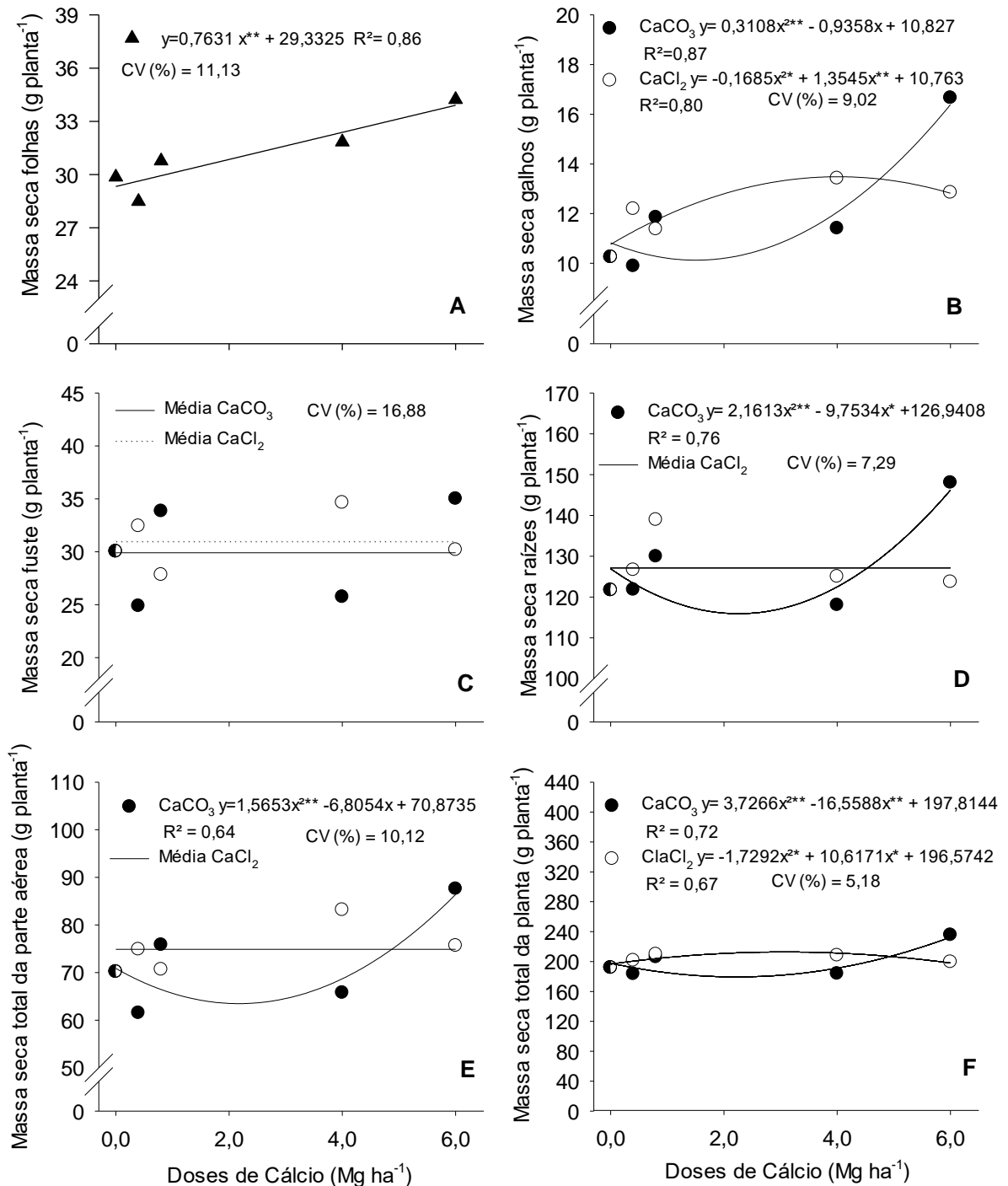
vegetal, o qual é componente da parede celular e membranas, proporcionando estabilidade estrutural, visto que galhos e folhas estão em constante desenvolvimento no início do ciclo das mudas de eucalipto os maiores teores no solo podem ter proporcionado esse ganho na massa de folhas e galhos. Entretanto, vale ressaltar que o Ca apresenta baixa mobilidade dentro da planta e, devido a isso, apresenta maior acúmulo nos tecidos velhos ex: casca.

A massa seca do fuste (Figura 6C) não apresentou diferença em relação à fonte ou dose utilizada. Esse resultado pode estar ligado ao menor incremento no crescimento inicial do eucalipto, entretanto, conforme a planta vai crescendo, as necessidades de Ca tendem a aumentar e a utilização da calagem ou outros produtos que adicionem Ca ao solo proporcionam ganhos no volume do fuste e DAP das plantas de eucalipto (SILVA e COELHO, 2010; RODRIGUES et al., 2016).

Para a massa seca de raízes (Figura 6D) não houve diferença entre os tratamentos que utilizaram a fonte CaCl_2 . Entretanto, para as doses de CaCO_3 ocorreu maior produção de raiz para a última dose de Ca, provavelmente relacionada com a neutralização do Al^{+3} pelo aumento do pH do solo. Devido a maior produção de raízes na última dose de CaCO_3 , as mudas produziram maior quantidade de massa, o que pode ser observado nas variáveis folhas, galhos e fuste. Conseqüentemente, isso aumentou a produção de massa seca total da parte aérea (Figura 6E) e massa seca total da planta (Figura 6F). Para Simonete et al. (2013), a adição de calcário ou lama de cal em um solo com baixos teores de Ca e magnésio ($0,3$ e $0,1 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, respectivamente) e pH baixo ($\text{pH-H}_2\text{O} = 3,9$), aumentou a produção de massa seca da parte aérea em relação a testemunha, entretanto em um solo com altos teores de Ca e magnésio ($9,7$ e $3,2 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, respectivamente), os tratamentos não apresentaram diferenças na produção. As respostas pela calagem na elevação da massa seca da parte aérea também são encontradas para *E. dunnii*, sendo que os menores valores encontrados para a testemunha podem estar relacionados com os baixos teores de Ca e magnésio no solo (MAEDA e BOGNOLA., 2011).

As mudas de eucalipto não apresentam resposta significativa a elevação do pH, com exceção de quando ocorre a neutralização do Al^{+3} , entretanto para que ocorra esse efeito é necessárias grandes quantidades de CaCO_3 (dose de 15 Mg ha^{-1} ou superiores devido ao grande tamponamento do solo) o que pode não ser economicamente viável.

Figura 6 - Massa seca folhas (A), massa seca galhos (B), massa seca fuste (C), massa seca raiz (D), massa seca total da parte aérea (E) e massa seca total da planta (F) de mudas de *Eucalyptus benthamii* cultivadas em Cambissolo Húmico por 310 dias com diferentes níveis de pH e cálcio.



* = P-valor significativo a 5% pelo teste F. ** = P-valor significativo a 1% pelo teste F. CV: coeficiente de variação.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

3.3.3 Teor de nutrientes na parte aérea e radicular das mudas de *Eucalyptus benthamii*

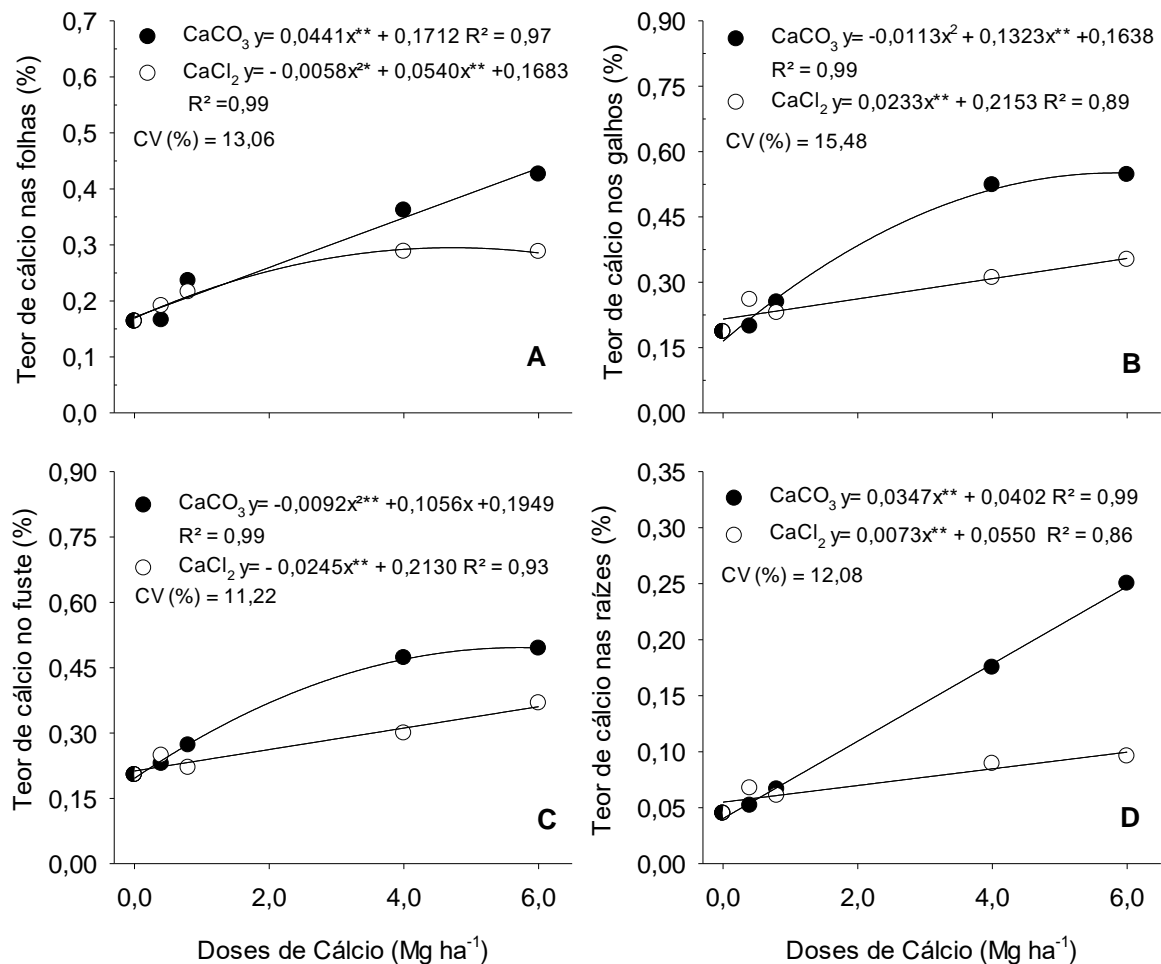
Para as variáveis teor de Ca nas folhas (Figura 7A), galhos (Figura 7B), fuste (7C) e raízes (7D), as duas fontes de Ca utilizadas no experimento promoveram aumento no teor de Ca no tecido das plantas. Contudo para as últimas duas doses de CaCO_3 , os teores foram superiores aos encontrados para CaCl_2 nas mesmas doses. Este efeito pode ser explicado devido aos maiores teores de Ca no solo pelo CaCO_3 em relação ao CaCl_2 , promovendo maior absorção de Ca pelas plantas e maior acúmulo no tecido vegetal.

A utilização de CaCO_3 a partir da dose de $4,0 \text{ Mg ha}^{-1}$ de Ca proporcionou o dobro de Ca acumulado no tecido foliar (Figura 7A) em relação a primeira dose. Esses menores valores são atribuídos a baixa disponibilidade de Ca no solo do estudo. Valores inferiores a 0,2% foram encontrados para folhas de *E. saligna* cultivadas em Neossolo Quartzarênico órtico com baixos teores de Ca (SIMONETE et al., 2013). Ao comparar os teores de Ca nas folhas com as faixas de suficiência para eucalipto apresentadas no Manual de Adubação e Calagem do RS e SC (CQFS-RS/SC., 2016) e no manual do Paraná (SBCS/NEPAR, 2017), todos os teores de Ca estão abaixo da faixa considerada adequada para os dois manuais (0,6 – 1,0%). Entretanto, as faixas apresentadas nos manuais são com inferências apenas sobre folhas completamente formadas e fotossinteticamente ativas de povoamentos adultos de eucalipto, podendo não se adequar a plantas com menos de um ano como as do experimento (onde foram colhidas todas as folhas), visto que o Ca se acumula em maior quantidade em tecidos mais velhos. Ao avaliarem o crescimento de mudas de *E. camaldulensis* em relação a doses de fertilizantes e calagem associadas ao substrato, Vieira e Weber (2017) encontraram valores baixos de Ca e magnésio nas folhas (0,07 – 0,1 e 0,03 – 0,1%, respectivamente), entretanto as mudas não apresentaram sinais de deficiências durante o experimento, sendo atribuído esse menor teor no tecido a menor exigência pela espécie e a idade das plantas.

Os maiores teores acumulados de Ca no tecido vegetal foram encontrados nos galhos (Figura 7B) e fuste (Figura 7C) com a utilização de CaCO_3 como fonte. As duas fontes elevaram de forma linear os teores de Ca nas raízes (Figura 7D), sendo que as doses com CaCO_3 apresentaram maior acúmulo em decorrência dos teores mais elevados de Ca no solo. Para povoamentos adultos, os valores de Ca tendem a

aumentar no fuste/tronco, sendo que a casca apresenta os maiores teores de Ca (WITSCHORECK e SCHUMACHER, 2015). Apesar das plantas do experimento terem apenas 310 dias, esse comportamento já começa a se manifestar.

Figura 7 – Teor de cálcio nas folhas (A), galhos (B), fuste (C), raízes (D) de mudas de *Eucalyptus benthamii* cultivadas em Cambissolo Húmico por 310 dias com diferentes níveis de pH e cálcio.



* = P-valor significativo a 5% pelo teste F. ** = P-valor significativo a 1% pelo teste F. CV: coeficiente de variação.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

Para os teores de P no tecido vegetal ocorreu comportamento diferente em relação às fontes utilizadas. Para os tratamentos os quais se utilizou CaCl_2 não houve diferença entre as doses utilizadas e o teor de P acumulado no tecido de folhas (Figura 8A), galhos (Figura 8B) e fuste (Figura 8C), para raiz (Figura 8D) a fonte CaCl_2 apresentou média inferior ao CaCO_3 . Já para os tratamentos com aplicação de CaCO_3 houve relação entre o aumento das doses de Ca e o aumento dos teores de P no

tecido de folhas, galhos e fuste. A calagem junto com o uso de fosfatos solúveis ou fosfato natural Bayovar promove aumento nos teores de fósforo no tecido de plantas de eucalipto, quando comparado com tratamentos que não receberam calagem (DIAS et al., 2015). Para mudas de *E. dunnii* cultivadas em Cambissolo Húmico a calagem também aumentou os teores e a quantidade de fósforo no tecido das plantas (MAEDA e BOGNOLA, 2011).

A dose de 0,4 Mg ha⁻¹ Ca (CaCO₃) já foi o suficiente para elevar os teores de P nas folhas para valores considerados suficientes tanto para os estados do RS e SC, quanto para o Paraná, os quais apresentam as faixas de suficiência para eucalipto que variam de 0,10 – 0,13% para os estados do RS e SC (CQFS-RS/SC, 2016) e de 0,9 – 0,13% para o estado do Paraná (SBCS/NEPAR, 2017). Para os tratamentos com aplicação de CaCl₂ isso ocorreu apenas para a última dose. Os menores teores P nas folhas foram encontrados para a primeira dose de Ca, podendo ter relação com uma maior adsorção de fósforo no solo no início do experimento e conseqüentemente menor disponibilidade para a planta.

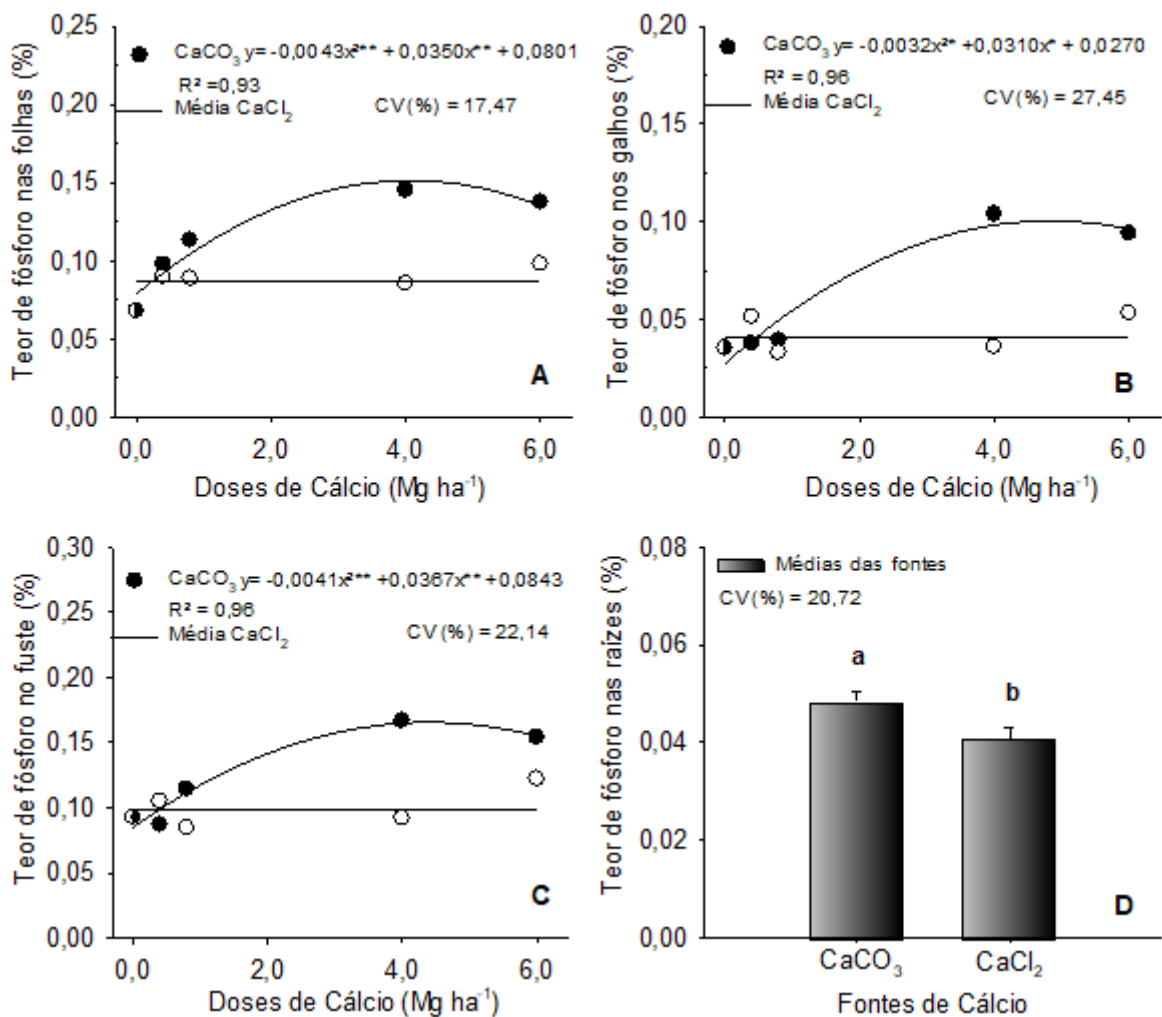
Apesar dessa diferença entre as fontes e os teores de P acumulado no tecido, as fontes e doses não influenciaram nos teores finais de P no solo, o qual não houve diferença. Entretanto vale salientar que a elevação de pH proporcionada pelo CaCO₃ causa redução e neutralização do Al⁺³, o qual em quantidades altas no solo restringe o alongamento e divisão celular do sistema radicular, reduzindo assim o crescimento radicular (MIGUEL et al., 2010). Com a neutralização do Al⁺³ as plantas tendem a expandir seu sistema radicular e passam a explorar maior volume de solo, aumentando a área de absorção de nutrientes, visto que o P é pouco móvel no solo esse processo contribui para maior absorção de P pelas plantas. O aumento do sistema radicular com a neutralização do Al⁺³ pode ser observado na massa seca de raízes para a última dose de CaCO₃ (Figura 6D).

A neutralização do Al⁺³ diminui a quantidade de sítios para adsorção de P, assim como a liberação de hidroxilas ajuda a diminuir a adsorção do íon fosfato pela competição pelos sítios de ligação. Além disso, o aumento do pH melhora as condições do ambiente para a ação dos microrganismos os quais tendem a aumentar a taxa de decomposição da matéria orgânica e liberar ácidos orgânicos que competem pelos sítios de ligação.

Todos esses fatores podem ter contribuído com o aumento da absorção de fósforo pelas plantas durante o período inicial do experimento, nos tratamentos os

quais se utilizou CaCO_3 . Entretanto como o P disponível para as plantas, tende a migrar de uma forma lábil para não-lábil com o passar do tempo, este efeito pode explicar a ausência de diferenças nos teores de P no solo no final do experimento, sendo os teores iguais independente da fonte ou tratamento utilizado.

Figura 8 – Teor de fósforo nas folhas (A), galhos (B), fuste (C), raízes (D) de mudas de *Eucalyptus benthamii* cultivadas em Cambissolo Húmico por 310 dias com diferentes níveis de pH e cálcio.



^aMédias seguidas de letras diferentes, diferem entre si a 5% de probabilidade de erro pelo teste de Tukey. * = P-valor significativo a 5% pelo teste F. ** = P-valor significativo a 1% pelo teste F. CV: coeficiente de variação.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

A adição de CaCO_3 como fonte de Ca reduziu os teores médios de K nas folhas (Figura 9A) e galhos (Figura 9B) quando comparados com CaCl_2 . Para os teores K no

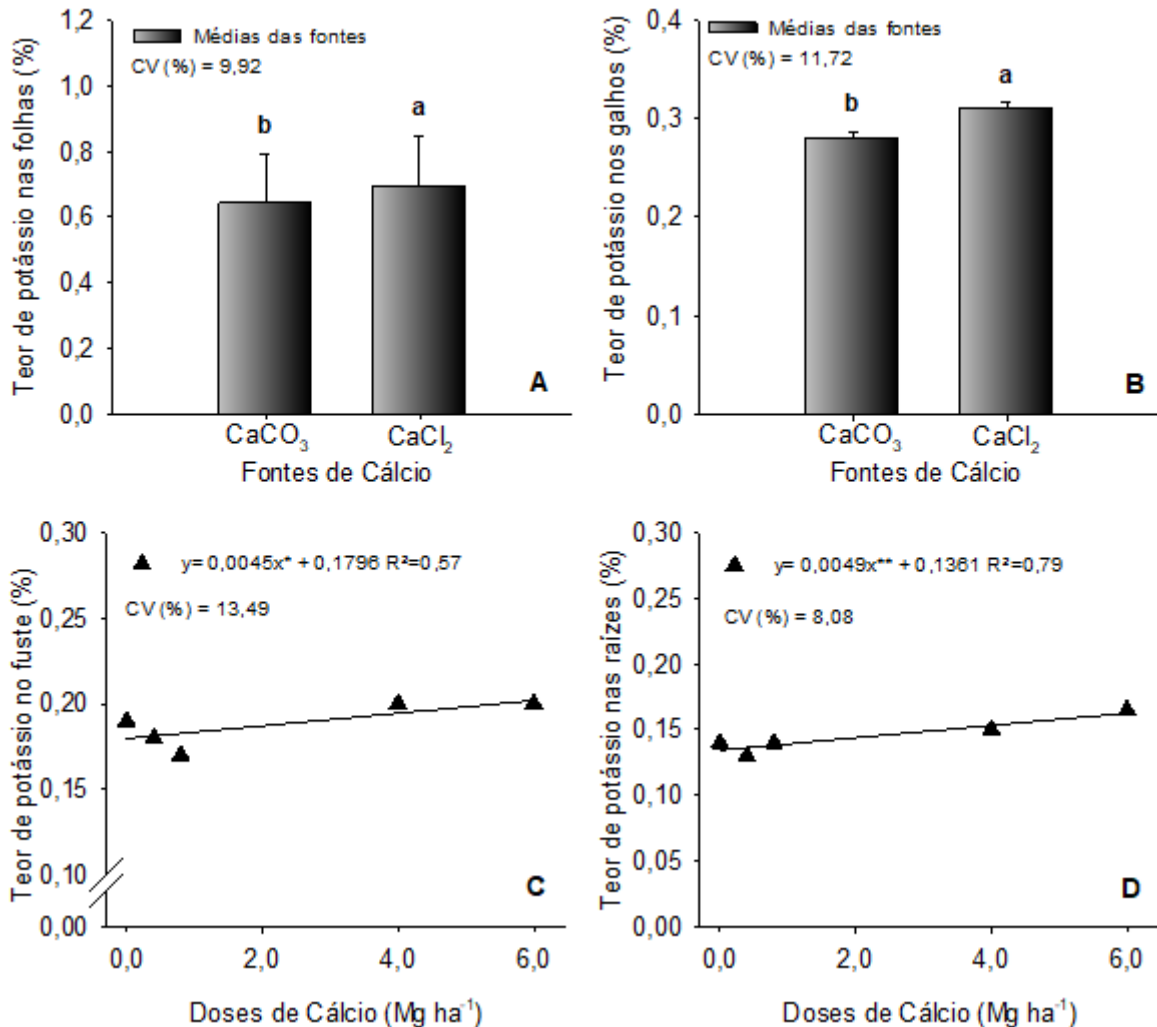
fuste (Figura 9C) e nas raízes (Figura 9D) houve incremento de K no tecido conforme se aumentou a dose de Ca no solo, independente da fonte utilizada.

Os tratamentos que utilizaram CaCO_3 como fonte de Ca apresentaram as maiores concentrações desse nutriente no solo. Além disso, também foram elevados os níveis de magnésio no solo no início do experimento, sendo que os tratamentos com CaCO_3 apresentaram no final do experimento os maiores teores de magnésio. Essa maior concentração de Ca e magnésio pode provocar um efeito de inibição competitiva, diminuindo a absorção de um determinado nutriente devido à alta concentração de outro no solo, isso pode explicar os menores teores de K nas folhas e galhos com a utilização de CaCO_3 .

Resultados semelhantes foram encontrados para o aumento de doses de K em eucalipto no Cerrado, no qual o aumento da dose de K diminuiu os teores de Ca e magnésio nas folhas, provocado pela inibição competitiva entre os cátions (GAZOLA et al., 2015). Maiores teores de Ca no tecido de clones de eucalipto podem ser encontrados quando os teores de K são omitidos na solução ou solo, o mesmo ocorre para a omissão de N e magnésio promovendo, maiores teores de K no tecido (SILVEIRA et al., 2002).

Os valores de K no tecido foliar para todos os tratamentos apresentam-se inferiores as faixas de suficiências estabelecidas para a cultura do eucalipto nos estados do RS, SC e PR, que apresentam como faixa adequada 0,9 – 1,3% de K (CQFS-RS/SC, 2016; SBCS/NEPAR, 2017).

Figura 9 – Teor de potássio nas folhas (A), galhos (B), fuste (C), raízes (D) de mudas de *Eucalyptus benthamii* cultivadas em Cambissolo Húmico por 310 dias com diferentes níveis de pH e cálcio.



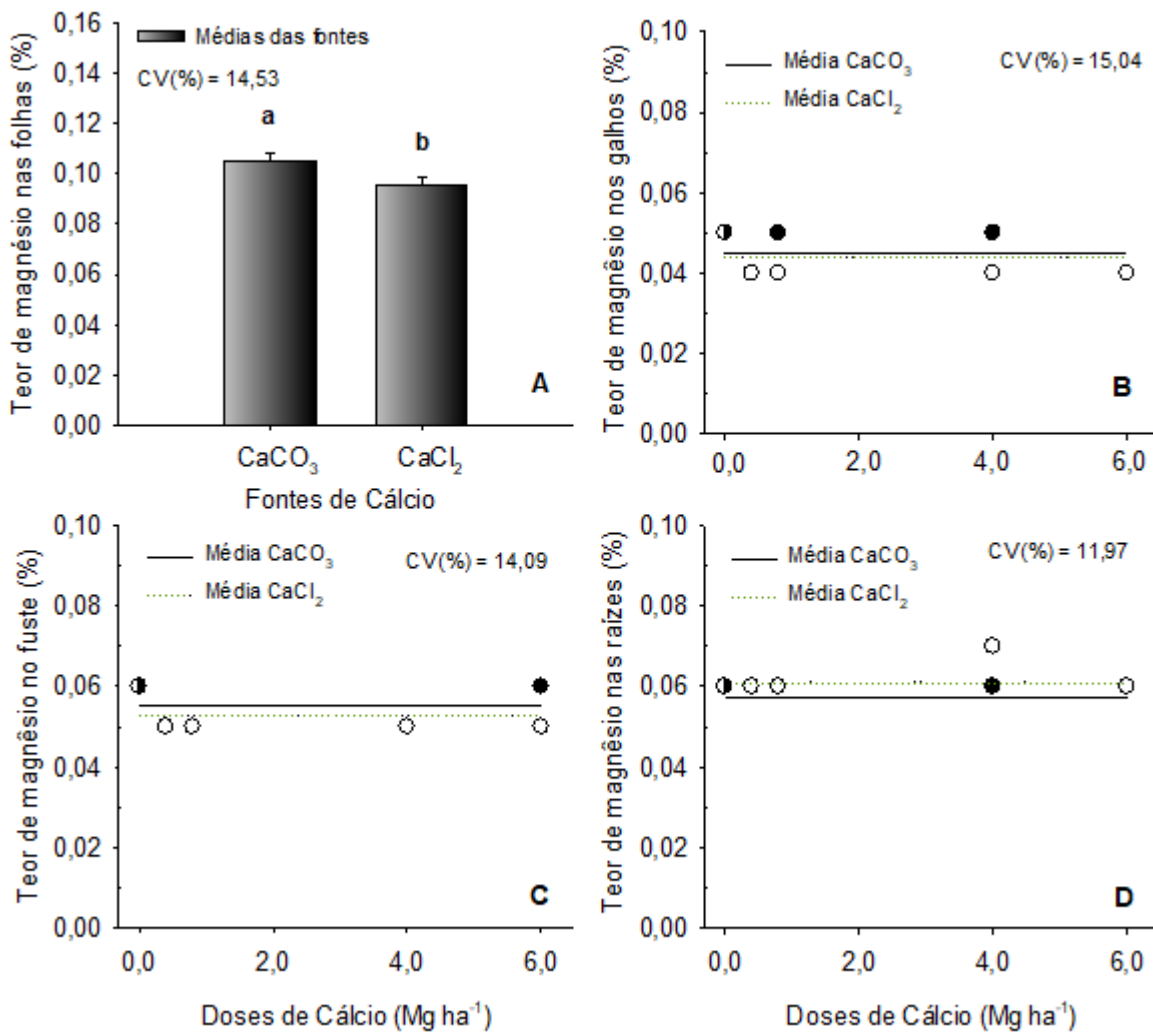
^a Médias seguidas de letras diferentes, diferem entre si a 5% de probabilidade de erro pelo teste de Tukey. * = P-valor significativo a 5% pelo teste F. ** = P-valor significativo a 1% pelo teste F. CV: coeficiente de variação.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

Para os teores de magnésio (Figura 10) apenas para a variável folha houve diferença entre as fontes, sendo que os maiores valores foram encontrados para CaCO₃. Esses valores podem ser atribuídos aos maiores teores de magnésio no solo para os tratamentos os quais foram aplicados CaCO₃. Todos os valores de magnésio encontram-se abaixo das faixas de suficiência que vai de 0,5 – 0,8% para os estados do RS e SC (CQFS-RS/SC, 2016) e 0,35 – 0,5% para o estado do Paraná (SBCS/NEPAR, 2017). Entretanto as plantas não apresentaram sintomas de deficiência nutricional por magnésio, podendo indicar uma menor faixa de suficiência

desse nutriente pelo clone de *E. benthamii*, visto que os níveis no solo em todos os tratamentos foram considerados altos para as culturas florestais (RIBEIRO et al., 1999; SOUZA e LOBATO, 2002; CQFS-RS/SC, 2016; SBRS/NEPAR, 2017).

Figura 10 - Teor de magnésio no tecido de folhas (A), galhos (B), fuste (C) e raízes (D) de mudas de *Eucalyptus benthamii* cultivadas em Cambissolo Húmico por 310 dias com diferentes níveis de pH e cálcio.



^a Médias seguidas de letras diferentes, diferem entre si a 5% de probabilidade de erro pelo teste de Tukey. CV: coeficiente de variação.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

3.4 CONCLUSÕES

A adição de carbonato de cálcio aumentou o pH e o teor de cálcio do solo, aumentando a soma e saturação por bases e reduzindo o alumínio trocável. Por outro lado, a adição de cloreto de cálcio aumentou ligeiramente os teores de cálcio e a saturação por bases, provocando pequena redução na saturação de alumínio.

O aumento do pH aliado a correção do alumínio trocável promove melhor crescimento das mudas de *Eucalyptus benthamii*. Contudo em razão do pequeno aumento do desempenho e elevada dose de corretivo necessária para se neutralizar o Al^{+3} , essa prática pode não ser economicamente viável. Já o aumento dos níveis de cálcio, independente da fonte, proporciona maior desenvolvimento nas folhas e galhos, além de aumentar os teores de cálcio no tecido das plantas.

4 CAPÍTULO 2: NÍVEIS DE pH E CÁLCIO PARA O CRESCIMENTO INICIAL DE CLONE DE *Pinus taeda* EM CAMBISSOLO HÚMICO, NO PLANALTO SUL CATARINENSE.

4.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

As espécies do gênero *Pinus* são em sua maioria originárias do Hemisfério Norte, podendo ser encontradas em países da Ásia, Europa, América Central e América do Norte. No Brasil, as espécies de origem americana foram introduzidas em 1948, pelo Serviço Florestal do Estado de São Paulo. Dentre as espécies introduzidas, as que mais se destacaram foram *Pinus taeda* L. e *Pinus elliottii* Engelm, principalmente devido ao rápido crescimento apresentado pelas árvores na região Sul e Sudeste do Brasil, além da facilidade com os tratos culturais e na reprodução (SHIMIZU, 2008).

Atualmente as florestas de pinus no Brasil ocupam uma área de 1,6 milhões de hectares, correspondendo a 20, 4% da área de florestas plantadas. A maioria dos plantios estão situados na região Sul do Brasil e os estados que se destacam são Paraná e Santa Catarina, com uma área plantada de aproximadamente 640 e 544 mil hectares, respectivamente. Juntos, os dois estados são responsáveis por 74% das florestas plantadas de pinus no Brasil (IBA, 2017).

Dentre as espécies mais plantadas do gênero *Pinus* no Brasil destacam-se *Pinus elliottii* var. *elliottii*, plantada para fins de resinagem devido a sua maior produção de resina e *P. taeda*, plantada para madeira serrada, produção de chapas, celulose e papel (SHIMIZU, 2008). Apesar de o gênero *Pinus* ser exótico no Brasil, a produtividade supera as encontradas nos países de origem, chegando à produtividade média de 30,5 m³/ha ao ano, comparada com 15 m³/ha ao ano nos Estados Unidos e 21m³/ha ao ano na China (IBA, 2017).

O bom desempenho dos plantios florestais no país passa em parte pelo melhoramento genético promovido pelas empresas florestais, selecionando clones mais produtivos e com características desejadas para o setor. Entretanto, a que se ressaltar a eximia capacidade de gerenciamento dos recursos nutricionais pelas espécies do gênero *Pinus*, conseguindo sobreviver em solos de baixa fertilidade natural e elevada acidez, solos os quais são considerados de baixa aptidão agrícola (REISSMANN, 2002; REISSMANN e WISNEWSKI, 2005).

A elevação do pH para maioria das culturas proporciona maior crescimento e aumento na produtividade, entretanto para culturas florestais parece não haver essa relação, sendo inclusive encontrados resultados inferiores para volume em sítios com pH mais elevado em comparação com sítios de menor pH (LIMA et al., 2010). Algumas espécies de pinus são nativas de regiões com solos de pH e níveis de Ca mais elevados, entretanto essas espécies, quando expostas a pHs acima de 6,0 e níveis de Ca elevado, podem apresentar problemas em relação ao crescimento radicular (ZHANG et al., 2015).

A capacidade das espécies do gênero *Pinus* em crescer e se desenvolver em solos ácidos e de baixa fertilidade natural pode levar a uma falsa ideia de que não necessitem de adubação ou calagem. Entretanto, os sucessivos plantios e a exportação dos nutrientes pela biomassa das plantas proporcionada pela colheita da madeira e em alguns casos até dos resíduos tendem a esgotar os teores de nutrientes do solo, deixando os sítios florestais improdutivos para plantios futuros, fazendo-se necessário a fertilização para reposição dos nutrientes exportados (BATISTA et al., 2015).

Considerando a biomassa total de um povoamento de *P. taeda* com 27 anos, o estoque de nutrientes apresentou a seguinte ordem de acúmulo: N > Ca > K > S > Mg > P > Mn > Fe > Zn > B > Cu (SCHUMACHER et al., 2013). Nesse estudo, o estoque total na biomassa dos macronutrientes foi de 512, 311, 174, 115, 104 e 44 kg ha⁻¹ para N, Ca, K, S, Mg e P, respectivamente. A parte da biomassa que mais acumulou Ca foi o tronco (madeira + casca), chegando a 53% do total desse nutriente.

Resultados semelhantes também foram encontrados por Londero et al. (2011) ao avaliar a exportação da biomassa de *P. taeda* no primeiro desbaste, o qual encontrou a seguinte ordem de armazenamento N > Ca > K > S > Mg > P. A colheita do pinus geralmente retira do sítio florestal o tronco com a casca, exportando valores consideráveis de Ca dos povoamentos e, com o passar dos ciclos a tendência é a redução dos teores de Ca no solo, caso não se faça a reposição da exportação. Vargas (2012) observou que três rotações sucessivas de pinus sem reposição de Ca exauriram completamente as reservas trocáveis e não trocáveis de um solo do Planalto Catarinense, não havendo Ca para uma quarta rotação.

Alguns estudos para *P. taeda* apontam para limitações de crescimento relacionados com os níveis de K, Ca, Mn e Zn do solo (REISSMANN e ZÖTTL, 1987). Avaliando o crescimento inicial de *P. taeda* em um Cambissolo Húmico alumínico

típico, Vogel (2003) encontrou que os nutrientes mais limitantes ao crescimento das plantas até os 19 meses, foram o N e o Ca, indicando a seguinte ordem de limitação: N e Ca > Mg > K > P.

Devido às elevadas exportações de Ca e demais nutrientes pela colheita da madeira de pinus, se faz necessário repor os mesmos para manter as condições adequadas dos sítios florestais para os povoamentos futuros (BATISTA et al., 2015). A calagem é a principal forma de se adicionar Ca ao solo, com a utilização de calcário (calcítico ou dolomítico), entretanto outros materiais alternativos também podem ser utilizados como é o caso do gesso agrícola e a lama de cal, subprodutos industriais.

A maioria dos manuais no Brasil indicam para a cultura de pinus a elevação da saturação por bases ou dos níveis de Ca e magnésio, não havendo recomendação da calagem para elevar pH do solo. Para o estado do Pará as recomendações são para a elevação da saturação por bases para valores de 40 – 50%, para a cultura de pinus (CRAVO et al., 2007). No estado de São Paulo as recomendações de calagem para pinus visam suprir as exportações de Ca pela colheita, na ordem de 300 a 500 kg ha⁻¹ (RAIJ et al., 1997). Para o estado de Goiás e Minas Gerais não são descritas recomendações referente à calagem para cultura (CFSG, 1988; RIBEIRO et al., 1999).

No estado do Paraná a recomendação de calagem visa fornecer Ca e magnésio, mantendo os teores iguais ou superiores a 1,1 e 05 cmol_c dm⁻³, respectivamente (SBCS/NEPAR, 2017). Para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina a recomendação para calagem tem como finalidade elevar a saturação por bases para 40% e os teores de Ca e magnésio até o nível alto (Ca ≥4,0 Mg ≥1,0 cmol_c dm⁻³), não tendo pH de referência (CQFS-RS/SC, 2016).

Apesar da baixa resposta das espécies do gênero *Pinus* a elevação do pH pela calagem, a elevação dos níveis de Ca parece ser importante devido a sucessiva exportação de Ca nos desbastes e na colheita final da madeira e conseqüentemente para a manutenção da fertilidade dos sítios para povoamentos futuros.

Visto que a maioria das reposições de Ca no solo é realizada com utilização de calcário, ainda fica uma dúvida se as respostas da cultura do pinus são a elevação dos níveis de Ca ou a pequena elevação do pH do solo referente a adição do calcário. Com isso, o presente estudo teve como objetivo principal avaliar níveis de pH e Ca para o crescimento inicial de um clone de *P. taeda* cultivado em vaso em Cambissolo Húmico, no Planalto Sul Catarinense.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no período de setembro de 2016 a outubro de 2017, em ambiente aberto, na Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), campus Centro de Ciências Agroveterinárias (CAV), situado no município de Lages, SC. O clima da região é do tipo Cfb segundo a classificação de Köppen. A temperatura média anual em Lages é de 15,7°C, umidade relativa do ar média de 79% e precipitação anual de 1555 mm, com ocorrência de geadas no período de inverno (WREGE et al., 2011).

O solo utilizado no experimento foi um Cambissolo Húmico coletado na camada de 0 – 0,20 m na cidade de Otacílio Costa, SC. Após a coleta, o solo foi peneirado em malha 4 mm, homogeneizado e analisado quanto aos principais atributos físico-químicos (Tabela 2), seguindo metodologias descritas em Tedesco et al. (1995).

Tabela 2 - Principais atributos físico-químicos do Cambissolo Húmico utilizado para a montagem do experimento com mudas de *Pinus taeda*.

Atributos	Valores	Interpretação*
Argila (%)	41,6	2
Matéria Orgânica (%)	4,54	Média
pH-H ₂ O	4,45	Baixo
pH-SMP	4,25	
Ca (cmol _c kg ⁻¹)	0,24	Baixo
Mg (cmol _c kg ⁻¹)	0,39	Baixo
Al ³⁺ (cmol _c kg ⁻¹)	8,87	
P (mg kg ⁻¹)	1,74	Muito baixo
K (mg kg ⁻¹)	78,17	Médio
H+Al (cmol _c kg ⁻¹)	32,57	
CTC efetiva (cmol _c kg ⁻¹)	9,70	
CTC pH 7,0 (cmol _c kg ⁻¹)	33,40	Muito Alta
m (%)	91,44	
V (%)	2,48	

* Interpretação segundo o Manual de Adubação e Calagem para os Estados do RS e SC, 2016.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

Para a condução do experimento foi escolhido um clone de *Pinus taeda* L. ao qual foi adquirido da empresa Klabin, localizada no município de Otacílio Costa, SC.

O experimento foi conduzido em delineamento de blocos casualizados em esquema fatorial e três repetições (uma planta por repetição). Os tratamentos foram duas fontes de cálcio: Fonte 1 - carbonato de cálcio (CaCO₃); Fonte 2 - cloreto de

cálcio (CaCl_2), aplicadas em quatro doses de cálcio (0, 0,4, 0,8, 2,0 Mg ha^{-1} de Ca). Para a aplicação das doses de cálcio nos vasos, as mesmas foram corrigidas, levando em consideração a massa de 20 kg de solo vaso⁻¹ (0, 4, 8 e 20 g Ca vaso⁻¹). Os tratamentos utilizados tiveram a finalidade de criar uma curva de pH e/ou cálcio no solo. Ambas as fontes foram provenientes de regentes P. A.

Para o plantio utilizou-se vasos plásticos com capacidade para 25 litros, com as perfurações de drenagem do fundo revestidas com tecido para evitar perdas de solo durante a condução do experimento. Os vasos foram preenchidos com 20 kg de solo seco e peneirado.

Na montagem dos vasos, as três repetições de cada tratamento foram colocadas em uma caixa plástica com a finalidade de aplicar o tratamento e a adubação de P, K e Mg (Apêndice A), que foi a mesma para todos os tratamentos. Depois da aplicação homogeneizou-se o solo com auxílio de uma enxada.

Para a determinação das doses de P e K necessárias para atingir o teor crítico do solo, realizou-se um estudo prévio pela confecção de uma curva de calibração de P e K, utilizando-se fosfato de potássio monobásico (KH_2PO_4) para elevar os níveis no solo. Baseando-se na recomendação do manual de adubação e calagem da CQFS-RS/SC (2016) e na incubação realizada, calculou-se as doses de P e K necessárias para elevar os teores de P e K para valores considerados “altos” para o cultivo de espécies do gênero *Pinus*. Aplicaram-se 50 mg kg^{-1} de P e 63 mg kg^{-1} de K, elevando os níveis para 16 mg dm^{-3} de P e 127 mg dm^{-3} de K, respectivamente. Aos 270 dias após o plantio, realizou-se uma análise de solo com a finalidade de verificar os teores de nutrientes, os resultados demonstraram que o teor de K era médio e de P estava no limite entre “médio” e “alto”. Após a análise do solo, aplicou-se uma dose de 12,5 mg kg^{-1} de P e 16 mg kg^{-1} de K.

Para a adubação com Mg, calculou-se a quantidade necessária para a elevação do teor no solo até 1,0 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, utilizando-se 20,2 g vaso⁻¹ de cloreto de magnésio hexahidratado ($\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), desprezando-se o valor inicial de Mg contido no solo. A recomendação de Mg para pinus segundo Comissão... (CQFS-RS/SC., 2016) é de, no mínimo, 1,0 $\text{cmol}_c \text{ dm}^3$.

Depois de adicionar o solo e os tratamentos aos vasos, elevou-se a umidade do mesmo para 80% da capacidade de campo mantendo-se o solo incubado por um período de 15 dias. Após a incubação realizou-se uma lixiviação em todos os vasos com a finalidade da eliminação do excesso de cloro (Cl^-) contido no solo devido a

aplicação dos tratamentos com CaCl_2 e a adubação com magnésio ($\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), evitando assim problemas com excesso de sais nas plantas.

Em setembro de 2016 implantou-se o experimento, plantando uma muda do clone de *P. taeda*, por vaso. Todas as mudas receberam um tutor (Apêndice B) com a finalidade de conduzir a muda e impedir injúrias e tombamento causados pelo vento em excesso.

Ao longo do experimento as mudas receberam irrigação para manter a umidade do solo entre 70 e 75% da capacidade de campo. Para isso, montou-se um sistema de irrigação automático (Apêndice C), utilizando-se um timer digital programável e uma válvula solenóide para abertura e fechamento do fluxo de água. Por ser utilizada água da rede de abastecimento municipal, após a válvula solenóide foi instalado um abrandador de dureza da água para retirar cátions dissolvidos (principalmente Ca e Mg). O abrandador foi constituído de um recipiente de PVC contendo aproximadamente 5 kg de resina de troca catiônica em esferas (tipo Amberlite® R 120). Para ajuste do tempo de irrigação e da quantidade de água a ser utilizada, pesou-se aleatoriamente uma vez por semana cinco vasos com a finalidade de saber o teor de umidade e assim fazer o ajuste na programação no timer digital. Nos períodos de chuva com grande duração e intensidade o sistema foi desligado, sendo religado apenas quando a capacidade de campo se aproximava a 70%. A partir de meados do experimento, também foi instalado sobre os vasos uma cobertura plástica, fixada ao colo da planta, para evitar entrada de excesso de água da chuva.

Para a adubação com nitrogênio (N) aplicou-se 30 mg de N vaso⁻¹ com auxílio de uma seringa no intervalo de 21-30 dias entre aplicações totalizando 15 aplicações de N ao longo do experimento, totalizando o equivalente a 45 kg ha⁻¹ de N, utilizando como fonte ureia (45% de N).

No período de condução do experimento, a cada 30 dias foram medidas altura e diâmetro do colo das plantas com auxílio de uma régua graduada e um paquímetro, respectivamente. As variáveis foram utilizadas para a construção das curvas de crescimento e avaliação do desenvolvimento das plantas.

Aos 370 dias após o plantio foi realizado a cubagem do fuste das mudas, sendo medido o diâmetro do fuste a cada 10 cm com auxílio de um paquímetro, com a finalidade de gerar o volume da planta.

Para o cálculo do volume do fuste com casca pelo método de cubagem, utilizou-se a fórmula de Smalian:

$$V = \frac{AS_1 + AS_2}{2} \cdot L$$

V= volume do fuste (m³)

AS= área seccional com casca, obtidas nas extremidades da seção (m²)

L= comprimento da seção (m)

$$AS = \frac{\pi \cdot d^2}{40.000}$$

π = 3,1416

d= diâmetro em um ponto n do fuste (cm)

O corte das mudas ocorreu 370 dias após o plantio. Após o corte, separou-se a parte aérea da radicular. A parte aérea foi separada em acículas, galhos e fuste (Apêndice E). O volume de solo de cada vaso foi dividido em bandejas e realizou-se separação manual do sistema radicular, após as raízes foram lavadas com jato fraco de água corrente sobre uma peneira até a retirada completa do solo. Para finalizar o sistema radicular foi lavado com água deionizada (Apêndice F). Foi coletada uma amostra de solo por vaso para determinação dos atributos químicos do solo. O solo foi seco e moído na fração terra fina seca ao ar (TFSA).

Os tecidos vegetais foram secos em estufa de ventilação forçada a 60°C até atingirem massa constante, após foram pesados para a determinação da massa seca da parte aérea (acículas, galhos e fuste) e parte radicular. As amostras de tecido foram moídas em moinho tipo “Willey” e armazenadas para posterior análise dos teores nutricionais.

Para as amostras de solo foram realizadas análises dos teores de Ca, Mg, Al trocável e pH-H₂O e pH-SMP, de acordo com metodologia propostas por Tedesco et al. (1995) e para K e P as amostras foram extraídas por Mehlich 1 (TEDESCO et al., 1995) e determinados por colorimetria em espectrofotômetro de absorção molecular segundo a metodologia de Murphy & Riley (1962).

. As amostras de tecido vegetal passaram por digestão sulfúrica seguindo método descrito em Tedesco et al. (1995). Os teores analisados no tecido vegetal foram N, K, Ca e Mg determinados de acordo com Tedesco et al. (1995) e P de acordo com Murphy & Riley (1962).

Os resultados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e os efeitos significativos ($p < 0,05$) de dose e interação entre dose x fonte, foram ajustadas por regressão, pelo software Sisvar® versão 5.6 (FERREIRA, 2010). Os gráficos do estudo foram gerados utilizando-se o software SigmaPlot® versão 12.5 (Systat Software, San Jose, CA).

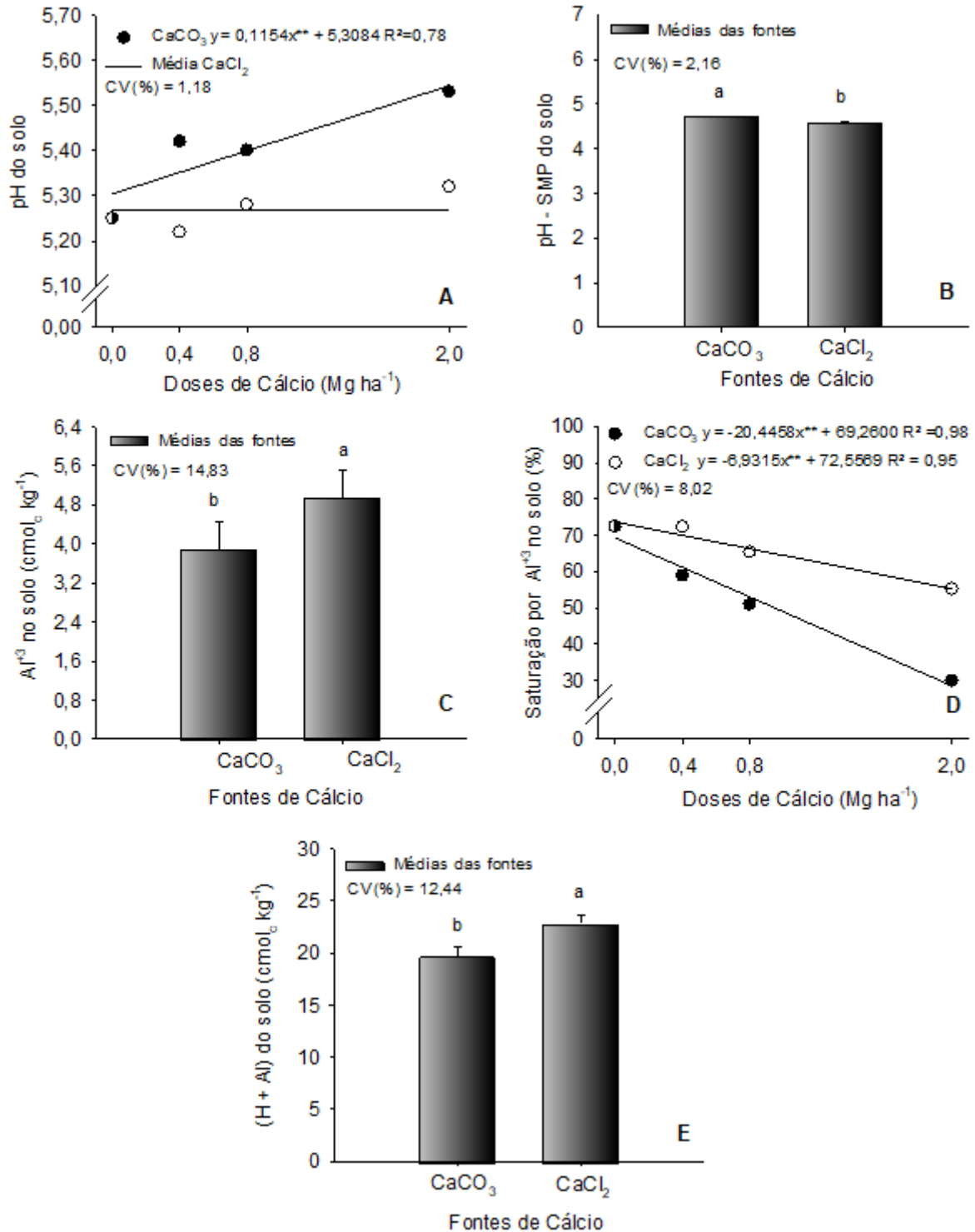
4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.3.1 Atributos químicos do solo após a condução do experimento com mudas de *Pinus taeda*

Para os atributos químicos do solo a adição de CaCO_3 elevou o nível do pH do solo (Figura 11A) de forma linear, entretanto devido ao alto poder tampão do solo e a quantidade de corretivo utilizada, o aumento foi de apenas 0,11 unidade por tonelada ha^{-1} de Ca, passando de 5,26 na menor dose ($0,0 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ Ca}$) para 5,53 na última dose de Ca ($2,0 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ Ca}$). Para os tratamentos os quais se utilizou CaCl_2 não houve aumento do pH em relação a dose utilizada. Entretanto, ocorreu a elevação natural do pH de aproximadamente 0,8 unidade em relação o pH inicial (pH 4,45) do solo, independentemente da fonte utilizada nos tratamentos.

Em relação ao pH SMP do solo (Figura 11B), ocorreu diferença apenas entre as fontes utilizadas, sendo que a média dos tratamentos com CaCO_3 foi superior à média dos tratamentos com CaCl_2 . Com o aumento do pH do solo proporcionado pela utilização de CaCO_3 as médias de Al^{+3} (Figura 11C) e (H+Al) (Figura 11E) foram inferiores as encontradas nos tratamentos os quais utilizaram CaCl_2 como fonte. Tanto a adição de CaCO_3 quanto a de CaCl_2 diminuíram a saturação por Al^{+3} no solo (Figura 11D) de forma linear, contudo em magnitudes diferentes. Para cada tonelada de Ca adicionado por CaCO_3 no solo ocorreu redução 20,4% da saturação por Al^{+3} , em relação a fonte de CaCl_2 a diminuição foi de apenas 6,9 % por tonelada de Ca adicionada ao solo. Para as duas fontes utilizadas, os valores de Al^{+3} e saturação por Al^{+3} são considerados altos para o cultivo da maioria das culturas.

Figura 11 – Atributos químicos: pH do solo (A), pH SMP (B), Al^{3+} (C), saturação por Al^{3+} (D) e (H+Al) (E) em Cambissolo Húmico após cultivo de mudas de *Pinus taeda* por 370 dias com diferentes níveis de pH e cálcio.



^a Médias seguidas de letras diferentes, diferem entre si a 5% de probabilidade de erro pelo teste de Tukey. * = P-valor significativo a 5% pelo teste F. ** = P-valor significativo a 1% pelo teste F. CV: coeficiente de variação.

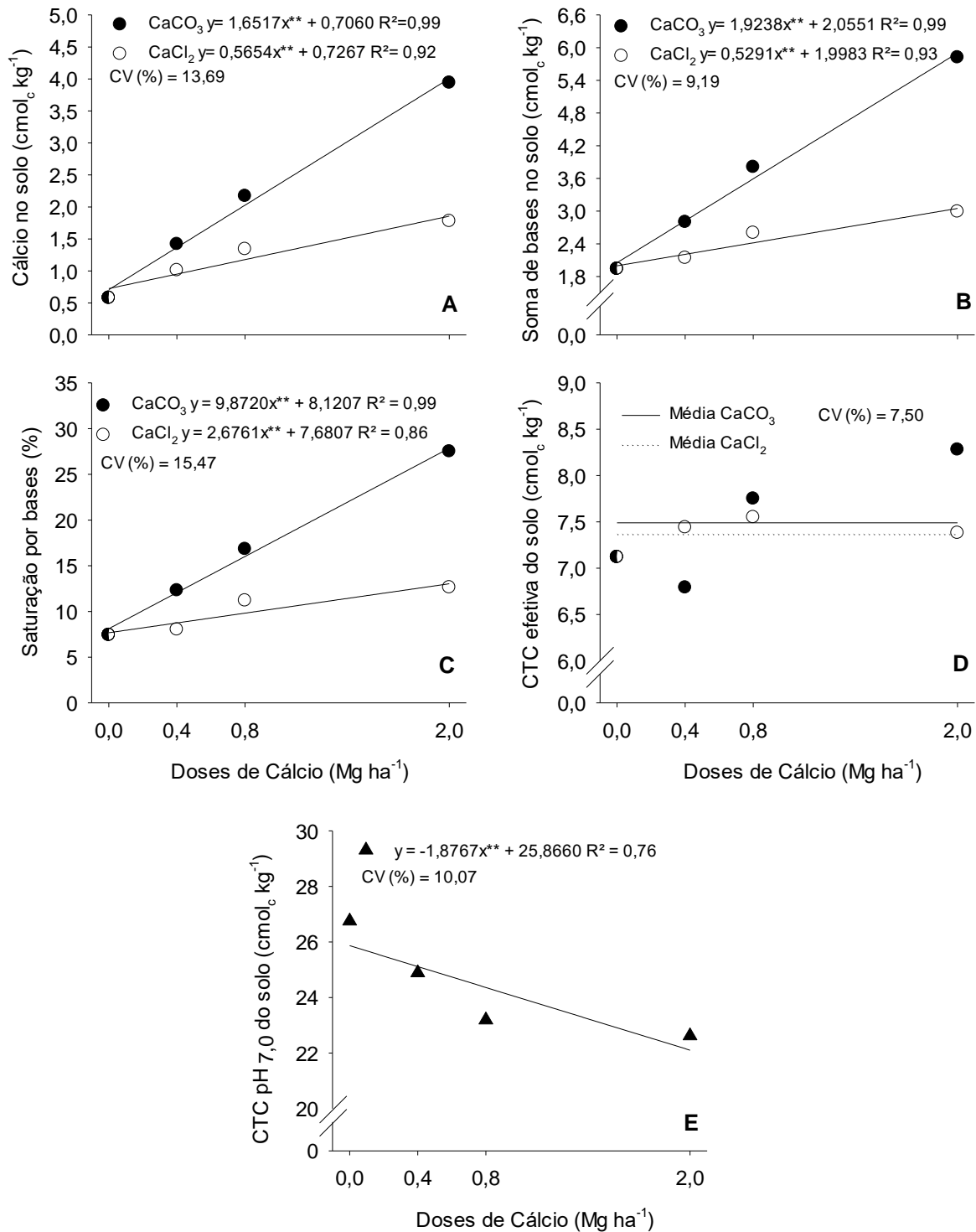
Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

As duas fontes utilizadas no experimento aumentaram os teores de Ca (Figura 12A), a soma de bases (Figura 12B) e a saturação por bases no solo (Figura 12C) conforme o aumento da dose de Ca. Para os tratamentos os quais se utilizou CaCl_2 a maior dose apenas elevou o teor de Ca no solo para $1,78 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, a soma de bases para $3,0 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ e a saturação por bases para valores próximo a 13%, esses valores são considerados insatisfatórios para o cultivo de pinus até o final do ciclo (CQFS-RS/SC, 2016).

A maior dose de CaCO_3 elevou o teor de Ca para $3,94 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, a soma de bases para $5,8 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ e a saturação de bases para 28%. O manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina define como 40% o nível ideal de saturação por bases para as culturas florestais. Apesar da maior dose de CaCO_3 não ter elevado o valor para o nível adequado, o teor de Ca no solo está muito próximo do satisfatório ($4,0 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ Ca) o que junto com o teor de magnésio é levado em consideração para a realização ou não da calagem no estabelecimento dos plantios florestais (CQFS-RS/SC, 2016). Nessa situação do experimento, não seria necessária uma nova aplicação de CaCO_3 .

Os valores mais elevados para os tratamentos os quais utilizaram CaCO_3 em relação aos tratamentos com CaCl_2 podem ser atribuídos aos benefícios da aplicação de carbonato ao solo. O carbonato ao ser aplicado ao solo eleva o pH, reduz o teor de Al^{+3} e aumenta as cargas negativas do solo. Esse efeito faz com que os cátions presentes na solução do solo migrem para as cargas liberadas pelo Al^{+3} ou para as novas cargas geradas pela adição do carbonato (cargas dependentes do pH) com isso os teores desse Ca, Mg e K aumentam (PAVINATO et al., 2009). Já o CaCl_2 não eleva o pH do solo e não promove a neutralização do Al^{+3} o que faz com que grande parte das cargas negativas permaneçam ocupadas pelo Al^{+3} , o qual é o cátion predominante nas cargas negativas em pH menor que 5,5. O incremento gerado nos teores de Ca com a adição do CaCl_2 pode ser atribuído ao deslocamento do Al^{+3} das cargas pelo aumento da concentração do Ca em solução devido a aplicação das doses de Ca.

Figura 12 – Atributos químicos: teor de cálcio (A), soma de bases (B), saturação por bases (C) CTC efetiva (D) e CTC_{pH 7,0} (E) em Cambissolo Húmico após cultivo de mudas de *Pinus taeda* por 370 dias com diferentes níveis de pH e cálcio.



** = P-valor significativo a 1% pelo teste F. CV: coeficiente de variação.

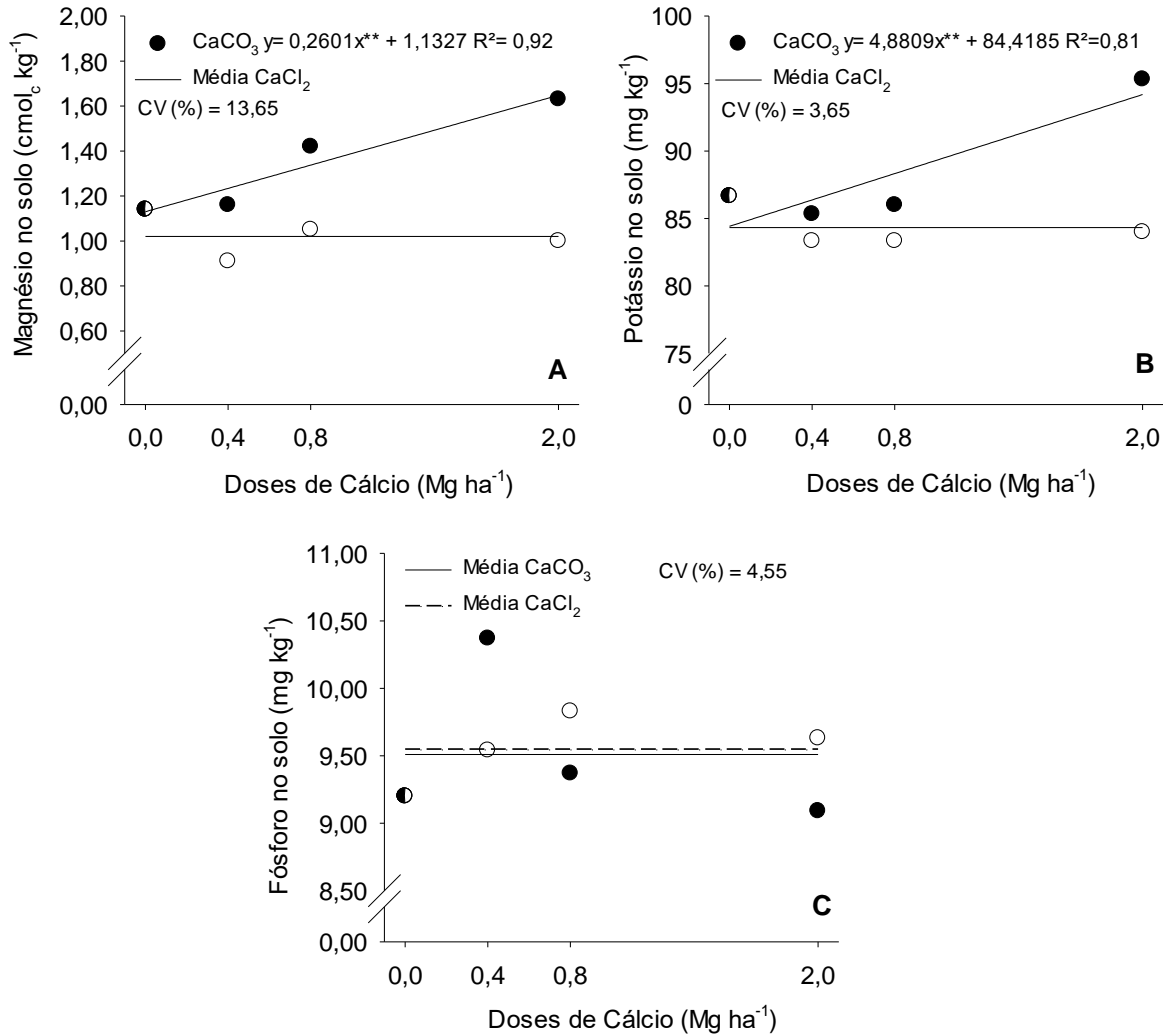
Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

Para a CTC efetiva do solo (Figura 12D) não houve aumento em relação à dose ou fonte utilizada, entretanto a mesma reduziu em relação ao valor do solo inicial, passando de $9,7 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ para valores próximos a $8,0 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$. A $\text{CTC}_{\text{pH } 7,0}$ (Figura 12E) reduziu com o aumento da dose de Ca, independente da fonte utilizada. Essa redução da CTC, possivelmente tem ligação com a maior taxa de decomposição da matéria orgânica do solo promovida pelos microrganismos, devido à melhora nas condições do solo proporcionada pela elevação da fertilidade do solo pela adubação inicial, diminuição da toxidez de Al^{+3} pela adição de Ca, além da manutenção da umidade do solo pela irrigação dos vasos. Outro fator que deve ser levado em consideração é que o solo foi coletado e peneirado diminuindo o tamanho dos agregados e, conseqüentemente, aumentando a área superficial específica. Com essa modificação da estrutura original do solo, a matéria orgânica passa a ficar mais exposta e sujeita a maior ação de degradação pelos microrganismos do solo.

Os teores de magnésio (Figura 13A) e K (Figura 13B) aumentaram de forma linear com o aumento da dose de Ca para os tratamentos com a utilização da fonte CaCO_3 . O teor de magnésio passou de 1,1 para $1,6 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ e o K de 86 para 95 mg kg^{-1} quando utilizado a maior dose de Ca com CaCO_3 . Para os tratamentos os quais foram utilizados CaCl_2 não houve diferença nos teores de magnésio e K em relação as doses de Ca. O aumento dos teores de magnésio e de K para os tratamentos com CaCO_3 tem relação com a diminuição do Al^{+3} e o aumento do pH do solo gerando cargas negativas as quais passam a serem ocupadas pelos cátions presentes na solução do solo.

Os teores de magnésio para as duas fontes estão de acordo com o recomendado para a cultura do pinus. Todos os teores de K são considerados médio (CQFS-RS/SC, 2016). Os teores de fósforo no solo (Figura 13C) não diferenciaram em relação à fonte ou dose utilizada e são considerados altos para o cultivo de espécies florestais (CQFS-RS/SC, 2016).

Figura 13 – Atributos químicos: teor de magnésio (A), potássio (B) e fósforo (C) em Cambissolo Húmico após o cultivo de mudas de *Pinus taeda* por 370 dias com diferentes níveis de pH e cálcio.

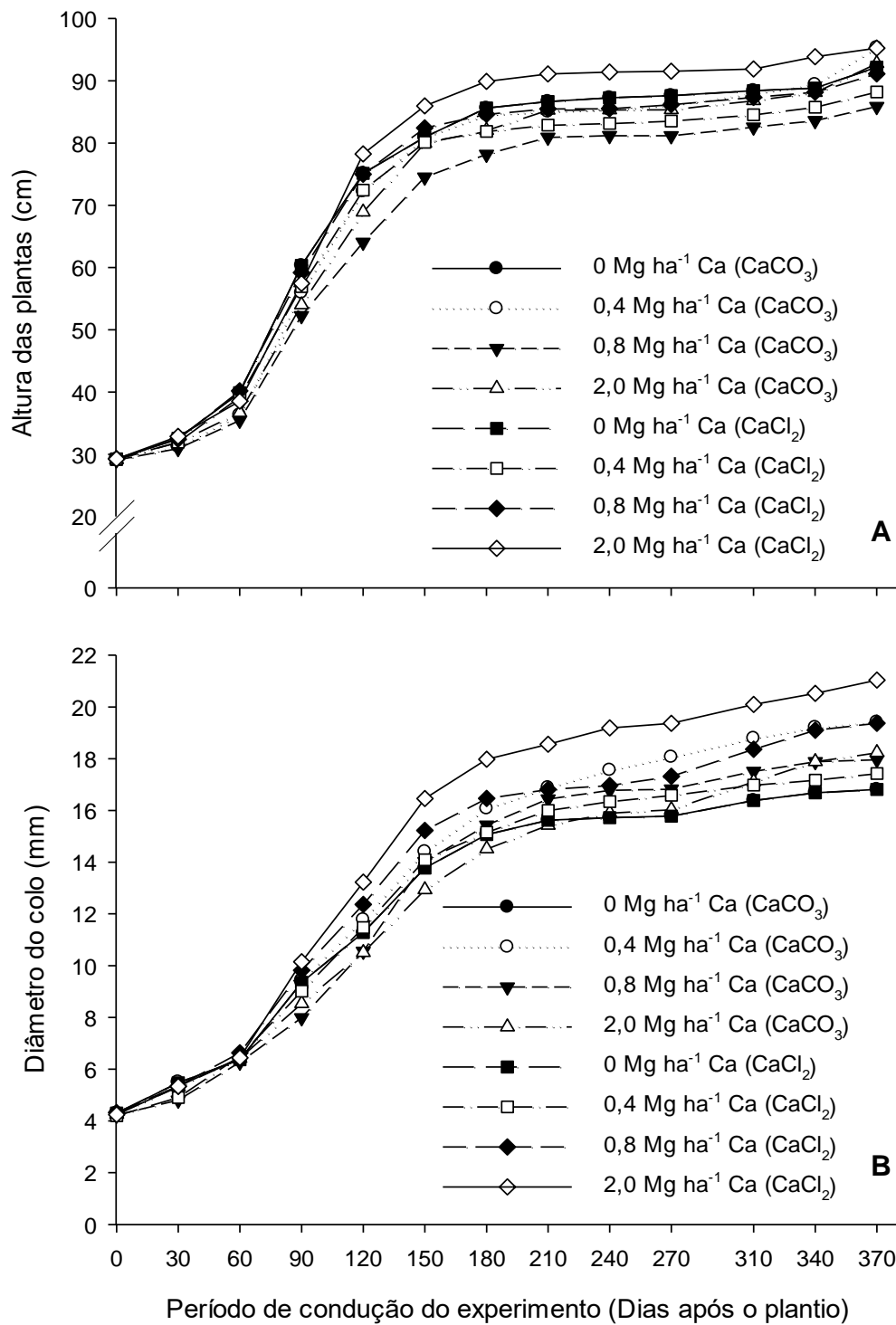


** = P-valor significativo a 1% pelo teste F. CV: coeficiente de variação.
 Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

4.3.2 Crescimento da parte aérea e radicular das mudas de *Pinus taeda*

A curva de crescimento em altura (Figura 14A) e diâmetro do colo (Figura 14B) das mudas *P. taeda* apresenta um comportamento semelhante para os tratamentos, sendo que nos primeiros 30 dias ocorreu menor desenvolvimento em altura e diâmetro, ocasionado pelo período de adaptação das mudas ao novo local, as quais foram transferidas do viveiro para os vasos. No período de 30 a 210 dias após o plantio ocorreu o maior desenvolvimento em altura das mudas. Para o diâmetro do colo, o crescimento mais expressivo ocorreu dos 60 aos 210 dias após o plantio, entretanto até o final do experimento ocorreu incremento no diâmetro.

Figura 14 – Curva de crescimento em altura (A) e diâmetro do colo (B) de mudas de *Pinus taeda* cultivadas em Cambissolo Húmico por 370 dias com diferentes níveis de pH e cálcio.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

Após os 210 dias de plantio as plantas ganharam pouco incremento em altura, possivelmente devido a limitação do vaso, entretanto as plantas continuaram a ganhar

incremento em diâmetro. Essa situação é semelhante ao que ocorre com povoamentos florestais implantados em solos rasos, ao qual as árvores chegam a um limite de crescimento em altura, mas ainda ocorre incremento em diâmetro.

Devido à manutenção no incremento em diâmetro do colo e conseqüentemente o aumento do volume do fuste, optou-se pela continuação da condução do experimento. Visto que o maior acúmulo de Ca ocorre na casca e no fuste do pinus e a necessidade de Ca aumenta com a idade da planta, a colheita antecipada poderia ir contra os objetivos do trabalho em questão.

Para as variáveis altura (Figura 15A) e volume do fuste (Figura 15C) das mudas de *P. taeda* conduzidas por 370 dias (Apêndice G) não houve diferença entre as doses ou fontes utilizadas, demonstrando não haver respostas a elevação do pH. Ainda, os níveis de Ca encontrados no solo inicial indicam serem suficientes para o crescimento inicial das duas variáveis. Já o aumento da dose de Ca independente da fonte utilizada proporcionou incremento no diâmetro do colo (Figura 15B), entretanto esse aumento foi de apenas 1,22 mm por tonelada de Ca adicionada, podendo ser considerado baixo em relação à grande quantidade adicionada do nutriente.

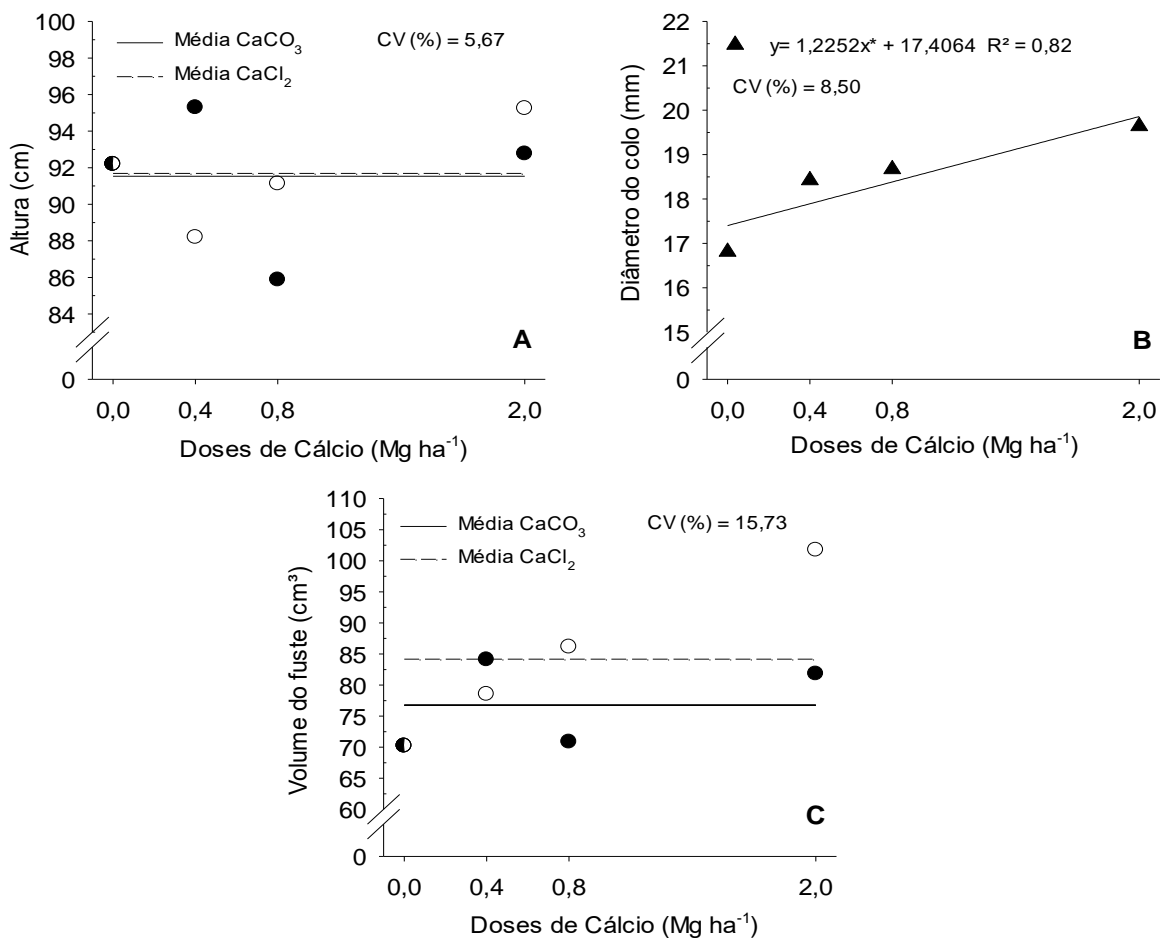
A adubação com N, P, K em povoamentos de *P. taeda* tendem a aumentar o volume de madeira das plantas de 5 e 9 anos, chegando a ganhos de incremento médio anual de 29 à 39 m³ ha⁻¹ considerados adequados para cultura, entretanto quando se observa os teores de Ca e Mg dos sítios florestais em estudo esses valores se apresentam baixos, ficando na média de 0,2 cmol_c kg⁻¹ tanto para Ca como para Mg e mesmo com esses teores a planta consegue apresentar um bom desempenho no crescimento em volume (MORO et al., 2014) o que demonstram a exímia capacidade de gerenciamento dos recursos nutricionais pelas espécies florestais do gênero *Pinus* (REISSMANN e WISNEWSKI, 2005).

Apesar da boa capacidade de gerenciamento dos recursos, teores mínimos de Ca são necessários. Em um estudo avaliando a morte precoce de variedades de *Pinus caribaea* Morelet em áreas do Cerrado, Chaves e Corrêa (2005), encontraram valores muito baixos de Ca no solo (0,1 mg kg⁻¹ de Ca), além de não detectar teores de magnésio desde a superfície do solo, bem como valores muito baixos desses nutrientes nas acículas, podendo ter relação com as mortes. Os autores alertam, que apesar da menor exigência de Ca e magnésio pelas variedades de *P. caribaea*, a ausência ou teores muito baixos tendem a levar as plantas a apresentarem problemas nutricionais.

Os baixos teores de Ca no solo são agravados pela constante exportação de Ca na colheita florestal, sem a devida reposição. Vargas (2012) observou que após três rotações sucessivas de pinus sem reposição de Ca, exauriram-se completamente as reservas trocáveis e não trocáveis de Ca em um Cambissolo Húmico, não havendo Ca para uma quarta rotação.

Além disso, as espécies do gênero *Pinus* apresentam uma decomposição mais lenta das acículas quando comparado com outras espécies florestais, imobilizando quantidades significativas de Ca no tecido até sua completa decomposição. Todos esses fatores evidenciam a necessidade de reposição de Ca e demais nutrientes para as espécies do gênero *Pinus*, visando manter a produtividade dos sítios florestais.

Figura 15 – Crescimento em altura (A) diâmetro do colo (B) e volume do fuste (C) de mudas de *Pinus taeda* cultivadas em Cambissolo Húmico por 370 dias com diferentes níveis de pH e cálcio.



* = P-valor significativo a 5% pelo teste F. CV: coeficiente de variação.
Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

A massa seca de acículas (Figura 16A) apresentou comportamento diferente em relação às fontes utilizadas no experimento, para os tratamentos que receberam aplicação de CaCO_3 ocorreu redução na quantidade de acículas, sendo que para cada tonelada de Ca aplicada houve redução de 4 gramas de acículas, já para os tratamentos com aplicação de CaCl_2 ocorreu aumento de 8 gramas de acículas.

Para a variável massa seca de galhos (Figura 16B), massa seca da parte aérea (Figura 16E) e massa seca total da planta (Figura 16F) não ocorreu diferença para os tratamentos os quais se utilizou CaCO_3 como fonte. Já para os tratamentos com aplicação de CaCl_2 , conforme se aumentou a dose de Ca obteve-se maior produção. A massa seca de fuste (Figura 16C) e a massa seca de raiz (Figura 16D) não apresentaram diferença em relação a dose ou fonte aplicada no experimento.

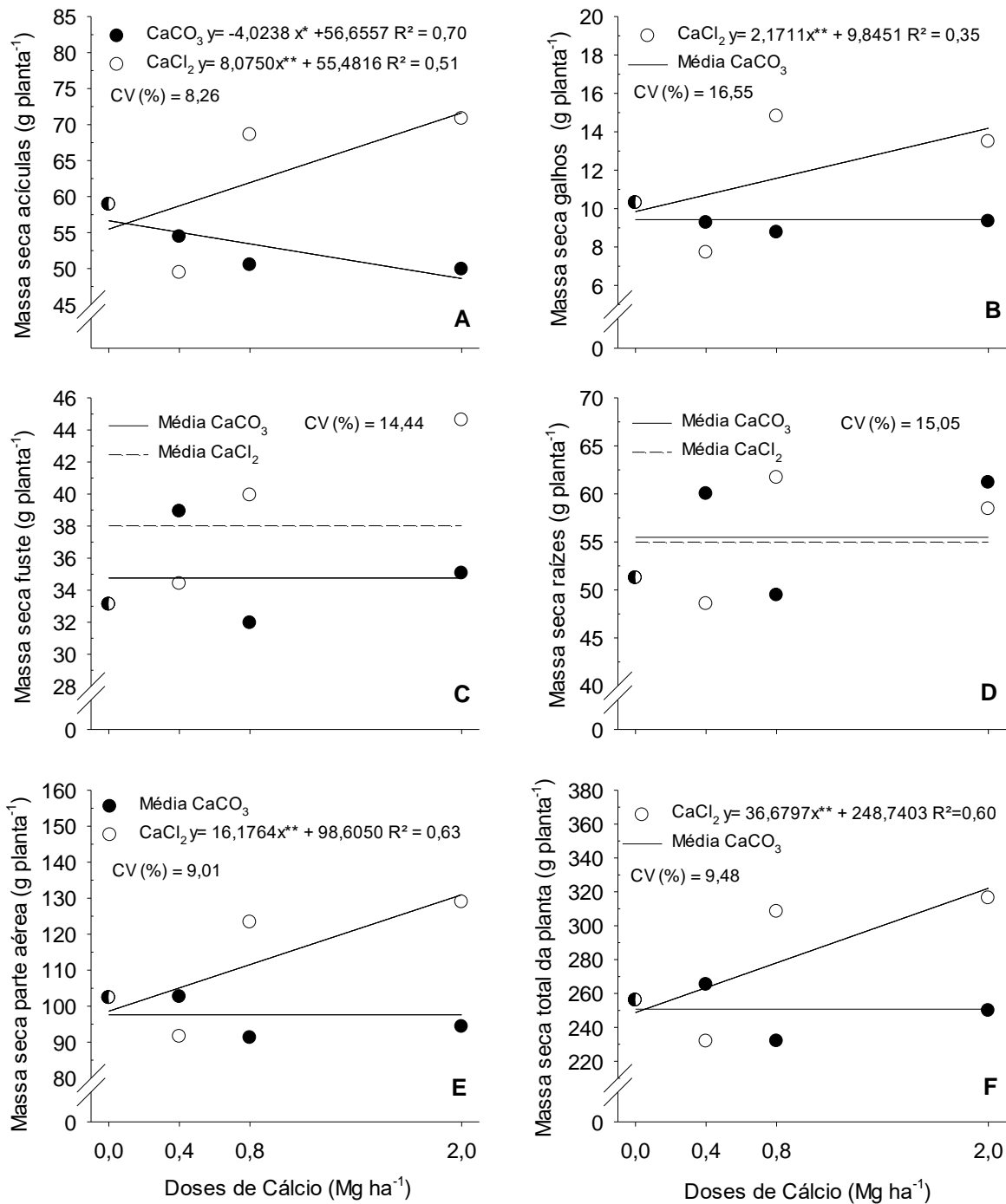
Essa redução na quantidade de acículas, e a ausência de respostas para os tratamentos os quais foram aplicadas doses de CaCO_3 podem ter relação com o aumento do pH do solo proporcionado pela adição do corretivo, apesar da elevação ter chegado apenas a 0,3 unidade na maior dose de CaCO_3 comparado com a dose 0,0 de Ca. A maioria das espécies do gênero *Pinus* são cultivadas em solos ácidos no Brasil e apresentam tolerância ao Al^{+3} (SBCS/NEPAR, 2017), não sendo necessário elevar o pH para a cultura, sendo necessário apenas a elevação dos níveis de saturação por bases ou a manutenção dos teores de Ca e magnésio altos (CQFS-RS/SC, 2016).

Perdas de produtividades são relatadas em mudas de *Pinus banksiana* Lamb. (*Pinus* que se desenvolvem em solos calcários), quando associado, elevação do pH para faixa de 6,0 - 9,0 e aumento nas concentrações de Ca, provocando comprometimento no sistema radicular, afetando a absorção de água das plantas e as trocas gasosas (ZHANG et al., 2015). Esse efeito pode ter ocorrido no experimento com *P. taeda*, entretanto em menor escala, pois o pH do solo não chegou a valores tão elevados, sendo que o maior pH foi para a dose de $2,0 \text{ Mg ha}^{-1}$ Ca com utilização de CaCO_3 , o qual chegou a pH 5,5.

Com isso surge uma hipótese: será que a constante seleção de clones mais produtivos e com características desejáveis a indústria os quais apresentam bom desenvolvimento em solos ácidos, não corrigidos, com altos teores de alumínio e baixas concentrações de Ca e magnésio, não poderiam estar refinando a espécie para o desenvolvimento em níveis de pH menor? Resultados esses que são comuns para as culturas agrícolas, o qual a seleção de cultivares dentro da mesma espécie pode

levar as plantas a apresentarem um melhor desenvolvimento nos mesmos níveis de P, por exemplo, apresentando maior eficiência na absorção do nutriente.

Figura 16 - Massa seca acículas (A), massa seca galhos (B), massa seca fuste (C), massa seca raízes (D), massa seca total da parte aérea (E) e massa seca total da planta (F) de mudas de *Pinus taeda* cultivadas em Cambissolo Húmico por 370 dias com diferentes níveis de pH e cálcio.



* = P-valor significativo a 5% pelo teste F. ** = P-valor significativo a 1% pelo teste F. CV: coeficiente de variação.

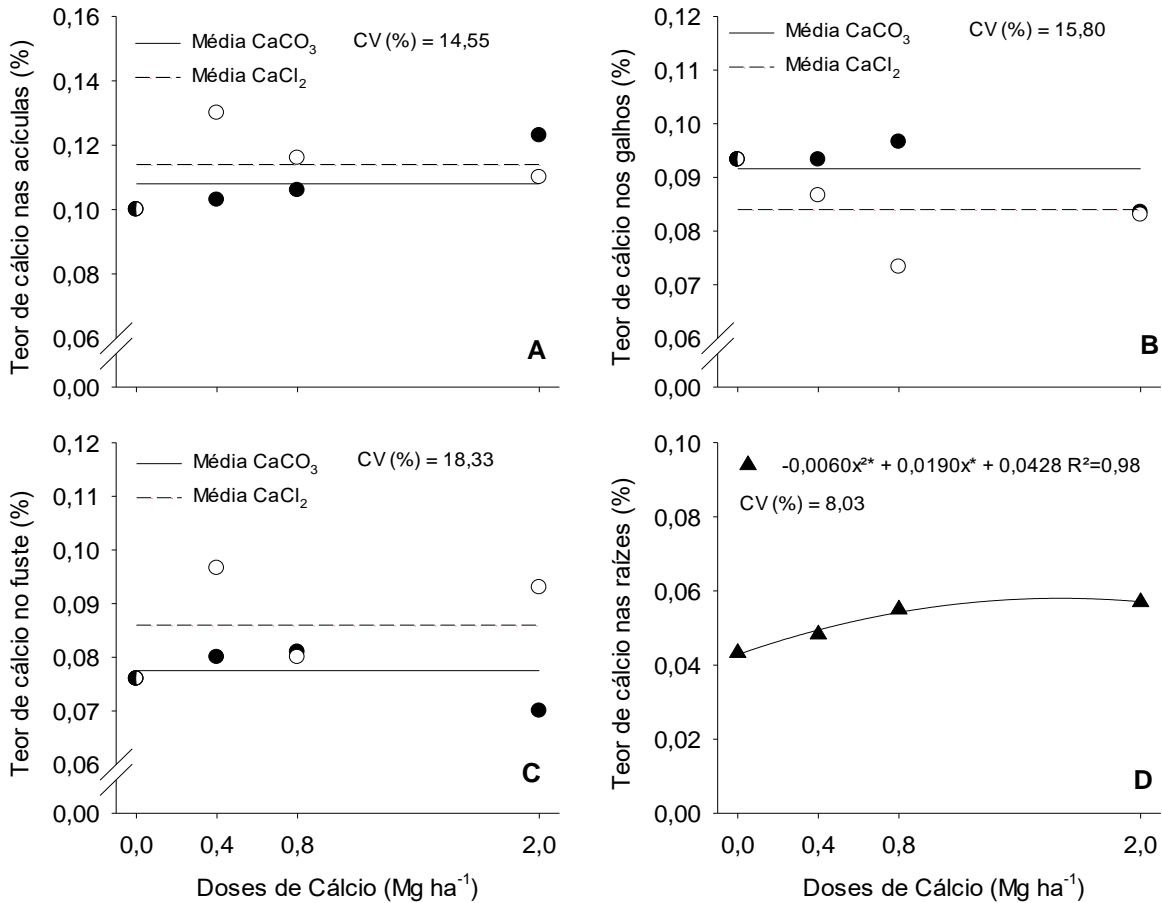
Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

4.3.3 Teor de nutrientes na parte aérea e radicular das mudas de *Pinus taeda*

O teor de Ca no tecido não apresentou diferença entre a dose e a fonte aplicada para as variáveis acículas (Figura 17A), galhos (Figura 17B) e fuste (Figura 17C). Em relação aos teores de Ca no tecido foliar, para os estados do RS e SC os teores são considerados insuficientes, sendo a faixa adequada entre 0,2 - 0,5% (CQFS-RS/SC, 2016). Porém, quando os valores são comparados pelo manual do Paraná, todos os valores encontrados no tecido foliar estão dentro da faixa de suficiência de Ca para pinus, que vai de 0,08 - 0,30%, independente da fonte ou tratamento utilizado (SBCS/NEPAR, 2017). A concentração de Ca tende a aumentar nas acículas de *P. taeda*, com o aumento da idade das mesmas, essa maior concentração tem relação com a baixa mobilidade do Ca no interior da planta, podendo passar de teores de 0,2% em acículas novas para 0,5% em acículas maduras (VIERA e SCHUMACHER, 2009).

Para o teor nas raízes (Figura 17D) ocorreu o incremento de Ca no tecido vegetal conforme o aumento da dose de Ca no solo, independente da fonte utilizada. A elevação dos teores de Ca nas raízes tem relação com os níveis mais altos de Ca no solo proporcionado pelas doses aplicadas, fazendo com que aumente a concentração desse nutriente próximo à zona radicular e conseqüentemente apresentando uma maior absorção.

Figura 17 – Teor de cálcio nas acículas (A), galhos (B), fuste (C), raízes (D) de mudas de *Pinus taeda* cultivadas em Cambissolo Húmico por 370 dias com diferentes níveis de pH e cálcio.



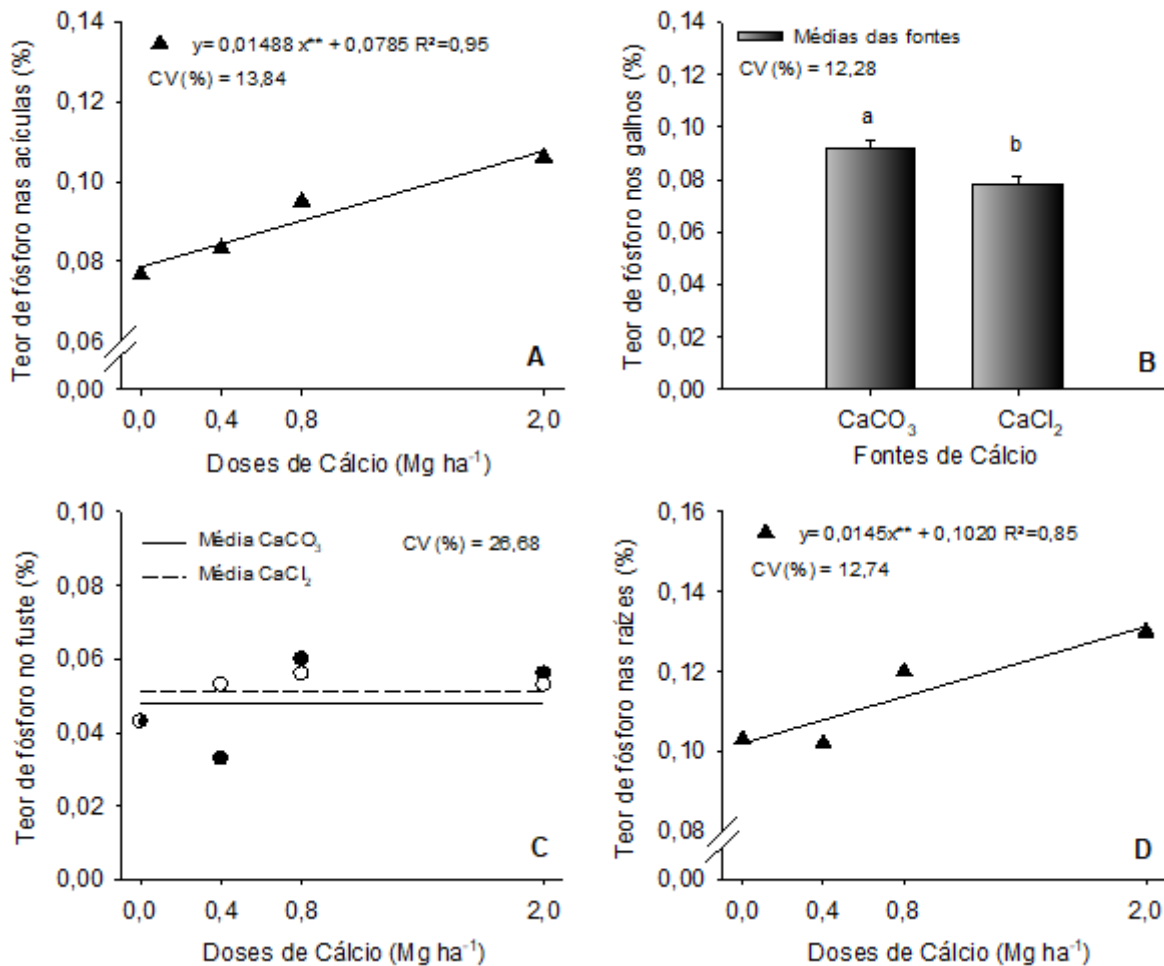
* = P-valor significativo a 5% pelo teste F. CV: coeficiente de variação.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

Para os teores de P no tecido, ocorreu a elevação da concentração de P nas acículas (Figura 18A) e nas raízes (Figura 18D) de acordo com o aumento da dose de Ca no solo independente da utilização de CaCO₃ ou CaCl₂. Apesar da elevação do teor de P no tecido com o aumento da dose de Ca, apenas a partir da dose 0,8 Mg ha⁻¹ Ca os teores nas acículas ficaram próximos a faixa considerada adequada para pinus que é de 0,1 – 0,12 % de P nos estados do RS e SC (CQFS-RS/SC, 2016). Para o estado do Paraná, os teores não atingiram as faixas de suficiência que vai de 0,13 – 0,14% (SBCS/NEPAR, 2017). O teor de P nos galhos (Figura 18B) apresentou diferença entre a fonte utilizada, sendo que os tratamentos os quais foram aplicados CaCO₃ apresentaram concentrações de P mais elevadas. Os teores mais elevados de P nos galhos apresentam relação com os benefícios proporcionados pela aplicação

de CaCO_3 no solo, o qual reduziu as concentrações de Al^{+3} , diminuindo a quantidade de sítios para adsorção de P, assim como a liberação de hidroxilas também ajuda a diminuir a adsorção do íon fosfato pela competição com pelos sítios de ligação (ERNANI, 2016). Além disso, o aumento do pH melhora as condições do ambiente para a ação dos microrganismos os quais tendem a aumentar a taxa de decomposição da matéria orgânica e liberar ácidos orgânicos que também competem pelos sítios de ligação. Para a variável fuste (Figura 18C) não ocorreu diferença nos teores de P em relação a dose ou fonte utilizada.

Figura 18 – Teor de fósforo nas acículas (A), galhos (B), fuste (C), raízes (D) de mudas de *Pinus taeda* cultivadas em Cambissolo Húmico por 370 dias com diferentes níveis de pH e cálcio.

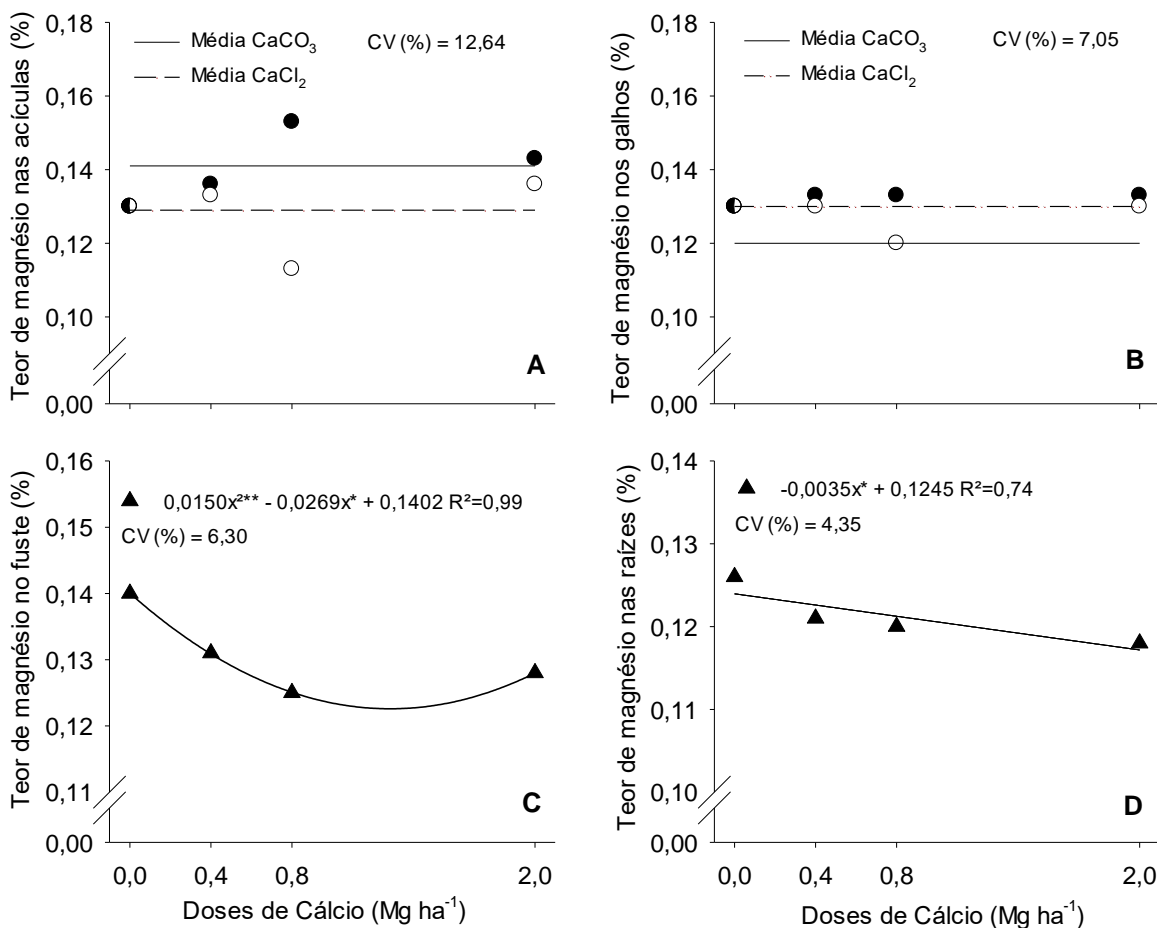


^a Médias seguidas de letras diferentes, diferem entre si a 5% de probabilidade de erro pelo teste de Tukey. ** = P-valor significativo a 1% pelo teste F. CV: coeficiente de variação.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

Para o teor de magnésio não houve diferença em relação à dose de Ca ou fonte utilizada para acículas (Figura 19A) e galhos (Figura 19B). Todos os tratamentos apresentam teores de magnésio nas acículas dentro da faixa de suficiência para a cultura que vai de 0,1 - 0,2% nos estados do RS e SC (CQFS-RS/SC, 2016) e 0,08 – 1,5% no estado do Paraná (SBCS/NEPAR, 2017). No fuste (Figura 19C) e nas raízes (Figura 19D) as concentrações diminuíram com o aumento da dose de Ca, entretanto os valores foram inferiores 0,02% para o fuste e para as raízes a cada tonelada de Ca adicionada ocorreu uma redução de 0,003% no teor de magnésio, valores que não chegaram a afetar o balanço nutricional as mudas.

Figura 19 – Teor de magnésio nas acículas (A), galhos (B), fuste (C), raízes (D) de mudas de *Pinus taeda* cultivadas em Cambissolo Húmico por 370 dias com diferentes níveis de pH e cálcio.

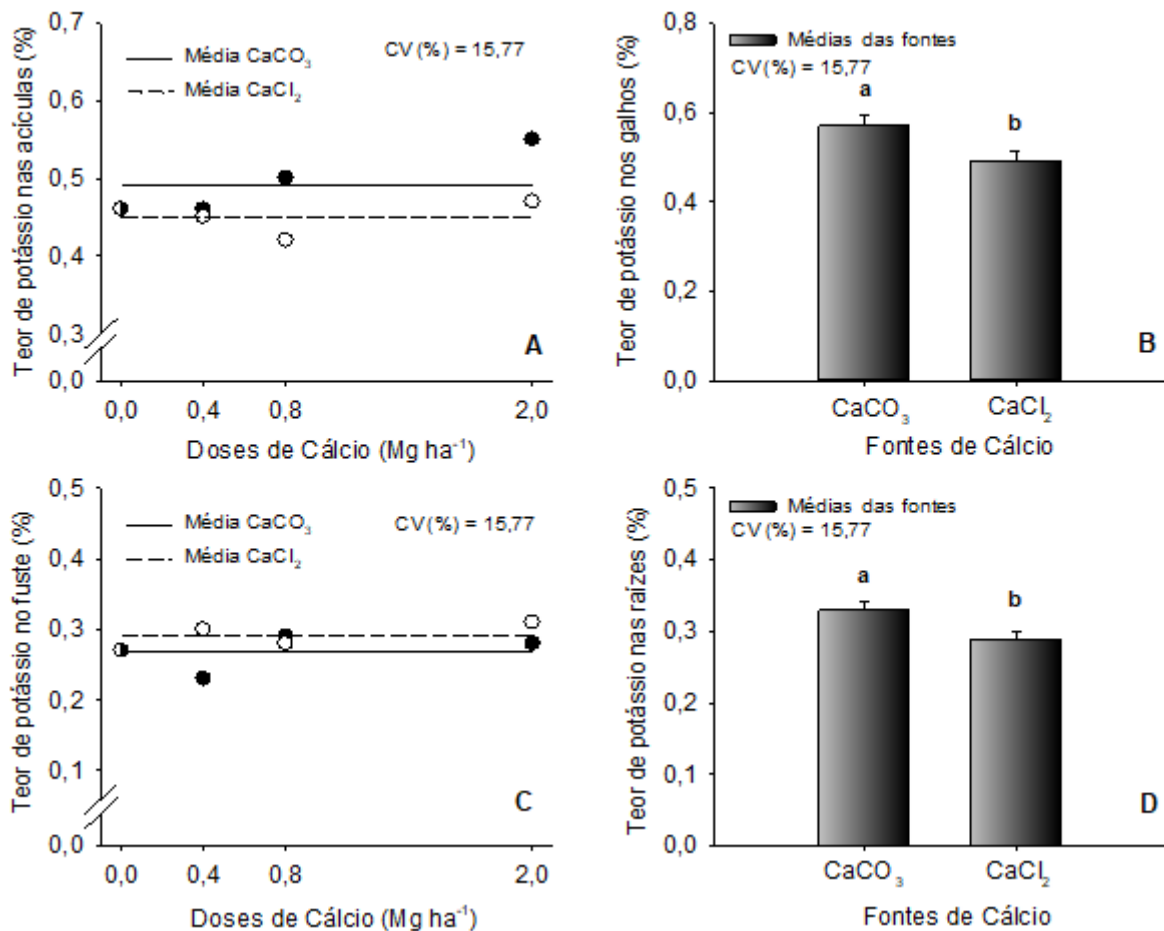


* = P-valor significativo a 5% pelo teste F. ** = P-valor significativo a 1% pelo teste F. CV: coeficiente de variação.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

Para o teor de K nas acículas (Figura 20A) e no fuste (Figura 20C) o aumento das doses de Ca no solo ou a utilização de fontes diferentes de Ca não promoveram incrementos diferentes nos teores de K no tecido em relação aos tratamentos. As concentrações de K no tecido foliar estão abaixo das faixas para o estado do PR que variam de 0,7 – 1,1% (SBCS/NEPAR, 2017) e para os estados do RS e SC as concentrações estão um pouco inferiores sendo as faixas de suficiência entre 0,6 – 1,0% (CQFS-RS/SC, 2016). Para o teor nos galhos (Figura 20B) e nas raízes (Figura 20D), a utilização de CaCO_3 promoveu maior acúmulo de K no tecido em comparação com a fonte CaCl_2 . Esse efeito tem relação com os níveis mais altos de K no solo encontrados para os tratamentos com CaCO_3 , proporcionado devido ao aumento das cargas negativas no solo.

Figura 20 – Teor de potássio nas acículas (A), galhos (B), fuste (C), raízes (D) de mudas de *Pinus taeda* cultivadas em Cambissolo Húmico por 370 dias com diferentes níveis de pH e cálcio.



^a Médias seguidas de letras diferentes, diferem entre si a 5% de probabilidade de erro pelo teste de Tukey. CV: coeficiente de variação.
Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

4. 4 CONCLUSÕES

A adição de carbonato de cálcio aumentou o pH e o teor de cálcio do solo, aumentando a soma e saturação por bases e reduzindo o alumínio trocável. Por outro lado, a adição de cloreto de cálcio aumentou ligeiramente os teores de cálcio e a saturação por bases, provocando pequena redução na saturação de alumínio.

Para o crescimento inicial das mudas de *Pinus taeda*, a elevação dos níveis de pH não proporcionou aumento nas variáveis de planta analisadas, inclusive ocorrendo redução na massa seca de acículas conforme se elevou os níveis de pH. Já a elevação dos níveis de cálcio, sem elevar o pH do solo, promoveu maior desenvolvimento nas variáveis massa seca de acículas, galhos, parte aérea e total da planta. O diâmetro do colo apresentou incremento com o aumento da dose de cálcio, independente da fonte.

5 CONCLUSÕES GERAIS

Os resultados mostram que o *Pinus taeda* apresenta melhor desenvolvimento com a elevação dos níveis de cálcio, entretanto a elevação do pH afeta negativamente o desempenho desta espécie. Para o *Eucalyptus benthamii*, a elevação do pH melhora o crescimento das plantas, contudo em razão do pequeno aumento do desempenho e elevada dose de corretivo necessária, essa prática pode não ser economicamente viável. Contudo, ressalta-se que para ambas culturas, essas respostas se referem ao crescimento inicial no ano de implantação, podendo haver comportamento diferente à campo, quando considerada todo o ciclo da cultura.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A instalação de experimentos a campo pode contribuir para o melhor entendimento dos resultados obtidos nos experimentos conduzidos em vasos, visto que não há restrição no desenvolvimento das plantas, como ocorre no ambiente em vaso, podendo as mesmas serem conduzidas até o final do ciclo de produção.

A maior dose de cálcio utilizando carbonato de cálcio como fonte promoveu maior desenvolvimento das plantas, entretanto devido à grande quantidade de corretivo utilizada, o custo para se realizar a compra e a aplicação do corretivo e o ganho em relação às outras doses, podem tornar o uso dessa dose não viável economicamente. Devido a isso, um experimento com condução das plantas até o final do ciclo poderia demonstrar a viabilidade ou não.

Nos tratamentos os quais se utilizou cloreto de cálcio, boa parte do magnésio, cálcio e potássio adicionados foram perdidos dos vasos por lixiviação, fazendo com que o sistema radicular não tivesse acesso a esses nutrientes. À campo, essa situação pode ser diferente, visto que esses nutrientes podem acabar sendo adsorvidos em camadas mais profundas e ainda serem acessados pelas plantas devido à maior exploração do sistema radicular, melhorando assim as condições do solo nessas regiões e promovendo maior crescimento das plantas.

O uso de cloreto de cálcio não é viável para a aplicação no campo devido às doses requeridas; por outro lado, o gesso agrícola (sulfato de cálcio) é um produto com custo semelhante ao calcário de fácil disponibilidade no mercado de insumos agrícolas. Neste trabalho, como o objetivo era isolar o efeito do cálcio, optou-se por não usar o gesso agrícola para evitar uma possível resposta das plantas à adição de enxofre, dificultando assim o isolamento adequado da causa-efeito no experimento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, et al. Aplicação de calcário e fósforo e estabilidade da estrutura de um solo ácido. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 27, n.5, p. 799-806, 2003.

BATISTA, A. R. et al. Liming and fertilisation in *Pinus taeda* plantations with severe nutrient deficiency in savanna soils. **Acta Scientiarum**, Maringá, PR, v. 37, n. 1, p. 117-125, 2015.

BENSON, D.; McDOUGALL, L. **Ecology of Sydney plant species: part 6** dicotyledonfamily Myrtaceae. *Cunninghamia*, Sydney, v. 5, n. 4, p. 809-987, 1998.

BISSANI, C. A., et al. **Fertilidade dos solos e manejo da adubação de culturas**. 2.ed, revisada e ampliada. Metrópole: Porto Alegre, 2008. 344p.

BOLAND, D. J. et al. **Forest trees of Australia**. Melbourne: Nelson: CSIRO, 1984. 687 p.

CFSG. COMISSÃO DE FERTILIDADE DE SOLOS DE GOIÁS. **Recomendações de corretivos e fertilizantes para Goiás. 5ª aproximação**. Goiânia. UFG/EMGOPA, 1988. 101 p. (Informativo Técnico, 1).

CHAVES, R. Q.; CORRÊA, G. F. Macronutrientes no sistema solo - *Pinus caribaea* Morelet em plantios apresentando amarelecimento das acículas e morte das plantas. **Revista Árvore**, v. 29, n. 5, p. 691-700, 2005.

CQFS. COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO – CQFS RS/SC. **Manual de recomendação de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 10. ed. Porto Alegre, SBSC/NRS, 2004. 400 p.

CQFS. COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO – CQFS RS/SC. **Manual de calagem e adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 11. ed. Porto Alegre, SBSC/NRS, 2016. 376 p.

CRAVO, M. S.; VIÉGAS, I. J. M.; BRASIL, E. C. **Recomendações de Adubação e Calagem para o Estado do Pará**. Embrapa Amazônia Oriental, Belém, PA. 2007. 262 p.

DIAS, H. C. T. et al. Caracterização de solos altimontanos em dois transectos no Parque Estadual do Ibitipoca (MG). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.469-481, 2003.

DIAS, L. P. R. et al. Boron in preventing of shoot dieback on eucalyptus benthamii grown in soil with different water regimes. **Scientia Agraria (online)**, v. 18, p. 37, 2017.

DIAS, L. P. R. et al. Eficiência relativa de fosfatos naturais na adubação de plantio de mudas de *Eucalyptus dunnii* Maiden e *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage em solo sem e com calagem. **Ciência Florestal**, v. 25, n. 1, p. 37-48, 2015.

ERNANI, P. R. **Química do solo e disponibilidade de nutrientes**. Lages, 2016, 254 p.

ERNANI, P. R.; ALMEIDA, J. A. Comparação de métodos analíticos para avaliar a necessidade de calcário dos solos do Estado de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 10, n. 2, p. 143-150, 1986.

FAGERIA, N. K; STONE, L. F. Manejo da acidez dos solos de cerrado e de várzea do Brasil. Santo Antônio de Goiás: **Embrapa Arroz e Feijão**, 1999. 42 p. (Embrapa Arroz e Feijão. Documentos, 92).

FERREIRA, A. D. **SISVAR**: sistema de análise de variância. Versão 5.6. Lavras: UFLA, 2010. (Systat Software, San Jose, CA).

GAZOLA, R. N. et al. Doses of N, P and K in the cultivation of eucalyptus in soil originally under Cerrado vegetation. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 36, n. 3, p. 1895-1912, 2015.

GUIMARÃES, C. C.; FLORIANO, E. P.; VIEIRA, F. C. B. Limitações químicas ao crescimento inicial de *Eucalyptus saligna* em solos arenosos do Pampa Gaúcho: estudo de caso. **Ciência Rural**, v.45, n.7, jul, 2015.

HAVLIN, J. L. et al. **Soil fertility and fertilizers: An introduction to nutrient management**. 7th ed. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ. 2005. 515 p.

HIGA, R. C. V. et al. **Considerações sobre exigências climáticas de *Eucalyptus benthamii*** (Camden White Gun). In: DUQUE SILVA, L.; HIGA, A. R.; SANTOS, G. A. Silvicultura e Melhoramento Genético de *Eucalyptus benthamii*. Curitiba: FUPEF, 2012. p. 07-15.

HIGASHI, E. N.; SILVEIRA, R. L. V. A.; GONÇALVES, A. N. Propagação vegetativa de *Eucalyptus*: Princípios básicos e a sua evolução no Brasil. Piracicaba: IPEF, 2000. v.192. p.1-11. (Circular Técnica IPEF).

IBA. Indústria Brasileira de Árvores. **Relatório anual IBA 2017**. 78 p.

KAMINSKI, J. et al. Acidez e Calagem em Solos do Sul do Brasil: Aspectos Históricos e Perspectivas Futuras. In: **Tópicos em ciência do solo**. v.5 SBCS, Viçosa. 2007.

LIMA, C. G. R. et al. Atributos físico-químicos de um latossolo do Cerrado brasileiro e sua relação com características dendrométricas do eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 163-173, 2010.

LONDERO, E. K. et al. Exportação e reposição nutricional no primeiro desbaste de um povoamento de *Pinus taeda* L. em área de segunda rotação. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n. 3, p. 487-497, 2011.

MAEDA, S.; BOGNOLA, I. A.; Efeito da calagem, do fosfato natural de Gafsa e superfosfato triplo no crescimento inicial e na absorção de fósforo em *Eucalyptus dunnii*. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, PR. v. 31, n. 68, p. 355-361, 2011.

MARIA, I. C. et al. Efeito da adição de diferentes fontes de cálcio no movimento de cátions em colunas de solo. **Sci. Agríc.**, v.50, p. 87-98, 1993.

MIGUEL, P. S. B. et al. Efeitos tóxicos do alumínio no crescimento das plantas: mecanismos de tolerância, sintomas, efeitos fisiológicos, bioquímicos e controles genéticos. **Revista Centro de Ensino Superior**, v. 24, p. 13-30, 2010.

MORO, L. et al. Resposta de *Pinus taeda* com Diferentes Idades à Adubação NPK no Planalto Sul Catarinense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo (Online)**, v. 38, p. 1181-1189, 2014.

MURPHY, J. RILEY, J. P. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. **Analytica Chimica Acta**, v 27, p. 31-36, Oxford, 1962.

NOVAIS, R. F. et al. Calagem e adubação mineral na produção de mudas de eucalipto (*Eucalyptus grandis* W. Hill x Maiden): I. Efeitos da calagem e dos nutrientes N, P e K. **Revista Árvore**, Viçosa, v.3, p.121-129, 1979.

NOVAIS, R. F. et al. Calagem e adubação mineral na produção de mudas de eucalipto (*Eucalyptus grandis* W. Hill x Maiden): II. Efeitos da calagem, do N e do superfosfato simples. **Revista Árvore**, Viçosa, v.4, p.1-13, 1980a.

NOVAIS, R. F. et al. Calagem e adubação mineral na produção de mudas de eucalipto (*Eucalyptus grandis* W. Hill x Maiden): III. Efeitos da calagem, do superfosfato simples e de um fertilizante NPK. **Revista Árvore**, Viçosa, v.4, p.111-123, 1980b.

PAVINATO, P. S.; MERLIN, A.; ROSOLEM, C. A. Disponibilidade de cátions no solo alterada pelo sistema de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 1031-1040, 2009.

RAIJ, B. V. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2011. 420 p.

RAIJ, B. van. et al. **Recomendação de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2ª ed. Instituto Agrônomo de Campinas -IAC.Campinas. 1997. 285 p. (Boletim Técnico, 100).

REISSMANN, C. B.; WISNEWSKI, C. Aspectos nutricionais de plantios de *Pinus*. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. **Nutrição e Fertilização Florestal**. Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais. Piracicaba, SP, 2005. p. 135 – 166.

REISSMANN, C. B. Perspectivas para a nutrição do pinus. **Revista da Madeira**, Curitiba, v. 68, n.12, 2002.

REISSMANN, C. B.; ZÖTTL, H. W. Problemas nutricionais em povoamentos de *Pinus taeda* em áreas de arenito da formação Rio Bonito-Grupo Guatá. **Rev. Set. Ciênc. Agr.**, v.9, p. 75 – 80, 1987.

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G. & ALVAREZ, V. V. H., eds. **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. 5ª aproximação**. Viçosa, MG, CFSEMG, 1999. 359 p.

ROCHA, J. B. O. et al. Efeito da calagem na nutrição mineral e no crescimento inicial do eucalipto a campo em Latossolo Húmico da Zona da Mata (MG). **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 36, n. 80, p. 255-263, 2008.

RODRIGUES, F. A. V. et al. Produtividade de eucalipto aos 18 meses de idade, na região do Cerrado, em resposta à aplicação de cálcio, via calcário e gesso agrícola. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 44, n. 109, p. 67-74, 2016.

SCHUMACHER, M. V. et al. Biomassa e nutrientes no corte raso de um povoamento de *Pinus taeda* L. de 27 anos de idade em Cambará do Sul - RS. **Ciência Florestal** v. 23, p. 321-332, 2013.

SHIMIZU, J. Y. (Ed.). **Pinus na silvicultura brasileira**. Colombo: Embrapa Florestas, 2008. 223 p.

SILVA, I. R. et al. Responses of eucalypt species to aluminum: the possible involvement of low molecular weight organic acids in the Al tolerance mechanism. **Tree Physiology**. v.24 p. 1267–1277. 2004.

SILVA, J. C.; COELHO, L. Calcário e silicato aplicados em eucalipto: efeito no solo e na planta. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 26, n. 6, p. 919-924, 2010.

SILVEIRA, R. L. V. A. et al. Sintomas de deficiência de macronutrientes e de boro em clones híbridos de *Eucalyptus grandis* com *Eucalyptus urophylla*. **CERNE**, v. 8, n.2, p.107-116, 2002.

SIMONETE, M. A. et al. Fornecimento de cálcio para plantas de *Eucalyptus saligna* por meio de aplicação de resíduo industrial lama de cal. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, n. 5, p. 1343-1351, 2013.

SBCS/NEPAR - SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO. NÚCLEO ESTADUAL PARANÁ. **Manual de Adubação e Calagem para o Estado do Paraná**. 1ª. ed. SBCS/NEPAR, 2017. 482 p.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. Brasília: Embrapa, 2002. 416 p.

TEDESCO, M. J. et al. **Análises de solo, planta e outros materiais**. 2ed. rev. e ampl. Porto Alegre: departamento de solos, UFRGS, 1995. 174 p.

VALE, et al. Root growth of forest species in acid soil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.31 p. 609–616. 1996.

VARGAS G; MARQUES R. Crescimento e nutrição de angico e canafístula sob calagem e gessagem. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 24, 2017.

VARGAS, O. T. **Formas de carbono e macronutrientes do solo em florestas de *Pinus* em primeira e terceira rotação no planalto sul catarinense**. 2012. Tese de Doutorado. UDESC/CAV, Lages, SC. 2012.

VIEIRA, C. R.; WEBER, O. L. S. Fertilização mineral e calagem no crescimento de mudas de *Eucalyptus camaldulensis*. **Ecologia e Nutrição Florestal**, Santa Maria-RS, v.5, n.2, p.45-52, 2017.

VIERA, M; SCHUMACHER, M. V. Concentração e retranslocação de nutrientes em acículas de *Pinus taeda* L.. **Ciência Florestal** (UFSM. Impresso), v. 19, p. 375-382, 2009.

VOGEL, H. L. M. Crescimento inicial de *Pinus taeda* L. relacionado a doses de N, P e K, e sua diagnose nutricional pelo Dris. **Ciência Florestal**, v. 13, n. 1, p. 182 – 183, 2003.

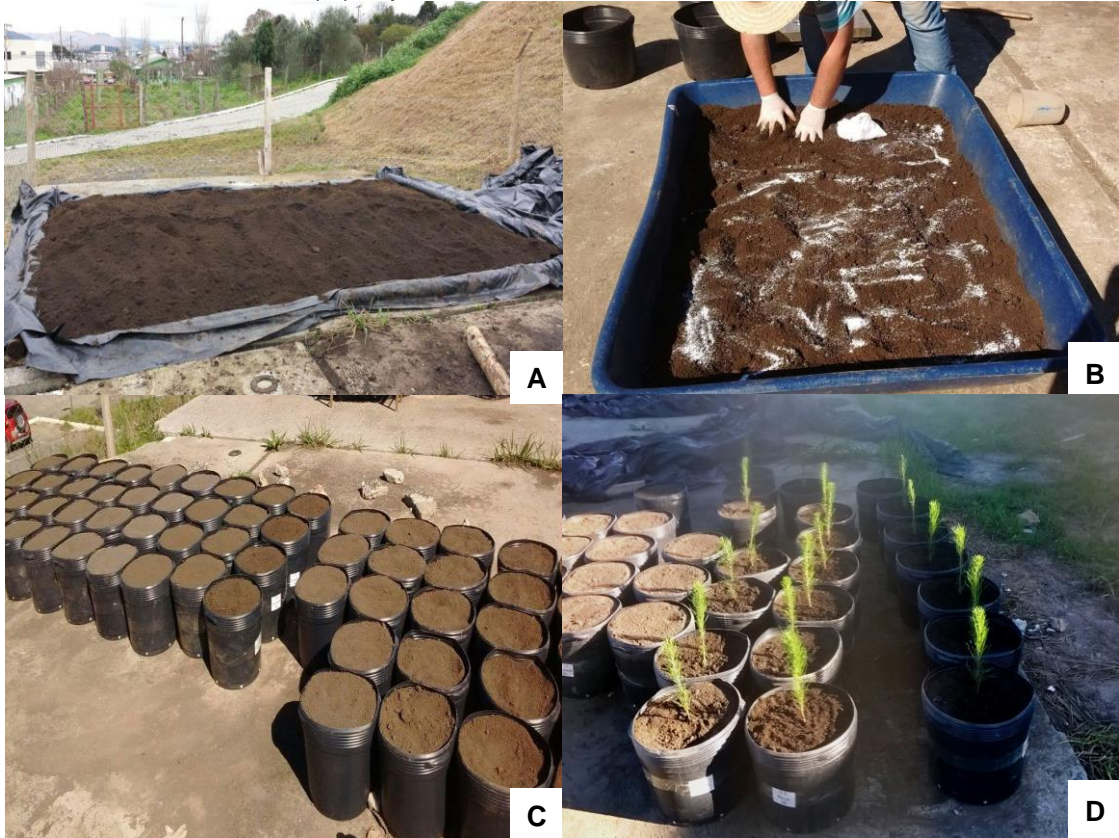
WITSCHORECK, R; SCHUMACHER, M. V. Alocação de nutrientes em povoamentos de *Eucalyptus saligna* sm. na região de Guaíba - Rio Grande do Sul. **Cerne**. v. 21 n. 4 p. 625-632, 2015.

WREGGE, M. S. et al. (Editores técnicos) **Atlas climático da Região Sul do Brasil: Estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado; Colombo: Embrapa Florestas, v.1. 2011. 332 p.

ZHANG, W. XU, F. ZWIAZEK, J. J. Responses of jack pine (*Pinus banksiana*) seedlings to root zone pH and calcium. **Environmental and Experimental Botany**, 111, p. 32–41, 2015.

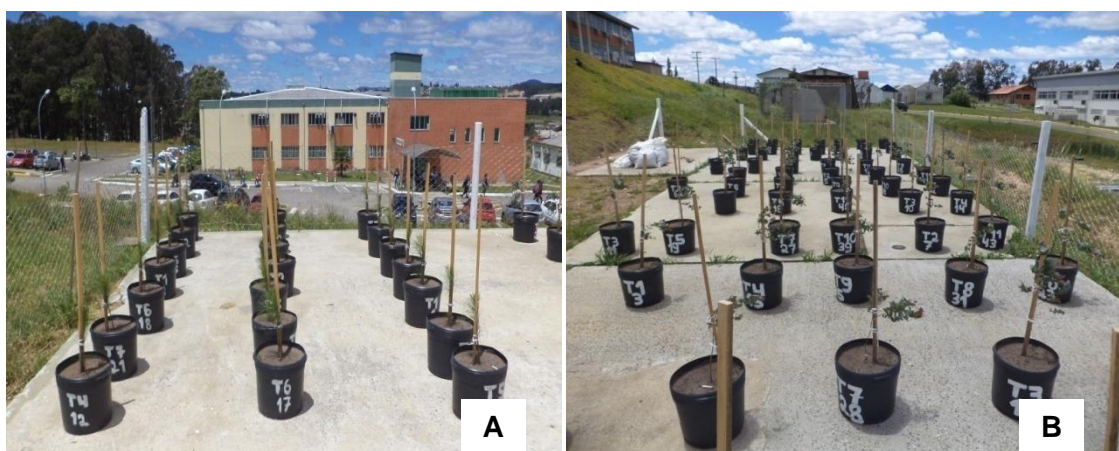
APÊNDICES

APÊNDICE A – Implantação do experimento: Cambissolo Húmico após ser peneirada (A), aplicação dos tratamentos (B), vaso preenchido com 20 kg de solo (C) e plantio das mudas nos vasos (D).



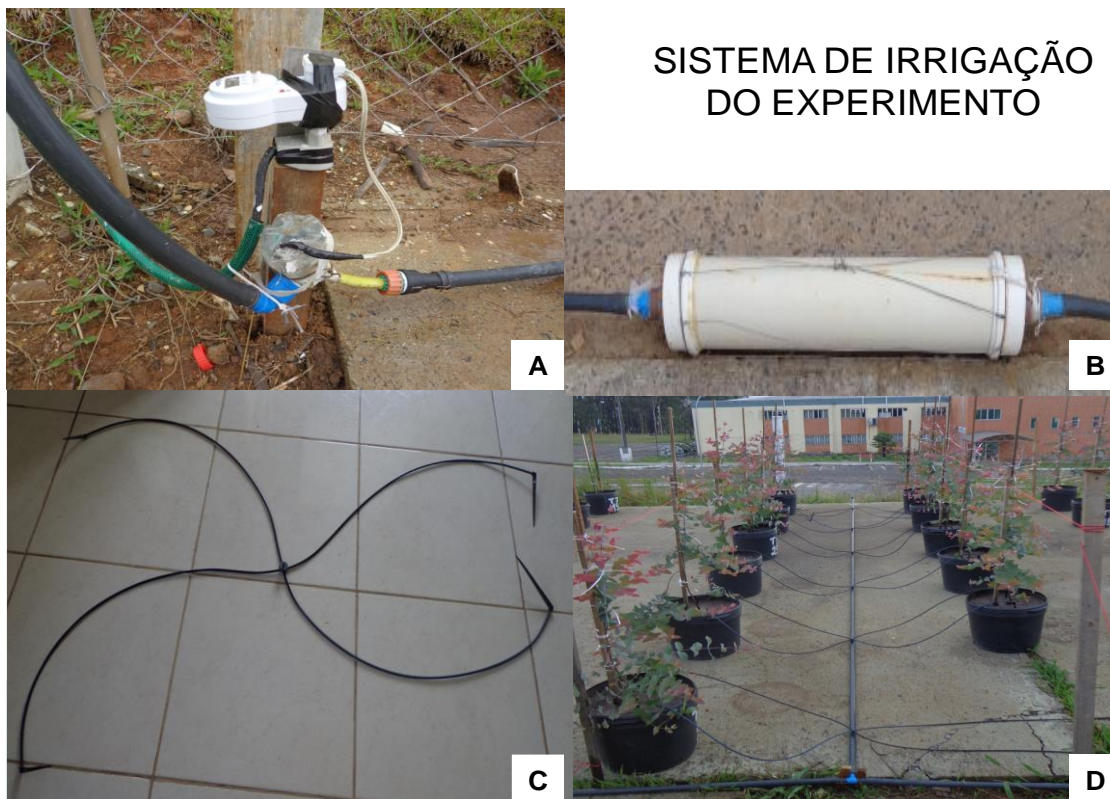
Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

APÊNDICE B – Mudas de *Pinus taeda* (A) e *Eucalyptus benthamii* (B), com tutores, 50 dias após o plantio.



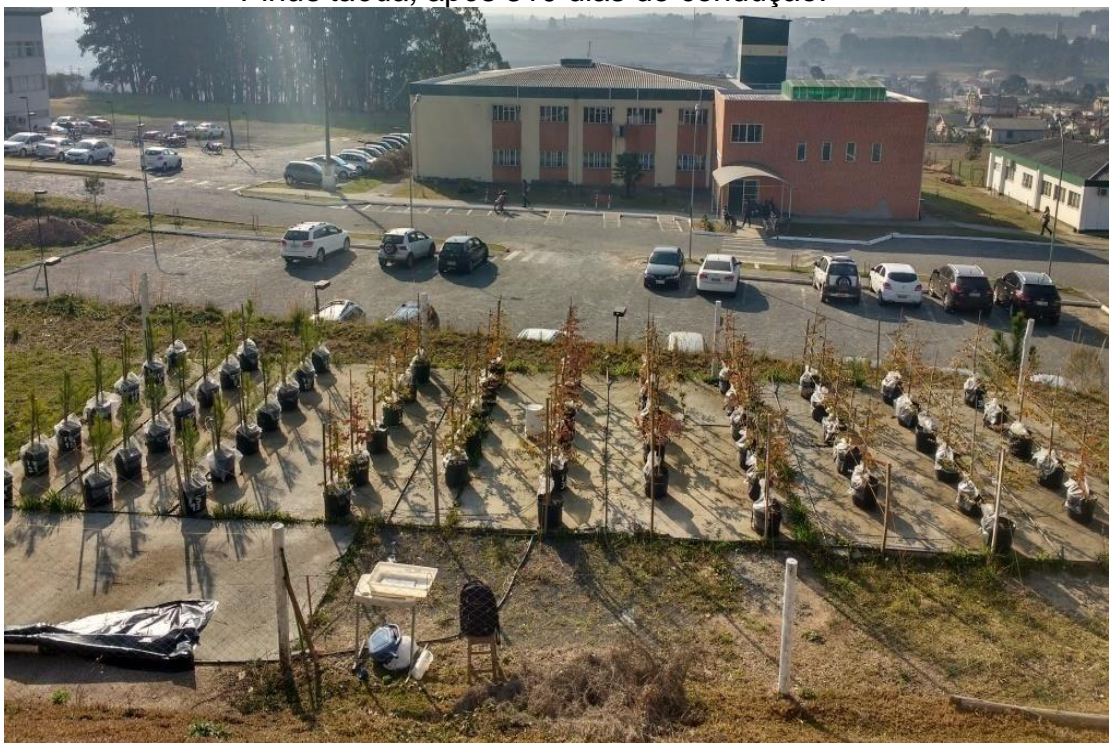
Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

APÊNDICE C – Sistema de irrigação; timer e válvula solenóide (A), abrandador com resina catiônica (B), estacas gotejadoras (C), sistema de irrigação montado (D).



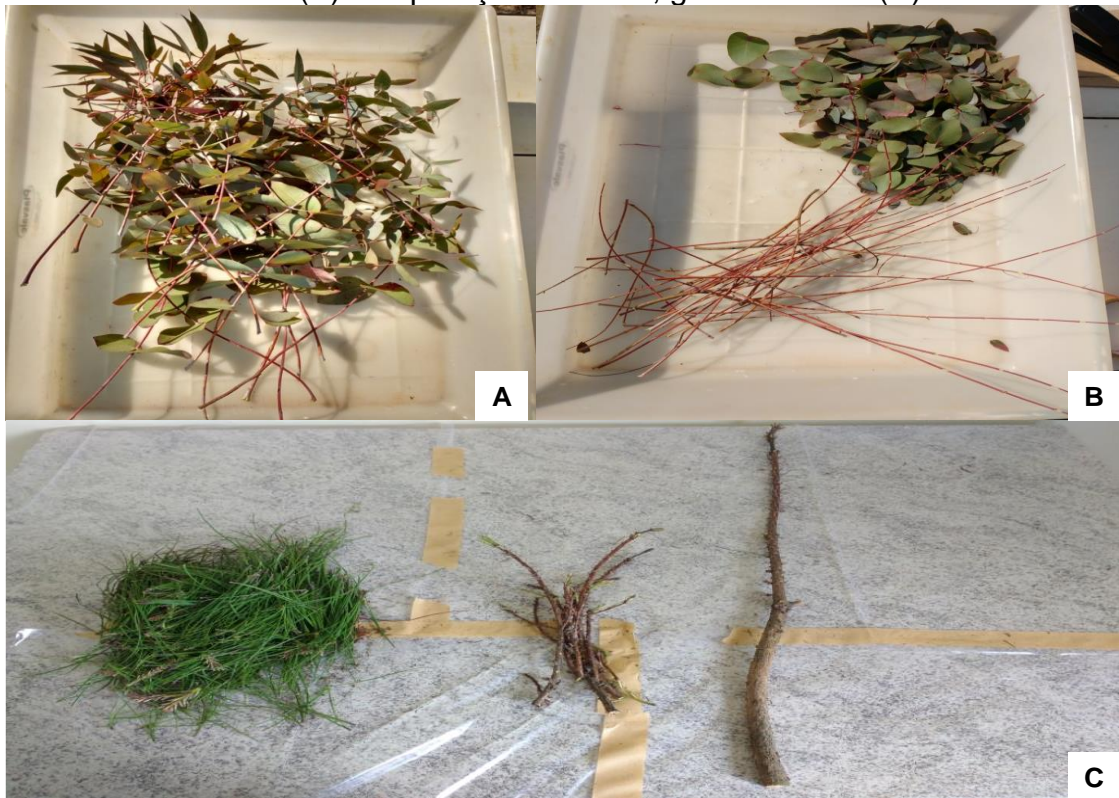
Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

APÊNDICE D – Visão geral do experimento com mudas de *Eucalyptus benthamii* e *Pinus taeda*, após 310 dias de condução.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

APÊNDICE E – Colheita da parte aérea: galhos e folhas (A), separação dos galhos e folhas (B) e separação acículas, galhos e fuste (C).



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

APÊNDICE F – Colheita do sistema radicular: retirada da massa de solo e raízes do vaso (A), desestruturação do solo (B) separação manual do sistema radicular (C) e sistema radicular após lavagem (D).



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

APÊNDICE G – Experimento de mudas de *Pinus taeda* aos 370 dias após o plantio.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.