

LUCIANA PATRICIA ROSA DIAS

**FÓSFORO E BORO NA ADUBAÇÃO DE *Eucalyptus dunnii* E
Eucalyptus benthamii EM SOLOS DO PLANALTO SUL
CATARINENSE**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciências Agrárias da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para a obtenção do grau de Doutor em Ciência do Solo.

Orientador: Dr. Luciano Colpo
Gatiboni

Co-orientador: Dr. Paulo Cezar Cassol

LAGES, SC
2016

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

Rosa Dias, Luciana Patricia
Fósforo e boro na adubação de *Eucalyptus dunnii* e
Eucalyptus benthamii em solos do planalto sul
catarinense / Luciana Patricia Rosa Dias. Lages -
2016.
158 p.

Orientador: Luciano Colpo Gatiboni
Co-orientador: Paulo Cezar Cassol
Tese (Doutorado) - Universidade do Estado de
Santa Catarina, Centro de Ciências
Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em
Ciência do Solo, Lages, 2016.

1. Boro. 2. Fosfato natural. 3. Fosfato solúvel.
4. Crescimento. 5. Raizes. I. Colpo Gatiboni,
Luciano. 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.

LUCIANA PATRICIA ROSA DIAS

**FÓSFORO E BORO NA ADUBAÇÃO DE *Eucalyptus dunnii* E
Eucalyptus benthamii EM SOLOS DO PLANALTO SUL
CATARINENSE.**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciências Agrárias da universidade do Estado de Santa Catarina como requisito parcial para obtenção do grau de Doutor em Ciência do Solo

Banca Examinadora:

Orientado/presidente:

Dr. Luciano Colpo Gatiboni
(UDESC - Lages - SC)

Membro externo:

Dr. Gustavo Brunetto
(UFSM – Santa Maria - RS)

Membro externo:

Dra. Mireli Moura Pitz Floriani
(KLABIN – Otacílio Costa - SC)

Membro interno:

Dr. Álvaro Luiz Mafra
(UDESC – Lages - SC)

Membro externo:

Dr. Luiz Paulo Rauber
(UNOESC – Campos Novos – SC)

Lages, SC 18 março de 2016.

*Dedico às minhas filhas
LARYSSA DIAS MEIMBERG e
LAÍS DIAS ROVEDA*

*Ofereço aos meus pais JOÃO
MARIA DIAS e LÚCIA
APARECIDA ROSA DIAS.*

AGRADECIMENTOS

Meu muito obrigado à DEUS pelo dom da vida e pela companhia e proteção durante estes anos de caminhada, por estar sempre segurando minha mão e guiando meus passos.

Aos meus pais por acreditar no meu progresso profissional e por todo amor e carinho dedicado a mim e às minhas filhas suprindo meus momentos de ausência com elas.

Agradeço minhas filhas, meus maiores tesouros, por estarem ao meu lado, me amando e admirando, mesmo quando o estresse do dia-a-dia foi maior que a paciência materna.

Aos familiares que estiveram ao meu lado se alegrando com minhas conquistas e me estimulando a continuar.

Ao professor Dr. Luciano Colpo Gatiboni, grande mestre, pela oportunidade do doutorado, pela orientação, amizade, auxílio, ética e compreensão no decorrer do curso.

Aos mestres Dr. Paulo Roberto Ernani e Dr. Paulo Cezar Cassol pela co-orientação, ensinamentos e amizade.

Aos professores Dr. Gustavo Brunetto, Dra. Mirele Moura Pitz Floriani, Dr. Luiz Paulo Rauber e Dr. Álvaro Luiz Mafra pela participação na banca de avaliação e acompanhamento no decorrer do curso.

Ao corpo docente do Programa de Pós-graduação em Ciências Agrárias e aos funcionários do Centro de Ciências Agroveterinárias pelo profissionalismo, atenção e amizade.

Aos professores Adelar Mantovani, Cassandro do Amarante e Mari Lúcia Campos pela disponibilidade de equipamentos necessários à realização da pesquisa.

Agradeço a todos os companheiros (as) de jornada pelas risadas, horas de estudos, sonhos compartilhados e amizade em especial aos amigos (as)/irmãos (ãs) Jéssica Kaseker, Alessandra Sá, Muriá Mussi, Letícia Moro, Daniel Dall'Orso -

letta, Djalma Schimtt e Wagner Sacomori.

Agradeço também a Paula Iaschitzki, Ariane Andreola, Bruna Arruda e Gisele Nuernberg que foram essências na realização dos experimentos e análises.

À UDESC pelo ensino de qualidade.

À Capes e ao Cnpq pela concessão da bolsa e incentivo à pesquisa científica.

À Klabin pelo incentivo e profissionalismo na condução dos experimentos.

Enfim, agradeço a todos que estiveram presente neste percurso e que de alguma forma foram essenciais para a formação da minha identidade profissional, crescimento pessoal e obtenção desse título.

“Todos os dias Deus nos dá um momento em que é possível mudar tudo que nos deixa infelizes. O instante mágico é o momento em que um ‘sim’ ou um ‘não’ pode mudar toda a nossa existência”.

Paulo Coelho

RESUMO

DIAS, Luciana Patrícia Rosa. **Fósforo e boro na adubação de *Eucalyptus dunnii* e *Eucalyptus benthamii* em solos do Planalto Sul Catarinense.** 2016. 158f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo - Área: Fertilidade e Nutrição de Plantas) - Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-graduação em Ciências Agrárias, Lages, 2016.

No Sul do Brasil o setor florestal está em pleno crescimento e necessita informações sobre respostas das espécies de eucalipto indicadas para cultivo em regiões mais frias, como o caso do *Eucalyptus dunnii* e *Eucalyptus benthamii* à adubação. Geralmente as recomendações para a adubação utilizadas para essas espécies são oriundas de regiões tropicais, onde as características de solo, clima e espécies cultivadas são diferentes. Este trabalho objetivou: (a) avaliar a ocorrência de seca-de-ponteiros em *Eucalyptus benthamii* submetido às doses de boro e regimes hídricos; (b) determinar, durante cinco anos, a resposta de *Eucalyptus dunnii* e *Eucalyptus benthamii* a doses de fosfatos solúveis, associados ou não a uma dose única de fosfato natural e (c) avaliar o crescimento e as características morfológicas do sistema radicular de *Eucalyptus dunnii* com o uso de fosfato solúvel e natural. Para tanto, foram realizados três estudos. No primeiro estudo, realizado em casa-de-vegetação, foram usadas mudas de *Eucalyptus benthamii* arranjadas em delineamento experimental inteiramente casualizado, em esquema fatorial 4 x 3 testando quatro doses de boro e três regimes hídricos (60, 80 e 100% da capacidade de campo). Foram mensurados o diâmetro e a altura das plantas, realizada análise visual da ocorrência de seca-de-ponteiros e determinada a massa seca de folhas, caule, ramos e raízes e os teores de boro no tecido e no solo. O *Eucalyptus benthamii* apresentou maior ocorrência de dano visual de seca-

de-ponteiros nas plantas sem adição de boro e em regime hídrico restritivo, mas a aplicação da menor dose de boro foi suficiente para evitar a seca-de-ponteiros. O segundo estudo foi composto por dois experimentos conduzidos no campo durante cinco anos, um com *Eucalyptus benthamii* e outro com *Eucalyptus dunnii*. O delineamento experimental foi de blocos casualizados com parcelas subdivididas, com três repetições. Na parcela principal, testou-se a presença ou ausência do fosfato natural (Bayovar) e nas subparcelas testaram-se as doses de fosfato solúvel (superfosfato triplo). Foram realizadas medidas de diâmetro e altura anualmente. O *Eucalyptus dunnii* foi mais responsivo que o *Eucalyptus benthamii* ao fósforo, necessitando doses maiores e na forma solúvel, enquanto o segundo pode ter parte do fertilizante fosfatado substituído por fosfato natural. Também foi constatado que doses maiores de fósforo na implantação permitiram melhor crescimento das plantas a partir do terceiro ano de idade. O terceiro estudo consistiu na coleta de raízes no experimento de campo com *Eucalyptus dunnii*, em quatro tratamentos (testemunha sem fósforo, adubação com fosfato natural, adubação com fosfato solúvel e junção do fosfato natural mais fosfato solúvel). As amostras foram coletas em três distâncias a partir do fuste e em duas profundidades. As raízes foram separadas em duas classes de diâmetro e foram caracterizadas a massa seca de raízes, raio, comprimento, volume e área radicular. O fosfato solúvel foi a fonte que proporcionou melhor crescimento e desenvolvimento de raízes finas no *Eucalyptus dunnii*, sendo que a maior concentração dessas raízes foi localizada próximo ao fuste e na camada mais superficial do solo.

Palavras chave: boro, fosfato natural, fosfato solúvel, eucalipto, raízes.

ABSTRACT

DIAS, Luciana Patrícia Rosa. **Phosphorus and boron in fertilizer *Eucalyptus dunnii* and *Eucalyptus benthamii* in Planalto Sul Catarinense soils.** 2016. 158f. Thesis (PhD in Soil - Area: Fertility and Plant Nutrition) - University of the State of Santa Catarina. Graduate Program in Agricultural Sciences, Lages, 2016.

In southern Brazil the forest sector is growing and it is needed research about the responses of *Eucalyptus dunnii* and *Eucalyptus benthamii* to fertilization in this subtropical colder region. Generally, the recommendations for fertilization used for these species are the same from tropical regions, where the soil characteristics, climate and cultivated species are different. This study aimed to: (a) evaluate the occurrence of dieback in *Eucalyptus benthamii* with boron rates and water regimes; (b) determine, during five years, the response of *Eucalyptus dunnii* and *Eucalyptus benthamii* to rates of soluble phosphate, associated or not with a single rate of rock phosphate and (c) to evaluate the growth and morphological characteristics of the root system of *Eucalyptus dunnii* with the use of soluble and rock phosphate. Therefore, it was carried out three studies. In the first study, conducted in a greenhouse, *Eucalyptus benthamii* seedlings were arranged in a completely randomized design in a factorial 4 x 3 testing four rates of boron and three water regimes (60, 80 and 100% of field capacity). Diameter, and plant height were measured, it were determined the dry mass of leaves, stem, branches and roots and it was estimated the occurrence of dieback by visual analysis. The boron content in the tissue and the soil were analyzed. It occurred more visual damage by dieback in plants without boron addition and with restrictive water regime, but the application of a low boron rate was sufficient to prevent dieback. The second study consisted

of two experiments conducted in the field for five years, one with *Eucalyptus benthamii* and another with *Eucalyptus dunnii*. The experimental design was a randomized block with split plot design and three replications. In the main plot it was tested the presence or absence of the rock phosphate (Bayovar) and the subplots it were tested soluble phosphate rates (as triple superphosphate). Diameter and height measurements were performed annually. The *Eucalyptus dunnii* presented higher phosphorus demand than the *Eucalyptus benthamii*, requiring higher rates and in soluble form, while for *Eucalyptus benthamii* part of soluble phosphate can be substituted for rock phosphate. It was also found that higher rates of phosphorus during planting allow better plant growth after third year of forest. The third study consisted of sampling of roots in a field experiment with *Eucalyptus dunnii*, in four treatments (control without phosphorus fertilization, with use of rock phosphate fertilizer, with use of soluble phosphate, and with use of both). Samples were collected at three distances from the shaft and at two depths. The roots were separated into two diameter classes and were characterized the dry root mass, radius, length, volume and root area. The soluble phosphate was the source that promoted better growth and development of fine roots in *Eucalyptus dunnii* and the highest concentration of these roots were located near the shaft and in the most superficial layer of soil.

Keywords: boron, natural phosphate, soluble phosphate, *Eucalyptus* roots.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

CAPÍTULO I

Figura 1 -	Gabarito para a atribuição de notas da análise visual de <i>Eucalyptus benthamii</i> submetido às doses de boro e regimes hídricos. a) – plantas sem danos (nota 1); b) - plantas com 10% de danos (nota 3) e c) – plantas com 20% de danos (nota 5).....	63
Figura 2 -	Massa seca de folhas (MSF), massa seca de caule e ramos (MSCR), massa seca de raiz (MSR) (a); massa seca de parte aérea (MSPA) e massa seca total (MST) (b) de <i>Eucalyptus benthamii</i> submetido às doses de boro e aos regimes hídricos.....	65
Figura 3 -	Altura e diâmetro do colo de <i>Eucalyptus benthamii</i> submetido às doses de boro e aos regimes hídricos.....	66
Figura 4 -	Teores de B em folhas (BF), caule e ramos (BCR) e raízes (BR) (a) e no solo (b) de <i>Eucalyptus benthamii</i> submetidos às doses de boro e aos regimes hídricos.....	68

CAPÍTULO II

Figura 1 -	Volume cilíndrico de madeira com casca ($m^3 \text{ ha}^{-1}$) de <i>Eucalyptus dunnii</i> com (a) 1, (b) 2, (c) 3, (d) 4 e (e) 5 anos, submetidos às fontes e doses de fósforo.....	84
-------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

Figura 2 -	Teor foliar de cálcio (Ca) e fósforo (P) do <i>Eucalyptus dunnii</i> submetido às fontes e doses de fósforo.....	88
Figura 3 -	Volume cilíndrico de madeira com casca ($m^3 ha^{-1}$) de <i>Eucalyptus benthamii</i> com (a) 1, (b) 2, (c) 3, (d) 4 e (e) 5 anos, submetido às fontes e doses de fósforo.....	93
Figura 4 -	Teor foliar de fósforo (P) do <i>Eucalyptus benthamii</i> submetidos às fontes e doses de fósforo.....	96
Figura 5 -	Média total do volume de madeira com casca (VT), incremento corrente anual (ICA=volume anual – volume do ano anterior) e incremento médio anual (IMA=volume anual/idade do povoamento) para <i>Eucalyptus benthamii</i> (a) e <i>Eucalyptus dunnii</i> (b) submetidos às fontes e doses de fósforo.....	100

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO I

Tabela 1 - Média geral da avaliação visual de dano em <i>Eucalyptus benthamii</i> submetido às doses de boro e aos regimes hídricos em condições de casa de vegetação aos 110 dias de condução.....	67
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

CAPÍTULO II

Tabela 1 - Características químicas médias das camadas de 0,00 – 0,20 m do Cambissolo Húmico alumínico léptico da área experimental.....	82
Tabela 2 - Faixas de teores de macronutrientes na massa seca de folhas (MSF) de <i>Eucalyptus dunnii</i> em junho de 2012 e teores foliares considerados adequados para <i>Eucalyptus</i> (plantas adultas).....	89
Tabela 3 - Volume cilíndrico de madeira com casca ($m^3 \ ha^{-1}$) de <i>Eucalyptus benthamii</i> submetidos às fontes e doses de fósforo.....	91
Tabela 4 - Faixas de teores de macronutrientes na massa seca de folhas (MSF) de <i>Eucalyptus benthamii</i> em junho de 2012 e teores foliares considerados adequados para <i>Eucalyptus</i> (plantas adultas).....	96

CAPÍTULO III

Tabela 1 -	Massa seca de raízes finas (< 2 mm) de <i>Eucalyptus dunnii</i> submetido às fontes de fósforo em diferentes distâncias do fuste e profundidade do solo.....	112
Tabela 2 -	Massa seca de raízes 2-5 mm de <i>Eucalyptus dunnii</i> submetido às fontes de fósforo em diferentes distâncias do fuste e profundidade do solo.....	113
Tabela 3 -	Massa seca total de raízes de <i>Eucalyptus dunnii</i> submetido às fontes de fósforo em diferentes distâncias do fuste e profundidade do solo.....	114
Tabela 4 -	Área radicular de <i>Eucalyptus dunnii</i> submetido às fontes de fósforo em diferentes distâncias do fuste e profundidade do solo.....	117
Tabela 5 -	Volume radicular de <i>Eucalyptus dunnii</i> submetido às fontes de fósforo em diferentes distâncias do fuste e profundidade do solo.....	118
Tabela 6 -	Raio radicular de <i>Eucalyptus dunnii</i> submetido às fontes de fósforo em diferentes distâncias do fuste e profundidade do solo.....	119
Tabela 7 -	Comprimento radicular de <i>Eucalyptus dunnii</i> submetido às fontes de fósforo em diferentes distâncias do fuste e profundidade do solo.....	120
Tabela 8 -	Teores de fósforo no solo extraídos pelos métodos de resina trocadora de ânions (RTA) em solos cultivados com <i>Eucalyptus dunnii</i> submetido às fontes de fósforo em diferentes distâncias do fuste	

Tabela 9 -	e profundidade do solo.....	121
	Correlação simples de Pearson entre o teor de fósforo (P solo) e distância do fuste (DF), profundidade de coleta (PROFC), massa seca <2 mm (MS<2), massa seca 2-5 mm (MS2-5), massa seca total (MST), área, volume, raio e comprimento radicular em <i>Eucalyptus dunnii</i>	122

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1 -	Ocorrência de seca-de-ponteiros detectado por análise visual em <i>Eucalyptus benthamii</i> submetido às doses de boro e regimes hídricos.....	147
Anexo 2 -	Aplicação das fontes de fósforo na implantação dos experimentos com <i>Eucalyptus dunnii</i> e <i>Eucalyptus benthamii</i> no campo. A) plantio das mudas; b) covas; c) adubação com fosfato natural; d) adubação com fosfato solúvel.....	148
Anexo 3 -	Altura do <i>Eucalyptus dunnii</i> com (a) 1 ano, (b) 2 anos e (c) 3 anos, submetidos às fontes e doses de fósforo.....	149
Anexo 4 -	Diâmetro do <i>Eucalyptus dunnii</i> com (a) 2 anos, (b) 3 anos, (c) 4 anos e (d) 5 anos, submetidos às fontes e doses de fósforo.....	151
Anexo 5 -	Altura do <i>Eucalyptus benthamii</i> com (a) 1 ano, (b) 2 anos, (c) 3 anos, (d) 4 anos, submetidos às fontes e doses de fósforo.....	153
Anexo 6 -	Diâmetro do <i>Eucalyptus benthamii</i> com (a) 1 ano, (b) 2 anos, (c) 3 anos, (d) 4 anos, (e) 5 anos, submetidos às fontes e doses de fósforo.....	155

Anexo 7 -	Coleta de raízes no experimento com <i>Eucalyptus dunnii</i> no campo com a utilização de sonda. A) preparação da sonda; b) introdução da sonda; c) retirada da sonda; d) armazenamento do tubo coletor.....	158
------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL.....	39
2	HIPÓTESES.....	41
3	OBJETIVOS.....	42
3.1	Objetivo geral.....	42
3.2	Objetivos específicos.....	42
4	REFERENCIAL TEÓRICO.....	43
4.1	<i>Eucalyptus</i>	43
4.1.1	<i>Eucalyptus dunnii</i> Maiden.....	44
4.1.2	<i>Eucalyptus benthamii</i> Maiden et Cambage.....	45
4.2	Fertilidade nos solos florestais com ênfase em boro e fósforo.....	46
4.2.1	Adubação com boro.....	47
4.2.2	Adubação com fósforo.....	49
4.3	Sistema radicular do eucalipto em relação ao fósforo.....	53
5	CAPÍTULO I – SECA-DE-PONTEIROS EM <i>Eucalyptus benthamii</i> CULTIVADO EM SOLO COM ADIÇÃO DE BORO E REGIMES HÍDRICOS.....	57
5.1	Resumo.....	57
5.2	Introdução.....	58
5.3	Material e métodos.....	60
5.4	Resultados.....	64
5.5	Discussão.....	69
5.6	Conclusões.....	72
6	CAPÍTULO II – CRESCIMENTO DE <i>Eucalyptus benthamii</i> E <i>Eucalyptus dunnii</i> DURANTE CINCO ANOS COM USO DE	

DOSES E FONTES DE FÓSFORO.....	75
6.1 Resumo.....	75
6.2 Introdução.....	76
6.3 Material e métodos.....	78
6.4 Resultados e discussão.....	83
6.4.1 <i>Eucalyptus dunnii</i>	83
6.4.2 <i>Eucalyptus benthamii</i>	90
6.4.3 Relação entre as espécies.....	98
6.5 Conclusões.....	101
7 CAPÍTULO III – DISTRIBUIÇÃO E MORFOLOGIA DO SISTEMA RADICULAR DE <i>Eucalyptus dunnii</i> EM RESPOSTA À APLICAÇÃO DE FÓSFORO.....	103
7.1 Resumo.....	103
7.2 Introdução.....	104
7.3 Material e métodos.....	107
7.4 Resultados.....	110
7.5 Discussão.....	123
7.6 Conclusões.....	125
8 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	127
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	131
ANEXOS.....	147

1 INTRODUÇÃO GERAL

A região Sul do Brasil está em destaque nacional na área florestal por concentrar grandes áreas reflorestadas com *Pinus sp.* e *Eucalyptus sp.* para a produção de celulose e subprodutos.

O Planalto Sul Catarinense está localizado na região subtropical do país (clima Cfb), com temperaturas médias anuais de 16 a 18 °C com invernos rigorosos e alta ocorrência de geadas e precipitação esporádica de neve. Nesta região são produzidos o *Eucalyptus dunnii* e *Eucalyptus benthamii*, que são espécies tolerantes e/ou adaptadas a estas características climáticas.

As espécies e genótipos de eucalipto podem apresentar exigências nutricionais diferenciadas em relação ao seu crescimento e este comportamento pode ser distinto de acordo com a região onde são produzidas. Com base nestas informações e o conhecimento nutricional das espécies, se faz necessário avaliar o potencial de resposta das mesmas à adubação.

O eucalipto apresenta boas respostas à adubação com boro (B) e fósforo (P - fontes solúveis e naturais) no Cambissolo Húmico, onde são observados incrementos na produtividade quando estes nutrientes são utilizados, porém a eficiência ainda não está claramente definida para estes solos.

Os solos do Planalto Sul Catarinense são ricos em matéria orgânica. Em princípio seria suficiente para se inferir que os solos da região são auto-suficientes em B e dispensariam a adubação. Contudo, a possível ocorrência de déficit hídrico na região (prejudicando a mineralização da matéria orgânica e o influxo de B na planta), principalmente no início do verão, deixando em dúvida se o solo nestas condições climáticas consegue suprir sua demanda inicial, já que esta é a época de maior crescimento anual (pois o plantio na região

inicia em outubro e segue até fevereiro) e de requerimento do micronutriente.

As respostas à adubação fosfatada são positivas, principalmente na fase de implantação do reflorestamento e podem continuar agregando em produtividade ao longo do tempo, atuando também na morfologia radicular das plantas, promovendo melhor desenvolvimento morfológico do sistema radicular, principalmente de raízes finas de absorção (< 2 mm).

Como a quantidade de informações locais são reduzidas, é comum nos plantios de eucalipto sul-brasileiros serem utilizados pacotes tecnológicos desenvolvidos no Brasil tropical, o que ocasiona dúvidas na forma e aplicação da adubação e na respostas das espécies produzidas nesta região.

Neste sentido, este trabalho teve como objetivos: (a) avaliar a ocorrência de seca-de-ponteiros em *Eucalyptus benthamii* submetido a doses de B e regimes hídricos; (b) determinar, durante cinco anos, a resposta dos *Eucalyptus dunnii* e *Eucalyptus benthamii* a doses de fosfatos solúveis, associados ou não a uma dose única de fosfato natural e (c) avaliar o crescimento e as características morfológicas do sistema radicular de *Eucalyptus dunnii* com o uso de fosfato solúvel e natural.

2 HIPÓTESES

- A adubação com B sob condições de déficit hídrico afeta o crescimento e aumenta a ocorrência da seca-de-ponteiros do *Eucalyptus benthamii* na fase inicial de desenvolvimento.
- O uso de fosfato natural, como complemento à adubação solúvel, em nível de campo, é uma estratégia viável para reduzir o custo com fertilizantes na implantação de *Eucalyptus dunnii* e *Eucalyptus benthamii* na região do Planalto Sul Catarinense.
- O uso de fosfato solúvel em relação ao fosfato natural proporciona maior crescimento do sistema radicular próximo às plantas por causa da maior disponibilização de P no solo.

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

Gerar conhecimento para melhorar a recomendação da adubação com B e P de espécies de eucalipto cultivadas no Planalto Sul Catarinense.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar a ocorrência de seca-de-ponteiros por decorrência das doses de B em regime hídrico restritivo.
- Avaliar por um período de 5 anos o crescimento de *Eucalyptus dunnii* e *Eucalyptus benthamii* em resposta a doses de fosfato solúvel associado ou não ao uso de fosfato natural.
- Avaliar o efeito da adubação fosfatada (fontes natural e solúvel) sobre o crescimento do sistema radicular de *Eucalyptus dunnii*.

4 REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 *Eucalyptus*

Pertencente à família das Mirtáceas e originário da Austrália, é difícil precisar quando o eucalipto foi implantado no Brasil. Relatos históricos datam entre 1824 a 1870 à constatação das primeiras árvores, ocorrendo no Rio Grande do Sul, Rio de Janeiro e em São Paulo (Mora e Garcia, 2000).

A sistematização da silvicultura ocorreu através da Companhia Paulista de Estradas de Ferro (utilização do eucalipto para produção de carvão e fabricação de ferro-guzza) e pelo Dr. Edmundo Navarro de Andrade (1904), que através de vários estudos experimentais, sustentou à implantação e cultivo do eucalipto em grande escala. Foi nesta época que os estudos sobre a cultura tiveram início em vários estados brasileiros. A partir do século XX passou a ser a espécie florestal mais plantada no mundo (Mora e Garcia, 2000).

O Brasil é destaque no cenário mundial, sendo um dos maiores produtores de celulose e carvão vegetal derivado do eucalipto. Mas o eucalipto também é uma árvore produtora de madeira de boa qualidade e de vários subprodutos (IBÁ, 2015).

Em 2014, a área de florestas plantadas para fins industriais no Brasil atingiu 7,74 milhões de hectares, aumento de 1,8% em relação a 2013, sendo que os plantios de eucalipto ocupam 5,56 milhões de hectares (71,9% do total). No Estado de Santa Catarina são mais de 112 mil hectares reflorestados com eucaliptos (IBÁ, 2015).

Para chegar a altos índices de produtividade comercial as empresas brasileiras e os centros de pesquisas florestais tem priorizado a manutenção de investimentos em pesquisas e desenvolvimento, buscando principalmente a melhoria genética dos plantios e das técnicas de manejo florestal, entre elas a manutenção da fertilidade dos solos florestais.

No Brasil, em termos climáticos, existem basicamente duas regiões de produção distintas, uma tropical e outra subtropical. Santa Catarina está localizada na região subtropical do país, visto que o Planalto Sul Catarinense apresenta área de ocorrência climática do tipo Cfb.

As temperaturas médias registradas são de 16 a 18 °C ao ano. Os invernos são rigorosos apresentando grande ocorrência de geadas e eventuais nevaskas (Pandolfo et al., 2002).

A incidência do frio severo compromete o estabelecimento do eucalipto; a adaptabilidade é uma das características mais importantes da espécie (Assis e Mafia, 2007). Portanto, de acordo com estas ocorrências climáticas, se buscou introduzir espécies de eucalipto que apresentam tolerância e/ou resistência ao frio.

Nestas áreas é indicado o cultivo do *Eucalyptus dunnii*, por apresentar resistência parcial à geadas, rápido crescimento e boa forma das árvores (Higa et al., 1997). Assim, ele é apropriado para plantios em altitudes que variam de 500 a 1000 m acima do nível do mar (Embrapa, 1986). Também se recomenda o *Eucalyptus benthamii*, que segundo Higa et al. (2000) e Assis e Máfia (2007), é uma espécie adequada para plantios em áreas com geadas severas, apresentando boa produtividade, forma de fuste, intensa rebrota e fácil produção de sementes.

4.1.1 *Eucalyptus dunnii* Maiden

Apresenta distribuição natural em pequenas áreas no nordeste de Nova Gales do Sul e no Sudeste de Queensland. Na área de ocorrência natural, a temperatura média anual oscila de 14 a 18 °C, a temperatura máxima do mês mais quente de 24 °C a 29 °C, e a temperatura mínima do mês mais frio de -1 a 7 °C. A temperatura mínima absoluta nessa região varia de -5 a 10

°C, o clima é subtropical úmido ocorrendo de 20 a 60 geadas por ano (Jovanovic e Booth, 2002).

É uma espécie de considerável importância no setor florestal, sendo produzida na Austrália, América Central e do Sul, China, Brasil e Argentina, onde particularmente encontram-se os maiores reflorestamentos dessa espécie (Paludzyszin Filho et al., 2006).

Apresenta resistência parcial as geadas, considerada por Higa et al. (2000) como superior à média. Estes autores sugeriram que é uma espécie adaptada à temperatura local quando produzida em Campo do Tenente (PR), aonde os resultados do experimento conduzido mostrou que geadas severas causaram redução da altura das árvores e níveis variados de danos em todas as plantas do experimento, mas não afetou a sobrevivência das progêniens.

Estes resultados entre outros, evidenciam que se trata de uma espécie resistente a geadas e não tolerante (Higa et al. 2000; Santos et al. 2001).

4.1.2 *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage

Tem distribuição natural no sudoeste da cidade de Sydney em planícies aluviais ao longo do rio Nepean e seus afluentes (Prior, 1981; Kelly, 1982).

A média da temperatura anual oscila de 7 a 13 °C, com média das temperaturas máximas do mês mais quente entre 26 a 30 °C e, média das temperaturas mínimas do mês mais frio de 1 a 3 °C (Jovanovic e Booth, 2002). Nas áreas de distribuição natural, se verifica em média de 4 a 10 geadas por ano na localização Sul, e de 30 a 40 geadas anuais na localização nordeste (Hall e Brooker, 1973).

Na Austrália é uma espécie ameaçada de extinção com interesses voltados principalmente para fins conservacionistas (Benson, 1985).

Na África do Sul, China, Brasil (Paludzyszyn Filho et al., 2006), Chile e Uruguai (Kjaer et al., 2004) apresentam condições favoráveis ao seu desenvolvimento.

No Brasil as primeiras populações de *Eucalyptus benthamii* foram plantadas em 1988 pela Embrapa Florestas, em Colombo (PR) (Graça et al., 1999), e tem sido cultivada comercialmente em Santa Catarina nas regiões de clima mais frio.

Segundo Paludzyszyn Filho et al. (2006), a temperatura mínima absoluta que o *Eucalyptus benthamii* pode suportar é de até -6 °C, podendo apresentar alterações adaptativas, comprovando dessa forma se tratar de uma espécie tolerante á geadas severas.

4.2 Fertilidade nos solos florestais com ênfase em boro e fósforo

Grande parte dos reflorestamentos no Brasil está localizado sobre solos com baixa reserva de nutrientes, acidez elevada e alto teores de alumínio o que confere baixa fertilidade dos solos florestais e relevantes acréscimos em produtividade, quando aplicados fertilizantes minerais e corretivos (Barros et. al., 1990; Faria et al., 2008).

A adubação é uma atividade indispensável e considerada um dos fatores mais importantes para garantir incrementos satisfatórios (Assenheimer, 2009), bem como o estabelecimento de florestas de eucalipto de alta produtividade (Silva et al., 2004).

Dentre os nutrientes essenciais, o B e o P apresentam grande importância na produção florestal e são considerados limitantes para o crescimento das árvores, principalmente na fase de estabelecimento da floresta (Malavolta e Kliemann, 1985; Graciano et al., 2006).

Compreender como os recursos de crescimento da floresta, principalmente o aproveitamento da água e de

nutrientes, possibilitam a aplicação de técnicas de manejo mais adequados, resultando em incrementos positivos no desenvolvimento do plantio (Chaves et al., 2004).

4.2.1 Adubação com boro

A intensificação da silvicultura clonal e o plantio de materiais genéticos mais produtivos e exigentes nutricionalmente, têm aumentado o aparecimento de sintomas de deficiência de micronutrientes (Rodrigues et al., 2010), principalmente de B, que, segundo Malavolta e Kliemann (1985), é o micronutriente que apresenta níveis mais limitantes nos solos florestais.

A importância do B nos plantios florestais está associada à qualidade da madeira produzida, porque age no crescimento meristemático, elongação celular e na formação da parede celular, mais especificamente na síntese de pectina e celulose (Marschner, 1995).

Na maioria dos solos brasileiros é comum encontrar solos deficientes em B por causa da baixa fertilidade dos solos intemperizados, que juntamente com condições de déficit hídrico prolongado no período de implantação do reflorestamento, são fatores conjuntos que predispõem sua deficiência para as espécies de eucalipto, apresentando sintomas semelhantes entre as espécies, porém variando na severidade (Malavolta, 1980; Goedert, 1985).

A turmalina é o principal mineral do solo que contém B (95% do conteúdo total do elemento em solos de regiões úmidas), porém é muito resistente ao intemperismo (Malavolta, 1980). O B também pode ser encontrado no bórax (regiões áridas) e em pequenas quantidades em dolomitas e calcários (Malavolta, 1980). No solo, o B ocorre como ácido bórico ou borato e pode ser adsorvido fortemente a frações orgânicas e inorgânicas (Barros e Novais, 1996).

A matéria orgânica é considerada a principal fonte de B no solo, pois a quase totalidade de nutriente absorvida pelas plantas é originado da sua mineralização, sendo o restante, produto da intemperização dos minerais do solo (Malavolta, 1980).

O fato do B disponível no solo encontrar-se principalmente associado à matéria orgânica, implica em maiores concentrações do elemento nos horizontes superficiais, indicando que o mesmo diminui com o aumento da profundidade (Vanderlei et al., 1988).

As primeiras ocorrências de deficiência de B em eucalipto foram relatadas a partir da década de 50 por Vail et al. (1957) e Savory (1962). Esses autores observaram que o primeiro sintoma é a seca-de-ponteiros (“dieback”) e se manifesta na porção apical dos galhos (tecidos meristemáticos), provocando necroses iniciais e posterior morte de todos os ramos da árvore, sendo este evento relatado principalmente durante as estações secas.

Savory (1962) observou ainda que sintomas semelhantes apresentados por florestas de *Pinus* e *Eucalyptus* ocorrem no primeiro ano de plantio e ainda incidem pelo segundo e terceiro anos. Se nesse período a incidência não for muito severa a planta pode se recuperar por causa do maior volume de solo explorado pelo sistema radicular.

Também constatou que estes sintomas eram corrigidos através da aplicação de fertilizantes contendo B. Essa relação foi verificada posteriormente por outros pesquisadores (Savory, 1962; Barret et al., 1975; Tokeshi et al., 1976).

Trabalhando com *Eucalyptus citriodora*, Ramos et al. (2009) observaram que a intensidade dos sintomas de seca-de-ponteiros variou com a aplicação de doses crescentes de B e de umidade do solo, em casa-de-vegetação. A resposta em produtividade ocorreu de forma quadrática com doses crescentes de B e os menores valores na produtividade foram constatados quando da ocorrência de deficiência hídrica.

O déficit hídrico acarreta na diminuição da mineralização da matéria orgânica em razão da baixa atividade dos microorganismos e a absorção de B pelas plantas se encontra estreitamente relacionada à disponibilidade de água no solo (Leite et al., 2010). O transporte de B até as raízes ocorre preferencialmente por fluxo de massa sendo primordial a presença de água no sistema (Malavolta e Kliemann, 1985).

O mecanismo de transporte por difusão atua como mecanismo complementar, de importância relativa maior em solos deficientes do nutriente e em períodos de déficit hídrico (Matiello et al., 2009).

Existem duas formas de aplicação de B, uma através da pulverização foliar (eficiente quando aplicada em tempo hábil, no primeiro ano após o plantio). Porém, são necessárias novas aplicações nos anos posteriores, encarecendo o manejo e dificultando a aplicação devido ao porte da floresta. Outra forma é pela aplicação do adubo no solo, sendo o meio mais barato e de maior possibilidade de utilização em florestas (Vail et al., 1961; Savory, 1962).

Nos solos tropicais brasileiros, a aplicação de B no plantio faz parte do manejo florestal, também nos solos subtropicais esta prática é realizada, porém sem muito embasamento técnico.

Devido ao alto teor de matéria orgânica nestes solos, pressupõe-se que a quantidade do nutriente mineralizado poderia suprir as necessidades das plantas em épocas de regime hídrico normal, descartando assim a necessidade de adubação mineral.

4.2.2 Adubação com fósforo

Por apresentar elevada capacidade de adsorção aos colóides do solo e baixos teores naturais, o P é considerado um dos nutrientes mais limitantes na produção do eucalipto (Barros e Novais, 1996). Por este motivo, referência sobre sua

dinâmica no solo sob florestas tem ocasionado resultados positivos na condução dos plantios.

O eucalipto requer boa disponibilidade de P para atingir picos elevados de produtividade nos plantios comerciais, para tanto, aportes desse nutriente devem ser fornecidos através da adubação.

O P é um macronutriente que compõe a estrutura de macromoléculas como os fosfolipídios de membranas celulares, ésteres de carboidratos e ácidos nucléicos (ácidos desoxirribonucléicos (DNA) e ribonucléicos (RNA), que contém o código genético das plantas) (Taiz e Zeiger, 2013; Silveira e Gava, 2004).

Participa do processo de ativação enzimática e produção de energia (ATP), sendo responsável pela síntese de amido, celulose e sacarose nas plantas, entre outras funções (Taiz e Zeiger, 2013; Silveira e Gava, 2004).

O uso de fosfatos naturais reativos tem sido promissor quando associado com fontes solúveis de P, mostrando ser uma boa alternativa para a adubação fosfatada em virtude da alta demanda inicial da espécie (Novais et al., 1982), e nos reflorestamentos do Planalto Sul Catarinense esta prática vem sendo aplicada.

Por ser uma fonte de P de baixo custo, o uso de fosfato natural em plantios de eucalipto tem se tornado expressivo. Porém, ainda são necessários fundamentos técnicos que evidenciem sua capacidade de fornecimento do nutriente em substituição ao fosfato solúvel, principalmente devido a sua baixa solubilidade em água (Sample et al., 1980).

Os fosfatos naturais são constituídos por minerais do grupo das apatitas e se constituem em concentrados apatíticos obtidos a partir de minérios fosfáticos que podem ou não passar por processos físicos de concentração (lavagem e/ou flotação) para separá-los dos outros minerais das jazidas (Gremillion e McClellam, 1980; Kaminski, 1983). São reconhecidos como

matéria-prima para a fabricação direta de fertilizantes fosfatados.

Os minerais apatíticos são formados sob diferentes regimes geológicos podendo ser ígneos (a fluorapatita é o principal mineral fosfático), sedimentares (que podem ser detriticos, precipitados químicos ou conter quantidades significativas de apatita fóssil) ou metamórficos (intermediária entre as rochas sedimentares e ígneas) (Kaminski, 1990).

Nos minerais apatíticos de origem sedimentar ocorre o predomínio de apatita com alto grau de substituição isomórfica de fosfato por carbonatos (francolitas ou fosforitas) e são oferecidos no mercado de fertilizantes como fosfatos naturais reativos que permitem sua utilização diretamente na produção florestal como fosfato natural (Hammond, 1977), um exemplo é o fosfato natural Bayovar, originário do Perú.

Os fosfatos naturais sedimentares ou “moles” reagem no solo lentamente, porém podem apresentar um efeito residual proveitoso ao longo do tempo, podendo se igualar aos fosfatos solúveis (que perdem o poder pela adsorção aos colóides do solo) (Goepfert, 1975).

Conhecidos pelo fornecimento imediato de P às plantas, os fosfatos solúveis são procedentes dos fosfatos naturais que, após receber tratamento industrial dão origem a este fertilizante que apresenta alta solubilidade em água (Sample et al., 1980), portanto, alta reatividade no solo.

Para a produção direta de fertilizantes o fosfato natural passa por ataque sulfúrico, dando origem ao superfosfato simples, ou ainda indireta, quando sofre ataque sulfúrico para a obtenção do ácido fosfórico e posterior produção de superfosfato triplo ou fosfato de amônio (Kaminski, 1983; Goedert e Souza, 1984).

Os fosfatos solúveis em água reagem com maior intensidade no solo e assim fornecem P em quantidades mais expressivas e eficientes em curto prazo em relação aos fosfatos naturais (Goedert e Souza, 1984; Ramos et al., 2009),

formando um ambiente fértil propício ao melhor desenvolvimento do eucalipto, porém, normalmente possuem elevado custo.

O eucalipto, por ser uma espécie de ciclo longo e com boa adaptação em solos ácidos, teria a disponibilidade de P liberado do fosfato natural durante o desenvolvimento da cultura devido ao efeito residual desta fonte (Novais et al., 1982), o que com o passar do tempo pode ser compatível à aplicação dos fosfatos solúveis (Gatiboni et al., 2003; Chien et al., 2011).

A necessidade inicial do eucalipto por P é alta, o que leva a supor que o fosfato solúvel em água certamente possui maior importância na adubação da cultura quando comparado ao fosfato natural. Pois com o crescimento do sistema radicular, ocorrerá maior exploração do solo, o que coloca em dúvida a utilização do fosfato natural oferecido no plantio como adubação mineral a longo prazo para o eucalipto.

Como a adubação fosfatada é realizada no ano de implantação do povoamento e, geralmente não são feitas adubações complementares com P durante o ciclo vegetativo das plantas (que dura de sete ou mais anos, dependendo da finalidade). Os teores de P natural do solo e os aportados via adubação devem ser suficientes para atender a demanda das plantas em todo o seu ciclo (Dias et al., 2014), sendo mais indicado a oferta de fosfato solúvel em dose maior (até 150 kg ha⁻¹ de P₂O₅) que a utilizada atualmente na região (75 kg ha⁻¹ de P₂O₅) para as espécies objetos desse estudo.

Na produção de *Eucalyptus dunnii* e *Eucalyptus benthamii* em vasos, a adição de P aumentou a produção de massa seca, sendo que o *Eucalyptus benthamii* foi mais eficiente tanto na produção de massa seca de parte aérea como na radicular em todas as doses de P aplicadas (Stahl et al., 2013).

No trabalho de Andrade et al. (2003) com *Eucalyptus dunnii*, foi relatado o aumento do volume cilíndrico de madeira

em relação a testemunha, aos 6 anos de idade, de 38 para 61% da menor para a maior dose de P aplicada (0 e 560 g planta⁻¹ de superfosfato simples com 20% de P₂O₅).

Avaliando os anos iniciais do experimento de campo objeto desta tese, Dias et al. (2014), observaram que *Eucalyptus benthamii* e *Eucalyptus dunnii*, mostraram incrementos na produção de matéria seca das plantas em respostas positivas à adubação fosfatada.

4.3 Sistema radicular do eucalipto em relação ao fósforo

O sistema radicular de plantas em geral recebe menor atenção na pesquisa florestal, em grande parte devido a dificuldades metodológicas associadas em seu estudo, especialmente, a difícil e demorada coleta e análise dos dados.

Apesar destas dificuldades, estudos mostram uma controvérsia entre a crença de que a distribuição radicular de sistemas florestais são profundamente enraizados e não competem severamente por água e nutrientes no solo (Jonsson et al., 1988).

Estudos com espécies de eucalipto relatam que cerca de 85% das raízes finas se concentram nos primeiros 20 cm de solo, ocorrendo uma redução exponencial na biomassa radicular com o aumento da profundidade (Cavalier, 1992; Schumacher, 1997)

A amostragem do sistema radicular de árvores individuais normalmente é feita para verificar a eficiência nutricional das plantas e observar o desenvolvimento das raízes sob diferentes condições de crescimento (Gomes, 1993).

As características morfológicas do sistema radicular, quando conhecidas, podem auxiliar na aplicação de práticas de preparo do solo e adubação (Gonçalves e Mello, 2000).

Estudos referentes a absorção de P pelas raízes devem ser feitos através da avaliação das características morfológicas radiculares como massa, comprimento, diâmetro, volume, área,

levando sempre em consideração a interferência dos fatores ambientais, químicos e físicos do solo (Schenk e Barber, 1979; Machado e Furlani, 2004).

O sistema radicular adequadamente desenvolvido é um importante mecanismo de aquisição de água, nutrientes do solo e na síntese de reguladores de crescimento, tornando estes sítios importantes na captação de reservas para o crescimento das plantas (Larcher, 2000).

As raízes finas são as principais responsáveis pela absorção de água e nutrientes, e sua distribuição no perfil do solo, entre outros fatores, varia de acordo com o material genético (Nambiar et al., 1982). Os autores ratificaram a alta herdabilidade dos parâmetros radiculares e seu potencial para o melhoramento genético.

A produção de raízes finas e longas, a taxa de renovação e o tempo de vida radicular são características desejáveis para aumentar a eficiência de absorção de nutrientes de baixa mobilidade no solo, como é o caso do P (Barber, 1995).

Devido ao teor de P no solo ser extremamente baixo e a capacidade de absorção radicular ser mais rápida para absorver o P do que o nutriente pode ser fornecido por difusão (Martinez et al., 1993), ocorre formação de uma zona de depleção de P nos solos, que poderá ser controlada em parte por um sistema radicular mais abrangente.

O P estimula o crescimento radicular do eucalipto e a deficiência desse nutriente nas fases de indução e formação das raízes reduz, significativamente, o comprimento das mesmas, implicando em queda na qualidade das mudas (Schawambach et al., 2005) e, por consequência, prejuízos no crescimento das plantas.

A deficiência do P também influencia negativamente na morfologia, no transporte e utilização interna de outros nutrientes e na fisiologia reduzindo o potencial produtivo das plantas (Parentoni et al., 2011).

As raízes buscam o P e ao encontrarem uma camada rica, se proliferam acentuadamente. À medida que crescem no solo, as raízes absorvem os nutrientes que inicialmente estão em seu trajeto, com o tempo, há o decréscimo da concentração desses nutrientes e ocorre então a expansão radicular em buscar de novos gradientes de concentração (Novais et al., 1990).

Estes mesmos autores relataram que por ser um nutriente com baixa mobilidade no solo, a localização do P em relação à planta tem grande significado prático, pois possibilita o sistema radicular entrar em contato com áreas de altas concentrações do nutriente, enquanto outras estarão em áreas de baixíssima concentração.

Estudando o comportamento das raízes e crescimento da parte aérea de *Eucalyptus grandis* e o efeito da localização de fontes de P, Neves et al. (1990) observaram íntima relação entre o local da aplicação de P e o crescimento das raízes, havendo intensa proliferação de raízes finas e longas nos locais onde havia P externo em maiores concentrações.

Diante do pressuposto, Schumacher et al. (2004) estudando crescimento radicular em resposta a doses de P em *Parapiptadenia rígida* (angico-vermelho), concluíram que para suprir o P ao longo do tempo devem ser aplicadas uma fonte de menor solubilidade (fosfato natural) em área total ou faixa e uma fonte solúvel (fosfato solúvel) localizada perto da planta, onde as raízes possam alcançá-lo. Este mesmo autor salientou ainda que houve influência positiva da utilização de P até determinada dose, que depois passou a ser negativa.

Trabalhando com efeito de doses e localização de P no crescimento de mudas de eucalipto, autores como Lani et al. (1995) também observaram que houve maior concentração de raízes finas na porção de solo que recebeu P. Barber (1980) salienta que por ser imóvel, o P deve ser oferecido em locais onde as raízes possam ter acesso à sua absorção, preferencialmente nos pontos de crescimento radicular de crescimento (próximo à extremidade das raízes).

A aplicação de P localizado, com orientação no crescimento das raízes, pode gerar pontos negativos no que tange à inadequada exploração de outras regiões no solo, prejudicando a absorção de água e de outros nutrientes pelas plantas, além de poder comprometer a integridade da árvore durante a ocorrência de ventos fortes (Lani et al., 1995).

Diante desses fatos, assim como observado por Schumacher et al. (2004) em angico-vermelho, a adubação fosfatada de maior volume de solo com fosfatos naturais, combinada com fosfato solúvel localizado (Rezende et al., 1982; Leal, 1988) parece ser uma técnica recomendável para o plantio de eucalipto em solos pobres em P, propiciando desenvolvimento radicular adequado a melhor absorção de P.

Como as recomendações utilizadas para a adubação de eucalipto são direcionadas para as regiões de condições tropicais, sendo reduzidos os trabalhos direcionados para a atividade sul-brasileira e pela importância da adubação com B e P no crescimento e produtividade do eucalipto é que se confirma a importância desta contribuição científica a fim de observar as respostas do *Eucalyptus dunnii* e *Eucalyptus benthamii* em solos do Planalto Sul Catarinense.

5 CAPÍTULO I

BORO NA PREVENÇÃO DA SECA-DE-PONTEIROS DE *Eucalyptus benthamii* CULTIVADO EM SOLO COM DIFERENTES REGIMES HÍDRICOS

5.1 RESUMO

O déficit hídrico pode diminuir a mineralização da matéria orgânica do solo e a absorção de boro (B) pelo eucalipto, causando a seca-de-ponteiros das plantas jovens, o que pode afetar negativamente o crescimento. O trabalho objetivou avaliar a ocorrência de seca-de-ponteiros em *Eucalyptus benthamii* submetido às doses de B e regimes hídricos em Cambissolo Húmico alumínico léptico do Planalto Sul Catarinense. O experimento foi conduzido em casa-de-vegetação em Lages (SC) com mudas de *Eucalyptus benthamii* arranjadas em delineamento experimental inteiramente casualizado, em esquema fatorial 4 x 3, com três repetições foram cultivadas no solo submetido à adição de 0, 0,55, 1,1 e 2,75 g B planta⁻¹, que corresponderam a 0, 0,5, 1,0 e 2,5 da dose recomendada em Minas Gerais e a 0, 0,00132, 0,00264 e 0,0066 g B vaso⁻¹, respectivamente, e três regimes hídricos (60%, 80% e 100% da capacidade de campo - CC). Aos 110 dias após a aplicação dos tratamentos foi mensurado o diâmetro do coleto e altura das plantas e realizada análise visual da ocorrência de seca-de-ponteiros. Após a colheita foi determinada a massa seca de folhas, caule, ramos e raízes. Os teores de B no tecido e no solo foram analisados. O *Eucalyptus benthamii* não apresentou resposta à aplicação de B no solo. O regime hídrico de 80% da capacidade de campo no solo ocasiona respostas positivas na produtividade de massa seca total. A deficiência hídrica afeta negativamente a produção de massa seca total. A maior ocorrência de dano visual de seca-

de-ponteiros nas plantas foi observada no solo sem adição de B e em regime hídrico restritivo (60% da capacidade de campo), mas a aplicação da menor dose de B ($0,55\text{ g planta}^{-1}$) foi suficiente para evitar a seca-de-ponteiros.

Palavras chave: eucalipto, bórax, disponibilidade de água, micronutrientes.

5.2 INTRODUÇÃO

Os primeiros sintomas de deficiência de B em eucaliptos foram relatados a partir da década de 50 por Vail et al. (1957). Se caracterizam por deformações em pontos de crescimento; folhas novas pequenas, deformadas e cloróticas; encurtamento de entrenós e em situações severas ocorre a morte e a seca-de-ponteiros, com a perda de posição dominante e rebrota das gemas laterais (Silveira et al., 1998; Silveira et al., 2002; Leite et al., 2010), principalmente durante as estações secas.

No eucalipto, a seca-de-ponteiros ocorre geralmente no primeiro ano de transplante, afetando o crescimento e desenvolvimento das plantas para o segundo e terceiro ano. Se neste período a deficiência de B não for muito grave a planta pode se recuperar, possivelmente por causa do desenvolvimento do sistema radicular e da maior exploração do solo pelas raízes (Mattiello et al., 2009).

A matéria orgânica é considerada a principal fonte de B em solos tropicais, pois a quase totalidade do nutriente absorvida pelas plantas é originado da sua mineralização, sendo o restante, produto do intemperismo de minerais do solo (Malavolta, 1980; Malavolta e Kliemann, 1985).

Em solos muito intemperizados como aqueles do cerrado brasileiro, o eucalipto apresenta sintomas de deficiência de B (Tirloni et al., 2011), principalmente quando o

regime de chuvas é caracterizado por períodos prolongados de déficit hídrico.

Nesses sítios, durante a estiagem, a mineralização da matéria orgânica é menor em razão da baixa atividade da população microbiana, além de ocorrer menor transporte de B por fluxo de massa até a superfície externa das raízes das plantas, reduzindo a quantidade do nutriente absorvida (Malavolta e Kliemann, 1985; Mattiello et al., 2009).

O déficit hídrico diminui a absorção de B e sua translocação para as folhas, causando aumento no requerimento do nutriente pelo eucalipto (Sakya et al., 2002). A água exerce papel fundamental regulando fatores diretamente relacionados ao desenvolvimento das plantas, assim, o déficit hídrico influencia diretamente no desenvolvimento inicial do eucalipto reduzindo significativamente sua biomassa (Schwider, 2013; Klippel et al., 2014) e delimitando o crescimento das plantas (Taiz e Zeiger, 2013).

Os solos do Planalto Sul Catarinense cultivados com eucalipto possuem elevados teores de matéria orgânica, conferindo-lhes hipoteticamente boa disponibilidade de B e dispensando adubação boratada.

A possível ocorrência de déficit hídrico na região pode diminuir a mineralização da matéria orgânica e a absorção de B. Por consequência, diminuir a disponibilidade de B para o eucalipto, principalmente no início do verão (época de maior crescimento anual e de demanda desse nutriente, pois o plantio tem início em outubro e segue até fevereiro na região), se tornando insuficiente para suprir sua a necessidade.

Este trabalho objetivou avaliar a ocorrência de seca-de-ponteiros em *Eucalyptus benthamii* submetido a doses de B e regimes hídricos, em solo com elevado teor de matéria orgânica do Planalto Sul Catarinense.

5.3 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido em casa-de-vegetação no Departamento de Solos da Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), em Lages (SC), utilizando mudas seminais de *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage, no período de outubro de 2013 a fevereiro de 2014.

Amostras de Cambissolo Húmico alumínico léptico (Embrapa, 2013) coletadas na camada de 0,00 - 0,20 m em campo nativo (solo formado a partir de materiais resultantes da meteorização de rochas eruptivas da formação Serra Geral, de textura argilosa, com substrato composto por siltitos e argilitos (Bertol, 1994; Embrapa, 2004), que foi utilizado como substrato nos vasos após ser seco ao ar, passado em peneira com malha de 4 mm e submetido a análise química (Tedesco et al., 1995).

O solo possuía 250 g kg^{-1} de argila; 48 g kg^{-1} de matéria orgânica; pH em água de 4,4 (1:1); H+Al de $19,4 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$; Índice SMP 4,7; $3,2 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de Ca^{2+} ; $1,4 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de Mg^{2+} ; $4,8 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de Al^{3+} ; $14,8 \text{ mg dm}^{-3}$ de P disponível (extraído por Mehlich-1); 121 mg dm^{-3} de K disponível (extraído por Mehlich-1); $8,9 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de CTC efetiva; $24,3 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de CTC à pH 7,0; 20,2% de saturação por bases e 53,9% de saturação por Al. O teor inicial de B no solo correspondeu ao encontrado posteriormente no tratamento sem adição de B ($0,2 \text{ mg dm}^{-3}$).

Para o cultivo, o solo foi armazenado em vasos com capacidade para 3 kg onde foi aplicado o equivalente a $4,0 \text{ Mg ha}^{-1}$ de calcário filler (dose calculada pelo Índice SMP para elevar o pH em água até 5,5), N (45 kg ha^{-1} de N na forma de uréia), P (30 kg ha^{-1} de P_2O_5 na forma de SFT) e K (20 kg ha^{-1} de K_2O na forma de KCl), considerando a existência de 2.000 Mg de solo por hectare da camada arável (CQFS- RS/SC, 2004).

A capacidade dos vasos foi determinada de acordo com o período de condução das plantas (quatro meses), pois a ocorrência de seca-de-ponteiros aparece no período de crescimento inicial das plantas no campo.

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, em arranjo fatorial 4×3 , com três repetições. As doses de B foram calculadas de acordo com a recomendação de micronutrientes para o cultivo de eucalipto no Estado de Minas Gerais (10 g planta^{-1} de Bórax ou $1,1 \text{ g B planta}^{-1}$), em um espaçamento $2,5 \times 2,5 \text{ m}$ ($1.600 \text{ plantas ha}^{-1}$) (Novais et al., 2007).

Os tratamentos foram: 0, 0,55, 1,1 e $2,75 \text{ g B planta}^{-1}$, que corresponderam a 0, 0,5, 1,0 e 2,5 da dose recomendada em Minas Gerais e a 0, 0,00132, 0,00264 e 0,0066 g B vaso $^{-1}$, respectivamente. Usou-se como fonte bórax, que foi diluído em água e aplicado diretamente na superfície do solo dos vasos.

Para a obtenção dos regimes hídricos foi determinada a umidade gravimétrica do solo (224 g kg^{-1}) e definidos os três regimes hídricos utilizados na condução do experimento (60%, 80% e 100% da capacidade de campo - CC).

Em cada vaso foi plantada uma muda de eucalipto, compondo assim a parcela experimental. Antes da aplicação das doses de B, todos os vasos foram ajustados para 100% da capacidade de campo para que a disponibilidade de nutrientes da adubação inicial fosse a mesma em todas as parcelas experimentais. Após, iniciou-se o período de ajuste dos regimes hídricos e os vasos foram pesados diariamente e irrigados diferentemente até atingir o regime hídrico correspondente, quando houve a adição das doses de B.

A pesagem e correção da umidade dos vasos ocorreram diariamente durante todo período experimental. Semanalmente foi aplicado N em cobertura (diluído em água e aplicado sobre o solo do vaso), na dose total equivalente a 45 kg ha^{-1} .

As plantas foram cultivadas por 110 dias e semanalmente foram coletados dados de diâmetro do coletor

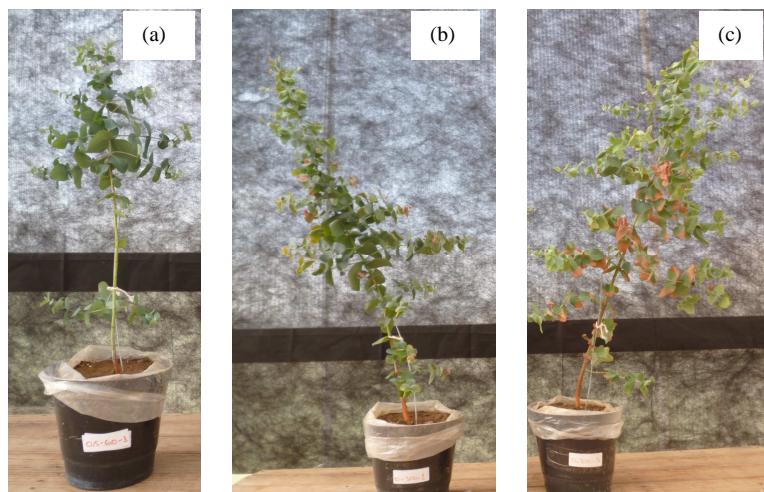
(mm), com o auxílio de um paquímetro digital e altura (cm) das plantas com uma régua graduada. A colheita foi realizada em virtude da estabilização do crescimento das plantas.

A análise visual das plantas para detecção de danos por seca-de-ponteiros foi realizada aos 110 dias após a aplicação dos tratamentos através de notas atribuídas por nove avaliadores, tendo como base um gabarito construído *in loco*, onde para a planta mais afetada do experimento se atribuiu nota 5, para a planta sem sintomas visíveis foi atribuído nota 1 e uma planta que representava um dano intermediário entre as anteriores que se atribuiu nota 3.

O gabarito é apresentado na Figura 1 e estimou-se que as percentagens de dano foram: nota 1 = sem dano visual; nota 2 = 5% de dano; nota 3 = 10% de dano; nota 4 = 15% de dano e nota 5 = 20% de dano. O tratamento de cada planta no gabarito foi: plantas (a) 0,55 g B planta⁻¹ e 60 % CC, (b) 0 g B planta⁻¹ e 100 % CC e (c) com 0 g B planta⁻¹ e 100% CC.

Todas as plantas do experimento foram avaliadas e foi observada a ocorrência de danos nas folhas e seca e/ou encarquilhamento das ponteiras (Anexo 1), sendo na planta mais afetada (nota 5) detectado um dano de aproximadamente 20% da área foliar.

Figura 1. Gabarito para a atribuição de notas da análise visual de *Eucalyptus benthamii* submetido às doses de boro e regimes hídricos: a) - plantas sem dano visível (nota 1); b) - plantas com 10% de danos (nota 3) e c) - plantas com 20% de danos (nota 5).



Fonte: produção do próprio autor, 2015.

Na ocasião da colheita, as plantas foram cortadas na altura do coletor e, em seguida foram separadas em folhas, caule/ramos e raízes. As partes foram secas em estufa com circulação forçada de ar a 65 °C. Para a extração de B dos tecidos vegetais foi realizada digestão seca em mufla por 2 h a 550 °C, e a determinação do teor de B foi através do método colorimétrico da Azometina-H (Embrapa, 1999).

Foram coletadas amostras de solo de cada vaso para análise química. Para a extração e determinação de B disponível nas amostras de solo foi utilizado o método da água quente e colorimetria pelo método da curcumina (Tedesco et al., 1995).

Os dados de produção de massa seca das plantas e teores de B no tecido vegetal e no solo foram submetidos à análise de variância e quando detectados efeitos significativos dos tratamentos foram ajustadas equações de regressão utilizando o software SISVAR 5.3 (Ferreira, 2011).

Para o diagnóstico visual da seca-de-ponteiros, os resultados foram submetidos à análise de variância e ao teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

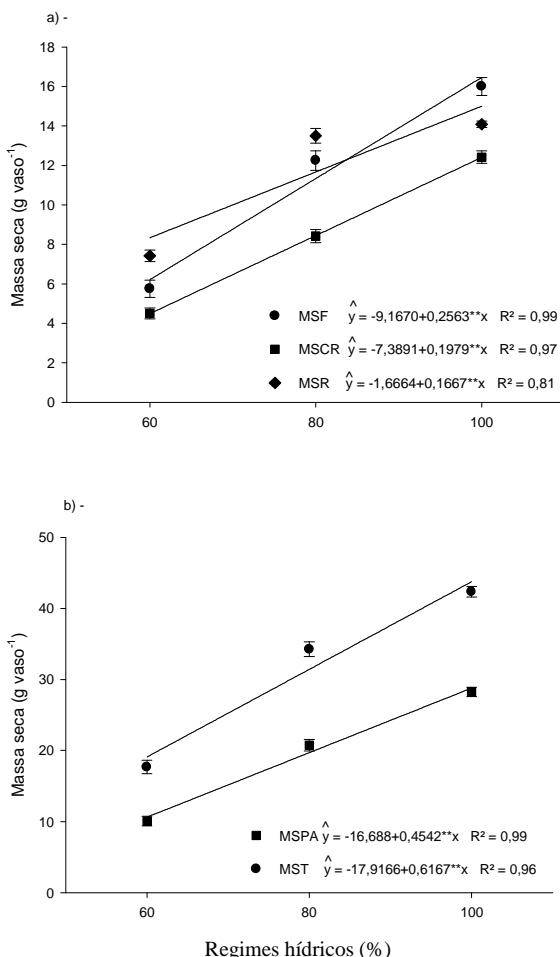
5.4 RESULTADOS

Na análise de variância para massa seca de folhas (MSF), massa seca de caule e ramos (MSCR), massa seca de raiz (MSR), massa seca de parte aérea (MSPA) e massa seca total (MST), foi constatado que somente houve resposta significativa para os regimes hídricos, sem respostas às doses de B e nem interação entre os regimes hídricos e doses de B (Figuras 2a e 2b).

Para MSF, MSCR e MSR o aumento no regime hídrico de 60% para 100% causou aumento da produção de massa seca de 2,6, 2,8 e 1,8 vezes, respectivamente (Figura 2a). Resultado semelhante foi obtido para a MSPA e MST, com aumento de 2,7 e 2,3 vezes do regime hídrico de 60% para o de 100% (Figura 2b).

No momento da separação das raízes do solo para a determinação da MSR, foi observado que não houve enovelamento de raízes nos tratamentos com B.

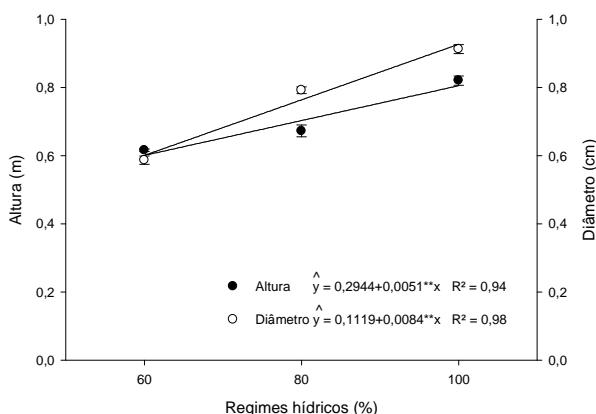
Figura 2. Massa seca de folhas (MSF), massa seca de caule e ramos (MSCR), massa seca de raiz (MSR) (a); massa seca de parte aérea (MSPA) e massa seca total (MST) (b), de *Eucalyptus benthamii* submetido às doses de boro e aos regimes hídricos. (** = P-valor significativo a 1% pelo teste F).



Fonte: produção do próprio autor, 2015.

De maneira semelhante, a altura e o diâmetro do coleto de *Eucalyptus benthamii* apresentaram resposta significativa apenas para os diferentes regimes hídricos, não havendo efeito das doses de B aplicadas e nem interação entre os regimes hídricos e as doses de B (Figura 3). Houve aumento de 33% no diâmetro do coleto e de 56% na altura das plantas com o aumento do regime hídrico de 60% para 100% da CC.

Figura 3. Altura e diâmetro do colo de *Eucalyptus benthamii* submetido às doses de boro e aos regimes hídricos. (** = P-valor significativo a 1% pelo teste F).



Fonte: produção do próprio autor, 2015.

A análise de variância para as notas da análise visual para seca-de-ponteiros das plantas mostrou efeito significativo para as doses de B e para os regimes hídricos, mas não houve interação entre doses de B e regimes hídricos. A maior nota

média (4,3) ocorreu no tratamento sem aplicação de B e com maior restrição hídrica (Tabela 1).

No tratamento sem aplicação de B, independente do regime hídrico, a nota média das plantas foi 3,2, sendo superior àquela atribuída para as plantas com as demais doses de B, as quais não diferiram entre si. Para os diferentes regimes hídricos, as plantas submetidas a 60% da CC apresentaram mais sintomas visuais do que as com 80% da CC.

Tabela 1. Média geral da avaliação visual de dano em *Eucalyptus benthamii* submetido às doses de boro e aos regimes hídricos em condições de casa-de-vegetação aos 110 dias de condução.

Doses de Boro (g planta ⁻¹)	Regimes Hídricos (%)			Média
	60	80	100	
0	4,3	2,3	3,1	3,23a ⁽¹⁾
0,5	1,9	1,1	1,5	1,50b
1	1,9	1,4	2,2	1,83b
2,5	1,7	1,4	2,2	1,77b
Média	2,45a	1,55b	2,25ab	

⁽¹⁾ Médias seguidas de letras iguais na linha ou na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P<0,05$). CV = 34,7%.

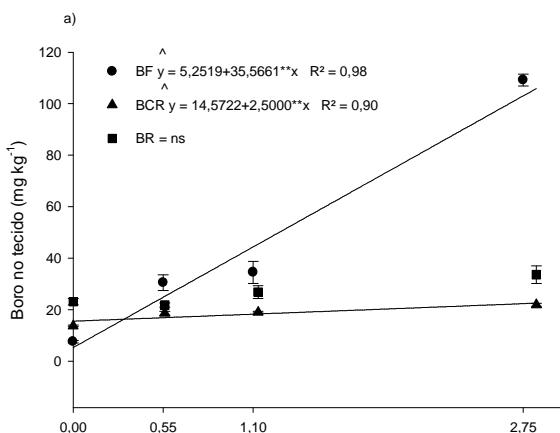
Fonte: produção do próprio autor, 2015.

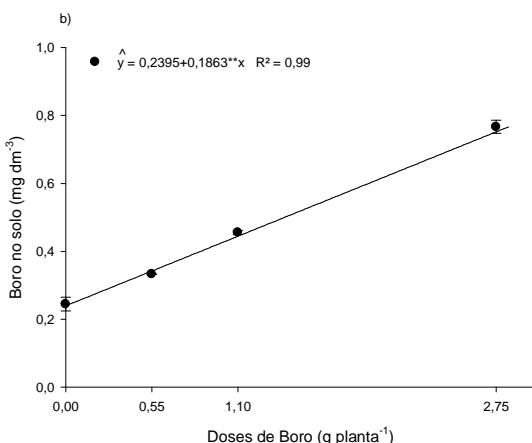
Os teores de B nas folhas (BF) e no caule/ramos (BCR) aumentaram com as doses de B, não havendo significância estatística para os regimes hídricos e nem interação entre as doses de B e os regimes hídricos (Figura 4a), indicando que no presente caso a deficiência hídrica nas intensidades testadas não provocaram redução significativa da absorção de B. Para o teor de B nas raízes (BR), não houve significância para as fontes de variação.

Os teores de B no solo aumentaram significativamente com os níveis de B (Figura 4b), não sofrendo influência dos regimes hídricos e nem ocorrendo interação entre doses de B e

os regimes hídricos. Os teores de B no solo aumentaram de 0,2 para 0,8 mg dm⁻³, com a maior dose de B (2,75 g B planta⁻¹).

Figura 4. Teores de boro em folhas (BF), caule e ramos (BCR) e raízes (BR) (a) e no solo (b) de *Eucalyptus benthamii* submetido às doses de boro e regimes hídricos. (** = P-valor significativo a 1% pelo teste F).





Fonte: produção do próprio autor, 2015.

5.5 DISCUSSÃO

Os resultados de produção de massa seca no experimento mostraram que o principal fator de resposta em produção do eucalipto foi a disponibilidade de água oferecida pelos diferentes regimes hídricos.

O solo mantido durante todo o período experimental a 60% da capacidade de campo (CC) produziu 2,7 vezes menos MSPA do que o solo sem restrição (100% da CC). Para raízes, a redução foi de 1,8 vezes, para os mesmos tratamentos.

A falta de água também produziu plantas menores e com menor diâmetro de caule. Isso aconteceu porque provavelmente com a diminuição de água no solo a planta sofreu uma série de mudanças fisiológicas e metabólicas, resultando de imediato na redução da produção de biomassa e do crescimento inicial. O que limitou o crescimento dos ramos, do caule, o número de folhas e a área foliar (Mengel e Kirby, 2001; Schwider et al., 2013).

Outros trabalhos identificaram maior produção de massa seca com maior disponibilidade de água no solo, comprovando que a deficiência hídrica é considerada o principal fator ambiental que afeta diretamente a produtividade florestal (Matiello et al., 2009; Stape et al., 2010; Schwider et al., 2013).

Os resultados obtidos por Schwider et al. (2013), que trabalharam com diferentes regimes hídricos e ambientes microclimáticos em híbridos de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*, com 90 dias de idade em casa-de-vegetação, para massa seca foliar, indicam que o nível de água disponível de 75% apresentou maiores médias estatísticas em relação aos níveis de 50%, 30% e 10% de capacidade de campo, sendo estas as médias inferiores em todos os ambientes.

A aplicação de B no solo, independente da dose, não trouxe incremento em diâmetro de caule, altura de planta ou massa seca em todas as porções da planta (folha, caule, ramos, raízes), indicando que o B não seria um nutriente limitante no solo Cambissolo Húmico alumínico léptico do Planalto Sul Catarinense.

Isso pode acontecer porque as temperaturas do ar e do solo ao longo da maioria dos meses do ano são baixas (clima Cfb), o que favorece a manutenção de elevados teores de matéria orgânica no solo, que quando mineralizada gradualmente ao longo do tempo pode incrementar a disponibilidade de B às plantas. Aliado a isso, o teor de B no solo sem a adição de B foi de 0,2 mg dm⁻³, interpretado como médio (0,1 - 0,3 mg dm³) pela Comissão de Química e Fertilidade do Solo (RS/SC) (CQFS-RS/SC, 2004).

Resultado semelhante foi observado por Celestrino et al. (2015), no *Eucalyptus urophylla*, que após 24 meses após o plantio apresentou aumento na concentração de B nas folhas em resposta a aplicação foliar, no entanto, não houve melhoria no crescimento, diâmetro ou volume de madeira.

Trabalhando com *Corymba citriodora* no Mato Grosso do Sul, Tirloni et al. (2011) relataram que aplicações de B tanto no início da estação seca quanto na estação chuvosa não influenciaram na altura e no diâmetro das plantas até os 29 meses de idade.

Aproximadamente aos 60 dias após a adubação com B, constatou-se o aparecimento de danos foliares, principalmente nas plantas sem adição do nutriente, independente do regime hídrico. Sintomas característicos da deficiência de B como a necrose dos tecidos do ápice dos ramos, conhecida como seca-de-ponteiros e a superbrotação lateral (Sgarbi et al., 1999) foram observados durante a condução do estudo.

Os sintomas de seca-de-ponteiros perduraram até os 110 dias, quando foi feita a análise visual e também a colheita das plantas. A análise visual de danos mostrou que entre 15 e 20% da área foliar das plantas estavam necrosadas no tratamento sem B e com maior restrição hídrica.

De maneira geral, o efeito foi mais claro para o fator B do que para o fator regime hídrico e, em média, as plantas sem aplicação de B apresentaram independente do regime hídrico, entre 10 e 15% de danos visíveis.

Mesmo não tendo ocorrido diminuição no crescimento das plantas, a ocorrência da seca-de-ponteiros indica que o nutriente estava em teores abaixo dos ótimos e é provável que se o experimento fosse conduzido por um período maior seria observada redução da produtividade de massa seca total.

A aplicação de B em dose equivalente a 0,55 g planta⁻¹ se mostrou eficiente em reduzir drasticamente o aparecimento da seca-de-ponteiros, independente do regime hídrico. Isso representa metade da dose indicada na recomendação para produção de eucalipto em Minas Gerais (Novais et al., 2007) e é um indicativo de que a dose de B nos solos subtropicais pode ser reduzida, porém não suprimida, em solos com elevados teores de matéria orgânica.

Os teores de B no tecido foliar são interpretados como adequados para *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* entre 13 e 30 mg kg⁻¹, e entre 8 e 12 mg kg⁻¹ como deficientes (Malavolta et al., 1997; Dell et al., 1995). São considerados também teores adequados de B para *Eucalyptus spp.*, valores entre 30 e 50 mg kg⁻¹ (CQFS-RS/SC, 2004).

No presente estudo, os teores foliares foram de apenas 5 mg kg⁻¹ no solo sem aplicação de B, aumentando para pouco mais de 30 mg kg⁻¹ no solo com aplicação de 0,55 g planta⁻¹ de B. Isso indica que o valor de 30 mg kg⁻¹ poderia ser um valor de referência adequado para *Eucalyptus benthamii*.

Contudo, deve-se considerar que se trata de plantas jovens, em ambiente de casa-de-vegetação, e que os teores foliares de B podem ser variáveis dependendo do material genético, do ambiente de crescimento e da idade das plantas. Também que o estresse hídrico diminui a absorção e a distribuição do B na planta, aumentando o requerimento externo do nutriente (Dell e Huang, 1997).

Os teores foliares de B nas plantas de eucalipto variaram de acordo com o regime hídrico (Matiello et al., 2009), o que não foi constatado na condução deste estudo, pois não houve resposta aos regimes hídricos testados na absorção de B.

Os teores de B no solo aumentaram de 0,24 mg dm⁻³ na testemunha para 0,34 mg dm⁻³ no solo com aplicação de 0,55 g B planta⁻¹, indicando que o nível crítico no solo de 0,30mg dm⁻³ preconizado pela Comissão de química e Fertilidade do Solo (RS/SC) (CQFS-RS/SC, 2004) é adequado para os solos da região.

Os dados deste estudo mostram que as plantas reduziram muito a produção em decorrência da restrição hídrica, enquanto a não utilização de B não afetou a produtividade das plantas.

Contudo, embora não tenha sido constatada queda na produção até os 110 dias de crescimento, nos tratamentos sem

aplicação de B as plantas apresentaram sintomas visuais de deficiência de B, o que provavelmente acarretaria em reduções de produtividade futuras ou deixaria as plantas mais debilitadas para enfrentar as baixas temperaturas do inverno sul-brasileiro, podendo resultar em maior mortalidade de plantas por geadas.

Para contornar esse problema, a dose de 0,55 g planta⁻¹ de B seria suficiente para elevar os teores no solo até o nível adequado. Desta maneira, embora os solos da região tenham altos teores de matéria orgânica, como prescrição de segurança seria recomendada a aplicação de pelo menos uma pequena dose de B por ocasião do plantio de eucalipto.

5.6 CONCLUSÕES

Até os 110 dias de condução do experimento o *Eucalyptus benthamii* não apresentou resposta na produção de massa seca total à aplicação de B. Porém, foram observados sintomas visuais de deficiência quando o nutriente não foi aplicado, principalmente em situação de restrição hídrica para as plantas (60% da capacidade de campo).

Como prescrição de segurança, mesmo em solos com alto teor de matéria orgânica se recomenda a aplicação de pelo menos 0,55 g B planta⁻¹ para assegurar a nutrição adequada.

6 CAPÍTULO II

CRESCIMENTO DE *Eucalyptus benthamii* E *Eucalyptus dunnii* DURANTE CINCO ANOS COM USO DE DOSES E FONTES DE FÓSFORO

6.1 RESUMO

Em plantios comerciais a adubação fosfatada é essencial para o eucalipto atingir os níveis de produtividade esperados. Os fosfatos solúveis são as fontes mais utilizadas, porém alguns produtores adotam o uso conjugado de fosfatos naturais de menor solubilidade para o suprimento de fósforo (P) para as plantas em logo prazo. O objetivo deste trabalho foi determinar, durante cinco anos, a resposta do eucalipto a doses de fosfato solúvel, associados ou não a uma dose única de fosfato natural. Foram conduzidos dois experimentos no campo durante cinco anos, um com *Eucalyptus benthamii* e outro com *Eucalyptus dunnii*, no município de Otacílio Costa (SC), no período de novembro de 2010 a dezembro de 2015. O delineamento experimental utilizado foi de blocos casualizados com parcelas subdivididas, com três repetições. Na parcela principal, testou-se a presença ou ausência do fosfato natural (0 ou 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅, usando como fonte o fosfato natural de Bayovar) e nas subparcelas testaram-se as doses de fosfato solúvel (0, 75, 150 e 300 kg ha⁻¹ de P₂O₅, usando como fonte o superfosfato triplo). Anualmente foram realizadas medidas de diâmetro e altura das árvores e em 2012 foi realizada a avaliação nutricional nas folhas das plantas. O *Eucalyptus dunnii* é mais responsável que o *Eucalyptus benthamii* em P, necessitando doses maiores e inteiramente na forma solúvel, enquanto o segundo pode ter parte do fertilizante fosfatado substituído por fosfato natural reativo, porém respondendo de forma mais positiva a adubação com fosfato solúvel. Doses

maiores de P na implantação permitem melhor crescimento das plantas a partir do terceiro ano de idade em solos com teores de argila e P inicial semelhantes aos dos experimentos.

Palavras chave: fosfato natural, fosfato solúvel, eucalipto, nível crítico.

6.2 INTRODUÇÃO

A nutrição adequada é um fator primordial para o estabelecimento de florestas de eucalipto de alta produtividade (Silva et al., 2004). Por ser um dos nutrientes mais frequentemente requerido para o máximo crescimento dos reflorestamentos de eucaliptos e sua baixa disponibilidade nos solos brasileiros, o P deve ser suplementado via adubação (Awodun et al., 2012).

O P possui importante papel para o ciclo vital das plantas, pois participa dos chamados compostos ricos de energia, como o trifosfato de adenosina (ATP), sendo essencial na divisão celular, metabolismo vegetal (respiração, fotossíntese e síntese de substâncias orgânicas) e reprodução (Malavolta, 1985). Participa ainda do processo de ativação enzimática, sendo responsável pela síntese de amido, celulose e sacarose nas plantas, entre outras funções (Silveira e Gava, 2004; Taiz e Zeiger, 2013).

Como a adubação fosfatada é realizada no ano de implantação do povoamento e, geralmente não são feitas adubações complementares com P durante o ciclo vegetativo das plantas (que dura de sete ou mais anos, dependendo da finalidade), os teores de P natural do solo e os aportados via adubação devem ser suficientes para atender a demanda da planta em todo o seu ciclo (Dias et al., 2014).

Neste sentido, pode-se usar o fator tempo de cultivo como um aliado no uso eficiente de fertilizantes,

principalmente referindo-se a solubilização lenta dos fosfatos naturais (Novais e Smyth, 1999).

A exigência do eucalipto pelo P diminui com o aumento da idade, em razão disso, o nível crítico de P no solo é mais alto na fase inicial de desenvolvimento, diminuindo na fase de manutenção da floresta (Novais et al., 1982). Assim, a necessidade inicial do eucalipto por P é alta, o que leva a supor que o fosfato solúvel em água certamente possui maior importância na adubação da cultura quando comparado ao fosfato natural.

A premissa é que, por ser uma espécie de ciclo longo, o eucalipto teria capacidade de utilizar o P liberado do fosfato natural durante o desenvolvimento da cultura devido ao seu efeito residual (Novais et al., 1982). Assim, o uso de fosfato natural reativo tem sido relatado como promissor quando associado com fontes solúveis de P, mostrando ser uma boa alternativa para a adubação fosfatada em virtude da alta demanda inicial da cultura (Novais et al, 1982).

Porém, com o crescimento do sistema radicular, ocorrerá maior exploração do solo, o que coloca em dúvida a utilização do fosfato natural oferecido no plantio como adubação mineral a longo prazo para o eucalipto.

Os fertilizantes fosfatados solúveis em água normalmente possuem elevado custo, mas destacam-se por sua alta solubilidade e alto teor de P prontamente disponível à absorção pelas plantas. Contudo, essa característica pode tornar o nutriente limitado devido à sua alta energia de adsorção aos colóides do solo. Essa ocorrência pode ser amenizada temporariamente com a aplicação localizada do P (Novais e Smyth, 1999).

O *Eucalyptus dunnii* é uma espécie cultivada nos solos de altitude do Sul do Brasil, por ter boa adaptabilidade ao frio mais intenso e rápido crescimento (Higa et al., 1997). É indicado para plantios em altitudes entre 400 a 1000 m acima do nível do mar (Embrapa, 1986).

Outra espécie promissora é o *Eucalyptus benthamii*, por ser adaptada às regiões com ocorrência de geadas severas e por ter crescimento satisfatório (Higa et al., 2000). É comum na região do Planalto Sul Catarinense plantios com as duas espécies utilizando o *Eucalyptus benthamii* para compor a vegetação em áreas de baixadas e o *Eucalyptus dunnii* nas áreas mais altas do terreno em uma mesma topossequência.

Por ser uma cultura de ciclo longo, é importante acompanhar o desenvolvimento da floresta de eucalipto por período de tempo maior que um ano para que seja possível diferenciar seu comportamento inicial em relação a plantas adultas no que corresponde a adubação fosfatada em condições de campo e assim possibilitar uma avaliação mais eficiente das respostas da cultura.

Assim, a hipótese foi que uma mistura de fosfato solúvel e fosfato natural onde o primeiro seria responsável pela disponibilidade imediata de P para as plantas durante a fase inicial de crescimento e o fosfato natural seria responsável pela liberação lenta de P para as plantas durante o resto do seu ciclo vegetativo.

O objetivo deste trabalho foi determinar, durante cinco anos, a resposta do eucalipto a doses de fosfato solúvel, associados ou não a uma dose única de fosfato natural.

6.3 MATERIAL E MÉTODOS

Dois experimentos foram implantados com as espécies *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage e *Eucalyptus dunnii* Maiden, em locais adjacentes, sendo as coordenadas geográficas de latitudes e longitudes 33° 58' 49,2328" S, 27° 39' 55,775" S e 49° 45' 14,1401" W, 49° 45' 56,950" W, respectivamente, com altitude média de 886 metros, no município de Otacílio Costa (SC), em área pertencente à empresa Klabin S/A. Mudas clonais de *Eucalyptus benthamii*

(clone 116) e de *Eucalyptus dunnii* (clone KS-25) foram plantadas no espaçamento $2,5 \times 2,5$ m.

A área anteriormente foi utilizada com cultivo de *Pinus taeda*, o qual se encontrava no terceiro ciclo de plantio. O solo do experimento é um Cambissolo Húmico alumínico léptico (Embrapa, 2013), formado a partir de materiais resultantes da meteorização de rochas eruptivas da formação Serra Geral (Embrapa, 2004), e caracterizado segundo metodologia proposta por Tedesco et al. (1995) (Tabela 1).

O delineamento experimental utilizado foi blocos ao acaso, em esquema de parcelas subdivididas, com três repetições. Na parcela principal, os tratamentos foram: ausência ou presença do fosfato natural na dose de 60 kg ha^{-1} de P_2O_5 ; e nas subparcelas as doses do fosfato solúvel de 0, 75, 150 e 300 kg ha^{-1} P_2O_5 . As parcelas principais possuíam 625 m^2 de área útil que continham 100 plantas. O fosfato natural utilizado foi o Bayovar, com 34 % de P_2O_5 total e 16 % de P_2O_5 solúvel em ácido cítrico, determinados segundo método do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2007).

A fonte de fosfato solúvel utilizada foi o superfosfato triplo, com 44% de P_2O_5 total e 42% de P_2O_5 solúvel em água. A adubação fosfatada foi realizada unicamente na época de plantio, e o fosfato solúvel foi aplicado em duas covas distantes cerca de 10 cm nas laterais de cada planta.

Os tratamentos com uso de fosfato natural também foram aplicados em duas covas distantes, cerca de 10 cm, nas laterais de cada planta, em sentido perpendicular à aplicação do fosfato solúvel. As covas tinham aproximadamente 20 cm de profundidade. O plantio, as covas e a forma de aplicação dos tratamentos estão demonstrados no Anexo 2.

O plantio das mudas foi realizado no mês de novembro de 2010, momento em que foi realizada a adubação de base com KCl (30 kg ha^{-1} de K_2O) e ureia (15 kg ha^{-1} de N), ambos aplicados na superfície e em área total, juntamente com

calcário na dose de 1,0 Mg ha⁻¹ (Filler, PRNT de 98,1%) para suprimento de cálcio e magnésio, tendo como base o manejo florestal utilizado em algumas áreas de florestamento da região. A adubação de cobertura foi realizada em superfície, com aplicação na projeção da copa das plantas. Foram aplicados 60 kg ha⁻¹ de K₂O e 30 kg ha⁻¹ de N, parcelados em duas épocas (aos cinco e aos 10 meses após o plantio).

Os dados dendrométricos de diâmetro (cm) foram coletados com auxílio de paquímetros e posteriormente com fita graduada e os dados de altura das árvores (m), foram coletados através de réguas graduadas e posteriormente com suunto, levando em consideração o crescimento da floresta. As medições foram realizadas anualmente (no primeiro trimestre) e para o cálculo de volume cilíndrico com casca (m³) das árvores foi utilizada a equação genérica para cálculo de volume cilíndrico, sendo:

$$V = H * [(\pi * DAP^2)/4]$$

Para ter uma maior proximidade com a realidade de campo, os volumes médios de cada subparcela foram calculados excluindo-se as árvores mortas e esta metodologia também foi adotada para o cálculo de volume cilíndrico total (m³ ha⁻¹).

A determinação do crescimento em biomassa ao longo do tempo foi obtida através das médias gerais do experimento para a determinação do incremento corrente anual (ICA) e do incremento médio anual (IMA), descritas por Rodrigues (1991), sendo: *ICA* = Volume anual – volume do ano anterior e *IMA* = Volume anual / idade do povoamento.

Utilizando as equações ajustadas para o volume cilíndrico de madeira com casca, foi calculada a dose de P₂O₅ necessária para atingir o máximo rendimento teórico em volume (MET – máxima eficiência técnica) e a dose necessária para atingir 90% do rendimento máximo (MEE – máxima eficiência econômica).

Em junho de 2012 foram coletadas folhas jovens, completamente desenvolvidas (4° , 5° e 6° folhas, totalizando 12 folhas por árvore), da parte mediana da copa, dos quatro quadrantes em um total de nove árvores localizadas no meio de cada subparcela para a análise nutricional dos experimentos com *Eucalyptus benthamii* e *Eucalyptus dunnii*.

Após secagem em estufa de circulação de ar a 60 °C, as amostras de folhas foram trituradas. Foi realizada digestão ácida e determinado os teores de nitrogênio total (N total), P, potássio (K), Ca e Mg nos extratos (Tedesco et al., 1995).

Os dados foram submetidos à análise de variância e, quando detectados efeitos significativos dos tratamentos, foram ajustadas equações de regressão, utilizando o programa estatístico SAS® (SAS, 2003). Foram testados os modelos linear, quadrático e linear-platô (Anderson e Nelson, 1975), escolhendo-se, dentre os modelos significativos ($P < 0,05$) aqueles com maior coeficiente de determinação e com significado agronômico.

Tabela 1. Características químicas médias da camada de 0,00-0,20 m do Cambissolo Húmico alumínico léptico da área experimental.

	Características	<i>Eucalyptus benthamii</i>	<i>Eucalyptus dumosa</i>
Argila (g kg^{-1})	240	243	243
Matéria orgânica (g kg^{-1})	52	54	4,1
pH (H_2O) (1:1)	4,3	4,1	4,1
H+Al	33,9	35,9	35,9
Índice SMP	4,3	4,2	4,2
Ca ²⁺ (cmolc dm^{-3})	0,5	0,5	0,5
Mg ²⁺ (cmolc dm^{-3})	0,3	0,2	0,2
Al ³⁺ (cmolc dm^{-3})	6,9	8,5	8,5
P Mehlich-1 (mg dm^{-3})	5,1	4,9	4,9
K Mehlich-1 (mg dm^{-3})	40,0	47,0	47,0
CTC _{referência} (cmolc dm^{-3})	7,8	9,2	9,2
CTC _{pH 7,0} (cmolc dm^{-3})	34,8	36,6	36,6
Saturação por bases (%)	2,9	2,0	2,0
Saturação por alumínio (%)	88,2	91,9	91,9

Fonte: produção do próprio autor, 2015.

6.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

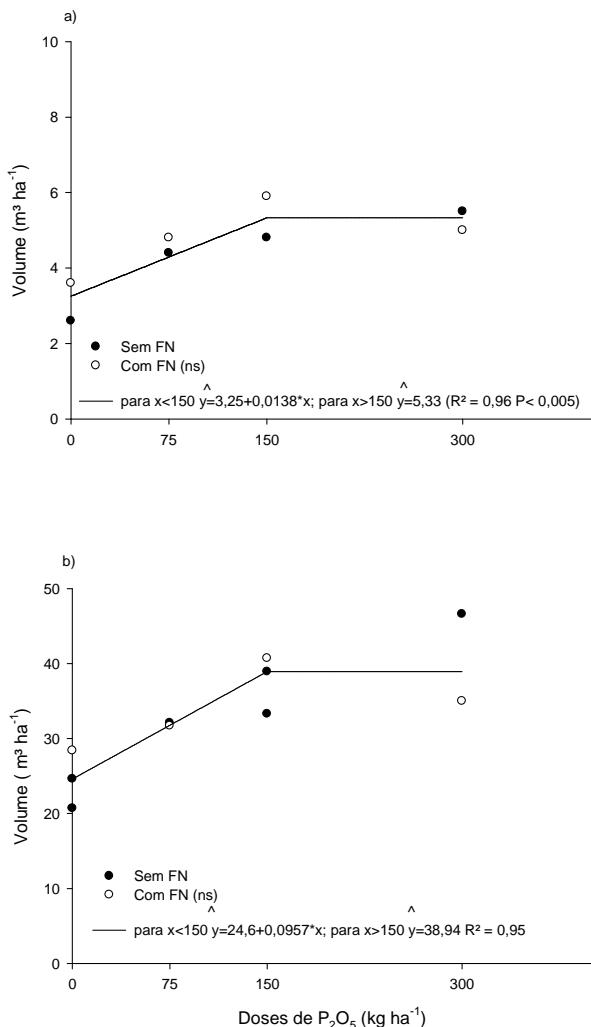
6.4.1 *Eucalyptus dunnii*

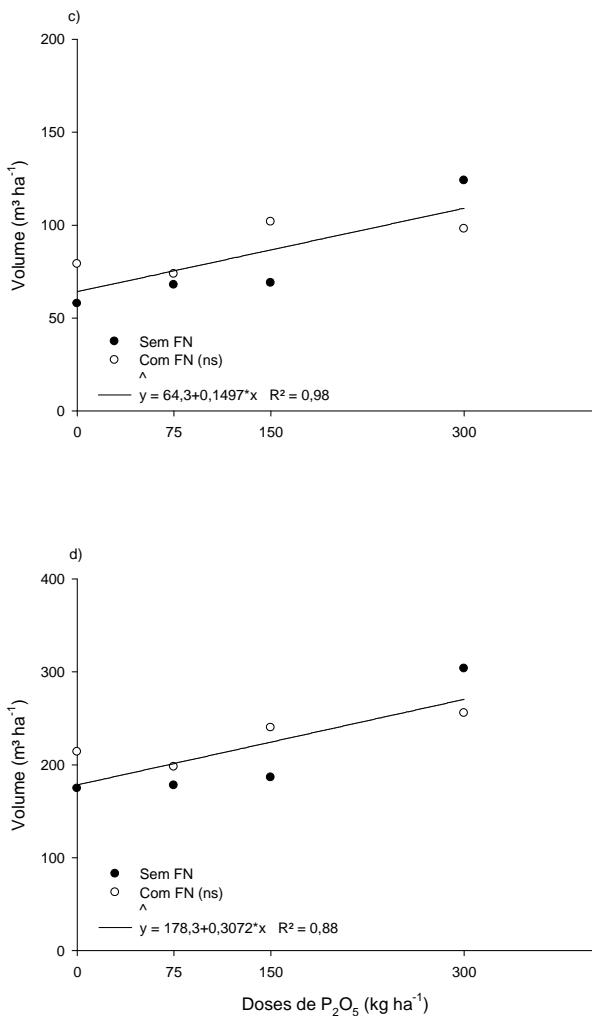
A análise de variância para cada ano durante os cinco anos de condução do experimento mostrou respostas significativas do *Eucalyptus dunnii* somente às doses de fosfato solúvel, não havendo resposta significativa à aplicação do fosfato natural e nem interação entre estas variáveis. Esse comportamento reafirma o registrado no período de um ano de crescimento dessa espécie nos resultados prévios de Dias et al., (2014), onde não houve resposta à aplicação de fosfato natural.

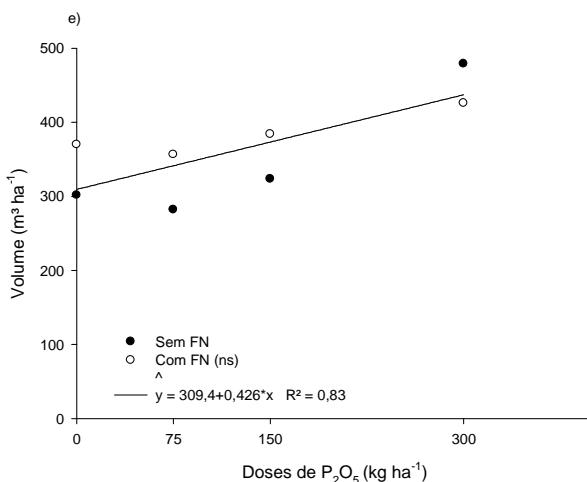
Nas Figura 1a e 1b os pontos representam o volume cilíndrico de madeira com casca nas doses de fosfato solúvel com ou sem uso do fosfato natural. O comportamento do *Eucalyptus dunnii* até dois anos de condução foi semelhante, havendo respostas do tipo linear-platô, onde as plantas responderam linearmente até a dose de 150 kg ha⁻¹ de fosfato solúvel, não houve resposta em doses maiores do mesmo. Houve incrementos de 71% no primeiro ano e de 51% no segundo ano, em relação à testemunha.

A partir do terceiro até o quinto ano de condução, o *Eucalyptus dunnii* passou a apresentar resposta linear crescente, sendo a melhor resposta obtida com 300 kg ha⁻¹ de fosfato solúvel. (Figuras 1c, 1d, 1e). Foram verificados incrementos no volume cilíndrico com casca de 62, 44 e de 35%, respectivamente, em relação à testemunha.

Figura 1. Volume cilíndrico de madeira com casca ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$) de *Eucalyptus dunni* com (a) 1, (b) 2, (c) 3, (d) 4 e (e) 5 anos, submetido às fontes e doses de fósforo (* = P-valor significativo a 5% pelo teste F; ^{ns} = P-valor não significativo nos níveis testados).







Fonte: produção do próprio autor, 2015.

Essa característica indica que o *Eucalyptus dunnii* em idades mais avançadas responde ao efeito residual de uma maior adubação fosfatada feita na implantação do reflorestamento.

Isso indica que essa espécie é exigente em fertilidade e talvez responda no campo a doses maiores que a dose máxima recomendada pela Comissão de Química e Fertilidade do Solo (RS/SC) (CQFS-RS/SC, 2004), que é de 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅ ou, ainda, que possa responder a reaplicações de P em cobertura durante o ciclo da cultura em Cambissolo Húmico alumínico léptico (Embrapa, 2013).

Outro fator a ser considerado é que as culturas florestais são responsivas ao teor de cálcio no solo e o solo original possuía um teor muito baixo (0,5 cmol_c dm⁻³) (Tabela 1).

Com isso, mesmo tendo recebido 1,0 Mg ha⁻¹ de calcário durante a fase de plantio, o teor de cálcio poderia estar limitando a produção e, neste contexto, a adubação com fosfato solúvel, o qual contém cálcio, poderia melhorar a produtividade.

Levando-se em conta que o superfosfato triplo tem em sua composição 13% de Ca, teríamos aplicado ao solo 93 kg ha⁻¹ de Ca na dose de 300 kg ha⁻¹ de fosfato solúvel. O calcário em sua composição (dependendo do teor de Mg) tem em média 280 kg Mg⁻¹ de Ca. Assim no maior tratamento com superfosfato triplo foram aplicados o equivalente a 330 kg ha⁻¹ de calcário.

Apesar da tolerância das espécies de eucalipto à acidez e ao alumínio trocável presente no solo, a disponibilidade de Ca deve ser adequada, por se tratar do nutriente de maior acúmulo na parte aérea e por ser o segundo nutriente mais absorvido pela maioria das espécies florestais (Barros et al., 1990).

A partir das equações ajustadas para volume cilíndrico de madeira com casca, foi quantificada qual dose de P₂O₅ é necessária para atingir o máximo rendimento teórico em volume (MET – máxima eficiência técnica) e a dose necessária para atingir 90% do rendimento máximo (MEE - máxima eficiência econômica teórica).

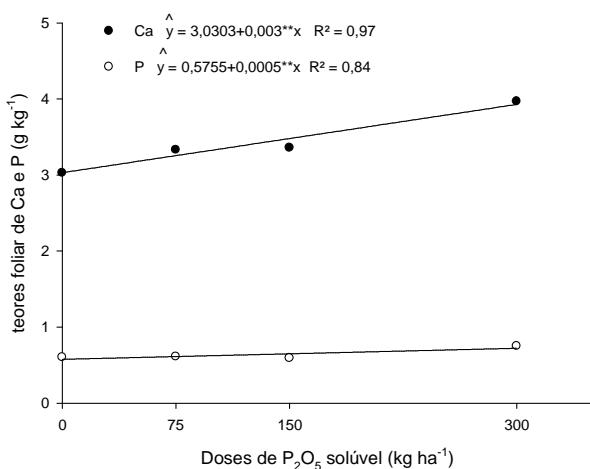
Esse cálculo só é possível ser realizado quando a equação permite verificar a máxima resposta agronômica. Assim, foi realizada apenas para os dois primeiros anos (resposta linear-platô), já que a partir do terceiro ano a resposta foi linear e não foi possível determinar a MET e, por consequência, a MEE.

No primeiro ano a MET foi obtida com a dose de 150 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e a MEE com a dose de 112,1 kg ha⁻¹ de P₂O₅. No segundo ano a MET continuou aos kg ha⁻¹ de P₂O₅ e a MEE calculada foi de 109,1 kg ha⁻¹ de P₂O₅. Isso indica que uma dose inicial de aproximadamente 110 kg ha⁻¹ de P₂O₅ seria suficiente para o estabelecimento do povoamento. Contudo, a partir do terceiro ano, com resposta linear até 300 kg ha⁻¹ de P₂O₅, não foi possível calcular a MEE, mas pode-se afirmar que doses maiores que as iniciais (75 kg ha⁻¹ P₂O₅ solúvel) auxiliariam numa melhor produtividade.

As alturas e diâmetros significativos para os níveis testados estão apresentados nos Anexos 3 e 4, respectivamente.

A análise dos macronutrientes no tecido foliar (exceto enxofre) revelou que apenas os teores de Ca e P foram significativamente afetados pelos tratamentos, cujos resultados são mostrados na Figura 2. Para os demais nutrientes os resultados estão apresentados na Tabela 2.

Figura 2. Teor foliar de cálcio (Ca) e fósforo (P) do *Eucalyptus dunnii* submetido às fontes e doses de fósforo. (** = P-valor significativo a 1% pelo teste F).



Fonte: produção do próprio autor, 2015.

Tabela 2. Faixas de teores de macronutrientes na massa seca de folhas (MSF) de *Eucalyptus dunnii* em junho de 2012 e teores foliares considerados adequados para *Eucalyptus* (plantas adultas).

Nutrientes	<i>E. dunnii</i>	Teores foliares adequados*
		(g kg ⁻¹)
N	13,8 – 18,1	13,0 - 18,0
P	0,6 – 0,8	1,0 – 1,3
K	5,8 – 9,6	9,0 – 13,0
Ca	2,9 – 4,4	6,0 – 10,0
Mg	1,5 – 2,0	5,0 – 8,0

* Dados médios para as espécies de *Eucalyptus* mais plantadas no sul do Brasil (CQFS-RS/SC,2004).

Fonte: produção do próprio autor, 2015.

Não houve efeito do uso ou não de fosfato natural, mas os teores de P e principalmente de Ca foram crescentes com o aumento da dose de P solúvel (Figura 2), indicando que a maior quantidade desses nutrientes no solo pela adição do fosfato solúvel proporcionou maior disponibilidade e, consequentemente, absorção do nutriente.

Ressalta-se que essa análise foi feita nas plantas com dois anos de idade, quando a MET foi verificada com 150 kg ha⁻¹ de P₂O₅, indicando que não houve consumo de luxo de Ca e P na dose de 300 kg ha⁻¹ de P₂O₅. Por outro lado, o maior teor de Ca e/ou P na maior dose durante o segundo ano pode ter dado suporte para um melhor crescimento da planta nos anos posteriores.

Ressalta-se ainda que os teores de P e Ca no tecido vegetal ficaram, em qualquer tratamento, abaixo das faixas consideradas adequadas pela Comissão de Química e Fertilidade do Solo (RS/SC) (CQFS-RS/SC, 2004).

Para P a faixa adequada é de 1,0 a 1,3 g kg⁻¹ e neste trabalho ficaram entre 0,6 a 0,8 g kg⁻¹. Para Ca a faixa adequada é de 6,0 a 10,0 g kg⁻¹ e neste trabalho foram observados valores de 2,9 a 4,4 g kg⁻¹ (Tabela 2).

No presente estudo não foi feito a relação entre a produção das plantas e a fertilidade do solo através de análise química em função dos fertilizantes fosfatados terem sido aplicados em covas próximas às plantas. Desta maneira, não foi possível fazer uma amostragem de solo eficiente para relatar o estado de fertilidade do solo em relação à disponibilidade de P e de Ca.

6.4.2 *Eucalyptus benthamii*

A análise de variância para *Eucalyptus benthamii* mostrou respostas significativas às doses de fosfato solúvel e a adubação com o fosfato natural nos primeiros três anos, porém sem interação entre os fatores (Tabela 3).

Tabela 3. Volume cilíndrico de madeira com casca ($m^3 ha^{-1}$) de *Eucalyptus benthamii* submetido às fontes e doses de fósforo.

Dose	Sem FN	Com FN	Média
----- ANO 1 -----			
0	3,1	8,6	5,8*
75	9,4	11,8	10,6
150	11,4	12,2	11,8
300	11,1	13,4	12,2
Média	8,75 b	11,5 a	
----- ANO 2 -----			
0	17,0	35,5	26,2*
75	43,3	50,6	46,9
150	51,4	48,4	49,9
300	50,2	60,0	55,1
Média	40,5 b	48,6 a	
----- ANO 3 -----			
0	40,9	80,4	60,6*
75	87,8	109,2	98,5
150	113,8	105,1	109,4
300	111,2	127,2	119,2
Média	88,4 b	105,5 a	
----- ANO 4 -----			
0	120,4	210,8	165,6*
75	212,8	249,9	231,3
150	275,3	229,2	252,2
300	274,5	306,4	290,4
Média	220,7 ^{ns}	249,1	
----- ANO 5 -----			
0	233,4	363,9	298,6*
75	363,2	430,6	396,9
150	464,0	413,3	438,6
300	484,2	502,0	493,1
Média	386,2 ^{ns}	427,4	

* = P-valor significativo a 5% pelo teste F; ^{ns} = P-valor não significativo nos níveis testados.

Fonte: produção do próprio autor, 2015.

Nos quarto e quinto anos houve resposta apenas ao fosfato solúvel. A aplicação de fosfato natural proporcionou incremento de volume de madeira de 31, 20 e 19% em relação aos tratamentos sem fosfato natural para os anos 1, 2 e 3, respectivamente. Contudo, na Tabela 3 verifica-se que esse incremento ocorreu quase que exclusivamente no tratamento fosfato solúvel-0 kg ha⁻¹ de P₂O₅, ou seja, sem aplicação de P.

No primeiro ano o tratamento fosfato solúvel-0 kg ha⁻¹ de P₂O₅ com fosfato natural produziu 77% mais que o tratamento sem fosfato natural. Já os tratamentos com 75, 150 e 300 kg ha⁻¹ de P₂O₅ na forma de fosfato solúvel produziram em média apenas 18% a mais que os tratamentos com a mesma dose de fosfato solúvel, mas sem uso de fosfato natural.

No segundo ano o tratamento fosfato solúvel-0 kg ha⁻¹ de P₂O₅ com fosfato natural produziu 109% mais que o tratamento sem fosfato natural e os tratamentos com 75, 150 e 300 kg ha⁻¹ de P₂O₅ na forma de fosfato solúvel produziram em média apenas 10% a mais que os tratamentos com a mesma dose de fosfato solúvel, mas sem uso de fosfato natural.

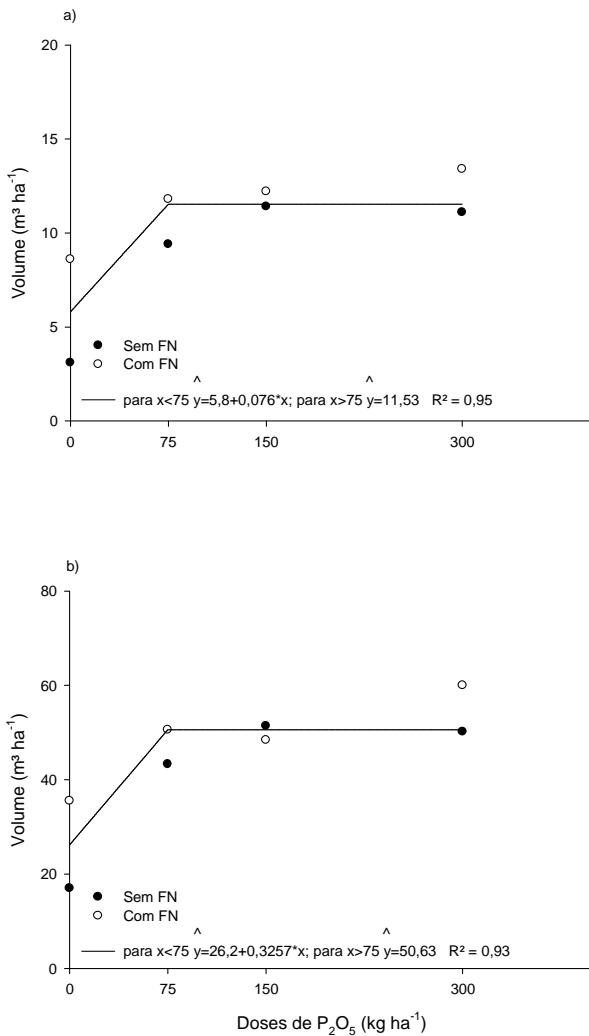
No terceiro ano o tratamento fosfato solúvel-0 kg ha⁻¹ de P₂O₅ com fosfato natural produziu 97% mais que o tratamento sem fosfato natural e os tratamentos com 75, 150 e 300 kg ha⁻¹ de P₂O₅ na forma de fosfato solúvel produziram em média apenas 10% a mais que os tratamentos com a mesma dose de fosfato solúvel, mas sem uso de fosfato natural.

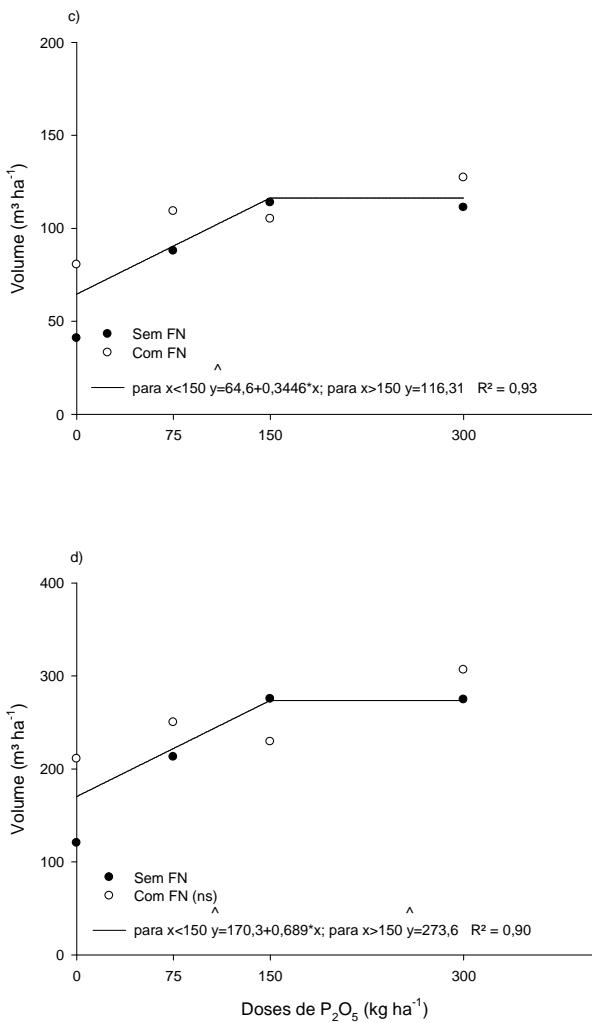
Nos cinco anos de avaliação houve respostas positivas às doses de fosfato solúvel e a resposta foi do tipo linear-platô para todos os anos (Figura 3).

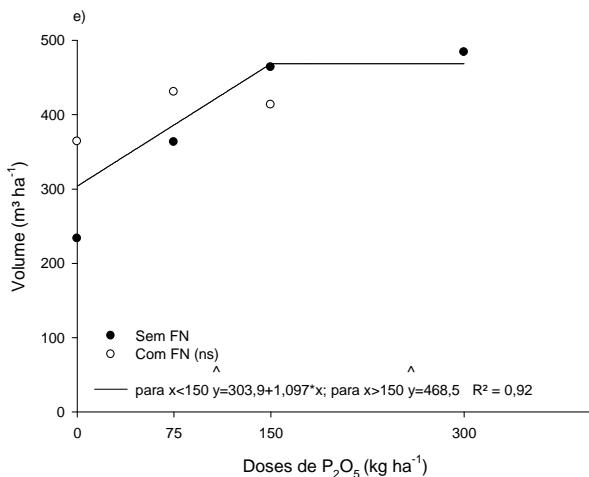
A dose máxima de MET ao fosfato solúvel foi de 75 kg ha⁻¹ de P₂O₅ nos anos 1 e 2 (Figura 3a, 3b) e de 150 kg ha⁻¹ de P₂O₅ do terceiro até o quinto ano (Figura 3c, 3d, 3e). As MEE (90% da MET) foram de 60, 59, 116, 110 e 107 kg ha⁻¹ de P₂O₅ para os cinco anos, respectivamente.

As alturas e diâmetros significativos para os níveis testados estão apresentados nos Anexos 5 e 6, respectivamente.

Figura 3. Volume cilíndrico de madeira com casca ($\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$) de *Eucalyptus benthamii* com (a) 1, (b) 2, (c) 3, (d) 4 e (e) 5 anos, submetido às fontes e doses de fósforo. (*) = P-valor significativo a 5% pelo teste F; ns = P-valor não significativo nos níveis testados).



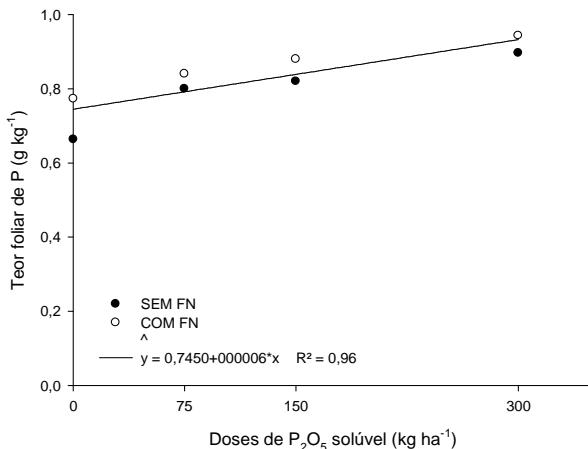




Fonte: produção do próprio autor, 2015.

A análise dos macronutrientes no tecido foliar (exceto enxofre) do *Eucalyptus benthamii* com dois anos de idade revelou que apenas os teores de P foram significativamente afetados pelos tratamentos, cujos resultados são mostrados na Figura 4. Para os demais nutrientes os resultados estão apresentados na Tabela 4.

Figura 4. Teor foliar de fósforo (P) do *Eucalyptus benthamii* submetido às fontes e doses de fósforo. (** = P-valor significativo a 1% pelo teste F).



Fonte: produção do próprio autor, 2015.

Tabela 4. Faixas de teores de macronutrientes na massa seca de folhas (MSF) de *Eucalyptus benthamii* em junho de 2012 e teores foliares considerados adequados para *Eucalyptus* (plantas adultas).

Nutrientes	<i>E. benthamii</i>	Teores foliares adequados*
		($g\ kg^{-1}$)
N	16,2 – 19,3	13,0 - 18,0
P	0,6 - 0,9	1,0 – 1,3
K	6,6 – 8,4	9,0 – 13,0
Ca	4,2 – 5,3	6,0 – 10,0
Mg	1,5 – 3,0	5,0 – 8,0

* Dados médios para as espécies de *Eucalyptus* mais plantadas no sul do Brasil (CQFS-RS/SC,2004).

Fonte: produção do próprio autor, 2015.

Houve efeito do uso de fosfato natural, perceptível principalmente na testemunha, onde ocorreu incremento do teor de P no tecido em relação ao mesmo tratamento sem o uso dessa fonte de P.

Destaca-se também que com o aumento da dose de P solúvel foram observados aumentos crescentes nos teores de P no tecido (Figura 4), indicando que a maior quantidade do nutriente no solo quando adicionado o superfosfato triplo proporciona maior disponibilidade e, consequentemente maior absorção do nutriente pelas plantas.

A análise foi feita nas plantas com dois anos de idade, quando a MET foi verificada com 75 kg ha⁻¹ de P₂O₅, indicando que também para esta espécie houve consumo de luxo de P, mas na dose de 150 kg ha⁻¹ de P₂O₅. Por outro lado, o maior teor de P na maior dose durante o segundo ano pode ter dado suporte para um melhor crescimento da planta nos anos posteriores.

Para o *Eucalyptus benthamii* o teor de P no tecido vegetal ficou abaixo da faixa considerada adequada pela Comissão de Química e Fertilidade do Solo (RS/SC) (CQFS-RS/SC, 2004). Para o P a faixa adequada é de 1,0 a 1,3 g kg⁻¹ e neste trabalho ficaram entre 0,6 a 0,9 g kg⁻¹ (Tabela 4).

A análise foliar é um fator importante para avaliar a nutrição da planta e complementar a análise do solo (Gonçalves, 1995). A idade das árvores e o tipo de material genético utilizado podem refletir e influenciar no seu estado nutricional, pois as exigências nutricionais variam entre espécies (Barros et al., 1990), e dentro de uma mesma espécie, entre procedências (Novais et al., 1990).

No presente estudo não foi feita a relação entre a produção das plantas e a fertilidade do solo através de análise química em função dos fertilizantes fosfatados terem sido aplicados em covas próximas às plantas. Desta maneira, não foi possível fazer uma amostragem de solo eficiente para relatar o estado de fertilidade do solo em relação à disponibilidade de P.

6.4.3 Relação entre as espécies

A adubação com P resultou em acréscimos significativos nos volumes de ambas as espécies e os resultados são consistentes com os obtidos por Barros et al. (1990), Chong (1997), Bellote e Neves, (2001) e Awodum et al. (2012), assim como confirmam o conhecimento genérico de que o eucalipto é uma planta que apresenta alta resposta à adubação fosfatada.

De maneira geral as duas espécies responderam a menores doses de P nos dois primeiros anos em relação aos demais, demonstrando que a dose maior de P confere maior efeito residual, traduzindo-se em melhor desempenho das plantas do terceiro ao quinto ano. Contudo, as duas espécies responderam a níveis diferentes de P. Furtini Neto et al. (1996) também observaram diferenças de desempenho de espécies de eucaliptos quando expostas a mesma condição de fertilidade do solo.

Os dados obtidos neste estudo mostraram que o *Eucalyptus benthamii* é menos responsivo ao P quando comparado ao *Eucalyptus dunnii* e, ainda, possibilita a substituição parcial do fosfato solúvel pelo fosfato natural. Porém, quando observado o desempenho das plantas do *Eucalyptus benthamii* nos últimos anos, o fosfato natural deixa de ser interessante, havendo melhor resposta ao fosfato solúvel.

Em geral, neste estudo, foi verificado que os teores de P, K, Ca e Mg foram avaliados como abaixo do nível considerado adequado pela Comissão de Química e Fertilidade do Solo (RS/SC) (CQFS-RS/SC, 2004) para a cultura do eucalipto, estando o N dentro do intervalo adequado para as duas espécies avaliadas (Tabela 2).

Quando foi avaliado variações nos estados nutricionais do eucalipto com idade entre 5,5 a 9,5 anos, Wadt et al. (1999) verificou que o avanço da idade da árvore proporciona maior deficiência de P, maior desequilíbrio de Mg (desequilíbrio entre os nutrientes pode resultar numa absorção deficiente de

alguns e excessiva de outros nutrientes) e diminuição da deficiência de N e Ca.

Avaliando diferentes espécies de eucalipto, Judd et al. (1996) verificaram que as concentrações de N foram satisfatórias, no entanto, na maioria das plantações comerciais os níveis de P, Ca, K e Mg foram baixos, reforçando os resultados observados neste estudo (Tabelas 2 e 4).

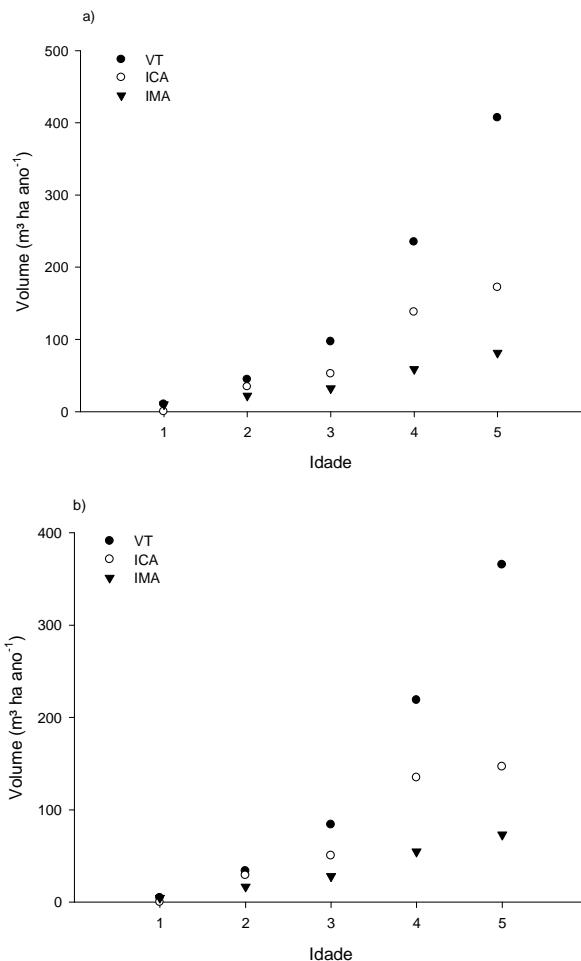
Níveis baixos desses nutrientes são comuns em solos ácidos e com baixa fertilidade como o do presente estudo (Barros et al., 1996; Spangenberg et al., 1996) e os altos teores de N podem ser explicados pela presença de altos teores de matéria orgânica no solo (Tabela 1), típico dos solos do Planalto Sul Catarinense.

Outro aspecto interessante a ser observado é como as espécies cresceram em biomassa ao longo do tempo. Para isso foram calculadas as médias gerais do experimento para o incremento corrente anual (ICA) e o incremento médio anual (IMA), sendo ICA o crescimento em volume cilíndrico ocorrido no período de um ano e IMA o resultado da divisão do volume total pela idade da floresta (Rodrigues, 1991).

Para ambas as espécies do primeiro até o terceiro ano, o ICA e o IMA tiveram incrementos semelhantes, mas do terceiro para o quarto ano de cultivo houve um pico de crescimento volumétrico coincidindo com uma maior demanda de P pelas plantas. Apresentando neste período MET de 75 a 150 kg ha⁻¹ de P₂O₅ para *Eucalyptus benthamii* e MET de 150 a 300 kg ha⁻¹ de P₂O₅ para o *Eucalyptus dunnii*.

No terceiro ano para o *Eucalyptus benthamii* foi registrado ICA e IMA de 52,40 e 32,31 m³ ha ano⁻¹, sendo que no quarto ano foram registrados ICA e IMA de 137,95 e 58,72 m³ ha ano⁻¹, respectivamente. Para o *Eucalyptus dunnii*, o ICA e IMA foram de 50,30 e 27,95 m³ ha ano⁻¹ e 134,83 e 54,67 m³ ha ano⁻¹, no mesmo período (Figura 5).

Figura 5. Média total do volume de madeira com casca (VT), incremento corrente anual (ICA= volume anual-volume do ano anterior) e incremento médio anual (IMA = volume anual/idade do povoamento) para *Eucalyptus benthamii* (a) e *Eucalyptus dunnii* (b) submetidos às fontes e doses de fósforo.



Fonte: produção do próprio autor, 2015.

Assim, se pode avaliar que as espécies conduzidas responderam à aplicação de doses maiores de P₂O₅, e que a utilização de doses menores na implantação do plantel pode decorrer em deficiência de P em longo prazo.

6.5 CONCLUSÕES

O *Eucalyptus dunnii* é mais responsivo que o *Eucalyptus benthamii* em P, necessitando doses maiores e inteiramente na forma solúvel em água (120 kg ha⁻¹ de P₂O₅), enquanto o segundo pode ter parte do fertilizante fosfatado substituído por fosfato natural reativo até o terceiro ano, porém a partir do quarto ano passou a responder somente a dose de P solúvel.

Doses maiores de P na implantação (120 kg ha⁻¹ P₂O₅ solúvel) permitem melhor crescimento das plantas a partir do terceiro ano de idade em solos que contenham em média 241 g kg⁻¹ de argila e 5 mg dm⁻³ de teor de P inicial.

7 CAPÍTULO III

DISTRIBUIÇÃO E MORFOLOGIA DO SISTEMA RADICULAR DE *Eucalyptus dunnii* EM RESPOSTA À APLICAÇÃO DE FÓSFORO

7.1 RESUMO

A utilização de fosfatos solúveis e fosfatos naturais é prática usual na adubação de eucalipto. Como a adubação fosfatada é localizada próximo às plantas, o fósforo (P) pode interferir no crescimento e na morfologia do sistema radicular. O objetivo do trabalho foi avaliar o crescimento e as características morfológicas do sistema radicular de *Eucalyptus dunnii* com o uso de fosfato solúvel e natural. As amostras foram coletadas no ano de 2013 de um experimento instalado em 2010 no município de Otacílio Costa (SC). Foram coletadas amostras de quatro tratamentos: 1) testemunha sem P, 2) adubação com 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅, na forma de fosfato natural; 3) 75 kg ha⁻¹ de P₂O₅, na forma de superfosfato triplo e; 4) 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅ de fosfato natural mais 75 kg ha⁻¹ de P₂O₅ de fosfato solúvel (doses escolhidas por representar o usual nos reflorestamentos da região). A coleta de raízes ocorreu 28 meses após o plantio das mudas e aplicação dos tratamentos com o auxílio de uma sonda de 40 mm de diâmetro. As amostras de solo e raízes foram coletas em três distâncias a partir do fuste (10, 60 e 120 cm) e em duas profundidades (0-10 e 10-20 cm). As raízes foram separadas em duas classes de diâmetro: 0 a 2 mm e 2 a 5 mm. Foram caracterizadas a massa seca de raízes, raio radicular, comprimento, volume e área radicular. No solo foi determinado o teor de P disponível. O fosfato natural não estimulou o crescimento radicular e o fosfato solúvel foi a fonte que proporcionou melhor crescimento e desenvolvimento de raízes finas no *Eucalyptus*.

dunnii, sendo que a maior concentração dessas raízes está localizada próximo ao fuste e na camada mais superficial do solo.

Palavras-chave: raízes de absorção, eucalipto, adubação fosfatada.

7.2 INTRODUÇÃO

O P é exigido em menores quantidades pelas plantas em relação aos demais macronutrientes primários e participa da maioria dos processos vitais do desenvolvimento vegetal (Novais e Smyth, 1999). Entretanto, é aplicado em grandes quantidades via adubação devido a forte tendência de reagir com os componentes do solo e formar compostos pouco solúveis (Furtini Neto et al., 2001).

A exigência em P pelo eucalipto é alta no ano de implantação e diminui com o aumento da idade; em razão disso, o nível crítico de P no solo é mais alto na fase inicial de desenvolvimento, diminuindo na fase de manutenção da floresta (Novais et al., 1990). Assim, as espécies do gênero *Eucalyptus*, que geralmente são introduzidas em solos com baixa fertilidade, respondem positivamente na fase de plantio às adubações com P em razão do seu rápido crescimento inicial.

O P está envolvido em processos essenciais para as plantas como respiração, fotossíntese e regulação protéica, sendo nutriente importante ao estímulo do desenvolvimento do sistema radicular das plantas (Taiz e Zeiger, 2013).

Por vezes, fontes de P de menor solubilidade como os fosfatos naturais podem ser utilizadas juntamente com o fosfato solúvel para a liberação lenta de P nos anos subsequentes ao plantio (Novais e Smyth, 1999) (geralmente apresentam menor eficiência que os fosfatos solúveis em curto prazo) (Goedert, 1986).

Já os fosfatos solúveis devido a sua solubilidade em água quando incorporado ao solo possuem grande capacidade de liberação imediata de P para as plantas (Goedert, 1986).

Uma estratégia sugerida a ser adotada em solos de baixa fertilidade, seria a aplicação do P em um volume maior de solo na forma de fosfato natural, para garantir suprimento às plantas por um período mais longo de tempo e a aplicação localizada de uma fonte solúvel de P, estimulando assim o desenvolvimento radicular do eucalipto (Barros et al., 1990). O que sugere estudos mais aprofundados quando a fonte natural de P é aplicada de forma localizada em covetas ou no sulco de plantio, que é a forma de aplicação na região sul-brasileira.

Além de importante mecanismo de absorção dos recursos edáficos do solo, as raízes são importantes para a captação de nutrientes imóveis como o P; Portanto, não é inusitado que o crescimento radicular seja regulado pela disponibilidade de P (Lynch, 2007).

As raízes finas de absorção são representadas pelas raízes mais distais e tem sido definida como um conjunto único de acordo com um ponto de corte à base de diâmetro, normalmente < 2 mm, ao passo que as raízes de diâmetros maiores desempenham funções essencialmente estruturais e de transporte, com alguma capacidade adicional para armazenamento (McCormack et al., 2015).

Algumas das características das raízes finas de absorção (< 2 mm) são: maior área de superfície em relação ao volume, boa colonização micorrízica, alta densidade de pelos radiculares, pouco ou nenhum desenvolvimento secundário (côrte intacto, pouca suberinização e ausência de cortiça na periderme) (McCormack et al., 2015).

A distribuição de raízes no solo é responsável diretamente pelo crescimento das plantas e pode ser influenciada por fatores inerentes ao solo (textura, densidade, fertilidade, entre outros) ou pelas circunstâncias em que a espécie se desenvolve como espaçamento e competição entre

árvores (Gonçalves e Mello, 2000; Maurice et al., 2010; Finér et al., 2011).

Por exemplo, Reis et al. (1985 e 1987) verificaram grande efeito das condições climáticas, das características físicas e químicas do solo e da produtividade da floresta de eucaliptos sobre a quantidade e distribuição de raízes finas de absorção (< 2 mm) no perfil do solo.

Para Eissenstat (1992) e Fahey e Hughes (1994), há maior densidade de raízes finas de absorção (< 2 mm) nas camadas mais superficiais porque apresentarem maior concentração de P no solo, o que estimula o crescimento radicular.

Essas raízes aumentam a eficiência na absorção dos nutrientes e, em contrapartida, elas possuem capacidade de proliferação rápida, atingindo maiores comprimentos. As raízes finas de absorção (< 2 mm) constituem menos de 1% da biomassa total da floresta, porém sua produção anual pode contribuir com mais de 50% na produção líquida total florestal (Gonçalves e Mello, 2000).

Assim, por um lado os nutrientes móveis no solo podem ser esgotados com uma baixa densidade de enraizamento, mas por outro os íons menos móveis, como o fosfato, tem a absorção do nutriente intimamente relacionada com o comprimento de raízes, necessitando maior densidade de enraizamento (Atkinson, 1991).

As raízes crescem preferencialmente nas regiões que contêm concentrações altas e favoráveis de nutrientes, fato comprovado por Drew (1975), quando isolou três segmentos de raiz de uma mesma planta através da utilização de membrana especial, que permitia a passagem da raiz, mas não permitia a passagem da solução nutritiva, colocando-as em contato com soluções nutritivas diferentes.

Dessa forma, o autor provou que as raízes se desenvolveram bem nos locais com presença de todos os nutrientes e onde houve deficiência de P não ocorreu

desenvolvimento radicular satisfatório, sendo que houve maior desenvolvimento radicular onde este nutriente estava disponível.

As hipóteses são que a aplicação de P faz com que as raízes se desenvolvam de maneira mais localizadas nas regiões próximas à zona de enriquecimento de nutrientes formada a partir da localização dos fertilizantes fosfatados e que o uso de fosfato solúvel proporcione maior crescimento radicular pela maior disponibilizarão de P no solo na fase inicial de crescimento das plantas. Por outro lado, o uso de fosfato natural deve estimular a expansão lateral do sistema radicular pela menor disponibilidade de P próximo às plantas.

Assim, o objetivo do trabalho foi avaliar o crescimento e as características morfológicas do sistema radicular em diferentes distâncias do fuste de *Eucalyptus dunnii* e em diferentes profundidades do solo em plantas fertilizadas com fosfato solúvel, fosfato natural e a combinação de ambos.

7.3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido com *Eucalyptus dunnii* Maiden e implantado no município de Otacílio Costa (SC), em novembro de 2010 em área experimental pertencente a empresa Klabin S/A sob a coordenada geográfica de latitude e longitude 49° 45' 14,1401" W, 49° 45' 56,950" W. Mudas clonais de *Eucalyptus dunnii* (clone KS-25) foram plantadas em espaçamento 2,5 × 2,5 m. Anteriormente a área era utilizada para o cultivo de *Pinus taeda*, o qual encontrava-se no terceiro ciclo de plantio.

O solo do experimento é um Cambissolo Húmico alumínico léptico (Embrapa, 2013), formado a partir de materiais resultantes da meteorização de rochas eruptivas da formação Serra Geral (Embrapa, 2004), e caracterizado segundo metodologia proposta por Tedesco et al. (1995).

No momento do plantio do eucalipto o solo possuía 243 g kg⁻¹ de argila; 54 g kg⁻¹ de matéria orgânica; pH em água de 4,1 (1:1); H+Al de 35,9 cmol_c kg⁻¹; Índice SMP 4,2; 0,5 cmol_c dm⁻³ de Ca²⁺; 0,2 cmol_c dm⁻³ de Mg²⁺; 8,5 cmol_c dm⁻³ de Al³⁺; 4,9 mg dm⁻³ de P disponível (extraído por Mehlich-1); 47 mg dm⁻³ de K disponível (extraído por Mehlich-1); 9,2 cmol_c dm⁻³ de CTC efetiva; 36,6 cmol_c dm⁻³ de CTC à pH 7,0; 2,0% de saturação por bases e 91,9% de saturação por Al.

O delineamento experimental utilizado foi blocos ao acaso, em esquema de parcelas subdivididas, com três repetições. Na parcela principal, os tratamentos foram: ausência ou presença de fosfato natural na dose de 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅; e nas subparcelas as doses de fosfato solúvel de 0 e 75 kg ha⁻¹ P₂O₅ (doses escolhidas por representar o usual nos reflorestamentos da região). As parcelas principais possuíam 312,5 m² de área útil que continham 50 plantas.

O fosfato natural utilizado foi o fosfato de Bayovar, com 34 % de P₂O₅ total e 16 % de P₂O₅ solúvel em ácido cítrico, determinados segundo método do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2007).

A fonte de fosfato solúvel utilizada foi o superfosfato triplo, com 44% de P₂O₅ total e 42% de P₂O₅ solúvel em água.

A adubação fosfatada foi realizada unicamente na época de plantio, e o fosfato solúvel foi aplicado em duas covas distantes cerca de 10 cm nas laterais de cada planta no sentido da entrelinha de plantio. Os tratamentos com uso de fosfato natural também foram aplicados em duas covas distantes, cerca de 10 cm, nas laterais de cada planta no sentido da linha de plantio.

O plantio das mudas foi realizado no mês de novembro de 2010, momento em que foi realizada a adubação de base com KCl (30 kg ha⁻¹ de K₂O) e ureia (15 kg ha⁻¹ de N), ambos aplicados na superfície e em área total, juntamente com calcário na dose de 1,0 Mg ha⁻¹ (Filler, PRNT de 98,1%) para suprimento de cálcio (Ca) e magnésio (Mg), tendo como base o

manejo florestal utilizado em áreas de florestamento da região.

A adubação de cobertura foi realizada em superfície, com aplicação na projeção da copa das plantas. Foram aplicados 60 kg ha⁻¹ de K₂O e 30 kg ha⁻¹ de N, parcelados em duas épocas (aos cinco e aos 10 meses após o plantio).

A coleta de raízes foi realizada 28 meses após o plantio das mudas e como unidade amostral foi escolhida a árvore central das subparcelas. Para a coleta do solo com raízes foi utilizada uma sonda cilíndrica de ferro com um tubo de PVC em seu interior, com dimensões de 30 cm de comprimento e 40 mm de diâmetro. Foram coletados seis pontos por árvore, três pontos na linha e três pontos na entrelinha, nas distâncias do fuste de 10, 60 e 120 cm e na profundidade de 0 a 30cm (Anexo 7).

No laboratório, os tubos de PVC foram delimitados nos comprimentos de 0-10 cm e de 10-20 cm, sendo estas as profundidades de coleta consideradas. A separação do solo e das raízes foi feita sobre um conjunto de peneiras com uso de pinça, separando raízes finas (0- 2 mm de diâmetro) e raízes grossas (2 a 5 mm de diâmetro). Uma amostra do solo foi coletada em cada distância e profundidade para determinação do teor de P através de extração por resina trocadora de ânions (RTA).

Foi determinada a massa total úmida (massa fresca) de raízes finas e de raízes grossas nas raízes com auxílio de balança analítica. Das raízes finas, foram pesados 0,2 g e armazenadas em álcool 70% sob refrigeração para posterior determinação dos parâmetros morfológicos de raízes.

Foi determinada a matéria seca das raízes através de pesagem em balança analítica após secagem em estufa de circulação de ar a 60 °C, utilizando a fórmula $MS = (PU - PS / PU) \times 100$, sendo MS a massa seca, PU o peso úmido e PS o peso seco.

Os parâmetros morfológicos das raízes finas de absorção (< 2 mm) foram determinados conforme metodologia apresentada por Schenk e Barber (1979).

O comprimento (L) de raiz foi determinado pelo método de intersecção descrito por Tennant (1975). O raio médio da raiz (R) foi calculado pela fórmula $R = (PF/L\pi)^{1/2}$, onde PF é o peso fresco da raiz. Essa fórmula pressupõe a forma cilíndrica das raízes com densidade de 1,0 g cm⁻³. A área foi calculada segundo a metodologia de Rossiello et al. (1995) através da fórmula $A = (2\pi RL)$ e o volume pela fórmula $V = (\pi R^2)L$.

Os dados foram submetidos à análise de variância de acordo com o delineamento experimental. As médias foram comparadas pelo teste de Scott Knott. Foi realizada correlação simples de Pearson entre o teor de P no solo com as demais variáveis.

Todas as análises foram conduzidas usando o software Statistical Analysis System® (SAS, 2003). Para todos os testes efetuados foi considerado o nível mínimo de significância de 5% .

7.4 RESULTADOS

A análise de variância para massa seca de raízes finas de absorção (< 2 mm) mostrou significância somente para as fontes de P e para a profundidade de coleta. Não houve respostas significativas para as demais variáveis analisadas e nem ocorreu interação entre elas.

O fosfato solúvel foi a fonte de P que ocasionou maior produção de massa seca de raízes finas de absorção (< 2 mm) em relação as demais (0,41 g cilindro⁻¹). A testemunha, o fosfato natural e a união de fosfato natural + fosfato solúvel tiveram produção similares, não se diferenciando (média de 0,28 g cilindro⁻¹).

O maior acúmulo de raízes finas de absorção (< 2 mm) ocorreu na profundidade de 0-10 cm, com massa cerca de cinco vezes maior que na profundidade de 10-20 cm (Tabela 1).

Não houve diferenças na massa seca de raízes finas de absorção (< 2 mm) nas diferentes distâncias em relação ao fuste, indicando que nesta idade o sistema radicular das plantas já atingia toda área experimental.

Para a massa seca de raízes grossas (2 a 5 mm de diâmetro), o comportamento foi semelhante ao das raízes finas de absorção (< 2 mm) (Tabela 2), com resultados significativos apenas para as fontes de P e para profundidade.

Os tratamentos com presença de fosfato solúvel (fosfato solúvel e fosfato natural + fosfato solúvel) foram os que resultaram em maior produção de massa seca de raízes finas de absorção (< 2 mm) (0,19 e 0,14 g cilindro⁻¹, respectivamente) comparado com a testemunha e ao fosfato natural, os quais juntos resultaram em uma produção média de 0,08 g cilindro⁻¹.

Similarmente ao ocorrido para raízes finas de absorção (< 2 mm), a maior massa de raízes de 2 a 5 mm foi observada na camada de 0-10 mm, não havendo diferença entre as distâncias do fuste.

Para a massa seca total houve resposta às fontes de P, à profundidade e houve interação entre elas (Tabela 3).

Assim como ocorrido para raízes de 2 a 5 mm, os tratamentos com fosfato solúvel (fosfato solúvel e fosfato natural + fosfato solúvel) apresentaram as maiores produções de massa seca (média de 0,87 g cilindro⁻¹) em relação à testemunha (0,63 g cilindro⁻¹) e ao fosfato natural (0,48 g cilindro⁻¹).

Para todas as profundidades a produção de massa seca foi maior na camada superficial, não havendo diferença entre as distâncias do fuste.

Tabela 1. Massa seca de raízes finas (< 2 mm) de *Eucalyptus dunnii* submetido às fontes de fósforo em diferentes distâncias do fuste e profundidade do solo.

Fonte P	Prof 0-10 cm			Prof 10-20 cm			Média	
	Distância do fuste (cm)			Distância do fuste (cm)				
	10	60	120	10	60	120		
Testemunha	0,44	0,69	0,47	0,17	0,04	0,04	0,31B	
FS	0,63	0,92	0,58	0,17	0,13	0,06	0,41A	
FN	0,35	0,40	0,39	0,12	0,06	0,03	0,22B	
FN + FS	0,53	0,46	0,53	0,17	0,07	0,06	0,30B	
Média	0,48 ^{ns}	0,62	0,49	0,16 ^{ns}	0,07	0,05		
Média da distância do fuste	0,32 ^{ns}	0,24	0,27					
Média da profundidade				0,53a			0,09b	

Dentro de cada fator, médias seguidas de letras distintas diferem entre si pelo teste de Scott Knott a 5% de significância ($P<0,05$). CV = 49,1%

Inexistência de letras significa ausência de diferenças estatísticas.

ns = não significativo para os níveis testados; FS = fosfato solúvel.; FN = fosfato natural.

Fonte: produção do próprio autor, 2015.

Tabela 2. Massa seca de raízes 2-5 mm de *Eucalyptus dunnii* submetido às fontes de fósforo em diferentes distâncias do fuste e profundidade do solo.

Fonte P	Prof. 0-10 cm			Prof. 10-20 cm		
	Distância do fuste (cm)			Distância do fuste (cm)		Média
	10	60	120			
Testemunha	0,00	0,21	0,08	0,04	0,04	0,00
FS	0,15	0,19	0,35	0,04	0,02	0,07
FN	0,10	0,18	0,08	0,14	0,00	0,17
FN + FS	0,45	0,19	0,25	0,04	0,13	0,10
Média	0,17 ^{ns}	0,17	0,19	0,06	0,05	0,08
Média da distância do fuste				0,12 ^{ns}	0,11	0,13
Média da profundidade				0,18 ^a		0,06 ^b

Dentro de cada fator, médias seguidas de letras distintas diferem entre si pelo teste de Scott Knott a 5% de significância ($P<0,05$). CV = 103,7%. Inexistência de letras significa ausência de diferenças estatísticas.

ns = não significativo para os níveis testados; FS = fosfato solúvel.; FN = fosfato natural.

Fonte: produção do próprio autor, 2015.

Tabela 3. Massa seca total de raízes de *Eucalyptus dunnii* submetido às fontes de fósforo em diferentes distâncias do fuste e profundidade do solo.

Fonte de P	Distância do fuste (cm)			Média
	10	60	120	
Prof. 0-10 cm g dm ⁻³				
Testemunha	0,44	0,90	0,56	0,63A ^b
FS	0,78	1,11	0,93	0,94A ^a
FN	0,45	0,52	0,47	0,48AC
FN+FS	0,98	0,66	0,78	0,81A ^a
Média	0,66 ^{ns}	0,79	0,68	0,72A
Prof. 10-20 cm g dm ⁻³				
Testemunha	0,21	0,08	0,04	0,11B ^a
FS	0,21	0,15	0,13	0,16B ^a
FN	0,27	0,06	0,14	0,16B ^a
FN+FS	0,24	0,21	0,16	0,20B ^a
Média	0,23 ^{ns}	0,12	0,12	0,16B
Média da distância do fuste	0,45 ^{ns}	0,46	0,40	

Dentro de cada fator, médias seguidas de letras distintas diferem entre si pelo teste de Scott Knott a 5% de significância ($P<0,05$). CV = 44,7%

Letras maiúsculas comparam as fontes de P em PROFC diferentes e entre as PROFC. Letras minúsculas comparam as fontes de P dentro das mesmas PROFC. Inexistência de letras significa ausência de diferenças estatísticas.

ns = não significativo para os níveis testados; FS = fosfato solúvel.; FN = fosfato natural.

Fonte: produção do próprio autor, 2015.

A área radicular seguiu a mesma tendência observada para a massa seca de raízes, tendo maior área radicular no tratamento com aplicação de fosfato solúvel. A maior área radicular de raízes finas de absorção (< 2 mm) foi observada na camada de 0-10 cm, não ocorrendo diferenças entre as distâncias do fuste (Tabela 4).

Já o volume radicular das raízes finas de absorção (< 2 mm) (Tabela 5) foi maior no tratamento com aplicação de fosfato solúvel e na camada superficial, não havendo diferenças entre as distâncias do fuste.

Os tratamentos com aplicação de fosfato solúvel também apresentaram maior raio radicular do que os demais tratamentos (Tabela 6), com maior raio médio na camada de 0 a 10 cm de profundidade. Foi observada diferença entre os raios radiculares nas diferentes distâncias do fuste, ocorrendo maior raio nas distâncias mais próximas ao fuste.

O comprimento de raízes finas de absorção (< 2 mm) foi significativo apenas para a profundidade, ocorrendo maior comprimento radicular na camada de 0-10 cm. Para as demais variáveis não houve resposta aos tratamentos e localização de coleta (Tabela 7).

Na Tabela 8 são apresentados os resultados dos teores de P no solo em função dos tratamentos. Embora nos tratamentos com adição de fosfato os teores tenham sido numericamente mais elevados do que na testemunha, não houve efeito significativo em função do elevado coeficiente de variação observado ($CV = 292,7\%$) (Isso ocorreu porque como os fertilizantes foram aplicados em covas e provavelmente ora foi amostrado exatamente em cima da cova, ora não).

O único efeito estatisticamente significativo foi a distância do fuste, onde a distância de 10 cm apresentou, em geral, maior teor de P que as demais distâncias, o que é esperado já que os fertilizantes fosfatados foram aplicados próximos às plantas.

Houve correlação negativa entre o teor de P e a profundidade de amostragem e distância do fuste, confirmando o efeito de localização da adubação fosfatada (tabela 9).

Todas as variáveis relacionadas ao sistema radicular se correlacionaram negativamente com a profundidade de amostragem, confirmando também que o sistema radicular se desenvolveu principalmente na camada de 0-10 cm.

Tabela 4. Área radicular de *Eucalyptus dunnii* submetido às fontes de fósforo em diferentes distâncias do fuste e profundidade do solo.

Fonte P	Prof. 0-10 cm			Prof. 10-30 cm			Média	
	Distância do fuste (cm)			Distância do fuste (cm)				
	10	60	120	10	60	120		
Testemunha	64,97	70,71	65,61	27,43	17,36	15,65	43,62B	
FS	71,54	86,55	67,90	29,19	28,86	21,16	50,86A	
FN	51,57	50,93	58,91	28,17	16,66	14,18	36,73B	
FN + FS	57,87	56,60	60,67	26,18	22,48	24,74	41,42B	
Média	61,49 ^{as}	66,20	63,27	27,74 ^{ps}	21,34	18,93		
Média da distância do fuste	44,62 ^{as}	43,77	41,10					
Média da profundidade				63,65 ^a		22,67 ^b		

Dentro de cada fator, médias seguidas de letras distintas diferem entre si pelo teste de Scott Knott a 5% de significância ($P<0,05$). CV = 27,3% Inexistência de letras significa ausência de diferenças estatísticas.

ns = não significativo para os níveis testados; FS = fosfato solúvel.; FN = fosfato natural.

Fonte: produção do próprio autor, 2015.

Tabela 5. Volume radicular de *Eucalyptus dunnii* submetido às fontes de fósforo em diferentes distâncias do fuste e profundidade do solo.

Fonte de P	Distância do fuste (cm)				Media
	10	60	120	Prof. 0-10 cm -cm³ dm³	
Testemunha	1,70	2,06	1,74	1,83Ab	
FS	2,30	3,53	2,10	2,64Aa	
FN	1,23	1,21	1,35	1,26Ab	
FN+FS	1,84	1,61	1,49	1,64Ab	
Média	1,77 ^{ns}	2,10	1,67	1,84A	
Prof. 10-20 cm -cm³ dm³					
Testemunha	0,39	0,17	0,14	0,24Ba	
FS	0,54	0,41	0,21	0,39Ba	
FN	0,44	0,21	0,12	0,25Ba	
FN+FS	0,57	0,25	0,24	0,35Ba	
Média	0,48 ^{ns}	0,26	0,18	0,31B	
Média da distância do fuste					
	1,13 ^{ns}	1,18	0,92		

Dentro de cada fator, médias seguidas de letras distintas diferem entre si pelo teste de Scott Knott a 5% de significância ($P<0,05$). CV = 59,6%. Letras maiúsculas comparam as fontes de P em diferentes PROFC e entre as PROFC; Letras minúsculas comparam as fontes de P dentro das mesmas PROFC. Inexistência de letras significa ausência de diferenças estatísticas. ns = não significativo para os níveis testados; FS = fosfato solúvel.; FN = fosfato natural.

Fonte: produção do próprio autor, 2015.

Tabela 6. Raio radicular de *Eucalyptus dunnii* submetido às fontes de fósforo em diferentes distâncias do fuste e profundidade do solo.

Fonte P	Prof. 0-10 cm			Prof. 10-20 cm			Média	
	Distância do fuste (cm)			Distância do fuste (cm)				
	10	60	120	10	60	120		
Testemunha								
FS	0,05	0,06	0,05	0,03	0,02	0,02	0,038B	
FN	0,06	0,08	0,06	0,04	0,03	0,02	0,048A	
FN + FS	0,05	0,05	0,04	0,03	0,03	0,02	0,036B	
Média	0,06	0,07	0,05	0,04	0,02	0,02	0,042A	
Média da distância do fuste								
Média da profundidade	0,045A	0,040B	0,035B	0,026a	0,023b			

Dentro de cada fator, médias seguidas de letras distintas diferem entre si pelo teste de Scott Knott a 5% de significância ($P<0,05$). CV = 27,0% Inexistência de letras significa ausência de diferenças estatísticas.
 ns = não significativo para os níveis testados; FS = fosfato solúvel.; FN = fosfato natural.

Fonte: produção do próprio autor, 2015

Tabela 7. Comprimento radicular de *Eucalyptus dunnii* submetido às fontes de fósforo em diferentes distâncias do fuste e profundidade do solo.

Fonte P	Prof. 0-10 cm			Prof. 10-20 cm			Média	
	Distância do fuste (cm)			Distância do fuste (cm)				
	10	60	120	10	60	120		
Testemunha	198,26	195,52	202,32	171,55	142,35	136,26	174,31 ^{ps}	
FS	181,76	190,67	181,17	141,17	168,98	173,12	172,66	
FN	176,65	172,20	234,40	153,21	105,94	131,87	162,38	
FN + FS	150,60	174,69	198,72	107,18	184,05	202,98	169,70	
Média	176,81 ^{ns}	183,22	204,15	142,28 ^{se}	150,10	161,06		
Média da distância do fuste	159,50 ^{ps}	166,66	182,60					
Média da profundidade		188,06 ^a					151,48 ^b	

Dentro de cada fator, médias seguidas de letras distintas diferem entre si pelo teste de Scott Knott a 5% de significância ($P<0,05$). CV = 25,9%

Inexistência de letras significa ausência de diferenças estatísticas.

ns = não significativo para os níveis testados; FS = fosfato solúvel.; FN = fosfato natural.

Fonte: produção do próprio autor, 2015.

Tabela 8. Teores de fósforo no solo extraído pelo método de resina trocadora de ânions (RTA) em solo cultivado com *Eucalyptus dunnii* submetido às fontes de fósforo em diferentes distâncias do fuste e profundidade do solo.

Fonte P	Prof 0-10 cm			Prof 10-20 cm			Média
	10	60	120	10	60	120	
Testemunha	6,23	8,04	6,50	3,94	4,01	4,12	5,47 ^{as}
FS	143,02	13,91	13,25	147,11	5,60	4,65	54,59
FN	5,19	6,75	5,08	2,44	2,32	2,44	4,03
FN+FS	165,38	5,92	6,43	37,76	3,45	2,76	36,95
Média	79,96	8,66	7,82	47,81	3,84	3,49	
Média da distância do fuste	63,89A	6,25B	5,65B				
Média da profundidade				32,14 ^{as}			18,38

Dentro de cada fator, médias seguidas de letras distintas diferem entre si pelo teste de Scott Knott a 5% de significância ($P<0,05$). CV = 292,7% Inexistência de letras significa ausência de diferenças estatísticas.

ns = não significativo para os níveis testados; FS = fosfato solúvel.; FN = fosfato natural.

Fonte: produção do próprio autor, 2015.

Tabela 9. Correlação simples de Pearson entre o teor de fósforo (P solo) e distância do fuste (DF), profundidade de coleta (PROFC), massa seca <2 mm (MS<2), massa seca 2-5 mm (MS2-5), massa seca total (MST), área, volume, raio e comprimento radicular em *Eucalyptus dunnii*.

	Variáveis		
	DF	PROFC	P solo
DF	-	0,000 ^{ns}	- 0,120**
PROFC	0,000 ^{ns}	-	- 0,010 ^{ns}
MS<2	-0,006 ^{ns}	-0,609**	0,033 ^{ns}
MS2-5	0,000 ^{ns}	-0,144**	- 0,001 ^{ns}
MST	-0,002 ^{ns}	-0,576**	0,017 ^{ns}
Área	-0,003 ^{ns}	-0,718**	0,032 ^{ns}
Volume	-0,006 ^{ns}	-0,546**	0,045 ^{ns}
Raio	-0,044 ^{ns}	-0,539**	0,095**
Comprimento	0,035 ^{ns}	-0,138**	- 0,010 ^{ns}
P solo	-0,013 ^{ns}	-0,203**	-

**< 0,05; ns = não significativo para os níveis testados; N = 72; Valores apresentados em R².

Fonte: produção do próprio autor, 2015.

7.5 DISCUSSÃO

Para todas as variáveis analisadas (com exceção do comprimento radicular, o qual não respondeu às fontes de P), o fosfato solúvel foi a fonte que em geral propiciou características positivas no desenvolvimento do sistema radicular do *Eucalyptus dunnii*.

A adição conjunta de fosfato natural + fosfato solúvel ocasionou valores intermediários e o fosfato natural não diferiu da testemunha, resultando em características morfológicas indesejáveis, ou seja, sistema radicular menos desenvolvido, caracterizado por menor concentração de raízes, menor volume, área e raio radicular.

Essa melhor resposta do sistema radicular ao uso de fosfato solúvel ocorreu em resposta à zona de enriquecimento de nutriente presente no solo, gerada pela aplicação localizada do fertilizante fosfatado solúvel. A área de alta concentração de P foi responsável pelo fornecimento imediato desse nutriente às raízes das plantas, enquanto que nos outros tratamentos (testemunha e fosfato natural), as raízes entraram em contato com áreas de baixa concentração de P. Assim, em resposta ao maior teor de P disponível, o sistema radicular respondeu em desenvolvimento.

A resposta na morfologia do sistema radicular varia de acordo com o elemento que se encontra em deficiência, mas as plantas tendem a concentrar as raízes nas camadas superficiais; para isso reduzem o crescimento da raiz principal e alocam seus recursos para o aumento da densidade de raízes laterais e de pêlos radiculares (Vance et al., 2003; Lambers et al., 2008).

O melhor desenvolvimento do sistema radicular em resposta a doses de P solúvel também foi observado por Ribeiro et al. (2010), que mesmo em condições de solo adensado afetando negativamente o desenvolvimento das raízes de *Eucalyptus grandis*, constataram a reversão dessa ocorrência através do fornecimento de doses maiores do nutriente.

Também Novais et al. (1990), observaram em *Eucalyptus grandis* intensa proliferação de raízes finas e longas nos locais onde havia P em maiores concentrações, confirmando os resultados obtidos com o *Eucalyptus dunnii*.

Reis et al. (1985) relatam que o diâmetro e o volume de raízes finas de eucalipto diminuem à medida que aumentam as doses de adubação; que quanto mais produtivo for o sítio menos desenvolvido será o sistema de raízes finas de absorção (< 2 mm).

O contrário também é verdadeiro, ou seja, quando o sítio é pouco produtivo, as plantas terão um sistema radicular mais efetivo, capaz de absorver melhor os nutrientes do solo (Reis et al., 1985).

Como estratégia para aumentar a aquisição de P do solo, as plantas deficientes do nutriente tendem a aumentar a relação da massa seca e o comprimento de raiz mais finas, promovendo incremento na área superficial do sistema radicular (Marschner, 1995).

Considerando os dados obtidos, esse comportamento não se confirmou, pois a maior concentração de raízes ocorreu no tratamento com a fonte solúvel, ou seja, na maior disponibilidade imediata de P. Comportamento semelhante foi relatado por Gonçalves e Mello (2000), em *Eucalyptus grandis*, que observou que em sítios menos férteis havia menor densidade de raízes. A deficiência de P nas fases de indução e formação das raízes reduz, significativamente, o comprimento das mesmas (Schawambach et al., 2005), implicando em redução do crescimento das plantas.

De modo geral, foi na profundidade de 0-10 cm onde se encontraram os maiores teores de P e maior concentração de raízes. A distância do fuste, quando significativa, mostrou maiores valores dos parâmetros radiculares próximo do fuste.

A movimentação do P no solo ocorre principalmente por difusão e a distâncias muito pequenas (Novais e Smyth, 1999). Por consequência, há a necessidade do P estar

localizado próximo ao sistema radicular para ser captado e absorvido.

Estudos relatam que 80% de raízes finas estavam localizadas na profundidade de 0-20 cm em povoamentos de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla* aos seis anos de idade (Gonçalves e Mello, 2000). Semelhante ao observado por Cavalier (1992) e Schumacher (1997) em outras espécies de eucalipto, que relataram que cerca de 85% das raízes finas se concentraram nos primeiros 20 cm de solo, ocorrendo redução exponencial na biomassa radicular com o aumento da profundidade. Também Bauhus et al. (2000), trabalhando com *Eucalyptus globulus* constataram maior concentração de raízes finas de absorção até a profundidade de 30 cm. Estas observações reforçam os resultados encontrados neste estudo para o *Eucalyptus dunnii*.

De forma geral, o fosfato solúvel estimulou a formação de um sistema radicular mais efetivo e com características desejáveis, provocando maior concentração de raízes, maior volume, área e raio radicular de raízes finas quando houve a oferta do P prontamente disponível no solo, o que não foi observado quando se utilizou adubação com fosfato natural.

Esta morfologia radicular mais efetiva proporciona maior contato radicular com o P e resulta em melhoria no aproveitamento dos recursos do sistema (principalmente na absorção de P). A mensuração da distribuição espacial do sistema radicular das plantas de *Eucalyptus dunnii* é de grande valia na tomada de decisão sobre o manejo da fertilização, principalmente no que tange à localização dos fertilizantes aplicados em cobertura.

7.6 CONCLUSÕES

O fosfato solúvel proporcionou melhor crescimento de raízes finas de absorção (< 2 mm) no *Eucalyptus dunnii*, sendo que a maior concentração dessas raízes está localizada nos

primeiros centímetros próximos ao fuste e na camada mais superficial do solo.

O fosfato natural não estimulou o desenvolvimento radicular das plantas.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A adubação usualmente utilizada no sul do Brasil para a produção de *Eucalyptus dunnii* e *Eucalyptus benthamii* está altamente relacionada com as indicações de adubação para as regiões tropicais do país, sendo menores as informações direcionadas para a eucaliptocultura desenvolvida nesta região.

Os presentes estudos foram realizados de acordo com essa premissa, buscando esclarecer pontos importantes sobre as respostas dessas espécies de eucaliptos à adubação com P e B em solos do planalto sul catarinense, principalmente por serem nutrientes limitantes ao crescimento do eucalipto.

Por estar presente no solo principalmente adsorvido a matéria orgânica (onde os teores são considerados altos na região), se pressupôs que não seria necessária a oferta de B no manejo da adubação dos reflorestamentos. Porém tiveram-se dúvidas quando na ocorrência de déficit hídrico, que prejudica a mineralização da matéria orgânica e a absorção de B durante o período de crescimento inicial das plantas.

No decorrer do estudo desenvolvido em casa-de-vegetação foi observada ocorrência da seca-de-ponteiros no *Eucalyptus benthamii*; principalmente nas plantas que não receberam adubação com B e em regime hídrico mais restritivo.

Isso indicou que mesmo com altos teores de matéria orgânica no solo, a adubação com B é importante e deve ser realizada como prescrição de segurança, mas pode ser na dose de 0,55 g B planta⁻¹, 50% menor do que a indicada nos plantios de eucalipto de regiões tropicais quando em restrição hídrica.

O P é um dos nutrientes mais requeridos pelo eucalipto e os teores presentes no solo não são suficientes para o bom desenvolvimento das plantas, a forma de suprir esta necessidade é através da adubação com nutrientes minerais fosfatados.

Na região, a adubação com fosfato natural e com fosfato solúvel é efetuada, mas sem suporte técnico que ofereça garantias sobre as respostas do *Eucalyptus dunnii* e do *Eucalyptus benthamii*.

Surgiu então a necessidade de conhecer como ocorrem os incrementos em produtividade em relação a essas fontes de P e na substituição parcial do fosfato solúvel pelo fosfato natural, bem como qual a dose seria mais indicada para atingir níveis de produtividades positivos no campo para estas espécies, onde foi possível observar que cada uma delas tem comportamento diferenciado.

O *Eucalyptus dunnii* mostrou ser mais responsivo à adubação com P e não respondeu a adubação com fosfato natural, necessitou de doses maiores de P na forma solúvel, quando comparado ao *Eucalyptus benthamii* que respondeu positivamente à substituição parcial do fosfato solúvel por fosfato natural até o terceiro ano, quando passou a responder somente ao fosfato solúvel.

Também pode ser presumido que doses maiores de P solúvel na implantação dos reflorestamentos das duas espécies podem ocasionar incrementos positivos com o passar do tempo, como dose de manutenção presente no solo da floresta. De forma geral, a melhor dose para ambas as espécies pode ser considerada de 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅ solúvel em solos que contenham em média 241 g kg⁻¹ de argila e 5 mg dm⁻³ de teor de P inicial.

O P também é um nutriente importante na formação do sistema radicular do eucalipto, por isso, se buscou conhecer as características morfológicas das raízes finas de absorção (< 2 mm) do *Eucalyptus dunnii* para verificar o desenvolvimento dessas quando adicionados adubos fosfatados naturais, solúveis e com a união das duas fontes de P no solo.

Através desse estudo foi possível identificar maior concentração radicular em sítios saturados com P proporcionado pela aplicação do fosfato solúvel, o que não

aconteceu quando o fosfato natural foi a fonte de P disponível no solo.

Outra característica foi a localização das raízes finas de absorção (< 2 mm), que se concentraram mais próximas ao fuste e em profundidades mais superficiais.

Estes resultados são importantes para se definir práticas de manejo da adubação mais eficientes, principalmente sobre a localização de adubações de cobertura.

Os resultados obtidos com os estudos realizados salientam a necessidade de se processar um manejo de adubação regionalizado e diferenciado para espécies de regiões de clima subtropical.

Como complemento, sugere-se que os estudos de campo com *Eucalyptus dunnii* e *Eucalyptus benthamii* sejam mantidos para que por ocasião do corte possam ser analisados parâmetros sobre o aproveitamento do nutriente pela planta; outros trabalhos podem ser realizados a partir da condução da brotação das cepas buscando o conhecimento da dinâmica do P aplicado na implantação do reflorestamento a longo prazo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRADE, G.C. et al. Efeitos da adubação fosfatada e da aplicação de resíduos de celulose no crescimento de *Eucalyptus dunnii*. **Boletim de Pesquisa Florestal**. Colombo, 2003.
- ANDRESON, R.L.; NELSON, A.L. A Family of models involving intersecting straight lines and concomitant experimental designs useful in evaluating response to fertilizer nutrients. **Biometrics**, 1975.
- ASSENHEIMER, A. Benefícios do uso de bioassólidos como substratos na produção de mudas de espécies florestais. **Ambiência**, Guarapuava, 2009.
- ASSIS, T. F. de; MAFIA, R. G. Hibridação e clonagem. In: BORÉM, A. (Ed.). **Biotecnologia florestal**. Viçosa: Suprema Gráfica e Editora, 2007.
- ATKINSON, D. Influence of root system morphology and development on the need for fertilizers and the efficiency of use. In: WAISEL, Y.; ESHEL, A.; KAFRAKI, U. (Ed). **Plant roots: the hidden half**. New York: M. Dekker, 1991.
- AWODUN, M.A.; BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F.; DANTAS, S.V. Agronomic performance *eucalyptus* (*Eucalyptus grandis* L.) as affected by sources and rates of phosphates. **Science Journal**, 2012.
- BARBER, S.A. Soil interactions in the phosphorus nutrition of plants. In: KHASAWNCH, F.E.; SAMPLE, E.C. & KAMPRATH, E.J. (Ed.). **The role of phosphorus in agriculture**. Madison: American Society of Agronomy, 1980.

BARBER, S.A. Soil nutrient bioavailability: a mechanistic approach. New York: John Wiley, 1995.

BARRET, R.L.; CARTER, D.T. & SEWARD, B.R.T. – *Eucalyptus grandis* in Rhodesia. The Rodesia bulletin of forestry research. Salisbury, 1975.

BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F.; NEVES, J.C.L. Fertilização e correção do solo para o plantio de eucalipto. In: **BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F. (Eds.). Relação solo-eucalipto.** Viçosa: Folha de Viçosa, 1990.

BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F. de. *Eucalyptus* nutrition and fertilizer regimes in Brazil. In: **ATTIWILL, P. M.; ADA-MS, M. A. (Ed.). Nutrition of Eucalyptus.** Collin-wood: CSIRO, 1996.

BAUHUS, J.; KHANNA, P.K.; MENDEN, N. Aboveground and belowground interactions in mixed plantations of *Eucalyptus globules* and *Acacia meamsii*. Ottawa, **Canadian Journal of Forest Research**, 2000.

BELLOTE, A.F.J.; NEVES, E.J.M. **Calagem e adubação em espécies florestais plantadas na propriedade rural.** Colombo: Embrapa Florestas. Circular técnica. 2001.

BENSON, D. H. **Aspects of the ecology of a rare tree species, *Eucalyptus benthamii*, at Bents Basin,** Wallacia: Cunninghamia, 1985.

BERTOL, I. Erosão hídrica em Cambissolo Húmico distrófico sob diferentes preparos do solo e rotação de cultura. **R. Bras. Ci. Solo**, 1994.

CAVALIER, J. F. Root biomass and soil properties in a semideciduous and a lower montane rain forest in Panamá. **Plant and soil**, 1992.

CELESTINO, T.S. et al. Sources and application methods of boron in *Eucalyptus* crop. Londrina: **Ciências Agrárias**, 2015.

CHAVES, J.H. et al. Seleção precoce de clones de eucalipto para ambientes com disponibilidade diferenciada de água no solo: relações hídricas de plantas em tubetes. Viçosa: **Revista Árvore**, 2004.

CHIEN, S.H.; PROCHNOW, L.I.; TU, S. & SNYDER, C.S. Agronomic and environmental aspects of phosphate fertilizers varying in source and solubility: an update review. **Nutr. Cycl. Agroecosyst.**, 2011.

CHONG Zlu . Effect of lime, P, Zn and B nutrients on growth of *Eucalyptus grandis* seedlings on latored surface soil. **Forest Research**. 1997.

COMISSÃO de Química e Fertilidade do Solo – CQFS-RS/SC. Recomendação de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. ed.10 Porto Alegre:**Soc Bras Ci Solo**, 2004.

DELL, B.; MALAJCZUK, N.; GROVE, T.S. **Nutrient disorders in plantation eucalyptus**. Australian Center for International Agriculture Research, 1995.

DELL B.; HUANG L. Physiological responses of plants to low boron. **Plant Soil**. 1997.

DIAS, L.P.R. et al. Substituição parcial de fosfato solúvel por natural na implantação de *Eucalyptus benthamii* e *Eucalyptus*

dunnii no Planalto Sul Catarinense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 2014.

DREW, M.C. Comparison of the effects of a localized supply of phosphate, nitrate, ammonium and potassium on the growth of the seminal root system, and the shoot, in barley. **New Phytologist**, 1975.

EISSENSTAT, D.M. Costs and benefits of constructing roots of small diameter. **Journal of plant nutrition**, 1992.

EMPRESA Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa. Centro Nacional de Pesquisa de Florestas (Curitiba). **Zoneamento ecológico para plantios florestais no estado do Paraná**. Brasília, 1986. (Documentos, 17).

EMPRESA Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília. Embrapa Solos, Embrapa Informática Agropecuária. Comunicação para Transferência de Tecnologia, 1999.

EMPRESA Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa. **Solos do Estado de Santa Catarina**. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento nº 46. Embrapa Solos, 2004.

EMPRESA Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Ed. 3. Brasília: Embrapa Solos, 2013.

FAHEY, T.; HUGHES, J.W. Fine root dynamics in a northern hardwood forest ecosystem. Hubbard Brook Experimental Forest, NH. **Jornal of ecology**, 1994.

FARIA, G.E. et al. Avaliação da produtividade, conteúdo e eficiência de utilização de nutrientes em genótipos de *Eucalyptus spp.* no Vale do Jequitinhonha, MG. Santa Maria, **Ciência Florestal**, 2008.

FERREIRA D; F. SISVAR: a Computer StatisticalAnalysis System. Lavras: **Ci Agrotec**. 2011.

FINÉR, L. et al. Factors causing variation in fine root biomass in forest ecosystems. **Forest Ecology and Management**, 2011.

FURTINI NETO, A.E. et al. Eficiência nutricional de mudas de Eucalyptus em relação a fósforo. **Revista Árvore**. 1996.
FURTINI NETO, A.E. et al. **Fertilidade do solo**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2001.

GATIBONI, L.C. et al. Superphosphate and rock phosphates as P-source for grass clover pasture on a limed acid soil of Southern Brazil. Commun. **Soil Sci. Plant Anal.**, 2003.

GRAÇA, M. E. C.; SHIMIZU, J. Y.; TAVARES, F. R. Capacidade de rebrota e de enraizamento de *Eucalyptus benthamii*. Colombo: **Boletim de Pesquisa Florestal**, 1999.

GRACIANO, C. et al.. Fertilization with phosphorus increasis soil nitrogen absorption in young plants of *Eucalyptus grandis*. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, 2006.

GOEDERT, W.J. **Solos do Cerrado: Tecnologias e Estratégias de Manejo**. São Paulo, Nobel, 1985.

GOEDERT, W.J. **Eficiência agronômica de fertilizantes fosfatados não tradicionais**. Planaltina: Embrapa, CPAC, 1986. (Documento 24).

- GOEDERT, W.J. e SOUSA, D.M.G., Uso de Fertilizantes Fosfatados.** In: ESPINOZA, W.; OLIVEIRA, A.J. de. (ed.) Simpósio sobre fertilizantes na agricultura brasileira. Brasília, EMBRAPA-DID, Brasília, 1984 (Documentos, 14).
- GOEPFERT, C.F. A eficiência de diversos fertilizantes fosfatados na cultura da soja.** Rio Grande do Sul. Revisão de Literatura (Mimeoografado), 1975.
- GOMES, R.T. Efeito do espaçamento no crescimento e nas relações hídricas de *Eucalyptus* ssp. na região do Cerrado de Minas Gerais.** 1993. (Dissertação de Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, 1993.
- GONÇALVES, J.L.M.** Recomendações de adubação para *eucalyptus*, *Pinus* e espécies típicas da mata atlântica. **Documentos Florestais**, 1995.
- GONÇALVES J.L. e MELLO, S.L.M.** O sistema radicular das árvores. In: **Nutrição e fertilização de florestas**. Piracicaba: IPEF, 2000.
- GREMILLION, L.R. e McCLELLAN, G.H.** Evaluation of Phosphatic Raw Materials. In.: Khasawneh, F.E.; SAMPLE, E.C. & Kamprath, E.J. (eds) **The of Phosphorus in Agriculture**, 1980.
- HALL, N.; BROOKER, I.** **Camden White Gum: *Eucalyptus benthamii*** Maiden et Cambage. Camberra: Department National of Development Forestry and Timber Bureau, 1973.
- HAMMOND. L.L. Research on direct application of phosphate rock in the Agro- Economic Division.** IFDC, Florence, Alabama. (Memorandum), 1977.

HIGA, R.C.V. et al. Comportamento de 20 espécies de *Eucalyptus* em área de ocorrência de geadas na região sul do Brasil. In: **Conference on silviculture and improvement of *Eucalyptus***. Salvador. Colombo: EMBRAPA-CNPF, 1997.

HIGA, R.C.V. et al. Resistência e resiliência a geadas em *Eucalyptus dunnii* Maiden plantados em Campo do Tenente, PR. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, 2000.

INDÚSTRIA Brasileira de Árvores – IBÁ. **Relatório Anuário estatístico**. Ano base 2014. Brasília, 2015. Disponível em: <<http://www.iba.org>> Acesso em 23 jan. 2015.

JONSSON, K. et al. The vertical distribution of fine roots of five tree species and maize in Morogoro, Tanzânia. **Agroforestry Systems**, 1988.

JOVANOVIC, T.; BOOTH, T. H. **Improved species climatic profiles**. Australia: Union Offset Printing: Joint Venture Agroforestry Program, Rural Industries Research and Development Corporation, 2002.

JUDD, T.S.; ATTIWILL, P.M.; ADAMS, M.A. Nutrient concentrations in *Eucalyptus*: A synthesis in relation to differences between taxa, sites and components, in: ATTIWILL, P.M.; ADAMS, M.A. (Eds.), **Nutrition of *Eucalyptus***, CSIRO Publishing, 1996.

KELLY, S. ***Eucalypts***. Australia: Singapore, 1982.

KJAER, E. et al. Strategies for conservation of forest genetic resources. Conservation of *Eucalyptus benthamii*: an endangered eucalypt species from eastern Australia. In: FAO, FLD, IPGRI. **Forest genetic resources conservation and management**: overview, concepts and some systematic

approaches. Rome, Italy: International Plant Genetic Resources Institute, 2004.

KAMINSKI, J. Efeito de cinco fosfatos pré-, co- e pós-aplicados ao Calcário no Suprimento de Fósforo ao Sorgo em três Solos Ácidos. 1983. (Tese Doutorado), ESALQ/USP. Piracicaba, 1983.

KAMINSKI, J. Avaliação agronômica em função da granulometria de termofosfato magnsiano fundido. 1990. (Trabalho apresentado no Concurso para Professor Titular), UFSM/CCR/Dep. Solos, Santa Maria, 1990.

KLIPPEL, V.H. et al. Impacto da deficiência hídrica no crescimento inicial de eucalipto. **Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal**, 2014.

LAMBERS H. et al. Plant nutrient-acquisition strategies change with soil age. **Trends in Ecology & Evolution**, Amsterdam, 2008.

LANI, J.L et al. Efeito de doses e localização de fósforo sobre o crescimento de mudas de eucalipto. **Revista Ceres**, 1995.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal.** São Carlos: Rima, 2000.

LEAL, P.G.L. **Produção de biomassa e distribuição de nutrientes em *Eucalyptus grandis* influenciadas pela aplicação de fosfato natural em solos de cerrado.** 1988. (Tese de doutorado) Universidade Federal. Viçosa, 1988.

LEITE, S.M.M.; MARIANO, C.L.; BONINE, C.A.V. Resposta de clones de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus grandis* x

Eucalyptus urophilla à supressão de boro. Piracicaba, **Sci. For.**, 2010.

LYNCH, J.P. Roots of the second green revolution. **Australian Journal of Botany**, Melbourne, 2007.

MACHADO, C.T.T.; FURLANI, A.M.C. Kinetics of phosphorus uptake and root morphology of local and improved varieties of maize. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, 2004.

MALAVOLTA, E. **Elementos de Nutrição Mineral de Plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980.

MALAVOLTA, E. **Nutrição mineral**. In: FERRI, M. G. (Ed.). *Fisiologia vegetal*. São Paulo: EPU, 1985.

MALAVOLTA, E. e KLIEMANN, H.S. **Desordens nutricionais no Cerrado**. Piracicaba: Potafós, 1985.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, A.S. **Avaliação do estado nutricional das plantas: Princípios e aplicações**. ed. 2. Piracicaba: Potafós, 1997.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. Ed. 2. San Diego: Academic, 1995.

MARTINEZ, H.E.P. et al. Comportamento de variedades de soja cultivadas em diferentes doses de fósforo: I. cinética de absorção de fósforo e ajustes morfológicos da planta. Campinas: **R. Bras. Ci. Solo**, 1993.

MATIELLO E.M. et al. Transporte de boro no solo e sua absorção por eucalipto. **R. Bras. Ci. Solo**, 2009.

MAURICE, J. et al. Fine root isotropy in *Eucalyptus grandis* plantations. Towards the prediction of root length densities from root counts on trench walls. **Plant and Soil**, 2010.

McCORMACK, L.M. et al. Redefining fine roots improves understanding of below-ground contributions to terrestrial biosphere processes. **New Phytologist**, vol. 207, 2015.

MENGEL, K.; KIRBY, E.A. **Principles of plant nutrition**. Bern: International Potash Institute, 2001.

MINISTÉRIO da Agricultura e Abastecimento - MAPA. **Manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes minerais, orgânicos, organominerais e corretivos**, 2007.

MORA, A.L.; GARCIA, C.H. **A cultura do Eucalipto no Brasil**. Sociedade Brasileira de Silvicultura, 2000.

NAMBIAR, E.K.S.; COTTERILL, P.P.; BOWEN, G.D. Genetic differences in root regeneration of radiata pine. **Journal of experimental botany**, 1982.

NEVES, J. C. L.; GOMES, J. M.; NOVAIS, R. F. Fertilização mineral de mudas de eucalipto. In: BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F. (Eds.) **Relação solo-eucalipto**. Viçosa: Folha de Viçosa, 1990.

NOVAIS, R.F.; REGO, A.K.; GOMES, J.M. Níveis críticos de fósforo para eucalipto. **Revista Árvore**, 1982.

NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; NEVES, J. C. L. Nutrição Mineral do eucalipto. In: BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F. (Eds.) **Relação solo-eucalipto**. Viçosa: Editora Folha de Viçosa, 1990.

- NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J. Fósforo na planta. In: NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa: UFV, DPS, 1999.
- NOVAIS, R.F.; SMYTH, T.J.; NUNES, F.N. Fósforo. NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V. V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L.(Eds). **Fertilidade do solo**. Viçosa, Soc Bras Ci Solo: 2007.
- PALUDZYSZYN FILHO, E.; SANTOS, P. E. T. dos; FERREIRA, C. A. **Eucaliptos indicados para plantio no Estado do Paraná**. Colombo: Embrapa Florestas - CNPF, 2006. (Documentos, 129).
- PARENTONI, S.N.; MENDES, F.F.; GUIMARÃES, L.J.M. Melhoramento para eficiência no uso do fósforo. In: FRITSCHE-NETO, R.; BOREM, A. (Ed.). Melhoramento de plantas para condições de estresse abióticos. Visconde do Rio Branco: **Suprema**, 2011.
- PANDOLFO, C. et al. Atlas climatológico digital do Estado de Santa Catarina. Florianópolis: Epagri, 2002. CD-Rom.
- PRYOR, L. D. **Australian endangered species: Eucalyptus**. Canberra: Commonwealth of Australia. 1981.
- RAMOS, S.J. et al. Biomass production and phosphorus use of forage grasses fertilized with two phosphorus sources. **R. Bras. Ci. Solo**, 2009.
- REIS, M.G.F. et al. Acúmulo de biomassa em uma seqüência de idade de *Eucalyptus grandis* plantado no cerrado em duas áreas com diferentes produtividades. **Revista Árvore**, 1985.

REIS, M.G.F.; BARROS, N.F.; KIMMINS, J.P. Acúmulo de nutrientes em uma sequência de idade de *Eucalyptus grandis* W. Hill (ex - Maiden) plantado no cerrado em duas áreas com diferentes produtividades, em Minas Gerais. **Revista Árvore**, 1987.

REZENDE, G.C. et al. Aplicação de fosfatos naturais em plantios de *Eucalyptus grandis*. W. Hill ex maiden. **Revista Árvore**, 1982.

RIBEIRO, M.A.V. et al. Resposta da soja e do eucalipto ao aumento da densidade do solo e a doses de fósforo. **Soc Bras Ci Solo**, Viçosa, 2010.

RODRIGUES, L.C.E. **Gerenciamento da produção florestal**. Documentos Florestais – ESALQ - USP. Piracicaba (13), 1991.

RODRIGUES, F.A.V.; BARROS, N.F. de ; NEVES, J.C.L.; ALVAREZ, V.H.; NOVAIS, R.F. Disponibilidade de cobre para mudas de eucalipto em solos do Cerrado. **R. Bras. Ci. Solo**, 2010.

ROSSIELLO, R.O.P. Comparação de métodos fotoelétricos e da intersecção na determinação de área, comprimento e raio médio radicular. Brasília: **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 1995.

SAMPLE, E.C.; SOPER, R.J.; RACZ, G.J. Reactions of Phosphate in Soils. In.: KHASAWNEH, F.E.; SAMPLE, E.C. & KAMPRATH, E.J. (eds) **The role of Phosphorus in Agriculture**, Madison, Amer. Soc. Agron., 1980.

SANTOS, A.F. do; AUER, C.G.; GRIGOLETTI JUNIOR, A. **Doenças do eucalipto no sul do Brasil**: identificação e

controle. Colombo: Embrapa Florestas - CNPF, 2001. (Circular Técnica, 45).

SCHAWAMBACH, J.; FADANELLI, C.; FETT NETO, A. G. Mineral nutrition and adventitious rooting in microcuttings of *Eucalyptus globules*. **Tree Physiology**, Victoria, 2005.

SAKYA, A.T.; DELL, B.; HUANG, L. Boron requiriments for *Eucalyptus globulus* seedlings. **Plant Soil**. 2002.

SAS Institute Inc® 2003 **SAS Ver. 9.1**. 3 SAS Institute Inc.: CARY, N.C, USA. Lic. UDESC.

SAVORY, B.M. Boron deficiency in *Eucalyptus* in Norther Rhodesia. **Empire Forest Review**, 1962.

SILVEIRA, L.V.A.R.; GAVA, J.L. Nutrição e adubação fosfatada em *Eucalyptus*. In: YAMADA, T.; STIPP-ABDALLA,S.R. (Ed.). Fósforo na agricultura brasileira. Piracicaba: Potafós, 2004.

SCHENK, M.K.; BARBER, S.A. Phosphate uptake by corn as affected by soil characteristics and root morphology. **Soil Science Society of America Journal**, 1979.

SCHUMACHER, M. V. **Polígrafo de silvicultura**. Universidade Federal de Santa Maria, 1997.

SCHUMACHER, M.V.; CECONI, D.E.; SANTANA, C.A. Influência de diferentes doses de fósforo no crescimento de mudas de angico-vermelho (*Parapiptadenia rigida* (Bentham) Brenan). **Revista Árvore**, 2004.

SCHWIDER et al. Efeito do déficit hídrico sobre o crescimento de eucalipto em diferentes condições microclimáticas..

Goiânia. Centro Científico conhecer. **Enciclopédia Biosfera**, 2013.

SGARBI, F. et al.. Crescimento e produção de biomassa de clone de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* em condições de deficiência de macronutrientes, B e Zn. **Sci Flor**. 1999.

SILVA, M. R.; KLAR, A. E.; PASSOS, J. R. Efeitos do manejo hídrico e da aplicação de potássio nas características morfofisiológicas de mudas de *Eucalyptus grandis* W. (Hill ex. Maiden). **Irriga**, Botucatu, 2004.

SILVEIRA, R.L.V.A.; GONÇALVES, A.N.; KRÜGNER, T.L. Estado nutricional de *Eucalyptus citriodora* Hook cultivado sob diferentes doses de boro e sua relação com a agressividade de *Botryosphaeriariabis*. **Sci Flor**, 1998.

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**, 2002.

SPANGENBERG, A. et al. Nutrient store export rates of *Eucalyptus urograndis* plantations in eastern Amazonia (Jari), **For. Ecol. Manage.** 1996.

STAHL, J. et al. Produção de massa seca e eficiência nutricional de clones de *Eucalyptus dunnii* e *Eucalyptus benthamii* em função da adição de doses de fósforo ao solo. Santa Maria: **Ciência Florestal**, 2013.

STAPE J.L. et al. The Brazil *eucalyptus* potential productivity project: influence of water, nutrients and stand uniformity on wood production. **For Ecol Manage**, 2010.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. Fisiologia Vegetal. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013.

TEDESCO, M.J. et al. **Análises de solo, planta e outros materiais**. Ed. 2. Porto Alegre: UFRGS; 1995.

TENNANT, D. A test of a modified line intercept method of estimating root length. London: **Journal of Ecology Applied**, 1975.

TIRLONI, C. et al. **Crescimento de *Corymbia citriodora* sob aplicação de boro nas épocas secas e chuvosas no Mato Grosso do Sul**. Silva Lusitana. 2011.

TOKESHI, H.; GUIMARÃES, R.F. & TOMAZELLO FILHO, M. – Deficiência de boro em **Eucalyptus** em São Paulo. **Summa phytopathologica**, 1976.

VAIL, J.W.; CALTON, W.E.; STRANG, R.M. Dieback of Wattle: boron deficiency. **Empire African Agriculture Journal**, 1957.

VAIL, J.W.; PARRY, M.S. & CALTON, W.E. – Boron deficiency dieback in pines. The Hague, **Plant and soil**, 1961.

VANCE, C.P.; UHDE-STONE, C.; ALLAN, D.L. Phosphorus acquisition and use: critical adaptations by plants for securing a nonrenewable resource. Cambridge: **New Phytologist**, 2003.

VANDERLEI, J.C.; FAQUIN, V.; GUEDES, G.A.A.; CURI, N. **Boro em materiais de três solos do município de Lavras, MG**. Separata de Pesquisa Agropecuária Brasileira, 1988.

WADT, P.G.S. et al. Variações no estado nutricional de eucaliptos por influência do material genético e da idade da árvore. **Pesq. Agrop. bras.** 1999.

ANEXOS

Anexo 1. Ocorrência de seca-de-ponteiros detectado por análise visual em *Eucalyptus benthamii* submetido às doses de boro e regimes hídricos.



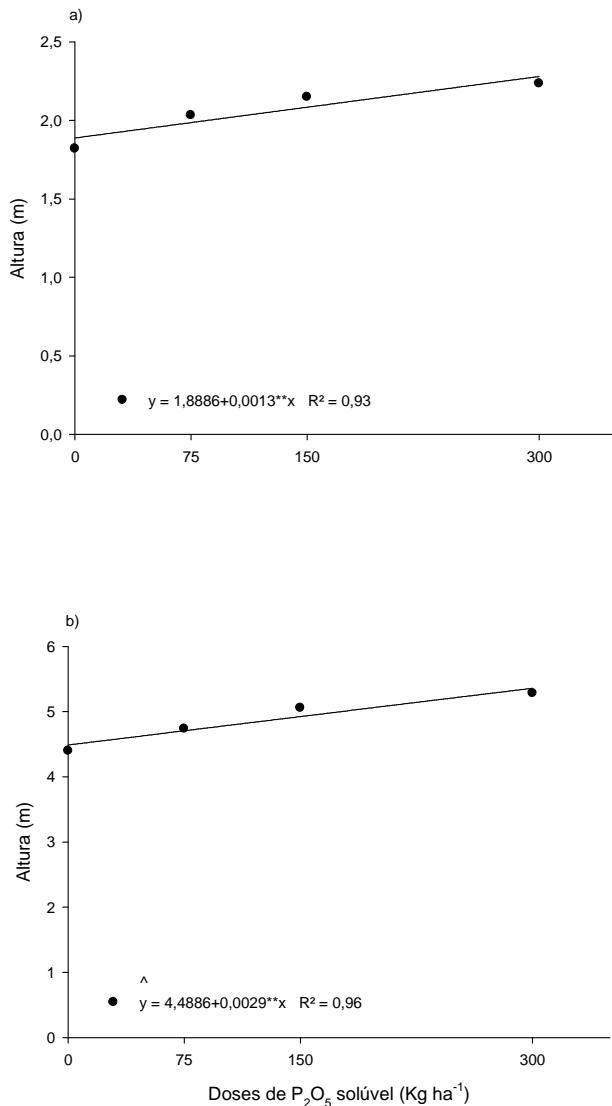
Fonte: produção do próprio autor, 2014.

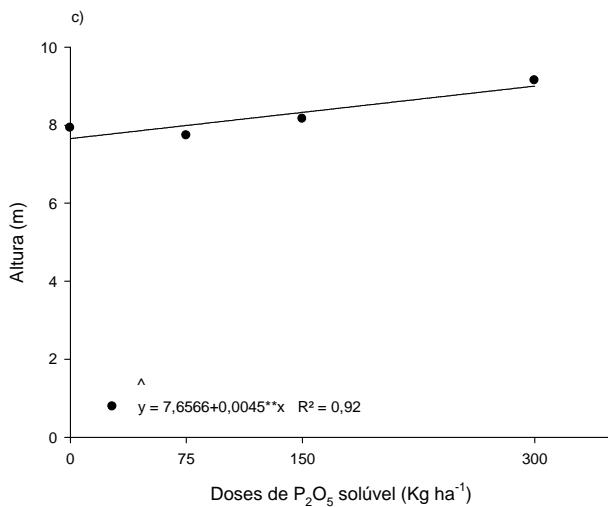
Anexo 2. Aplicação das fontes de fósforo na implantação dos experimentos com *Eucalyptus dunnii* e *Eucalyptus benthamii* no campo. a) plantio das mudas; b) covas; c) adubação com fosfato natural; d) adubação com fosfato solúvel.



Fonte: produção do próprio autor, 2010.

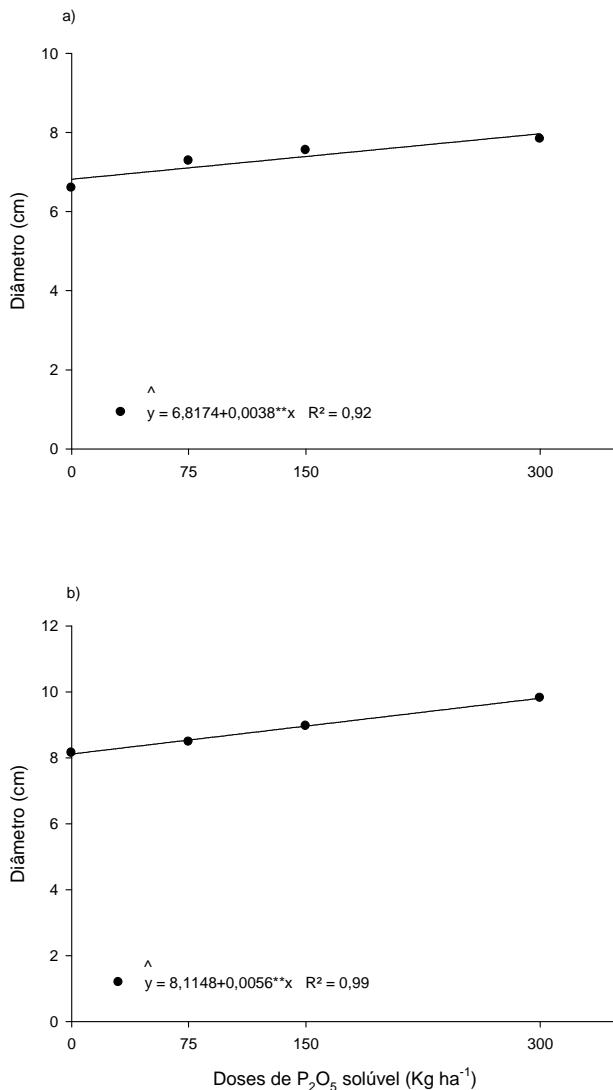
Anexo 3. Altura do *Eucalyptus dunnii* com (a) 1 ano, (b) 2 anos e (c) 3 anos, submetidos às fontes e doses de fósforo.

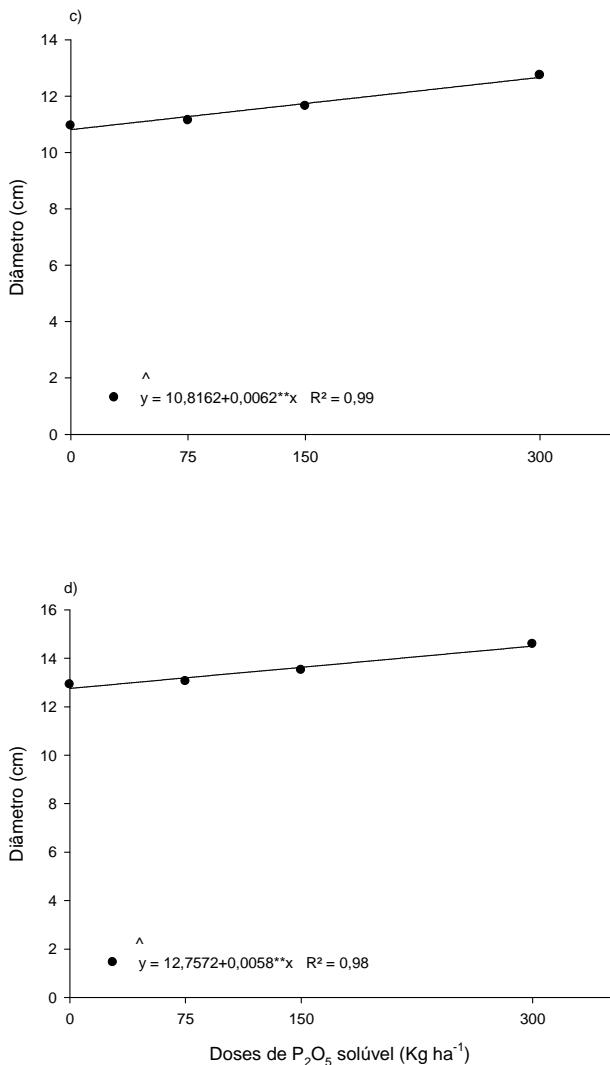




Fonte: produção do próprio autor, 2015.

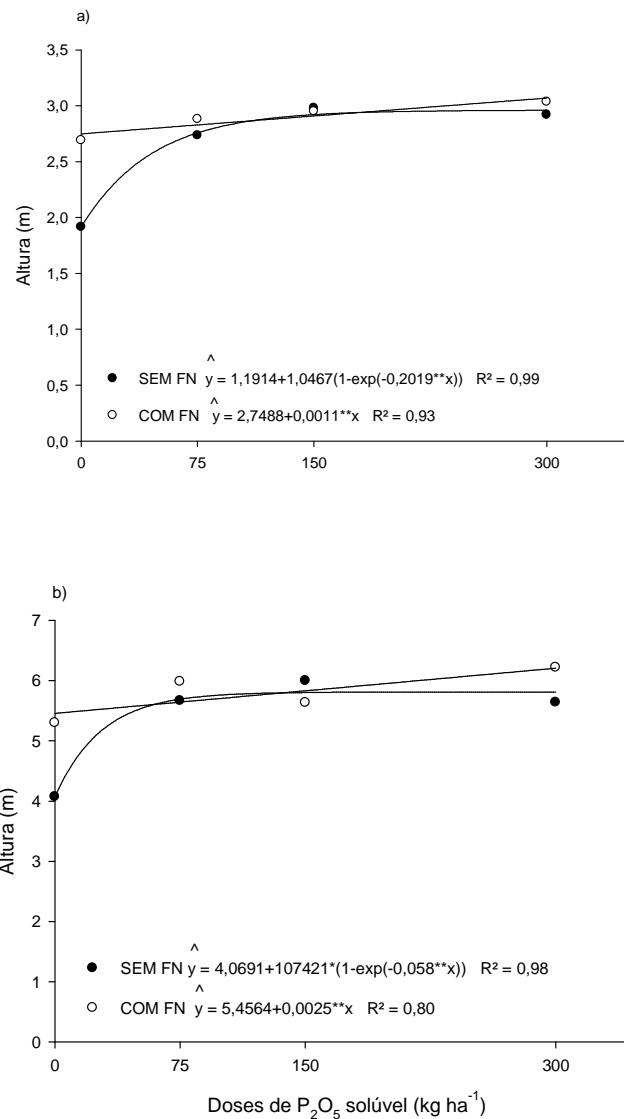
Anexo 4. Diâmetro do *Eucalyptus dunnii* com (a) 2 anos, (b) 3 anos, (c) 4 anos e (d) 5 anos, submetidos às fontes e doses de fósforo.

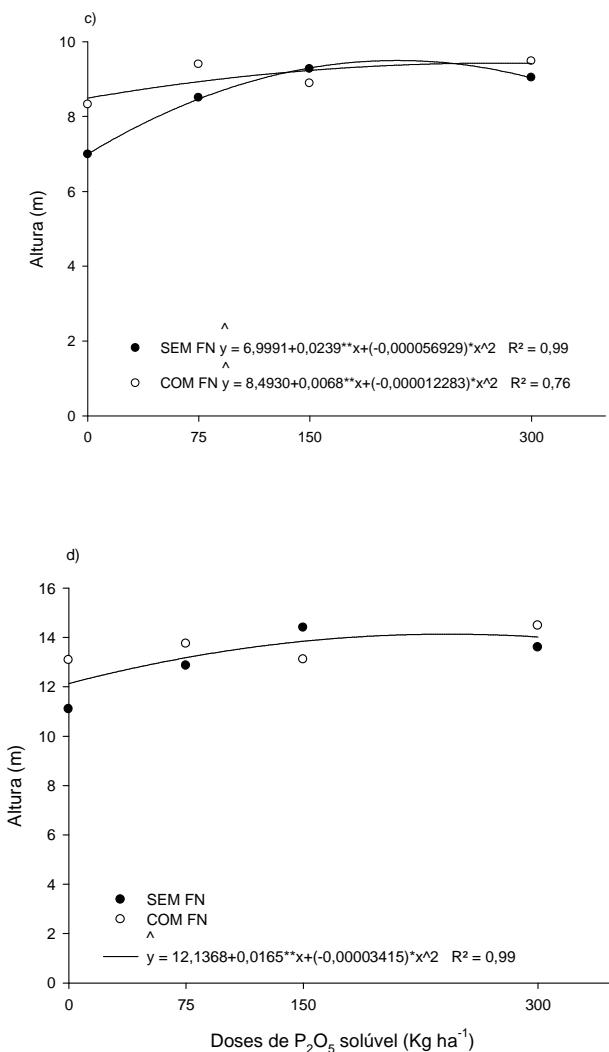




Fonte: produção do próprio autor, 2015.

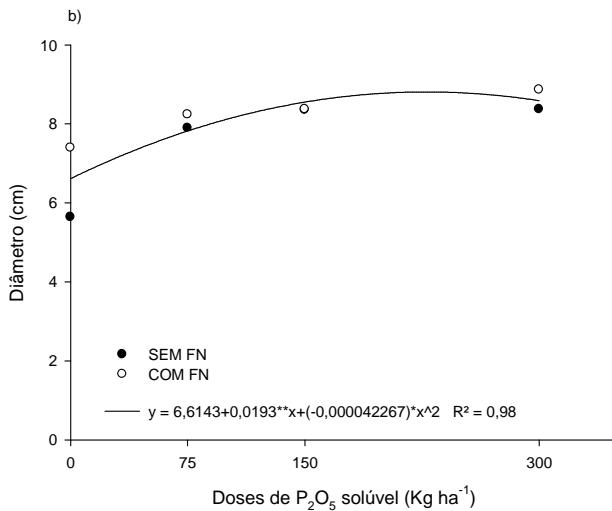
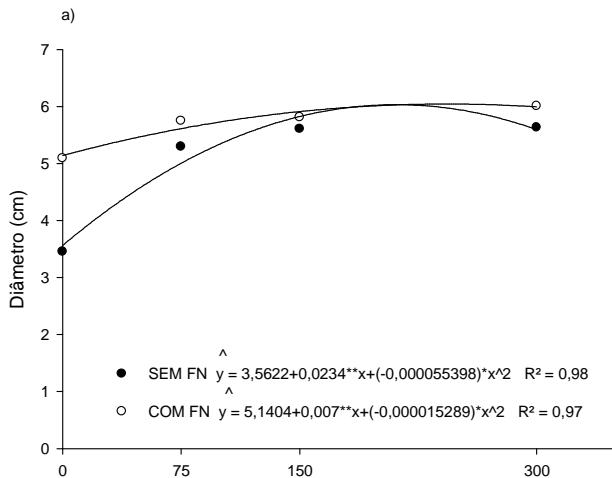
Anexo 5. Altura do *Eucalyptus benthamii* com (a) 1 ano, (b) 2 anos, (c) 3 anos e (d) 4 anos, submetidos às fontes e doses de fósforo.

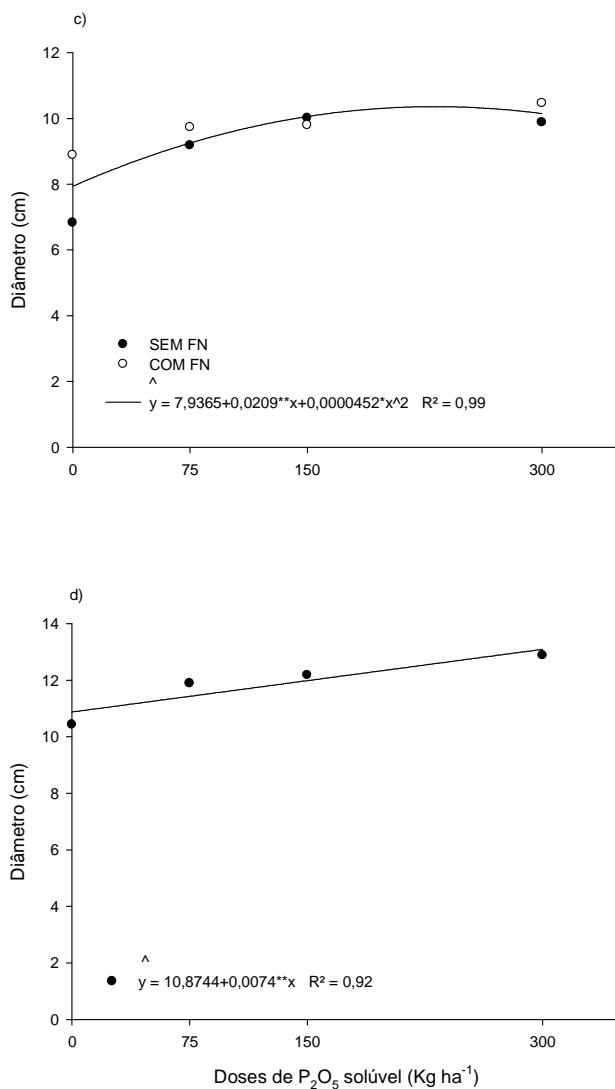


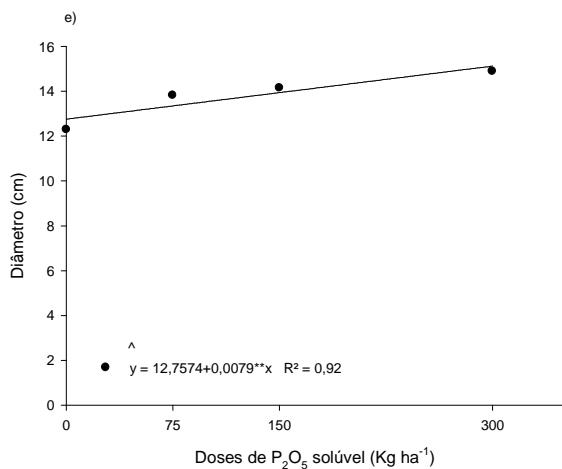


Fonte: produção do próprio autor, 2015.

Anexo 6. Diâmetro do *Eucalyptus benthamii* com (a) 1 ano, (b) 2 anos, (c) 3 anos, (d) 4 anos e (e) 5 anos, submetidos às fontes e doses de fósforo.







Fonte: produção do próprio autor, 2015.

Anexo 7. Coleta de raízes no experimento com *Eucalyptus dunnii* no campo com a utilização de sonda. a) preparação da sonda; b) introdução da sonda no solo; c) retirada da sonda; d) armazenamento do tudo coletor.



Fonte: produção do próprio autor, 2013.