

**UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA – UDESC  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGROVETERINÁRIAS – CAV  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
MESTRADO EM PRODUÇÃO VEGETAL**

**JAMES STAHL**

**RESPOSTA INICIAL DE *Eucalyptus* spp. À ADUBAÇÃO  
FOSFATADA E POTÁSSICA NO PLANALTO SUL CATARINENSE**

Dissertação apresentada ao Centro de Ciências Agroveterinárias da Universidade do Estado de Santa Catarina como requisito para a obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal

Orientador: Ph.D. Paulo Roberto Ernani  
Co-orientador: Dr. Luciano Colpo Gatiboni

**LAGES – SC**

**2009**

Ficha catalográfica elaborada pela Bibliotecária  
Renata Weingärtner Rosa – CRB 228/14ª Região  
(Biblioteca Setorial do CAV/UDESC)

Stahl, James

Resposta inicial de *Eucalyptus* spp. à adubação  
fosfatada e potássica no Planalto Sul Catarinense /  
James Stahl – Lages, 2009.  
69 p.

Dissertação (mestrado) – Centro de Ciências  
Agroveterinárias / UDESC.

1. Eucalipto. 2. Eficiência nutricional. 3. Adubação.  
4. Fósforo. 5. Potássio. I.Título.

CDD – 634.97342

**JAMES STAHL**  
Engenheiro Florestal

**RESPOSTA INICIAL DE *Eucalyptus* spp. À ADUBAÇÃO  
FOSFATADA E POTÁSSICA NO PLANALTO SUL CATARINENSE**

Dissertação apresentada ao Centro de Ciências Agroveterinárias da Universidade do Estado de Santa Catarina, para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal.

Aprovado em:

Homologado em:

Pela banca examinadora

Por

---

PhD. Paulo Roberto Ernani  
Orientador – UDESC/Lages-SC

---

Dr. Jefferson Luis Meirelles Coimbra  
Coordenador do Curso de Mestrado em  
Produção Vegetal - UDESC/Lages-SC

---

Co-orientador: Dr. Luciano Colpo  
Gatiboni - UDESC/Lages-SC

---

Dr. Paulo Cezar Cassol  
Coordenador do Programa de Pós  
Graduação em Ciências Agrárias. –  
UDESC/Lages-SC

---

Ph.D. Djalma Miler Chaves  
KLABIN/Telêmaco Borba-PR

---

Dr. Adil Knackfuss Vaz  
Diretor Geral do Centro de Ciências  
Agroveterinárias – UDESC/Lages-SC

Lages, Santa Catarina  
18 de Dezembro de 2009

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço inicialmente a DEUS, pela vida, saúde e paz e por cada novo dia nesta jornada de desafios.

Aos meus pais, Ermelindo e Maria, que sempre incentivaram e apoiaram este sonho acadêmico, desde o início até a presente etapa. A toda a minha família que depositou confiança em todas as minhas decisões.

Ao professor Ph.D Paulo Ernani pela orientação neste trabalho e pelos ensinamentos de toda ordem que serão levados por toda minha carreira profissional.

Ao mestre e amigo Ph.D Djalma Miler Chaves pelo incentivo e suas contribuições para o aperfeiçoamento deste trabalho, através de sua experiência e conhecimento, aliado ao rigor científico.

A todos os professores e colegas do Programa de Pós-Graduação do CAV/UEDESC pela oportunidade e compreensão, em se tratando de um mestrado sem dedicação exclusiva.

À Klabin pela oportunidade e incentivo na qualificação de seus técnicos. A todos os colegas de empresa, em especial ao Eng. Maurício pela oportunidade.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para realização deste trabalho.

## RESUMO

As principais espécies utilizadas no Brasil para o estabelecimento das áreas de plantios homogêneos são do gênero *Eucalyptus*, do qual as espécies de *E. dunnii* e *E. benthamii* estão entre as mais indicadas para regiões subtropicais. A busca por informações de eficiência nutricional e de respostas à fertilização das espécies deste gênero intensificou-se à medida que houve uma expansão da área plantada, e o conseqüente avanço sobre solos degradados e de baixa fertilidade. Os objetivos do trabalho foram avaliar o crescimento inicial e eficiência nutricional em relação a fósforo de mudas de *E. dunnii* e *E. benthamii* plantadas em vasos, e também avaliar a campo a resposta dessas espécies a diferentes combinações de doses de fósforo e potássio. O experimento de vasos foi conduzido por três meses em casa de vegetação, em delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições, arranjado em esquema fatorial (2x5); duas espécies e 0; 50; 100; 200 e 500 mg dm<sup>-3</sup> de P. Foi utilizado Cambissolo Húmico coletado na camada 0-20 cm sob reflorestamento de pinus, que apresentava 4,6 mg dm<sup>-3</sup> de P. Aos 90 dias procedeu-se a coleta da biomassa da parte aérea e radicular das plantas, separadamente para pesagem e determinação do teor de P. A partir da massa seca da parte aérea e radicular, e do teor de fósforo, determinou-se os índices de eficiência de absorção e de utilização do P, e ainda a percentagem de recuperação pela biomassa do P aplicado. No campo foram instaladas duas áreas experimentais, uma para cada espécie (Experimento I: *E. dunnii* e Experimento II: *E. benthamii*). As áreas receberam os mesmos tratamentos, arranjados em esquema fatorial (3x4), 0; 100; 200 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O e 0; 50; 100; 200 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. As doses de P foram aplicadas em duas covetas laterais, quinze dias após o plantio. Já as doses de K foram divididas a metade, e aplicadas sobre o solo na projeção da copa aos três e seis meses após o plantio. Aos seis e dezoito meses foi mensurada a altura e diâmetro das plantas para o cálculo de volume. O resultado do experimento em vasos mostrou que aos três meses o *E. dunnii* foi mais eficiente na produção de biomassa total, assim como na utilização e recuperação de P em relação ao *E. benthamii*, em todos os níveis de fornecimento de P. No experimento de campo aos dezoito meses *E. dunnii* respondeu linearmente as doses de P e K testadas; já o *E. benthamii* não respondeu a adubação potássica, porém apresentou ganhos significativos com a adição de fósforo em relação aos tratamentos não fertilizados.

**Palavras-chave:** *Eucalyptus dunnii*. *Eucalyptus benthamii*. Eficiência Nutricional. Adubação. Fósforo. Potássio.

## ABSTRACT

The main species used for the establishment of forest plantation in Brazil belong to the genus *Eucalyptus*, and among them the *E. dunnii* and *E. benthamii* are the most suitable ones for subtropical regions. The search for information on nutritional efficiency and responses to fertilization of those species was intensified with the expansion of the planted areas and the consequent advance of plantations on degraded soils and low fertility. The purpose of this research was to evaluate the initial growth and nutritional efficiency of phosphorus by seedlings of *E. dunnii* and *E. benthamii* planted in pots, and evaluate the response of these species at different combinations of doses of phosphorus and potassium. The experiment was conducted in pots in the greenhouse for three months. The experimental design was completely randomized with four repetitions arranged in a factorial design (2x5) with two species and five rates of P (0, 50, 100, 200 e 400 mg dm<sup>-3</sup>). The soil was a Humic Cambisol collected from a 0-20 cm layer under pine plantation, which had 4,6 mg dm<sup>-3</sup> of P. After 90 days the biomass of shoots and roots were harvested separately, and dried at 65 °C, and analyzed P content. Based on dry mass of shoots and roots, and P content, it was determined the absorption and utilization efficiency of P, and percentage of P applied recovery by the biomass. In the field, two studies were established, one for each species (Experiment I: *E. dunnii* and Experiment II: *E. benthamii*). Both areas received the same treatment, arranged in a factorial design (3x4) with three rates of K (0; 100; 200 kg ha<sup>-1</sup> of K<sub>2</sub>O) and four rates of P (0; 50; 100; 200 kg ha<sup>-1</sup> of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>). Fifteen days after the planting the seedling, the P rates were applied into two lateral slits 10 cm deep and 10 cm from the seedling. Three and six months after planting, half of K doses applied on the soil surface. At six and eighteen months of age the height and the diameter of the plants were measured to estimate the volume, and the data was analyzed using the response surface procedure. The results for the greenhouse study showed that at the three months of age the *E. dunnii* was more efficient in biomass production, P use and P recovery than the *E. benthamii*, at all rates of P applied. In the field studies, at eighteen months of age, *E. dunnii* responded linearly to the doses of P and K tested. However, *E. benthamii* did not respond to potassium fertilization, but there were significant gains with the addition of phosphorus in relation to the treatment that received no fertilizer.

**Keywords:** *Eucalyptus dunnii*. *Eucalyptus benthamii*. Nutritional Efficiency. Fertilization. Phosphorus. Potassium.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1 - Produção de biomassa seca da parte aérea de *E. dunnii* e *E. benthamii*, aos três meses após o plantio, em função de doses de fósforo adicionadas ao solo.....24
- Figura 2 - Produção de biomassa seca radicular de *E. dunnii* e *E. benthamii*, aos três meses após o plantio, em função de doses de fósforo adicionadas ao solo.....25
- Figura 3 - Produção de biomassa seca total de *E. dunnii* e *E. benthamii*, aos três meses após o plantio, em função de doses de fósforo adicionadas ao solo.....26
- Figura 4 - Conteúdo de P acumulado na biomassa aérea de *E. dunnii* e *E. benthamii*, aos três meses após o plantio, em função de doses de fósforo adicionadas ao solo.....29
- Figura 5 - Valores de P no solo para *E. dunnii* e *E. benthamii*, aos três meses após o plantio, em função de doses de fósforo adicionadas ao solo.....30
- Figura 6 - Eficiência de absorção de P de *E. dunnii* e *E. benthamii*, aos três meses após o plantio, em função de doses de fósforo adicionadas ao solo.....31
- Figura 7 - Eficiência de utilização de P de *E. dunnii* e *E. benthamii*, aos três meses após o plantio, em função de doses de fósforo adicionadas ao solo.....32

- Figura 8 - Superfície de resposta do diâmetro do colo (Dcolo), altura, diâmetro da copa (Dcopa) e volume cilíndrico (Volcil) para o efeito da aplicação de doses de P e K ao solo em *E. dunnii*, aos seis meses após o plantio.....44
- Figura 9 - Superfície de resposta do diâmetro a altura do peito (Dap), altura e volume para o efeito da aplicação de doses de P e K ao solo em *E. dunnii*, aos dezoito meses após o plantio.....48
- Figura 10 - Superfície de resposta do diâmetro do colo (Dcolo), altura, diâmetro da copa (Dcopa) e volume cilíndrico (Volcil) para o efeito da aplicação de doses de P e K ao solo em *E. benthamii*, aos seis meses após o plantio.....52
- Figura 11 - Resposta em diâmetro a altura do peito (Dap), altura e volume em função da adição de doses de P ao solo para *E. dunnii*, aos dezoito meses após o plantio.....56

## LISTA DE TABELAS

- Tabela 1 - Análise de variância com valores de quadrado médio (QM) e coeficiente de variação da massa seca da raiz (MsRA), massa seca da parte aérea (MsPA) e massa seca total (MsTO) de *E. dunnii* e *E. benthamii*, aos três meses após o plantio, em função de doses de fósforo adicionadas ao solo.....23
- Tabela 2 - Biomassa total e dose de fósforo necessária para produzir 90% da massa seca máxima estimada para as espécies de *E. dunnii* e *E. benthamii* aos três meses após o plantio.....27
- Tabela 3 - Análise de variância com valores de quadrado médio e coeficiente de variação do teor de fósforo na biomassa (P), fósforo acumulado na biomassa (PAc.), eficiência de absorção de fósforo (EAP) e eficiência de utilização de fósforo (EUP) de *E. dunnii* e *E. benthamii*, aos três meses após o plantio, em função de doses de fósforo adicionadas ao solo.....28
- Tabela 4 - Recuperação de fósforo na biomassa de *E. dunnii* e *E. benthamii*, aos três meses após o plantio, em função de doses de fósforo adicionadas ao solo.....33
- Tabela 5 - Características químicas e físicas do solo da camada 0 – 20 cm do Experimento I (*E. dunnii*) e II (*E. benthamii*).....39
- Tabela 6 - Análise de variância com valores de quadrado médio (QM) de diâmetro do colo a 50 cm do solo (Dcolo), altura, diâmetro da copa (Dcopa) e volume cilíndrico (Volcil) para o efeito da aplicação de doses de P e K ao solo em *E. dunnii*, aos seis meses após o plantio.....42

|             |   |    |
|-------------|---|----|
| Tabela 7 -  | Equações de regressão e valor máximo estimado de diâmetro do colo (Dcolo), altura, diâmetro da copa (Dcopa) e volume cilíndrico (Volcil) para o efeito da aplicação de doses de P e K ao solo em <i>E. dunnii</i> , aos seis meses após o plantio.....                              | 43 |
| Tabela 8 -  | Análise de variância com valores de quadrado médio (QM) de diâmetro a altura do peito (Dap), altura e volume para o efeito da aplicação de doses de P e K ao solo em <i>E. dunnii</i> , aos dezoito meses após o plantio.....   | 46 |
| Tabela 9 -  | Equações de regressão e valor máximo estimado do diâmetro a altura do peito (Dap), altura e volume para o efeito da aplicação de doses de P e K ao solo em <i>E. dunnii</i> , aos dezoito meses após o plantio.....   | 47 |
| Tabela 10 - | Análise de variância com valores de quadrado médio (QM) de diâmetro do colo a 50 cm do solo (Dcolo), altura, diâmetro da copa (Dcopa) e volume cilíndrico (Volcil) para o efeito da aplicação de doses de P e K ao solo em <i>E. benthamii</i> , aos seis meses após o plantio..... | 50 |
| Tabela 11 - | Equações de regressão e valor máximo estimado de diâmetro do colo (Dcolo), altura, diâmetro da copa (Dcopa) e volume cilíndrico (Volcil) para o efeito da aplicação de doses de P e K ao solo em <i>E. benthamii</i> , aos seis meses após o plantio.....                           | 51 |
| Tabela 12 - | Análise de variância com valores de quadrado médio (QM) de diâmetro a altura do peito (Dap), altura e volume para o efeito da aplicação de doses de P e K ao solo em <i>E. benthamii</i> , aos dezoito meses após o plantio.....  | 54 |

## SUMÁRIO

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1 INTRODUÇÃO.....</b>  | <b>12</b> |
| <b>2 CAPÍTULO I – CRESCIMENTO INICIAL E EFICIÊNCIA NUTRICIONAL DE CLONES DE <i>Eucalyptus dunnii</i> E <i>Eucalyptus benthamii</i> EM FUNÇÃO DA ADIÇÃO DE DOSES DE FÓSFORO AO SOLO.....</b> | <b>17</b> |
| 2.1 RESUMO.....   | 17        |
| 2.2 INTRODUÇÃO.....   | 18        |
| 2.3 MATERIAL E MÉTODOS.....   | 20        |
| 2.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....   | 23        |
| 2.4.1 Produção de biomassa .....  | 23        |
| 2.4.2 Parâmetros de eficiência nutricional.....   | 27        |
| 2.5 CONCLUSÕES .....  | 33        |
| <b>3 CAPÍTULO II – RESPOSTA INICIAL DE <i>Eucalyptus dunnii</i> E <i>Eucalyptus benthamii</i> À ADUBAÇÃO FOSFATADA E POTÁSSICA NO PLANALTO CATARINENSE.....</b>                             | <b>34</b> |
| 3.1 RESUMO.....   | 34        |
| 3.2 INTRODUÇÃO.....   | 35        |
| 3.3 MATERIAL E MÉTODOS.....   | 38        |
| 3.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....   | 41        |
| 3.4.1 Experimento I – <i>E. dunnii</i> .....  | 41        |
| 3.4.1.1 Avaliação aos seis meses.....   | 41        |
| 3.4.1.2 Avaliação aos dezoito meses.....  | 46        |
| 3.4.2 Experimento II – <i>E. benthamii</i> .....  | 50        |
| 3.4.2.1 Avaliação aos seis meses.....   | 50        |

|  |           |
|--|-----------|
| 3.4.2.2 Avaliação aos dezoito meses..... | 53        |
| 3.5 CONCLUSÕES.....                      | 57        |
| <b>4 CONCLUSÕES GERAIS.....</b>          | <b>58</b> |
| <b>5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b> | <b>59</b> |
| <b>APÊNDICES.....</b>                    | <b>65</b> |

## INTRODUÇÃO

A atividade de florestamento e reflorestamento através de plantios utilizando espécies lenhosas de crescimento rápido requer o uso e o manejo adequado e eficiente dos recursos disponíveis, de modo a garantir as expectativas de produção e a expressão do potencial produtivo das espécies, além de permitir a sustentabilidade da capacidade produtiva das áreas plantadas.

As principais espécies utilizadas pelo setor florestal brasileiro para o estabelecimento de plantios homogêneos são dos gêneros *Eucalyptus*, *Pinus* e *Acacia*. Este setor é constituído pelas indústrias de papel e celulose, carvão vegetal, madeira serrada, chapas aglomeradas, resinas e óleos essenciais.

A cadeia produtiva do setor florestal tem uma participação de aproximadamente 5% do produto interno brasileiro (PIB), correspondendo a 6,3% das exportações nacionais. Além disso, é responsável pela geração de 676 mil empregos diretos, 1,7 milhões indiretos, e ainda 1,8 milhões resultantes do efeito-renda, perfazendo um total de 10,5% da população economicamente ativa do Brasil (ABRAF, 2006).

O gênero *Eucalyptus* envolve mais de 600 espécies e ocorre naturalmente na Austrália, Indonésia e Papua Nova Guiné, entre latitudes de 13° a 43°, altitudes que vão do nível do mar até 4.000 m, em regiões sem déficit hídrico, e em outras onde o déficit hídrico chega a 300 mm (FAO, 2000). A produtividade dos plantios no Brasil chega a ser até dez vezes superior a de países como Portugal e China. Algumas

empresas florestais brasileiras apresentavam produtividades médias de  $20 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  na década de 70; hoje elas atingem produtividades de 40 a  $50 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ . Esse incremento se deve ao uso de material genético melhorado e o avanço no uso de tecnologias de implantação dos plantios, tais como: preparo do solo, adubação e manejo da mata-competição. Mesmo comparando com os países de origem das espécies de eucalipto, a produtividade brasileira é muito superior (Lerayer, 2008).

Na região Sul do Brasil, com destaque para os estados do Paraná e de Santa Catarina, as espécies mais utilizadas em reflorestamentos são do gênero *Pinus*, havendo um pequeno percentual da área reflorestada com espécies de *Eucalyptus*. Como esta região apresenta condições climáticas do tipo subtropical, buscou-se introduzir espécies que apresentam tolerância e/ou resistência ao frio. Para este fim, as espécies de *Eucalyptus dunnii* e *Eucalyptus viminalis* foram as mais utilizadas, dentre várias espécies testadas, por apresentarem características de boa adaptabilidade em condições de frio mais intenso. Mais recentemente foi introduzido na região Sul do Brasil o *Eucalyptus benthamii* como espécie resistente a temperaturas negativas.

Considerando os fatores climáticos adversos como baixas temperaturas com formação de geadas, que podem ser limitantes ao crescimento de algumas espécies do gênero *Eucalyptus*, o *E. dunnii* destaca-se pelo rápido crescimento e pela tolerância a geadas não muito severas (Higa et al., 1997). Esta espécie vem sendo indicada para plantios no estado de Santa Catarina em altitudes que variam de 500 a 1.000 m acima do nível do mar (Embrapa, 1986), assim como em regiões de ocorrência de geadas no estado do Paraná (Embrapa, 1988). O potencial desta espécie foi confirmado por Oliveira (1988), que comparou o crescimento de 31 espécies de eucaliptos na região de Três Barras, SC, e por Higa et al. (1997), em

Campo do Tenente, PR, que a classificaram como uma das melhores espécies do gênero em termos de crescimento e resistência a geadas.

Segundo Higa (2000), outra espécie indicada para áreas de geadas severas é o *E. benthamii*, por apresentar bom crescimento, porém a qualidade de sua madeira ainda é pouco conhecida. Em teste de seleção de espécies realizado na província de Hunan (China), onde as médias de temperatura mínima do mês mais frio variam de 3 a 8 °C e temperaturas mínimas absolutas ao redor de -6 a -10 °C, o *E. benthamii* foi considerado especialmente indicado, já que aos 15 meses após o plantio ficou entre as espécies de melhor adaptação (Mujiu et al., 2003). Resultados semelhantes foram relatados por Heshing et al. (2003), que verificaram que o *E. benthamii* tolerou temperaturas mínimas de -8 °C, seguido de 7 dias com temperatura abaixo de 0 °C.

A magnitude dos ganhos nas produtividades das espécies de eucaliptos varia com a qualidade do sítio, com aumento do número de rotações, com a exigência nutricional e com o potencial produtivo do genótipo, dentre outros (Barros & Novais, 2000). Os reflorestamentos de eucaliptos no Brasil têm se concentrado em solos com baixa reserva de nutrientes, acidez elevada e altos teores de alumínio.

Considerando a baixa fertilidade dos solos florestais, a aplicação de fósforo, assim como de potássio tem sido essencial para o aumento e manutenção da produtividade das florestas implantadas. Para a grande maioria das florestas de eucalipto no Brasil há substanciais ganhos de produtividade em resposta à fertilização mineral (Barros & Novais, 1990).

Em geral, os maiores ganhos advêm da aplicação de fertilizantes fosfatados (Barros & Novais, 1995), mas à medida que se aumenta o número de rotações, a resposta a outros nutrientes tem se intensificado (Gonçalves, 1995). A maior parte

dos estudos de resposta à fertilização concentrou-se em espécies tropicais do gênero, principalmente em *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*.

Atualmente, as informações sobre resposta à fertilização e ganhos de produtividade de espécies subtropicais são incipientes, quando comparado ao desenvolvimento tecnológico que ocorreu com as espécies tropicais de eucalipto no Brasil, tanto no melhoramento genético como no manejo e na nutrição das espécies.

Essencialmente, para se definir a fertilização mineral para qualquer cultura há que se dimensionar a demanda de nutrientes da planta para atingir a produção esperada e a quantidade de nutrientes que pode ser suprida pelo solo. Quando a demanda da planta é maior do que o solo pode suprir, fertilizantes devem ser adicionados para obter-se a produção esperada (Barros & Novais, 2000).

O emprego de técnicas de manejo que optem por plantas mais eficientes na utilização de nutrientes, que conservem ao máximo os resíduos das culturas no sítio, que realizem o mínimo possível de intervenções antrópicas e cujo ciclo de crescimento seja longo o suficiente para permitir a máxima eficiência da ciclagem de nutrientes levará à maior conservação do ecossistema de florestas plantadas (Santana et al., 2002). Ainda, o reconhecimento das diferenças de utilização de nutrientes é importante na seleção de técnicas de manejo do solo e de manejo florestal para manter a capacidade produtiva do sítio ao longo das rotações (Texeira et al., 1987).

Nas condições brasileiras, o fósforo é um dos nutrientes que mais limita a produção de madeira, em razão dos teores naturalmente baixos e da capacidade desse nutriente de se adsorver com alta energia aos colóides da maioria dos solos cultivados com eucalipto no Brasil (Barros & Novais, 2000). Como a exigência de fósforo pelo eucalipto diminui com o aumento da idade das plantas (Novais et al.,

1982), o nível crítico de P para o desenvolvimento delas é muito maior nas fases iniciais do que na fase de manutenção da floresta. Nesta fase, o nível crítico para obtenção de produtividades de  $50 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  em solos argilosos e de textura média/arenosa foi de 4,5 e 6,5  $\text{mg dm}^{-3}$ .

Normalmente o potássio é o segundo nutriente mais utilizado pelo eucalipto, porém ficando às vezes abaixo do nitrogênio e do cálcio. Valeri et al. (1991) estudaram o efeito da adição de doses de  $\text{K}_2\text{O}$  (0, 33 e 66  $\text{kg ha}^{-1}$ ) na produção de *E. grandis*, plantado em solo classificado como areia quartzosa na região de Luís Antônio/SP, e verificaram aumento na produção de madeira, sendo que a máxima produção (86  $\text{t ha}^{-1}$ ) foi obtida com a dose estimada de 61  $\text{kg K}_2\text{O ha}^{-1}$ . Barros et al. (1981) encontraram respostas à aplicação de potássio no plantio (27  $\text{g K}_2\text{O planta}^{-1}$ ) de *E. saligna* cultivado em solo com 0,67  $\text{mmol}_c \text{ de K dm}^{-3}$ , ocorrendo incrementos de 67 % no volume de madeira aos 78 meses de idade.

Faz-se necessária a investigação e o conhecimento da eficiência nutricional e dos níveis de resposta à fertilização das espécies de eucalipto, que apresentam potencial de tolerância e resistência ao frio (*E. dunnii* e *E. benthamii*), para implementar estratégias regionalizadas de manejo de fertilização destas espécies nas condições edafoclimáticas do Planalto Sul Catarinense. Tentando responder algumas destas dúvidas, foram conduzidos três experimentos com estas espécies no Planalto Sul Catarinense, sendo um deles em vasos em casa-de-vegetação e dois no campo. No experimento em vasos, procurou-se quantificar a resposta e a eficiência das duas espécies na utilização de fósforo. Nos experimentos de campo, foram avaliados o desenvolvimento inicial e as respostas de *E. dunnii* e *E. benthamii* a diferentes doses de fósforo e de potássio.

## 2 CAPÍTULO I – CRESCIMENTO INICIAL E EFICIÊNCIA NUTRICIONAL DE CLONES DE *Eucalyptus dunnii* E *Eucalyptus benthamii* EM FUNÇÃO DA ADIÇÃO DE DOSES DE FÓSFORO AO SOLO

### 2.1 RESUMO

As espécies florestais diferem na capacidade de absorção, translocação, acúmulo e uso dos nutrientes, características essas que influenciam o crescimento das mesmas. Estas diferenças ocorrem entre espécies, procedências, progênies, e mesmo entre clones de uma determinada espécie. O objetivo deste experimento foi avaliar o crescimento inicial e eficiência nutricional em relação a fósforo de mudas de clone de *E. dunnii* e de *E. benthamii* plantadas em vasos. O experimento foi conduzido por três meses em casa de vegetação, em delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições, arranjado em esquema fatorial (2x5); duas espécies e 0; 50; 100; 200 e 500 mg dm<sup>-3</sup> de P. Foi utilizado Cambissolo Húmico coletado na camada 0-20 cm sob reflorestamento de pinus, que apresentava 4,6 mg dm<sup>-3</sup> de P disponível por Mehlich-1. A fonte de P, superfosfato triplo (46% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), e o solo foram tamizados em peneira de 2 mm, misturados e acondicionado em vasos de 18 litros, no qual efetuou-se o plantio de uma muda por vaso. Aos 90 dias procedeu-se a coleta da biomassa da parte aérea e radicular das plantas, separadamente para pesagem e determinação do teor de P. A partir da massa seca da parte aérea e radicular, e do teor de fósforo, determinou-se os índices de Eficiência de Absorção (EAP= conteúdo de P na planta / matéria seca da raiz); Eficiência de Utilização de P (EUP= (matéria seca total)<sup>2</sup> / quantidade de P na

planta) e a percentagem de recuperação pela biomassa do P aplicado [% P recuperado =  $\frac{P \text{ (conteúdo na planta fertilizada)} - P \text{ (conteúdo planta testemunha)}}{P \text{ (quantidade de aplicada)}} \times 100$ ]. Os clones de *E. dunnii* e *E. benthamii* apresentaram comportamento semelhante, mostrando sensíveis aumento na produção de matéria seca total e eficiência de utilização com o aumento das doses de P até níveis ideais para a máxima produção, e acima destes ocorreu um declínio nas doses máximas. O *E. dunnii* foi mais eficiente na produção de biomassa, assim como na utilização e recuperação de P em relação ao *E. benthamii*, em todos os níveis de fornecimento de P.

## 2.2 INTRODUÇÃO

As espécies florestais apresentam diferenças na capacidade de absorção, translocação, acúmulo e uso dos nutrientes, que influenciam o crescimento das mesmas. Estas diferenças ocorrem entre espécies, procedências, progênies, e mesmo entre clones de uma determinada espécie. Guimarães (1993) relatou que genótipos que crescem bem em solos de baixa fertilidade devem ser selecionados, sendo desejáveis aqueles que tenham menores necessidades nutricionais, sem, contudo, comprometer a produtividade. Assim, o entendimento do grau de variabilidade genética sobre atributos nutricionais e fisiológicos do crescimento de plantas é fundamental para a seleção e o melhoramento mais eficientes e, conseqüentemente, para o aumento do ganho genético, com menor impacto sobre o nível de nutrientes do solo.

Para o gênero *Eucalyptus*, há variações nas eficiências de absorção e de utilização de um ou mais nutrientes entre espécies e entre clones de uma mesma

espécie (Silva, 1983; Barros et al., 1985; Moraes, 1990). O P é o principal nutriente que confere caráter distinto às espécies de eucaliptos em relação ao crescimento e à eficiência nutricional (Furtini Neto, 1994). A eficiência nutricional pode ser entendida de várias maneiras. Do ponto de vista agrônomico, ela se refere à capacidade de um genótipo ter altas produções em um solo pobre em determinado nutriente, considerando-se um genótipo como padrão (Graham, 1984). Sob o ponto de vista fisiológico, a eficiência nutricional refere-se à capacidade do genótipo absorver o nutriente do solo, distribuí-lo e utilizá-lo internamente (Goddard e Hollis, 1984). Dependendo do nutriente, deve ser também considerada a eficiência de sua redistribuição interna (Moll et al., 1982). Do ponto de vista nutricional, um genótipo eficiente é aquele que cresce e produz bem em condições de baixo suprimento de nutrientes pelo solo, e assim, comparativamente a outras cultivares, tem maior capacidade de absorver os nutrientes e utilizá-los na produção de biomassa (Furlani et al., 1984). É importante salientar que é muito difícil selecionar um material genético que apresente alta eficiência na utilização de todos os nutrientes essenciais. Sendo assim, a melhor estratégia é selecionar e utilizar materiais genéticos compatíveis com as características e necessidades dos sítios onde serão cultivados (Camargo et al., 2004).

A eficiência nutricional pode ser calculada pelo coeficiente de utilização biológico (CUB), que consiste na razão entre a massa seca (MS) e o acúmulo de nutrientes (Ac.N). Alternativamente, pode ser reescrito como o inverso do teor do nutriente, ou seja:  $CUB = MS/Ac.N$ , onde  $Ac.N = Teor * MS$ , logo  $CUB = 1/Teor$ . Entretanto, segundo Siddiqui & Glass (1981), a relação de eficiência nutricional deve sempre estar relacionada com a produção, para não incorrer em erro de selecionar cultivares com alta relação de eficiência nutricional e baixa produção. Para tanto,

Siddiqui & Glass (1981) sugerem o índice de eficiência nutricional (EN). Este índice é calculado pela relação entre a MS da planta e a concentração do nutriente na mesma.

Souza (1994) menciona cinco características que contribuem para o aumento da eficiência na absorção e de utilização de nutrientes pelas plantas: adequada geometria e distribuição do sistema radicular, modificações químicas na rizosfera e exsudação de substâncias capazes de solubilizar nutrientes, presença de micorrizas, tolerância a condições de baixo pH ou aumento de teores de alumínio trocável, e taxa de absorção mais rápida em condições de baixas concentrações de nutrientes. Segundo Föhse et al. (1991), plantas com alta eficiência de absorção de P apresentam não só alta taxa de absorção do nutriente por unidade de massa de raiz (alto influxo), mas também alta relação parte aérea/raiz. Também a recuperação do P pelas plantas pode variar devido à sua adsorção e baixa difusão do nutriente no solo. A formação de precipitados de fosfatos de ferro e de alumínio, em solos muito ácidos, também contribui para diminuição da disponibilidade de P as plantas (Ernani et al., 2000).

O objetivo deste trabalho foi avaliar o crescimento inicial e a eficiência nutricional de mudas de clone de *E. dunnii* e *E. benthamii* cultivadas em um Cambissolo Húmico em resposta a adição de doses crescentes de P.

### 2.3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, no viveiro de pesquisa da empresa Klabin S.A., em Otacílio Costa, SC, de outubro de 2008 a janeiro de

2009. Foi utilizado um Cambissolo Húmico alumínico léptico, coletado na camada de 0 – 20 cm em área de reflorestamento de *Pinus taeda*.

O solo apresentava as seguintes características: pH-H<sub>2</sub>O = 3,9; Al<sup>3+</sup> = 9,5 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Ca = 0,6 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Mg = 0,1 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; P = 4,6 mg dm<sup>-3</sup>; K = 50 mg dm<sup>-3</sup>; 510g kg<sup>-1</sup> de argila e 34 g kg<sup>-1</sup> de matéria orgânica (M.O). Posteriormente à coleta, o solo foi tamisado em peneira de 4 mm, e em seguida recebeu 2,0 g kg<sup>-1</sup> de calcário dolomítico finamente moído, antes da aplicação dos tratamentos, com o objetivo de elevar a quantidade de Ca + Mg para 2,0 cmol<sub>c</sub> dm<sup>3</sup>.

Os tratamentos consistiram de um arranjo fatorial envolvendo duas espécies (*E. dunnii* e *E. benthamii*) e cinco doses de fósforo (0, 50, 100, 200 e 400 mg dm<sup>-3</sup>), com quatro repetições arranjadas em delineamento experimental inteiramente casualizado. A unidade experimental foi constituída por vaso plástico preenchido com 18 litros de solo no qual foi cultivado uma muda.

As doses de P foram homogeneizadas manualmente com todo o volume de solo de cada unidade experimental, no dia do plantio das mudas. Foram utilizadas mudas clonais homogêneas em altura e diâmetro, com três meses de idade, produzidas por propagação vegetativa no viveiro da Klabin, em Telêmaco Borba, PR.

Como fonte de fósforo, utilizou-se o superfosfato triplo (46% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) previamente tamizado em peneira com 2 mm de abertura. Em todas as unidades experimentais, foi realizada adubação básica logo após o plantio, via solução, de modo a fornecer as seguintes quantidades de nutrientes, em cada quilograma de solo seco: 50 mg de N na forma de uréia [CO(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>], 100 mg de K na forma de KCl, 5 mg de Zn na forma de ZnSO<sub>4</sub> e 5 mg de Cu na forma de CuSO<sub>4</sub>. A umidade do solo foi mantida durante todo o período experimental em aproximadamente 80% da

água retida na capacidade de campo. O volume de água evapotranspirado, obtido por meio de pesagem dos vasos, foi repostado diariamente.

Ao final de três meses, foi mensurado o diâmetro do colo e a altura das mudas, com paquímetro digital e régua graduada, respectivamente. Posteriormente procedeu-se a coleta da biomassa da parte aérea e radicular das plantas, separadamente. A coleta das raízes foi efetuada por meio do peneiramento do solo e catação manual. A biomassa da parte aérea e das raízes foi secada a 65 °C em estufa com circulação de ar forçada, até atingir massa constante. Posteriormente à pesagem, realizou-se a moagem do material vegetal, em moinho tipo Wiley.

As amostras secas da parte aérea foram digeridas com ácido sulfúrico e água oxigenada, sem mistura de digestão, em bloco digestor previamente aquecido a 100 °C. Procedeu-se aumento gradual de temperatura até atingir 350 °C. O P total das amostras foi determinado de acordo com a metodologia proposta por Murphy & Riley (1962). O fósforo no solo foi extraído pelo método de Mehlich-1, que é uma solução ácida, cuja concentração final possui HCl 0,05 mol L<sup>-1</sup> e H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,0125 mol L<sup>-1</sup>, sendo, a seguir, determinado por colorimetria (Tedesco et al., 1995).

A partir do teor de fósforo e da massa seca da parte aérea das plantas, determinou-se o P acumulado na biomassa, a eficiência de absorção de P (EAP = conteúdo de P na planta / massa seca da raiz) e a eficiência de utilização de P (EUP = (matéria seca)<sup>2</sup> / conteúdo de P), conforme metodologias propostas por Siddiqi & Glass (1981). Também foi determinada, para cada espécie, a percentagem de recuperação pela biomassa do P aplicado [% P recuperado = P (conteúdo na planta fertilizada) – P (conteúdo planta testemunha)\*100 / P (quantidade de aplicada)].

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (teste F) para avaliar a significância dos efeitos dos fatores (doses de P e espécies) e da interação

entre eles. Para os parâmetros de crescimento (biomassa seca da parte aérea, radicular e total) e para os parâmetros de eficiência nutricional (teor de P na biomassa, P acumulado, eficiência de absorção de P e eficiência de utilização de P) foram ajustadas equações de regressão com uso do pacote estatístico SAS (2007).

## 2.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 2.4.1 Produção de biomassa

As doses de P influenciaram a produção de biomassa da parte aérea, da raízes e biomassa total diferentemente entre as espécies de eucalipto (*E. dunnii* e *E. benthamii*) ao nível de ( $P < 0,01$ ) de significância (Tabela 1).

Tabela 1 - Análise de variância com valores de quadrado médio (QM) e coeficiente de variação da massa seca da raiz (MsRA), massa seca da parte aérea (MsPA) e massa seca total (MsTO) de *E. dunnii* e *E. benthamii*, aos três meses após o plantio, em função de doses de fósforo adicionadas ao solo.

| Fonte de Variação | QM                      |                         |                         |
|-------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
|                   | MsRA                    | MsPA                    | MsTO                    |
|                   | (g vaso <sup>-1</sup> ) | (g vaso <sup>-1</sup> ) | (g vaso <sup>-1</sup> ) |
| Espécie (E)       | 1339,9**                | 789,8**                 | 29863,5**               |
| Doses P (P)       | 357,4**                 | 293,3**                 | 10066,6**               |
| E * P             | 89,2**                  | 30,4**                  | 1255,2**                |
| CV (%)            | 13,9                    | 6,7                     | 7,7                     |

ns - não significativo; \*significativo ( $P < 0,05$ ); \*\*significativo ( $P < 0,01$ )

O rendimento de massa seca da parte aérea (MsPA) das duas espécies apresentou um comportamento quadrático com o aumento das doses de P adicionadas ao solo. Em todos os níveis de P, o *E. dunnii* produziu mais biomassa

aérea do que *E. benthamii*, sendo que no tratamento onde não foi aplicado fósforo a produção foi 2,26 vezes maior, evidenciando uma melhor adaptabilidade do *E. dunnii* em solos com baixa disponibilidade de P (Figura 1). Furtini Neto (1994) avaliou a resposta de mudas de cinco espécies de eucalipto ao fornecimento de P, e também encontrou comportamento quadrático na produção de biomassa, com máximas respostas obtidas para doses variando de 250 a 350 mg dm<sup>-3</sup> de P.

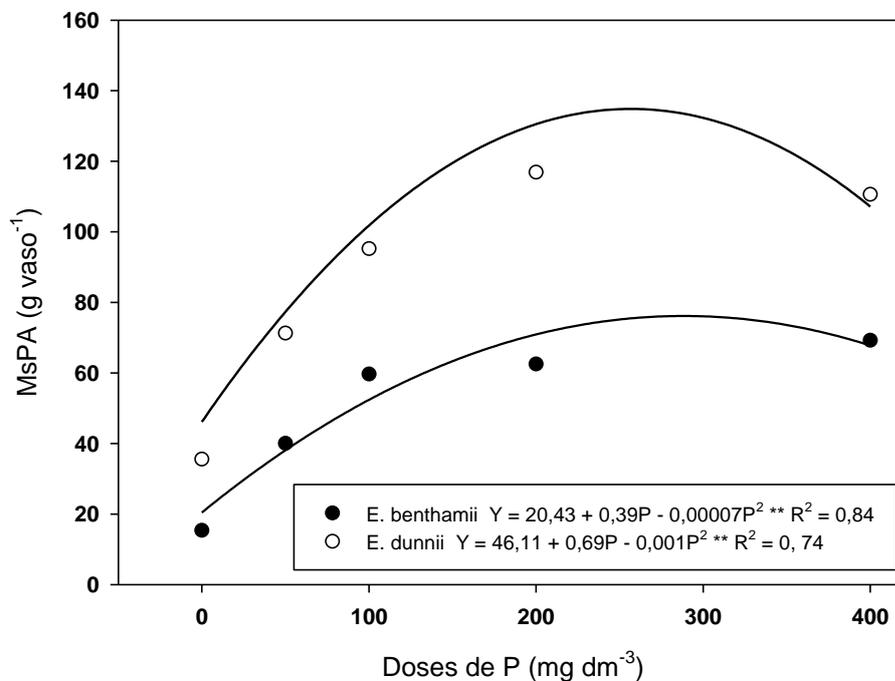


Figura 1 - Produção de biomassa seca da parte aérea de *E. dunnii* e *E. benthamii*, aos três meses após o plantio, em função de doses de fósforo adicionadas ao solo.

A interação entre as doses de P e as espécies de eucalipto foi significativa ( $P < 0,01$ ), confirmando a diferença de comportamento na produção de biomassa da parte aérea. A produção do *E. dunnii* foi maior do que a do *E. benthamii* em todas as doses de P testadas, demonstrando uma melhor resposta ao fornecimento de P. A máxima produção por vaso foi de 134 g, obtida na dose estimada de 256 mg dm<sup>-3</sup> de P.

O efeito das doses de P aplicadas ao solo na produção de raízes variou com a espécie de eucalipto (Tabela 1; Figura 2). A produção de massa seca das raízes (MsRA) do *E. benthamii* aumentou linearmente com o aumento das doses de P (Figura 2). A massa seca das raízes do *E. dunnii*, entretanto, aumentou de forma quadrática com a dose de P, apresentando a produção máxima de 34 g vaso<sup>-1</sup> com a adição de 251 mg dm<sup>-3</sup> de P. Como na produção de biomassa aérea, a biomassa radicular estimada também foi maior para o *E. dunnii* em relação ao *E. benthamii*, em todas as doses de P, sendo 1,7 e 2,0 vezes maior nas doses de 0 e 300 mg dm<sup>-3</sup>, respectivamente

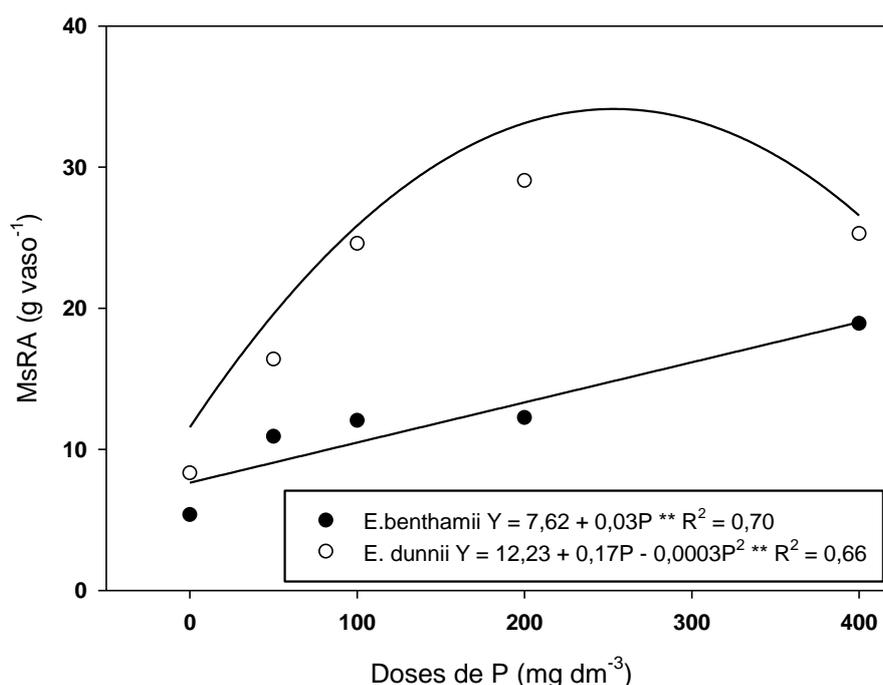


Figura 2 - Produção de biomassa seca radicular de *E. dunnii* e *E. benthamii*, aos três meses após o plantio, em função de doses de fósforo adicionadas ao solo.

Visualmente foi possível verificar diferenças na morfologia das raízes entre as duas espécies, tendo o *E. dunnii* apresentado um sistema radicular bem mais ramificado e com raízes mais finas do que o *E. benthamii*. Não foi feita nenhuma

avaliação estatística comparando a morfologia do sistema radicular das duas espécies. Sabe-se que a geometria das raízes influencia o crescimento da planta e a aquisição de nutrientes, especialmente daqueles com baixa mobilidade no solo, a exemplo do P. Por isso, plantas com sistema radicular mais fino e fasciculado exploram um maior volume de solo, o que facilita a aquisição do nutriente, principalmente sob condições de limitada disponibilidade no solo (Föshe,1991).

A produção de biomassa total seguiu o mesmo comportamento quadrático observado para biomassa aérea, sempre com o *E. dunnii* (Figura 3) apresentando a maior produção total, em todas as doses testadas.

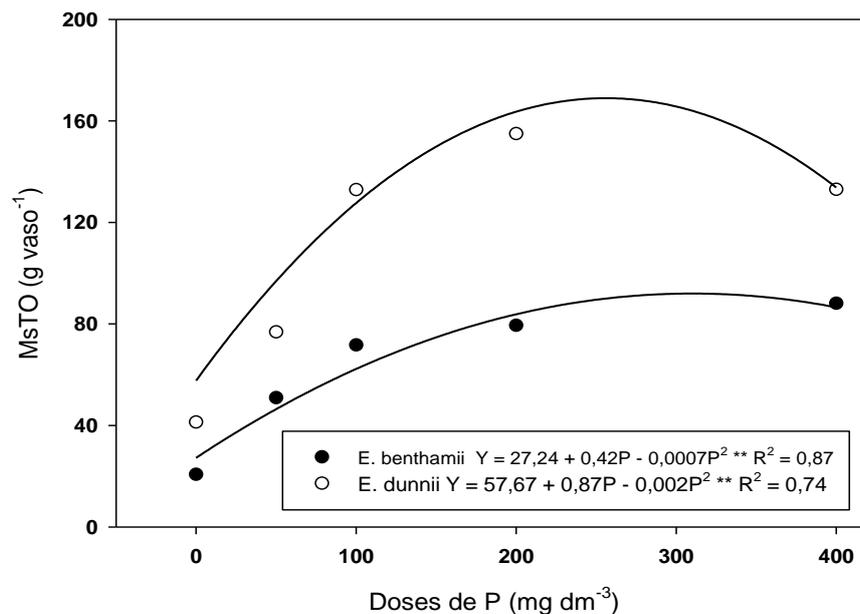


Figura 3 - Produção de biomassa seca total de *E. dunnii* e *E. benthamii*, aos três meses após o plantio, em função de doses de fósforo adicionadas ao solo.

As máximas produções de massa seca total (MsTO) para *E. dunnii* e para *E. benthamii* foram, respectivamente, 168 g vaso<sup>-1</sup> na dose estimada de 256 mg dm<sup>-3</sup> de P e de 92 g vaso<sup>-1</sup> na dose 310 mg dm<sup>-3</sup> de P (Figura 3). Verifica-se, portanto, maior responsividade do *E. dunnii* à adição de P, já que são necessárias 2,3 mg dm<sup>-3</sup> de P para o incremento de 1,0 g vaso<sup>-1</sup> de biomassa total, enquanto que para o

*E. benthamii* são necessárias 4,8 mg dm<sup>-3</sup> de P para produzir 1,0 g vaso<sup>-1</sup> de biomassa. A resposta em produção de biomassa observada no presente estudo até doses altas de P pode ser explicada pela condução das plantas em vasos, onde há uma maior relação raízes/solo relativamente às plantas cultivadas no campo. Em vasos, o sistema radicular fica confinado e, portanto, explora mais intensamente o volume de solo, pois há uma sobreposição das zonas de depleção de P ao redor das raízes, o que dificilmente acontece no campo. D'Avila (2008) verificou que doses de 400 a 490 mg dm<sup>-3</sup> em substrato foram os melhores resultados na produção de mudas de três clones de *E. urograndis* quando testou a adição de P de 0 a 1046 mg dm<sup>-3</sup>.

Para a dose correspondente a 90% da produção máxima estimada, o *E. dunnii* apresentou produção relativa de biomassa 47 pontos percentuais maior do que o *E. benthamii*, com uma dose 22% menor (Tabela 2), confirmando a sua melhor responsividade ao fornecimento de P e conseqüente maior produção de biomassa.

Tabela 2 - Biomassa total e dose de fósforo necessária para produzir 90% da massa seca máxima estimada para as espécies de *E. dunnii* e *E. benthamii* aos três meses após o plantio.

| Espécie             | Biomassa Total<br>(g vaso <sup>-1</sup> ) | Produção Relativa<br>(%) | Doses de P<br>(mg dm <sup>-3</sup> ) |
|---------------------|---|--------------------------|--------------------------------------|
| <i>E. dunnii</i>    | 156,0                                     | 100                      | 151,9                                |
| <i>E. benthamii</i> | 82,8                                      | 53                       | 193,2                                |

#### 2.4.2 Parâmetros de eficiência nutricional

Todos os parâmetros relacionados com a eficiência nutricional de P diferiram entre as duas espécies de eucalipto ao nível de 1% de significância (P<0,01) (Tabela

3). A interação entre espécies e doses de P foi estatisticamente significativa ( $P < 0,01$ ) para o P acumulado na biomassa e para a eficiência de absorção do nutriente.

Tabela 3 - Análise de variância com valores de quadrado médio e coeficiente de variação do teor de fósforo na biomassa (P), fósforo acumulado na biomassa (PAc.), eficiência de absorção de fósforo (EAP) e eficiência de utilização de fósforo (EUP) de *E. dunnii* e *E. benthamii*, aos três meses após o plantio, em função de doses de fósforo adicionadas ao solo.

| Fonte de Variação | QM                  |                          |                        |   |
|-------------------|---------------------|--------------------------|------------------------|---|
|                   | P                   | PAc.                     | EAP                    | EUP                                     |
|                   | (%)                 | (mg vaso <sup>-1</sup> ) | (mgP g <sup>-1</sup> ) | (mg <sup>2</sup> ms mg <sup>-1</sup> P) |
| Espécie (E)       | 0,024**             | 140,89**                 | 99,26**                | 2,21**                                  |
| Doses P (P)       | 0,013*              | 107,72**                 | 80,31*                 | 4,47**                                  |
| E * P             | 0,001 <sup>ns</sup> | 6,34**                   | 30,67 <sup>ns</sup>    | 7,96**                                  |
| CV (%)            | 11,18               | 12,82                    | 26,57                  | 11,50                                   |

ns - não significativo; \*significativo ( $P < 0,05$ ); \*\*significativo ( $P < 0,01$ )

O teor de P na biomassa aérea aumentou linearmente com o aumento das doses de P para as duas espécies. Em todas as doses, os teores de P foram maiores no *E. benthamii* do que no *E. dunnii*. No primeiro, o teor de P variou de 0,34%, nas plantas não fertilizadas, até 0,42% nas plantas que receberam 400 mg dm<sup>-3</sup> P; para *E. dunnii*, a concentração de P variou de 0,28% a 0,40% nas plantas sem P e com 400 mg dm<sup>-3</sup> de P, respectivamente.

O conteúdo de P acumulado na biomassa aérea seguiu o mesmo comportamento quadrático encontrado para a produção de biomassa seca. Mesmo as concentrações de P tendo sido menores no *E. dunnii*, este apresentou os maiores conteúdos do nutriente acumulado, em todas as doses testadas (Figura 4), em

virtude da maior produção de biomassa produzida por esta espécie relativamente à produzida pelo *E. benthamii*.

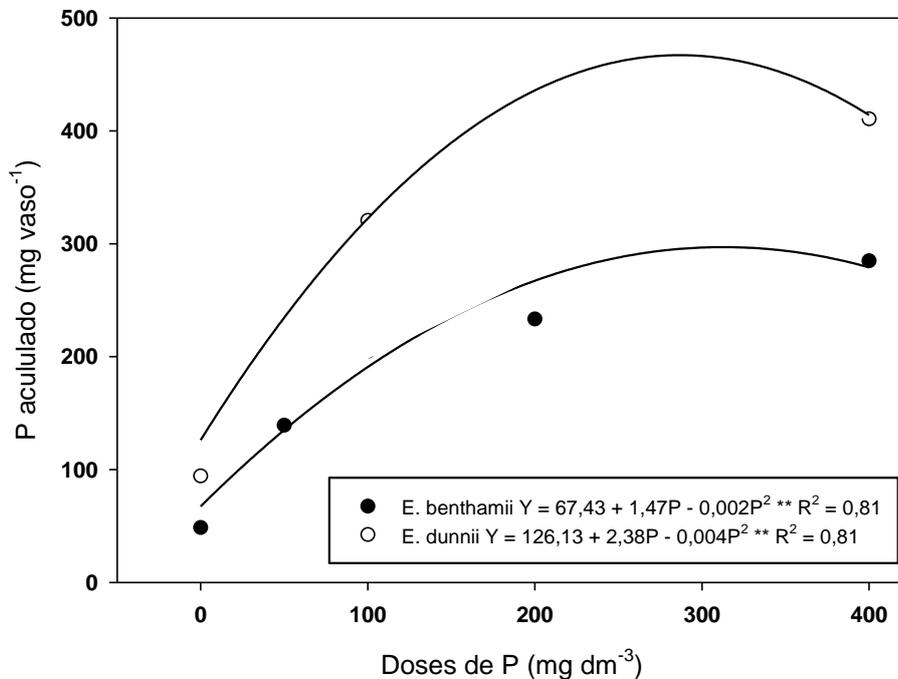


Figura 4 - Conteúdo de P acumulado na de biomassa aérea de *E. dunnii* e *E. benthamii*, aos três meses após o plantio, em função de doses de fósforo adicionadas ao solo.

A quantidade de P no solo, ao final dos três meses de condução do experimento, aumentou linearmente com o aumento da dose de P aplicada, porém com diferenças entre as duas espécies (Figura 5). Mesmo o *E. dunnii* tendo acumulado mais P na biomassa, o P do solo plantado com *E. dunnii* foi 25% maior do que naquele plantado com *E. benthamii*, em todas as doses testadas. Este fato demonstra que o *E. dunnii* pode ter utilizado alguma quantidade de P de formas não detectadas pelo método de extração do P solo.

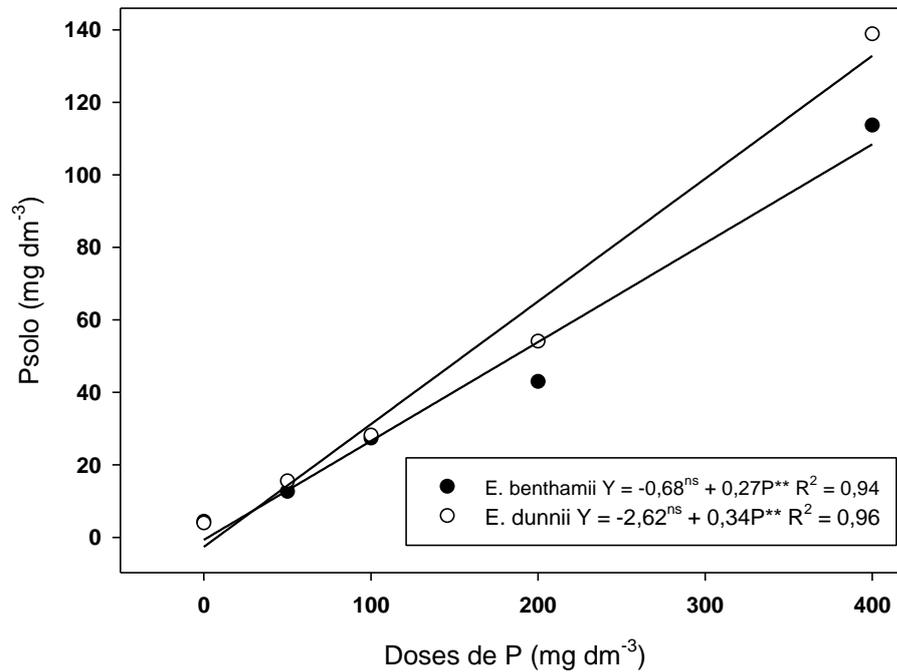


Figura 5 - Valores de P disponível no solo, aos três meses após o plantio de *E. dunnii* e *E. benthamii*, em função de doses de fósforo adicionadas ao solo.

A eficiência de absorção de P (EAP) também foi distinta entre as duas espécies (Figura 6). O *E. dunnii* obteve ganhos lineares crescentes na eficiência de absorção à medida que aumentou o fornecimento desse nutriente, partindo de 10,5 mg P g<sup>-1</sup>, na dose zero, e atingindo eficiência máxima de 14,3 mg P g<sup>-1</sup> na dose de 400 mg dm<sup>-3</sup> de P. Por outro lado, o *E. benthamii* apresentou ganhos crescentes até um máximo de eficiência de absorção de 21,9 mg P g<sup>-1</sup> para a dose estimada de 228 mg dm<sup>-3</sup>; após isso, houve redução até 14,9 mg P g<sup>-1</sup> para a dose 400 mg dm<sup>-3</sup>. Essa diferença de comportamento das espécies pode ser explicada em função do crescimento radicular das espécies, que foi linear para o *E. benthamii* e quadrático para o *E. dunnii*, uma vez que a EAP é calculada pelo quociente entre o conteúdo de P na planta e a massa seca do sistema radicular.

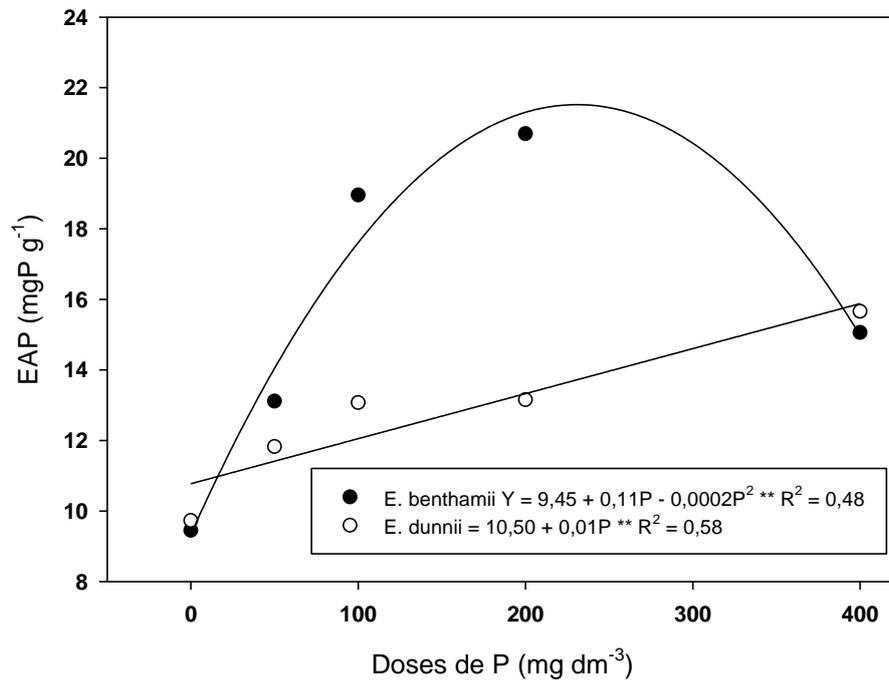


Figura 6 - Eficiência de absorção de P de *E. dunnii* e *E. benthamii*, aos três meses após o plantio, em função de doses de fósforo adicionadas ao solo.

O comportamento da eficiência de utilização de P não diferiu entre as espécies com a variação na disponibilidade de fósforo no solo. Ele aumentou até níveis máximos de produção de biomassa nas doses intermediárias, decrescendo nas maiores doses (Figura 7). Considerando que as curvas de crescimento e atuação enzimática são hipérboles retangulares, este comportamento era esperado, corroborando resultados de Siddiqi & Glass (1981) em estudo com potássio. Por outro lado, o *E. dunnii* demonstrou maior eficiência de utilização de P do que o *E. benthamii*, em todas as doses de P, com máxima eficiência de utilização (39,5 g<sup>2</sup>ms mg<sup>-1</sup>) para a dose estimada de 233 mg dm<sup>-3</sup>. Para *E. benthamii*, a máxima eficiência (19,9 g<sup>2</sup>ms mg<sup>-1</sup>) P foi obtida na dose de 269 mg dm<sup>-3</sup>, representando um decréscimo de 49,7% em relação ao *E. dunnii*. Na dose onde não se adicionou P, a eficiência do *E. dunnii* na utilização e conversão em biomassa foi maior demonstrando sua melhor habilidade em se adaptar a ambientes com baixos níveis

deste nutriente. À medida que aumenta a disponibilidade de P no solo até os níveis ideais para as máximas produções, ocorre também maior responsividade do *E. dunnii* na utilização de P em relação ao *E. benthamii*. Diferenças na eficiência de utilização de P entre espécies de eucalipto também foi verificada por Alvarez (2006), demonstrando que híbridos de *E. urophylla* x *E. grandis* foram mais eficientes em condição de disponibilidade limitada de P.

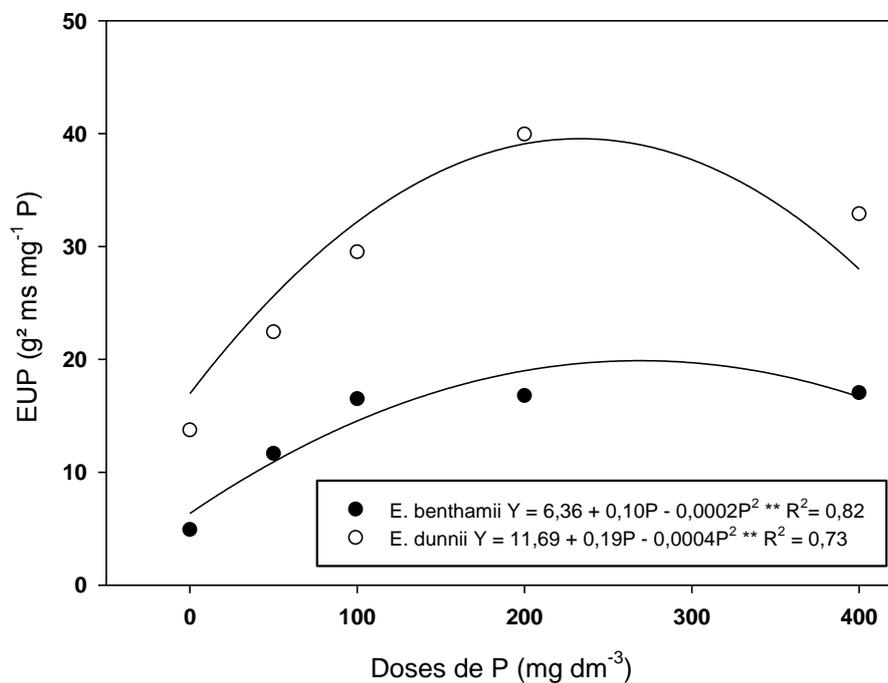


Figura 7 - Eficiência de utilização de P de *E. dunnii* e *E. benthamii*, aos três meses após o plantio, em função de doses de fósforo adicionadas ao solo.

A quantidade de P recuperada na biomassa diminuiu para as duas espécies com o aumento das doses de P (Tabela 04). O *E. dunnii* apresentou uma maior percentagem de recuperação do que o *E. benthamii*, em todas as doses, sendo 1,7 e 1,5 vezes maior nas doses de 100 e 400 mg dm⁻³ de P, respectivamente.

Tabela 4 - Recuperação de fósforo na biomassa de *E. dunnii* e *E. benthamii*, aos três meses após o plantio, em função de doses de fósforo adicionadas ao solo.

| Espécie             | P (mg dm <sup>-3</sup> ) |      |       |
|---------------------|--------------------------|------|-------|
|                     | 100                      | 200  | 400   |
|                     | -----                    | %    | ----- |
| <i>E. dunnii</i>    | 16,27                    | 8,59 | 4,95  |
| <i>E. benthamii</i> | 9,43                     | 5,13 | 3,28  |

Este melhor aproveitamento em todas as doses do fertilizante adicionado pelo *E. dunnii* corrobora com a maior produção de biomassa, confirmando a maior eficiência de utilização do nutriente.

## 2.5 CONCLUSÃO

- A adição de P ao solo aumentou a produção de biomassa e interferiu nos parâmetros relacionados com a eficiência nutricional de mudas de clones de *E. dunnii* e *E. benthamii* cultivados em vasos, com magnitudes diferentes entre as espécies, tendo o *E. dunnii* sido mais eficiente do que o *E. benthamii* na produção de biomassa aérea e radicular, assim como na utilização de P, em todas as doses de P aplicadas.

### **3 CAPÍTULO II – RESPOSTA INICIAL DE *Eucalyptus dunnii* E *Eucalyptus benthamii* À ADUBAÇÃO FOSFATADA E POTÁSSICA NO PLANALTO SUL CATARINENSE.**

#### **3.1 RESUMO**

A busca por informações e a implementação de estudos de respostas à fertilização das diferentes espécies de eucalipto intensificou-se à medida que houve uma expansão da área plantada no país e o avanço sobre solos degradados e de baixa fertilidade. Porém ainda existe carência de informações referentes a algumas espécies em particular, principalmente quando se trata de espécies recomendadas para regiões de clima subtropical. O objetivo deste estudo foi avaliar o desenvolvimento inicial e a resposta de *E. dunnii* e *E. benthamii* a adubação com diferentes doses de fósforo e potássio. Foram instaladas duas áreas experimentais, uma para cada espécie (Experimento I: *E. dunnii* e Experimento II: *E. benthamii*) em Cambissolo Húmico no município de Otacílio Costa - SC. As áreas receberam os mesmos tratamentos, arranjados em esquema fatorial (3x4), 0; 100; 200 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O e 0; 50; 100; 200 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. As doses de P foram aplicadas em duas covetas laterais a 10 cm de profundidade e a 10 cm da planta, quinze dias após o plantio. Já as doses de K foram divididas em duas partes iguais, e aplicadas sobre o solo na projeção da copa, aos três e seis meses após o plantio. Aos seis e dezoito meses foram mensurado a altura e diâmetro das plantas para o cálculo de volume. Os dados foram analisados através do procedimento de superfície de resposta. De acordo com os resultados observados aos seis meses o *E. dunnii* apresentou maior

resposta em relação a P e K, porém em todas as faixas de disponibilidade, a produtividade do *E. benthamii* foi maior, com destaque onde se aplicou as menores doses de P e K. A resposta máxima para *E. dunnii* foi de 183 e 200 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O e P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, respectivamente. Já para *E. benthamii* foi de 84 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O e 124 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Essas doses proporcionaram ganhos significativos de produtividade para ambas as espécies.

### 3.2 INTRODUÇÃO

A busca por informações e a implementação de estudos de respostas à fertilização das diferentes espécies de eucalipto intensificou-se à medida que houve uma expansão da área plantada no país e o avanço sobre solos degradados e de baixa fertilidade. Porém ainda existe carência de resultados referentes a algumas espécies em particular, principalmente quando se trata de espécies recomendadas para regiões de clima subtropical.

Em relato de diversos estudos com diferentes espécies florestais em vários países quanto à resposta a adubações, Nambiar (1984) menciona que a seleção de genótipos pode oferecer um avanço nesse sentido, e advertiu que o potencial genético para alta produção não será completamente expresso se não for acompanhado por uma otimização dos recursos de água e nutrientes. Segundo esse autor, muitos dos conhecimentos sobre nutrição são empíricos, e os avanços nessa área somente serão possíveis se houver interação nos conhecimentos sobre a fisiologia do crescimento das árvores e a relação destas com a disponibilidade de nutrientes no solo.

A necessidade de adubação decorre do fato de que nem sempre o solo é capaz de fornecer todos os nutrientes que as plantas precisam para um adequado crescimento. Isso se deve aos solos muito intemperizados e lixiviados usados para os plantios florestais e pelo contínuo processo de exportação de nutrientes devido às diversas rotações de culturas agrícolas ou florestais. As características e quantidade de adubos a aplicar dependem das necessidades nutricionais da espécie, da fertilidade do solo, da reação dos adubos com o solo, da eficiência dos adubos e de fatores de ordem econômica (Gonçalves, 1995). Ainda, as recomendações devem ser definidas em nível regional para as espécies e tipos de solos mais representativos, envolvendo experimentação de campo, que devem ter por objetivo estabelecer classes de fertilidade de solo e de resposta às adubações.

O fósforo é um componente integral de compostos importantes das células vegetais, incluindo fosfato-açúcares, intermediários da respiração e fotossíntese, bem como fosfolipídeos que compõem as membranas vegetais. É também componente de nucleotídeos utilizados no metabolismo energético das plantas. Sintomas característicos de deficiência de fósforo incluem crescimento reduzido em plantas jovens, folhas levemente arroxeadas, podendo ainda encontrar-se malformadas e conter manchas necróticas (Taiz & Zeiger, 2004). A deficiência severa de fósforo em *E. pellita* e *E. urophylla* é caracterizada por folhas arroxeadas sem lesões necróticas. Já em *E. globulus* surgem manchas necróticas coalescentes e irregularidades nas margens das folhas com uma grande quantidade de tecido morto (Dell et al., 2003).

O potássio desempenha importante papel na regulação osmótica, e é ativador de muitas enzimas envolvidas na respiração e fotossíntese. O principal sintoma visível de deficiência de potássio é clorose em manchas ou marginal, que então,

evolui para necrose, principalmente nos ápices foliares, nas margens e entre nervuras. Como o potássio pode ser remobilizado para as folhas mais jovens os sintomas aparecem inicialmente nas folhas mais maduras da base da planta (Taiz & Zeiger, 2004)

As espécies de eucaliptos são consideradas exigentes em nutrientes, principalmente em fósforo na fase inicial, e em potássio na fase juvenil e adulta. Considerando essa característica, aliado ao fato de que em condições subtropical, é relevante a promoção de um rápido desenvolvimento inicial que geram ganhos em altura e diâmetro, de modo que as plantas atinjam um porte em que danos de geadas sejam minimizados. O aporte adequado de nutrientes pelas adubações suporta a necessidade desse aceleração do desenvolvimento inicial das plantas, necessário nessas condições.

Para uma produtividade de 30 a 60 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, a quantidade total acumulada de potássio pelo eucalipto aos 7 anos de idade varia de 190 a 400 kg de K ha<sup>-1</sup>, muito superior ao conteúdo de potássio trocável nos primeiros 60 cm de profundidade da maioria dos solos florestais, exceção feita a alguns Argissolos amarelos da região sul da Bahia ou do Vale do Paraíba – SP (Silveira & Malavolta, 2000). Em trabalho realizado por Bellote (1979), a quantidade acumulada de potássio aos 6 anos em *E. grandis* foi de 245 kg ha<sup>-1</sup>, enquanto que a quantidade dos demais macronutrientes por hectare foi de 518 kg para Ca, 472 kg para N, 160 kg para S, 125 kg para Mg e 30 kg para P. Normalmente, o potássio é o segundo ou terceiro nutriente mais acumulado pelo eucalipto, ficando às vezes abaixo do nitrogênio e do cálcio. Para *E. dunnii* aos 7 anos de idade, Schumacher et al. (2000) verificaram um acúmulo de 415 kg ha<sup>-1</sup> e 28 kg ha<sup>-1</sup> de potássio e fósforo, respectivamente na biomassa da parte aérea das árvores. A simples reposição das

quantidades de nutrientes exportadas pela colheita pode não garantir a sustentabilidade das próximas rotações, principalmente em solos argilosos, onde a adsorção de fósforo pelos minerais de argila e pelos óxidos de Fe e de Al é alta.

Em reflorestamentos de *E. grandis* que apresentam deficiência de potássio verifica-se a importância da correção pela adubação potássica, pois Gava (1997) aplicando 256 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O obteve ganhos de volume em madeira de 118% em relação à testemunha.

Malavolta (2002) sugere que a dose de fósforo utilizada leve em conta o acúmulo anual de fósforo e o teor de argila do solo (f=2 para solos arenosos, f=3 para solos de textura média e f=4 para solos argilosos). Assim considerando que o acúmulo de fósforo para *E. grandis* aos 6 anos foi de 30 kg ha<sup>-1</sup> (Bellote, 1979), a dose de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> seria de 60 (30 x 2), 90 (30 x 3) e 120 (30 x 4) kg ha<sup>-1</sup> para solos arenosos, textura média e argilosos, respectivamente.

Os objetivos deste experimento de campo foram avaliar o desenvolvimento inicial e as respostas de *E. dunnii* e *E. benthamii* à adubação com diferentes doses de fósforo e potássio no Planalto Sul Catarinense.

### 3.3 MATERIAL E MÉTODOS

Foram conduzidos dois experimentos de campo, um com clone de *Eucalyptus dunnii* (Experimento I, 50°03'24" W; 27°30'14" S), e outro com *Eucalyptus benthamii* (Experimento II, 50°03'40" W; 27°24'27" S) em Cambissolo Húmico, em duas fazendas da empresa Klabin S.A, no município de Otacílio Costa – SC.

As duas áreas experimentais apresentavam características de manejo semelhantes na rotação anterior, plantio de *Pinus taeda* com corte final aos 18 anos.

O solo foi coletado na camada 0 – 20 cm e analisado (Tabela 5) para duas áreas.

Tabela 5 - Características químicas e físicas do solo da camada 0 – 20 cm do Experimento I e II. (*E. dunnii*) e II (*E. benthamii*)

| Área                            | pH-H <sub>2</sub> O | Argila                      | M.O. | P                         | K  | Al <sup>3+</sup>                               | Ca  | Mg  |
|---------------------------------|---------------------|-----------------------------|------|---------------------------|----|--|-----|-----|
|                                 |                     | ---- g kg <sup>-1</sup> --- |      | -- mg dm <sup>-3</sup> -- |    | ----- cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ----- |     |     |
| Exp. I ( <i>E.dunnii</i> )      | 3,9                 | 460                         | 5,7  | 2,5                       | 52 | 13,1   | 0,5 | 0,3 |
| Exp. II ( <i>E. benthamii</i> ) | 3,8                 | 500                         | 4,7  | 3,0                       | 44 | 11,3   | 0,5 | 0,3 |

As técnicas de manejo utilizadas na implantação e condução dos dois experimentos foram as mesmas. As duas áreas receberam 1,5 ton ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico para o fornecimento de Ca e Mg. O preparo do solo mecanizado foi realizado em cultivo mínimo com subsolagem a 45 cm de profundidade e 60 cm de largura na linha de plantio. Simultaneamente com a subsolagem, aplicou-se 200 kg ha<sup>-1</sup> de fosfato natural de rocha Arad (33% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> total e 9 % P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> solúvel) em filete contínuo localizado a 20 cm de profundidade no sulco de subsolagem.

No experimento I foi utilizado um clone de *E. dunnii*, enquanto que no experimento II utilizaram-se mudas de *E. benthamii* de origem seminal. As mudas de ambas as espécies foram produzidas em Telêmaco Borba, PR, no viveiro de pesquisas da Klabin, e apresentavam três meses de idade na ocasião do plantio. O plantio foi realizado em outubro/2007 e novembro/2007 no experimento I e II, respectivamente. O espaçamento de plantio utilizado foi de 3,0 m entre plantas e 2,5 m nas entrelinhas.

Os tratamentos de adubação foram os mesmos para os dois experimentos e consistiram de um arranjo fatorial com três doses de potássio (0, 100 e 200 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O) e quatro doses de fósforo (0, 50, 100, 200 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>). Utilizou-se o delineamento experimental de blocos ao acaso com quatro repetições, sendo a unidade experimental constituída de uma parcela de 49 plantas (7 x 7), das quais somente as 25 plantas centrais (5 x 5) foram utilizadas para as mensurações.

As doses de P foram aplicadas na forma de superfosfato triplo (46% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), ao lado de cada planta, em duas covetas laterais, a 10 cm de distância da muda e 10 cm de profundidade, 15 dias após o plantio. As doses de K foram aplicadas sobre a superfície do solo, na forma de KCl, na projeção da copa das plantas, em duas épocas, sendo metade aos três e seis meses após o plantio. Três meses após o plantio, aplicaram-se 50 kg ha<sup>-1</sup> de nitrato de amônio (33% N) em todas as unidades experimentais.

Aos seis meses foi mensurada a altura total, diâmetro a 50 cm do solo e diâmetro da copa das 25 plantas centrais de cada parcela. A partir dos dados de altura e diâmetro colo foi calculado o volume cilíndrico.

Aos dezoito meses foi mensurado a altura total e diâmetro a 1,30 m do solo. A partir dos dados de altura e diâmetro calculou-se o volume por hectare de cada parcela usando fator de forma de 0,6 (Volume = (g.h.f)), onde  $g = ((\text{diâmetro})^2 \cdot \pi) / 4$ ;  $f$  = fator de forma; e  $h$  = altura.

Os dados obtidos foram submetidos a análises estatísticas utilizando o aplicativo “Statistical Analysis System” (SAS,2007). Procedeu-se a análise de variância (teste F) e, para os casos de significância ( $P < 0,05$ ) da interação de dose de  $P_2O_5$  e  $K_2O$ , efetuaram-se análises de regressão polinomial pelo procedimento RSREG (superfície de resposta). Nos casos de interação não significativa ( $P < 0,05$ ), utilizou-se o procedimento GLM para estudo de regressão para o nutriente em que o efeito foi significativo no teste F.

### 3.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.4.1 Experimento I – *E. dunnii*

##### 3.4.1.1 Avaliação aos seis meses

A adição de P e de K ao solo por ocasião da implantação aumentou o diâmetro do colo, a altura, o diâmetro da copa e o volume cilíndrico das árvores, com efeitos significativos ( $P < 0,01$ ) (Tabela 6) e reflexos positivos no crescimento inicial do *E. dunnii*, avaliado aos seis meses de idade.

Tabela 6 - Análise de variância com valores de quadrado médio (QM) de diâmetro do colo a 50 cm do solo (Dcolo), altura, diâmetro da copa (Dcopa) e volume cilíndrico (Volcil) para o efeito da aplicação de doses de P e K ao solo em *E. dunnii*, aos seis meses após o plantio.

| Fonte de Variação                       | QM      |         |        |                                    |
|---|---------|---------|--------|------------------------------------|
|   | Dcolo   | Altura  | Dcopa  | Volcil                             |
|   | (cm)    | (m)     | (m)    | (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> ) |
| Bloco                                   | 2,21**  | 0,31**  | 0,16** | 1,85**                             |
| Doses de K <sub>2</sub> O (K)           | 9,19**  | 3,73**  | 1,63** | 9,17**                             |
| Doses P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (P) | 22,10** | 11,98** | 3,86** | 22,99**                            |
| K * P                                   | 0,52**  | 0,21**  | 0,05*  | 0,57**                             |
| CV (%)                                  | 12,20   | 11,69   | 9,95   | 28,01                              |

ns - não significativo; \*significativo (P<0,05); \*\*significativo (P<0,01)

A altura, o diâmetro do colo determinado a 50 cm do solo e o volume cilíndrico das plantas, aos seis meses de idade, aumentaram de forma quadrática com o aumento das doses de P e de K aplicadas ao solo. O diâmetro da copa, entretanto, aumentou linearmente com a aplicação dos dois nutrientes. As equações de regressão que descrevem o efeito das doses aplicadas sobre o incremento de cada atributo apresentaram coeficientes de determinação sempre maiores do que 94%, porém o coeficiente da interação entre P e K adicionados não foi significativo para nenhum dos atributos (P<0,05) (Tabela 7).

Tabela 7 - Equações de regressão e valor máximo estimado de diâmetro do colo (Dcolo), altura, diâmetro da copa (Dcopa) e volume cilíndrico (Volcil) para o efeito da aplicação de doses de P e K ao solo em *E. dunnii*, aos seis meses após o plantio.

| Parâmetros                                | Equações  | Ymáx | R <sup>2</sup> |
|---|---|------|----------------|
| Dcolo (cm)                                | $Y = 1,41 + 0,0046^{**}K + 0,0084^{**}P - 0,00006^{*}K^2 - 0,0002^{*}P^2 - 0,0000002^{ns}KP$    | 2,59 | 94,9           |
| Altura (m)                                | $Y = 1,20 + 0,0029^{*}K + 0,0066^{**}P - 0,000009^{*}K^2 - 0,00001^{*}P^2 - 0,0000002^{ns}KP$   | 2,04 | 96,5           |
| Dcopa (m)                                 | $Y = 1,21 + 0,0014^{**}K + 0,0034^{**}P - 0,0000008^{ns}KP$                                     | 1,71 | 97,8           |
| Volcil (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> ) | $Y = 0,2111 + 0,0043^{**}K + 0,0077^{**}P - 0,00001^{*}K^2 - 0,00002^{ns}P^2 + 0,000005^{ns}KP$ | 1,44 | 97,1           |

ns - não significativo; \*significativo (P<0,05); \*\*significativo (P<0,01).

O diâmetro do colo das plantas apresentou valor máximo estimado pela equação múltipla de regressão de 2,59 cm (Figura 8) e isso seria obtido pela aplicação de doses de 166 e de 188 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O e de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, respectivamente. Este valor representa um incremento de 84% no diâmetro do colo das plantas em relação ao tratamento testemunha, onde não foi aplicado P e K.

A altura máxima estimada das plantas aos seis meses após o plantio foi de 2,04 m e seria obtida pela aplicação de 161 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O e de 181 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (Figura 8), e este valor representa um incremento de 70% em relação ao tratamento testemunha, no qual as plantas apresentavam altura média de 1,20 m.

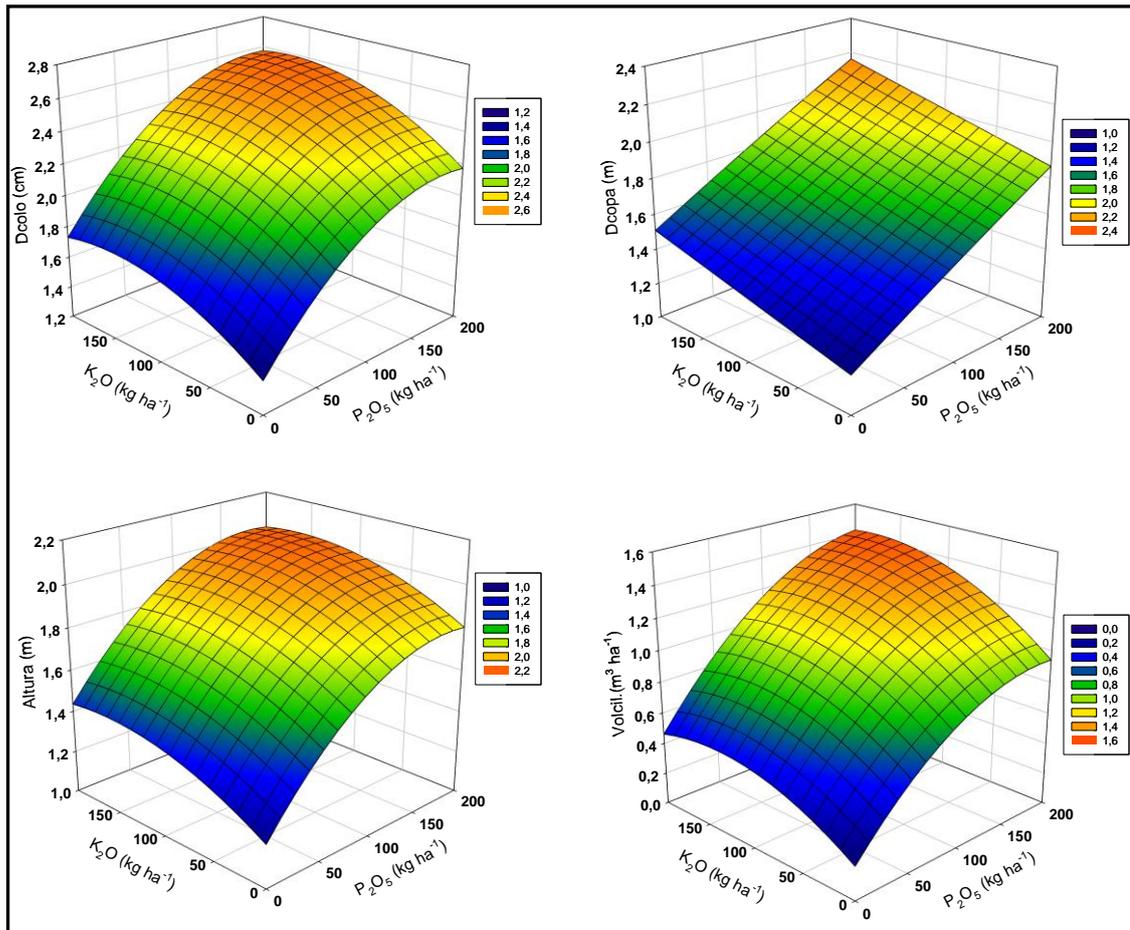


Figura 8 – Superfície de resposta do diâmetro do colo (Dcolo), altura, diâmetro da copa (Dcopa) e volume cilíndrico (Volcil) para o efeito da aplicação de doses de P e K ao solo em *E. dunnii*, aos seis meses após o plantio.

De modo geral as máximas respostas para diâmetro e altura foram semelhantes quando comparadas ao tratamento que utilizou a dose média de K<sub>2</sub>O (100 kg ha<sup>-1</sup>) e dose máxima de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (200 kg ha<sup>-1</sup>). Os valores estimados obtidos para diâmetro e altura nesse tratamento foram de 2,52 cm e 2,00 m, respectivamente. Os incrementos no diâmetro e na altura das plantas nessa idade (6 meses) são fundamentais, já que as plantas com porte maior estarão menos susceptíveis aos danos de geadas, principalmente no primeiro ano de idade, especialmente na região do Planalto Sul Catarinense, onde ocorrem geadas de grande intensidade em alguns anos. Ferraz & Coutinho (1984), estudando o efeito da geada em *E. saligna* com dois anos de idade, verificaram que as plantas

dominadas, ou seja, de menor diâmetro e altura, apresentavam danos irreparáveis ao lenho que influenciaram na qualidade da madeira.

O diâmetro da copa apresentou incremento linear (Figura 8) com o aumento das doses de P e K aplicadas ao solo. O maior diâmetro (2,16 m) ocorreu, portanto, na combinação da maior dose de cada nutriente (200 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O e 200 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), tendo sido 78% maior do que no tratamento que não recebeu nenhum desses dois nutrientes (testemunha). Este grande incremento até aos seis meses de idade das plantas evidencia o efeito benéfico da aplicação de P e de K no desenvolvimento inicial das plantas, mesmo em solos com boa disponibilidade inicial de K, que era de 52 mg dm<sup>-3</sup> na área experimental.

A estimativa de volume cilíndrico das plantas, obtida a partir da superfície de resposta (Figura 8), à aplicação de doses dos nutrientes ao solo apresentou um comportamento linear para P e quadrático para K. A estimativa máxima (1,44 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>) seria obtida nas doses de 200 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 180 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O. Em relação ao tratamento testemunha, isto significa um incremento de 6,8 vezes. Para o efeito isolado da aplicação de K, a maior resposta em volume ocorreu na dose de 141 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, sendo 2,4 vezes maior em relação à testemunha; para o efeito isolado da aplicação de P, a máxima resposta ocorreu na dose de 200 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e foi 4,5 vezes maior em relação à testemunha. Estes valores demonstram resposta do *E. dunnii* à adubação potássica, mas principalmente à adubação fosfatada no desenvolvimento nos primeiros seis meses após o plantio. Esta forte demanda inicial e resposta a P também é encontrada para outras espécies de eucalipto (Silveira & Gava, 2004). Como a interação entre os dois fatores (P e K) foi significativa (P<0,01) (Tabela 6), o efeito combinado de doses na faixa entre 120 e 150 kg ha<sup>-1</sup>

de  $K_2O$  com a dose máxima utilizada de  $P_2O_5$  ( $200 \text{ kg ha}^{-1}$ ) resultaram em respostas semelhantes aos valores para as doses máximas estimadas para o volume cilíndrico aos seis meses.

#### 3.4.1.2 Avaliação aos dezoito meses

A adição de P e K ao solo por ocasião da implantação de *E. dunnii* continuou aumentando o diâmetro, a altura e volume das plantas na avaliação realizada aos dezoito meses após o plantio ( $P < 0,01$ ) (Tabela 8). A interação entre os fatores avaliados (P e K) foi significativa ( $P < 0,05$ ) somente para volume das plantas, confirmando o efeito benéfico da aplicação combinada de K e P na adubação desta espécie.

Tabela 8 - Análise de variância com valores de quadrado médio (QM) de diâmetro a altura do peito (Dap), altura e volume para o efeito da aplicação de doses de P e K ao solo em *E. dunnii*, aos dezoito meses após o plantio.

| Fonte de Variação   | QM                 |                    |                                      |
|---------------------|--------------------|--------------------|--------------------------------------|
|                     | Dap<br>(cm)        | Altura<br>(m)      | Volume<br>( $\text{m}^3/\text{ha}$ ) |
| Bloco               | 10,45**            | 3,94**             | 367,99**                             |
| Doses de $K_2O$ (K) | 54,41**            | 20,01**            | 1334,23**                            |
| Doses $P_2O_5$ (P)  | 122,25**           | 53,51**            | 2724,08**                            |
| K * P               | 1,24 <sup>ns</sup> | 0,38 <sup>ns</sup> | 57,82*                               |
| CV (%)              | 15,90              | 14,87              | 36,69                                |

ns - não significativo; \*significativo ( $P < 0,05$ ); \*\*significativo ( $P < 0,01$ )

A altura, diâmetro e o volume cilíndrico das plantas aumentaram de forma linear com o aumento das doses de P e K aplicadas. As equações de superfície de

resposta geradas (Tabela 9) a partir da média de quatro repetições dos parâmetros avaliados apresentaram bom ajuste, sendo os coeficientes para P e K significativos a ( $P < 0,01$ ) e ( $P < 0,05$ ), respectivamente. Os coeficientes da interação entre P e K não foram significativo ( $P < 0,05$ ).

Tabela 9 - Equações de regressão e valor máximo estimado do diâmetro a altura do peito (Dap), altura e volume para o efeito da aplicação de doses de P e K ao solo em *E. dunnii*, aos dezoito meses após o plantio.

| Parâmetros                                | Equações  | Y <sub>máx</sub> | R <sup>2</sup> |
|---|---|------------------|----------------|
| Dap (cm)                                  | $Y = 4,42 + 0,0048 * K + 0,01327 ** P - 0,000001^{ns} KP$ | 8,04             | 96,0           |
| Alt (m)                                   | $Y = 3,90 + 0,0055 * K + 0,017 ** P - 0,000001^{ns} KP$   | 8,44             | 97,6           |
| Volume (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> ) | $Y = 4,26 + 0,0219 * K + 0,0640 ** P - 0,0000006^{ns} KP$ | 21,45            | 97,7           |

ns - não significativo; \*significativo ( $P < 0,05$ ); \*\*significativo ( $P < 0,01$ )

Aos 18 meses após o plantio, todos os parâmetros avaliados aumentaram de forma linear com o aumento das doses aplicadas de P e K. (Figura 9). Sendo assim, os valores máximos para cada parâmetro foram obtidos nas doses máximas utilizadas, ou seja, de 200 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O e de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. O diâmetro máximo (8,04 cm) foi 82% maior em relação ao tratamento que não recebeu K e P (testemunha), que foi de 4,42 cm. Ganho similar também foi encontrado para a altura, onde o valor máximo (8,44 m) foi 116% maior do que o observado no tratamento testemunha (3,90 m). O efeito isolado da aplicação de K no incremento do diâmetro e da altura das plantas foi de 22 e de 28%, respectivamente maiores em relação à testemunha; o efeito isolado de P, entretanto, foi bem maior atingindo incrementos de 60% no diâmetro e de 88% na altura em relação à testemunha.

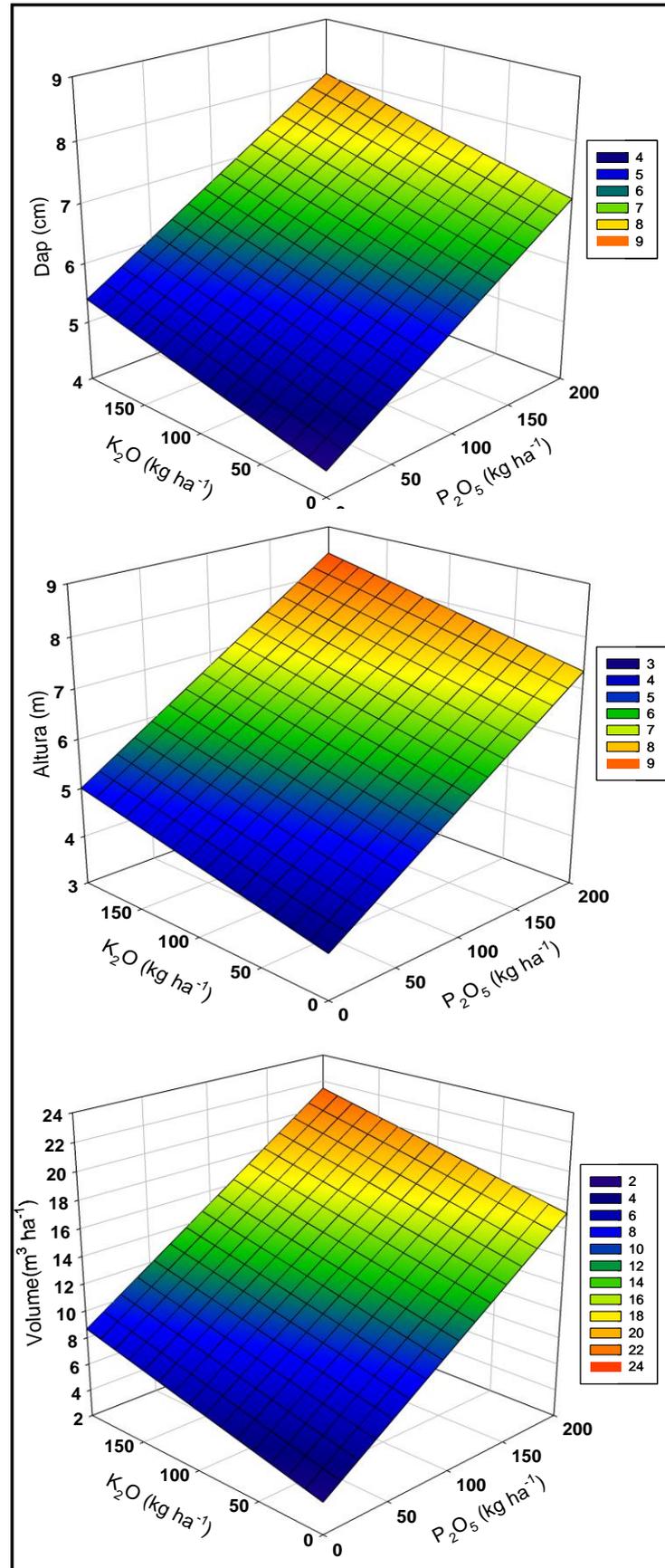


Figura 9 – Superfície de resposta do diâmetro a altura do peito (Dap), altura e volume para o efeito da aplicação de doses de P e K ao solo em *E. dunnii*, aos dezoito meses após o plantio.

O *E. dunnii* respondeu linearmente à adição de doses crescentes de K e P ao solo por ocasião do plantio, evidenciando o alto potencial responsivo desta espécie a esses dois nutrientes. Aos dezoito meses após o plantio das mudas, a produtividade máxima estimada em volume foi de  $21,45 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  para a combinação de  $200 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$  com  $200 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$ . Este valor representa um incremento de 5,1 vezes em relação ao tratamento sem aplicação de K e P. Estudando resposta a adubação fosfatada em *E. dunnii* aos cinco anos de idade Andrade et al. (2003) encontrou máxima resposta em volume na dose de  $156 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$  em Latossolo Vermelho-Amarelo com teor de P abaixo de  $0,1 \text{ mg dm}^{-3}$  em Ponta Grossa – PR. Em estudo com *E. grandis* cultivado em solo com  $21 \text{ mg dm}^{-3}$  de K, a produção máxima de biomassa aos 6,5 anos foi obtida com a dose de  $179 \text{ K}_2\text{O kg ha}^{-1}$ , a qual aumentou em 63 % a produção quando comparada com a ausência de K na adubação (Barros et al. 1992).

Considerando o efeito isolado dos fatores na produção do volume de biomassa, observa-se que a resposta máxima estimada à adição de P ( $17,07 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ) foi o dobro em relação à adição de K ( $8,64 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ), e 4,0 vezes maior em relação à testemunha. Mesmo a resposta máxima estimada tendo sido obtida nas maiores doses testadas, tanto para K como para P, verifica-se que em uma dose intermediária de K ( $100 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$ ) combinada com a dose máxima de P ( $200 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$ ) obtêm-se  $19,26 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ , o que representa 90% do valor máxima do volume obtido para o *E. dunnii*, aos dezoito meses de idade.

### 3.4.2 Experimento II – *E. benthamii*

#### 3.4.2.1 Avaliação aos seis meses

A adição de doses de P e de K afetou ( $P < 0,01$ ) o diâmetro do colo, a altura, o diâmetro da copa e o volume cilíndrico (Tabela 10) promovendo resposta positiva no crescimento inicial do *E. benthamii* aos seis meses de idade.

Tabela 10 - Análise de variância com valores de quadrado médio (QM) do diâmetro do colo a 50 cm do solo (Dcolo), altura, diâmetro da copa (Dcopa) e volume cilíndrico (Volcil) para o efeito da aplicação de doses de P e K ao solo em *E. benthamii*, aos seis meses após o plantio.

| Fonte de Variação                       | QM      |        |        |                                    |
|---|---------|--------|--------|------------------------------------|
|   | Dcolo   | Alt    | DC     | Volcil                             |
|   | (cm)    | (m)    | (m)    | (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> ) |
| Bloco                                   | 1,81**  | 0,23** | 0,17** | 2,51**                             |
| Doses de K <sub>2</sub> O (K)           | 5,89**  | 0,95** | 0,96** | 7,07**                             |
| Doses P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (P) | 26,62** | 4,63** | 3,05** | 26,17**                            |
| K * P                                   | 3,57**  | 0,52** | 0,60** | 3,23**                             |
| CV (%)                                  | 17,50   | 14,40  | 14,6   | 40,60                              |

ns - não significativo; \*significativo ( $P < 0,05$ ); \*\*significativo ( $P < 0,01$ )

Todos os parâmetros avaliados apresentaram comportamento quadrático com a adição de P e K aos seis meses de idade, com máximas respostas nas doses intermediárias, decrescendo nas máximas doses testadas. As equações geradas (Tabela 11) de superfície de resposta a partir da média das quatro repetições dos parâmetros avaliados apresentaram bom ajuste, porém com o coeficiente da interação entre P e K não sendo significativo ( $P < 0,05$ ).

Tabela 11 - Equações de regressão e valor máximo estimado de diâmetro do colo (Dcolo), altura, diâmetro da copa (Dcopa) e volume cilíndrico (Volcil) para o efeito da aplicação de doses de P e K ao solo em *E. benthamii*, aos seis meses após o plantio.

| Parâmetros                                | Equações  | Ymáx | R <sup>2</sup> |
|---|---|------|----------------|
| Dap (cm)                                  | $Y = 1,77 + 0,0061 * K + 0,0163^{**} P - 0,00002 * K^2 - 0,00006^{**} P^2 - 0,0000008^{ns} KP$  | 3,05 | 82,9           |
| Alt (m)                                   | $Y = 1,29 + 0,0024 * K + 0,0067^{**} P - 0,00001 * K^2 - 0,00002^{**} P^2 - 0,000003^{ns} KP$   | 1,82 | 83,7           |
| Dc (m)                                    | $Y = 1,15 + 0,0026 * K + 0,0056^{**} P - 0,00001 * K^2 - 0,00002^{**} P^2 - 0,000005^{ns} KP$   | 1,63 | 79,8           |
| Volcil (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> ) | $Y = 0,4421 + 0,0060 * K + 0,0152^{**} P - 0,00003 * K^2 - 0,00006^{**} P^2 + 0,000007^{ns} KP$ | 1,70 | 83,3           |

O diâmetro de colo máximo estimado pela superfície de resposta (Figura 10) foi de 3,06 cm nas doses de 88 e 125 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O e P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, respectivamente. Essa máxima resposta, em relação ao tratamento testemunha (sem P e sem K), representa um ganho de 77%, aos seis meses.

A altura máxima estimada foi de 1,83 m, correspondente às doses de 93 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O e 126 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (Figura 10). No tratamento testemunha, a altura das plantas foi de 1,29 m, sendo 29,5% menor do que a máxima estimada.

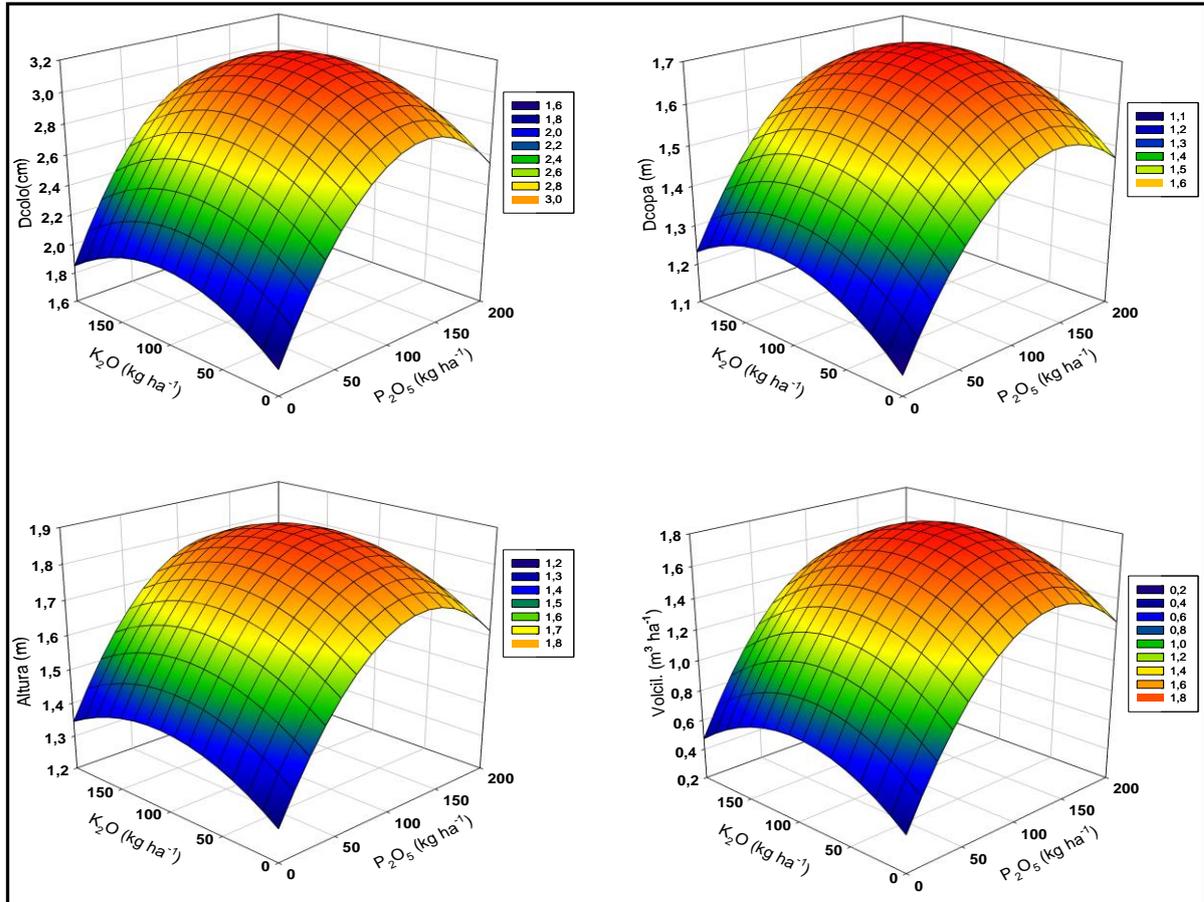


Figura 10 – Superfície de resposta do diâmetro do colo (Dcolo), altura, diâmetro da copa (Dcopa) e volume cilíndrico (Volcil) para o efeito da aplicação de doses de P e K ao solo em *E. benthamii*, aos seis meses após o plantio.

Como no diâmetro do colo e altura, a máxima resposta em diâmetro de copa também foi para as doses intermediárias. O máximo valor estimado foi de 1,63 m e aconteceu para as doses de 89 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O e 129 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. No tratamento testemunha, o diâmetro de copa foi de 1,15 m.

Na estimativa do volume cilíndrico, a máxima resposta obtida foi de 1,70 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> e aconteceu nas doses de 130 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 88 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O (Figura 10). Quando comparada ao tratamento testemunha, foi de 3,9 vezes maior. Para o efeito isolado de K, a maior resposta em volume ocorreu na dose de 103 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, sendo 1,7 vezes maior em relação à testemunha. Já para o efeito isolado de P, a

máxima resposta foi 3,3 vezes maior do que na testemunha e aconteceu na dose de 136 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

Doses médias de P e de K, próximas a 100 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O e 100 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, proporcionaram valores correspondentes a no mínimo 95% das máximas respostas obtidas, para praticamente todos os parâmetros avaliados. Estas doses aproximaram-se daquelas estabelecidas para o plantio de eucalipto pela CQFS-RS/SC (2004), que são de 75 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O e de 120 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> para o nível de P e K no solo existentes na área experimental.

O efeito da adubação aumentou a uniformidade das árvores, mesmo o plantio tendo sido de origem seminal. O tratamento com a melhor resposta apresentou um coeficiente de variação médio para volume igual a 20,1%; já no tratamento testemunha foi de 59,1%. Essa diminuição da variabilidade em diâmetro e altura resulta em ganhos no manejo do plantio, pois plantas que apresentam porte e vigor semelhantes serão mais eficiente na supressão da mato-competição, por exemplo, em função do fechamento de copa uniforme.

#### 3.4.2.2 Avaliação aos dezoito meses

A adição de doses de P aumentou o diâmetro, a altura e o volume cilíndrico para o *E. benthamii*, aos dezoito meses de idade (P<0,01) (Tabela 12). Por outro lado, a adição de doses de K, bem como a interação entre K e P, não foram significativos (P<0,05) em nenhum dos parâmetros avaliados (Tabela 12).

Tabela 12 - Análise de variância com valores de quadrado médio (QM) de diâmetro a altura do peito (Dap), altura e volume para o efeito da aplicação de doses de P e K ao solo em *E. benthamii*, aos dezoito meses após o plantio.

| Fonte de Variação                       | QM                 |                    |                      |
|---|--------------------|--------------------|----------------------|
|   | Dap                | Alt                | Vol                  |
|   | (cm)               | (m)                | (m <sup>3</sup> /ha) |
| Bloco                                   | 6,88**             | 2,94*              | 288,24**             |
| Doses de K <sub>2</sub> O (K)           | 1,20 <sup>ns</sup> | 0,48 <sup>ns</sup> | 54,82 <sup>ns</sup>  |
| Doses P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (P) | 36,45**            | 20,91**            | 1621,04**            |
| K * P                                   | 0,97 <sup>ns</sup> | 2,36*              | 175,67 <sup>ns</sup> |
| CV (%)                                  | 15,24              | 13,83              | 36,94                |

ns - não significativo; \*significativo (P<0,05); \*\*significativo (P<0,01)

Para Novais et al. (1986) a necessidade do eucalipto em potássio, aumenta com o acúmulo de biomassa e, portanto, com a idade da planta. Mencionam que o nível crítico no solo, por ocasião do plantio, seria próximo de 15 mg dm<sup>-3</sup>, subindo com o avanço da idade para valores entre 60 e 75 mg dm<sup>-3</sup> para uma produtividade média de 35 m<sup>3</sup> ha ano<sup>-1</sup>. Sugere-se que o *E. benthamii* possa apresentar reposta a K, já que o nível de K no solo na área experimental antes da implantação era de 44 mg dm<sup>-3</sup>.

A adição de doses crescentes de P ao solo por ocasião do plantio das mudas proporcionou um incremento quadrático em todos os parâmetros avaliados no *E. benthamii* aos dezoito meses de idade. As doses para as máximas respostas variaram entre 119 e 125 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, sendo esses valores semelhantes aos encontrados para as plantas aos seis meses de idade.

Para o diâmetro obteve-se uma máxima resposta estimada de 7,01 cm na dose de 119 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, apresentando incremento de 19% em relação ao

tratamento sem P (Figura 11). A altura teve resposta máxima estimada de 6,86 m na dose de 125 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (Figura 11). Para o volume, a dose de máxima resposta também foi de 125 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, na qual se obteve um valor de 21 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> com um ganho de 57% em relação à testemunha. A dose correspondente a 90% da máxima resposta estimada foi de 65 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, dose essa que mesmo sendo quase a metade da quantidade aplicada para a máxima resposta, obtêm-se um incremento em volume aos dezoito meses de 44% em relação ao tratamento sem adição de P

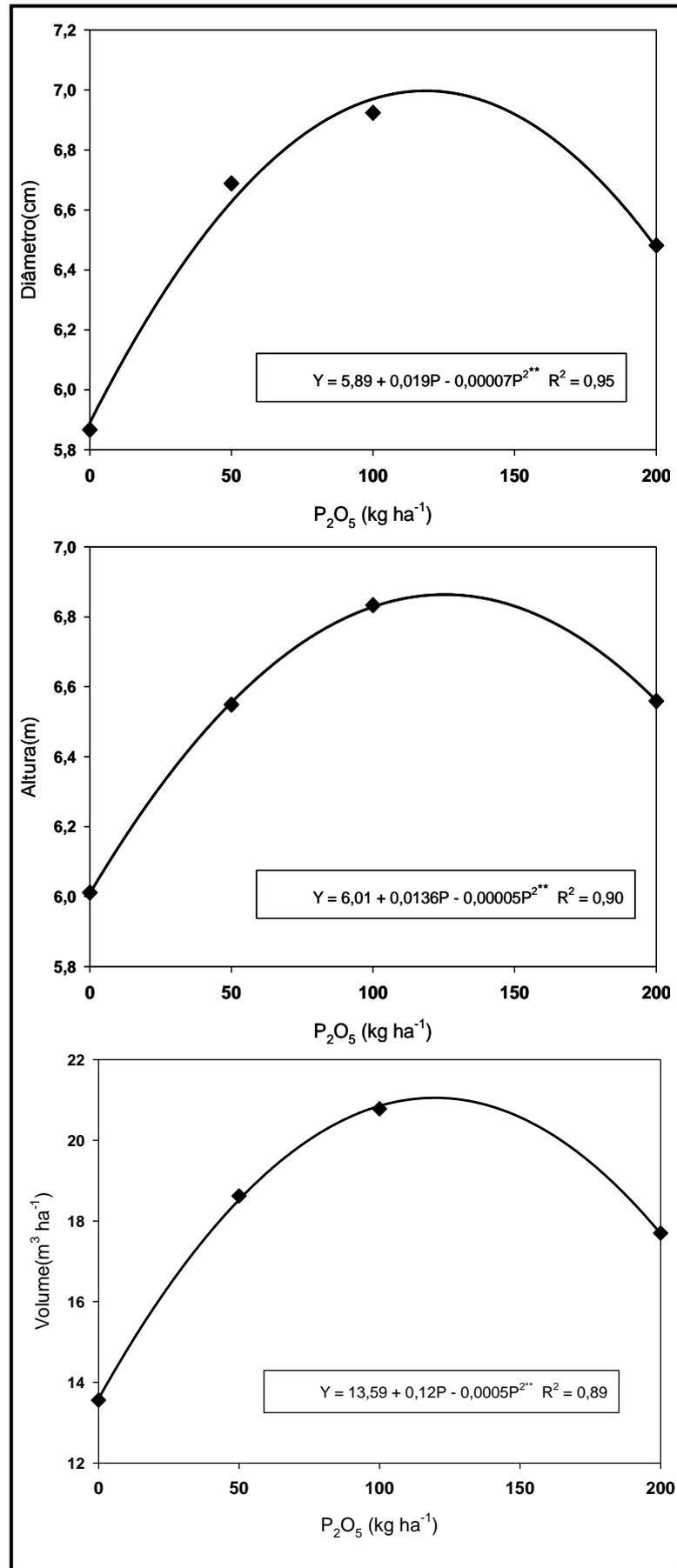


Figura 11 – Resposta em diâmetro a altura do peito (Dap), altura e volume em função da adição de doses de P ao solo para *E. dunnii*, aos dezoito meses após o plantio.

### 3.5 CONCLUSÕES

- Aos seis meses *E. dunnii* e *E. benthamii* apresentaram magnitude de resposta maior para adubação fosfatada do que em relação a adubação potássica;
- O clone de *E. dunnii* apresentou resposta linear à adubação fosfatada e potássica até a idade de dezoito meses, com destaque para a resposta a P, demonstrando ser altamente responsivo, principalmente em solos com baixos teores deste nutriente;
- O *E. benthamii* não respondeu à adubação potássica, e apresentou uma resposta quadrática para a adição de P aos dezoito meses de idade. A adição de P promoveu ganhos significativos de produção, mesmo em baixas doses

#### 4 CONCLUSÕES GERAIS

Na fase inicial de desenvolvimento o *E. dunnii* mostrou mais eficiente na utilização de fósforo em relação ao *E. benthamii*, sendo adição deste nutriente ao solo necessária no manejo de plantio para as duas espécies.

A adubação fosfatada e potássica para o *E. dunnii* e fosfatada para o *E. benthamii* é fundamental para desenvolvimento inicial e estabelecimento destas espécies nas condições do Planalto Sul Catarinense, porém é necessário avaliar os experimentos no mínimo até quatro anos de idade, para definição das curvas de respostas e recomendações das doses de adubação.

## 5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAF. **Anuário estatístico da ABRAF : ano base 2005**. ABRAF.Brasília, 2006.

ALVAREZ, V., F. C.; MURAOKA, T.; TREVIZAM, A. R. ; FRANZINI, V.; ROCHA, A. P. Improving phosphorus availability from Patos phosphate rock for eucalyptus: A study with <sup>32</sup>P radiotracer. **Scientia Agricola**, v. 63, p. 65-69, 2006.

ANDRADE, G. C; SILVA, H.D.; BELLOTE, A.F.J.; FERREIRA. C.A. Efeito da adubação fosfatada a da aplicação de resíduo de celulose no crescimento de *Eucalyptus dunnii*. **Boletim de Pesquisa florestal**, n.47, p.43-54, jul./dez. 2003.

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**. Ed. Folha de Viçosa, Viçosa. 1990. cap.4, p.127-86.

BARROS, N.F.; BRAGA, J.M.; BRANDI, R.M.; DEFELIPO, B.V. Produção de eucalipto em solos de cerrado em resposta à aplicação de NPK e de B e Zn. **Revista Árvore**, Viçosa, v.5, n.1, p.90-103, 1981.

BARROS, N.F.; CARMO, D.N.; CALAIS, D.; VIEIRA, F.S. Biomassa, absorção e eficiência de utilização de nutrientes por clones de eucalipto na região norte do Espírito Santo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 20., Campinas, 1985. **Programa e resumos**. Campinas: SBCS, 1985. p.109

BARROS, N.F.; NEVES, J.C.L.; NOVAIS, R.F. Recomendação de fertilizantes minerais em plantios de eucalipto. In: GONÇALVES, J.L.M. ; BENEDETTI, V. (Eds). **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2000. p. 135-165.

BARROS, N. F.; NEVES, J. C. L.; NOVAIS, R. F. . Mineral Fertilizer Recommendations for Eucalypt Plantations . In: José Leonardo de Moraes Gonçalves; Vanderlei

Bernedetti. (Org.). **Forest Nutrition and Fertilization**. 1 ed. Piracicaba: IPEF, 2004, v. 1, p. 269-305.

BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F.; NEVES, J.C.L.; Leal, P.G.L. Fertilizing eucalypt plantations on the Brazilian savannah soils. **South African Forestry Journal**, v.160, p.7-12. 1992.

BELLOTTE, A.F.J. **Concentração, acumulação e exportação de nutrientes pelo Eucalyptus grandis (Hill ex maiden) em função da idade**. Piracicaba, 1979. 129p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

BELLOTE, A.F.J.; FERREIRA, C.A. Nutrientes minerais e crescimento de árvores adubadas de *Eucalyptus grandis*, na região do cerrado, no Estado de São Paulo. **Boletim Pesquisa Florestal**, v.26/27, p.17-65. 1993.

CAMARGO, M. L. P. de; MORAES, C. B. de; MORI, E. S.; GUERRINI, I. A.; MELLO, E. J. de; ODA, S. Considerações sobre eficiência nutricional em *Eucalyptus*. **Científica**, Jaboticabal, v.32, n.2, p.191-196, 2004.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - RS/SC. **Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 10.ed. Porto Alegre, SBCS - Núcleo Regional Sul/UFRGS, 2004. 400p.

D'Avila, F. S. **Efeito do fósforo, nitrogênio e potássio produção de mudas clonais de eucalipto**. 2008. 53f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2008.

DELL, B.; MALAJCZUK, N.; XU, D.; GROVE, T.S. **Nutrient disorders in plantation *Eucalyptus***. Canberra: ACIAR, 2003. 188p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Florestas (Curitiba, PR). Zoneamento ecológico para plantios florestais no estado do Paraná. Brasília, 1986, 89p. (EMBRAPA-CNPQ. Documentos, 17).

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Florestas (Curitiba, PR). Zoneamento ecológico para plantios florestais no estado de Santa Catarina. Curitiba, 1988. 113p. (EMBRAPA-CNPQ. Documentos, 21).

ERNANI, P.R.; NASCIMENTO, J.A.L.; CAMPOS, M.L.; CAMILLO, R.J. Influência da combinação de fósforo e calcário no rendimento de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.24, p.537-544, 2000.

FERRAZ, E.S.B.; COUTINHO, A.R. Efeitos da geada na madeira de *Eucalyptus saligna*. **Ipef**. n.28, p. 57-62, 1984.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - FAO. Global Forest Resources Assessment 2000 – Main report. FAO Forestry Paper. ISSN 0258-6150, 2000. 479 p. Em: [www.fao.org/forestry/fo/fra/main/index.jsp](http://www.fao.org/forestry/fo/fra/main/index.jsp).

FÖSHE, D.; CLASSEN, N.; JUNGK, A. Phosphorus efficiency of plants: II. Significance of root radius, root hairs and cation-anion balance for phosphorus influx in seven plant species. **Plant and Soil**, v. 132, p. 261 – 272, 1991.

FURLANI, A.M.C.; USBERTI FILHO, J.A. Capim-colonião: eficiência na absorção e na utilização de fósforo em solução nutritiva. **Bragantia**, Campinas, v. 49, n. 2, p. 413 – 423. 1990.

FURTINI NETO, A. E. **Eficiência nutricional, cinética de absorção e frações fosfatadas em *Eucalyptus* spp.** 1994. 99f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1994.

GAVA, J.L. Efeito da adubação potássica em plantios de *E. grandis* conduzidos em segunda rotação em solos com diferentes teores de potássio trocável. **Série Técnica IPEF**, v.11, n.30, p.84-94. 1997.

GONÇALVES, J.L.M. Recomendações de adubação para *Eucalyptus*, *Pinus* e Espécies Típicas da Mata Atlântica. **Documentos Florestais**, n.15, p.1-23, 1995.

GODDARD, R.E.; HOLLIS, C.A. The genetic basis of forest tree nutrition. In: BOWEN, G. D.; NANBIAR, E.K.S. (Ed.) **Nutrition of plantation forest**. London: Academic Press, 1984. p. 237-258.

GRAHAM, R.D. Breeding for nutritional characteristics in cereals. In: TINKER, P.B.; LAUCHLI, A. (Ed.) **Advances in plant nutrition**. New York: Praeger, 1984. p. 57 – 102.

GUIMARÃES, H. S. **Variabilidade genética para eficiência nutricional em progênies de *Eucalyptus camaldulensis* e *Eucalyptus citriodora***. 1993. 68 f.

Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, MG.

HESHENG, L.; JIMGQING, Q.; GUOYANG, X.; DECONG, H.; SHIRONG, Z.; WENGE, L. Review of cold-tolerant *Eucalyptus* improvement in Fujian Province. In TURNBULL, J.W. (Ed.) **Eucalyptus in Asia: proceeding of a international conference held in Zhanjiang, Guangdong, peoples's Republic of China 2003**. Camberra: ACIAR, 2003. p. 117-122.

HIGA, R.C.V.; HIGA, A.R.; TREVISAN, R.; SOUZA, M.V.R. Comportamento de 20 espécies de *Eucalyptus* em área de ocorrência de geadas na região sul do Brasil. In: **CONFERENCE ON SILVICULTURE AND IMPROVEMENT OF UCALYPTUS**. 1997: Salvador. Proceedings... Colombo: EMBRAPA-CNPQ, 1997. p.106-110.

HIGA, R.C.V.; HIGA, A.R.; TREVISAN, R.; SOUZA, M.V.R. Resistência e resiliência a geadas em *Eucalyptus dunnii* Maiden plantados em Campo do Tenente, PR. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 40, p. 67-76, jan/jun. 2000.

LERAYER, A. **Guia do Eucalipto: oportunidades para um desenvolvimento sustentável**. São Paulo: Conselho de Informações sobre Biotecnologia, 2008. 20p.

MALAVOLTA, E. **Tópicos de nutrição e adubação do eucalipto**. RR Agroflorestal, Piracicaba, 25p, 2002.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2.ed. London, Academic Press, 1995. 889p.

MOLL, R.H.; KAMPRATH, E.J. & JACKSON, W.A. Analysis and interpretation of factors which contribute to efficiency of nitrogen utilization. **Agron. J.**, 74:562-564, 1982.

MORAIS, E. J.; BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F.; BRANDI, R. M. *et al.* Biomassa e eficiência nutricional de espécies de eucalipto em duas regiões bioclimáticas de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 14, n. 3, p. 353-362, 1990.

MUJIU, L.; ARNOLD, R.; BOHAI, L.; MINSHENG, Y. Selection of cold-tolerant *Eucalyptus* for Hunan Province. In TURNBULL, J.W. (Ed.) **Eucalyptus in Asia: proceeding of a international conference held in Zhanjiang, Guangdong, peoples's Republic of China 2003**. Camberra: ACIAR, 2003. p. 107-116.

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

NAMBIAR, E. K. S. (Ed.). **Plantation forests: their scope and a perspective on plantation nutrition**. London: Academic Press, 1984. p.1-15.

NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; NEVES, J. C. L. Interpretação de análise química do solo para o crescimento de *Eucalyptus* spp. – níveis críticos de implantação e de manutenção. **Revista Árvore**, v. 10, n. 1, p. 105-111, 1986.

NOVAIS, R.F.; RÊGO, A.K.; GOMES, J.M. Níveis críticos de fósforo para eucalipto. **Revista Árvore**, v.6, n.1, , p.29-37, 1982.

OLIVEIRA, J.G. Programa de Melhoramento de *Eucalyptus* spp na Rigesa. In: SIMPÓSIO BILATERAL BRASIL-FINLÂNDIA SOBRE ATUALIDADES FLORESTAIS, 1988: Curitiba. **Anais...**Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 1988. p. 155-161.

SANTANA, R. C., NEVES, J.C.; BARROS, N.F. Eficiência de utilização de nutrientes e sustentabilidade da produção em procedências de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* em sítios florestais do estado de São Paulo. **Revista Árvore**, v.26, n.4, p.447-457, 2002.

SAS. 2007. **SAS 9.1.3 (TS1M3) for Windows Microsoft**. SAS Institute Inc., Cary, USA, sem paginação.

SCHUMACHER, M. V. ; VOGEL, Hamilton Luiz Munari . Estimativa da biomassa e dos nutrientes de um povoamento de *Eucalyptus dunnii* (Maiden). In: Fertbio 2000, 2000, Santa Maria. **Fertbio 2000** - Biodinâmica do solo, 2000.

SIDDIQUI, M.Y.; GLASS, A.D.M. Utilization index: a modified approach to the estimation and comparison of nutrient utilization efficiency in plants. **Journal Plant Nutrition.**, 4:289-302, 1981.

SILVA, H.D.; POGGIANI, F.; COELHO, L.C. Biomassa, concentração e conteúdo de nutrientes em cinco espécies de *Eucalyptus* plantadas em solos de baixa fertilidade. **Boletim de Pesquisa Florestal**, n.6/7, p.9-25, 1983.

SILVEIRA, R. L. V. A.; GAVA, J. L. Nutrição e adubação fosfatada em eucalipto. In: Yamada, T.; Stipp e Abdalla, S. R. **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba: Potafos, 2004. p. 495-530.

SILVEIRA, R.L.V.A.; HIGASHI, E.N.; GONÇALVES, A.N.; MOREIRA, Avaliação do estado nutricional do *Eucalyptus*: Diagnose visual, foliar e suas interpretações. In: GONÇALVES, J.L.M.; BENEDETTI, V. (Eds). **Nutrição e Fertilização Florestal** Piracicaba: IPEF, 2000. p.79-104.

SILVEIRA, R.L.V.; MALAVOLTA, E. Nutrição e adubação potássica em *Eucalyptus*. **Informações Agronômicas**, n.91, p.1-12, 2000. (Encarte Técnico-Potafós).  
SOUZA, M. E. **Correlação adulto-juvenil para eficiência nutricional e comportamento de clones de *Eucalyptus grandis* em dois níveis de fertilidade do solo**. 1994. 49f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1994.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3.ed. Porto Alegre: Artmed Editora, 2004. 719p.

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A. & BOHNEN, S.J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2.ed. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 147p. (Boletim Técnico, 5)

TEIXEIRA, J.L.; BARROS, N.F.; COSTA, L.M.; CAMPOS, J.C.C.; LEAL, P.G.L. Biomassa e conteúdo de nutrientes de duas espécies de eucalipto em diferentes ambientes do médio Rio Doce, MG. **Revista Árvore**, v.13, n.1, p.34-50.1987.

VALERI, S.V.; CORRADINI, L.; AGUIAR, I.V. Efeitos de níveis de NPK e calcário dolomítico na produção volumétrica de madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. **Científica**, v.19, n.1, p. 63-70, 1991.

WANG, G.; ARNOLD, R. J.; GARDINER, C. A.; ZHANG, J.; WU, Z. Seed source variation for growth in *Eucalyptus dunnii*; results from trials in south central China. **Australian Forestry**, Canberra, v. 62, n. 2, p. 120-127, 1999.

## APÊNDICES

APÊNDICE A - Valores médios do diâmetro do colo a 50 cm do solo (Dcolo), altura, diâmetro da copa (Dcopa) e volume cilíndrico (Volcil) para o efeito da aplicação de doses de P e K ao solo em *E. dunnii*, aos seis meses após o plantio.

APÊNDICE B - Valores médios do diâmetro a altura do peito (Dap), altura e volume para o efeito da aplicação de doses de P e K ao solo em *E. dunnii*, aos dezoito meses após o plantio.

APÊNDICE C - Valores médios do diâmetro do colo a 50 cm do solo (Dcolo), altura, diâmetro da copa (Dcopa) e volume cilíndrico (Volcil) para o efeito da aplicação de doses de P e K ao solo em *E. benthamii*, aos seis meses após o plantio.

APÊNDICE D - Valores médios do diâmetro a altura do peito (Dap), altura e volume para o efeito da aplicação de doses de P e K ao solo em *E. benthamii*, aos dezoito meses após o plantio.

APÊNDICE A - Valores médios do diâmetro do colo a 50 cm do solo (Dcolo), altura, diâmetro da copa (DCopa) e volume cilíndrico (Volcil) para o efeito da aplicação de doses de P e K ao solo em *E. dunnii*, aos seis meses após o plantio.

| Doses                                   |  | DColo | Altura | DCopa | Volcil                             |
|---|--|-------|--------|-------|------------------------------------|
| K <sub>2</sub> O (kg ha <sup>-1</sup> ) | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg ha <sup>-1</sup> ) | (cm)  | (m)    | (m)   | (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> ) |
| 0                                       | 0  | 1,46  | 1,23   | 1,22  | 0,27                               |
| 0                                       | 50   | 1,88  | 1,56   | 1,40  | 0,58                               |
| 0                                       | 100  | 1,84  | 1,58   | 1,43  | 0,67                               |
| 0                                       | 200  | 2,20  | 1,81   | 1,56  | 0,93                               |
| 100                                     | 0  | 1,60  | 1,34   | 1,29  | 0,38                               |
| 100                                     | 50   | 2,15  | 1,69   | 1,48  | 0,83                               |
| 100                                     | 100  | 2,36  | 1,93   | 1,61  | 1,14                               |
| 100                                     | 200  | 2,58  | 2,04   | 1,68  | 1,42                               |
| 200                                     | 0  | 1,72  | 1,45   | 1,39  | 0,47                               |
| 200                                     | 50   | 2,16  | 1,73   | 1,52  | 0,86                               |
| 200                                     | 100  | 2,41  | 1,92   | 1,62  | 1,18                               |
| 200                                     | 200  | 2,51  | 1,99   | 1,71  | 1,34                               |

APÊNDICE B - Valores médios do diâmetro a altura do peito (Dap), altura e volume para o efeito da aplicação de doses de P e K ao solo em *E. dunnii*, aos dezoito meses após o plantio.

| Doses                                   |  | Dap  | Altura | Volume                             |
|---|--|------|--------|------------------------------------|
| K <sub>2</sub> O (kg ha <sup>-1</sup> ) | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg ha <sup>-1</sup> ) | (cm) | (m)    | (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> ) |
| 0                                       | 0  | 3,88 | 4,33   | 4,33                               |
| 0                                       | 50   | 4,74 | 5,18   | 7,36                               |
| 0                                       | 100  | 5,04 | 5,28   | 8,56                               |
| 0                                       | 200  | 5,76 | 5,76   | 12,20                              |
| 100                                     | 0  | 4,34 | 4,77   | 6,01                               |
| 100                                     | 50   | 5,48 | 5,61   | 10,78                              |
| 100                                     | 100  | 5,56 | 5,62   | 11,10                              |
| 100                                     | 200  | 6,29 | 6,07   | 15,30                              |
| 200                                     | 0  | 4,59 | 5,00   | 6,83                               |
| 200                                     | 50   | 5,62 | 5,61   | 11,58                              |
| 200                                     | 100  | 6,24 | 5,96   | 14,72                              |
| 200                                     | 200  | 6,86 | 6,29   | 18,40                              |

APÊNDICE C - Valores médios do diâmetro do colo a 50 cm do solo (Dcolo), altura, diâmetro da copa (DCopa) e volume cilíndrico (Volcil) para o efeito da aplicação de doses de P e K ao solo em *E. benthamii*, aos seis meses após o plantio.

| Doses                                   |  | DColo | Altura | DCopa | Volcil                             |
|---|--|-------|--------|-------|------------------------------------|
| K <sub>2</sub> O (kg ha <sup>-1</sup> ) | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg ha <sup>-1</sup> ) | (cm)  | (m)    | (m)   | (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> ) |
| 0                                       | 0  | 1,71  | 1,28   | 1,14  | 0,43                               |
| 0                                       | 50   | 2,66  | 1,67   | 1,44  | 1,26                               |
| 0                                       | 100  | 2,81  | 1,68   | 1,53  | 1,41                               |
| 0                                       | 200  | 2,34  | 1,55   | 1,40  | 1,06                               |
| 100                                     | 0  | 1,87  | 1,33   | 1,22  | 0,52                               |
| 100                                     | 50   | 2,69  | 1,68   | 1,53  | 1,30                               |
| 100                                     | 100  | 2,96  | 1,80   | 1,57  | 1,61                               |
| 100                                     | 200  | 2,99  | 1,79   | 1,63  | 1,73                               |
| 200                                     | 0  | 2,10  | 1,44   | 1,33  | 0,71                               |
| 200                                     | 50   | 2,28  | 1,52   | 1,32  | 0,88                               |
| 200                                     | 100  | 2,66  | 1,70   | 1,52  | 1,32                               |
| 200                                     | 200  | 2,19  | 1,50   | 1,31  | 0,90                               |

APENDICE D - Valores médios do diâmetro a altura do peito (Dap), altura e volume para o efeito da aplicação de doses de P e K ao solo em *E. benthamii*, aos dezoito meses após o plantio.

| Doses                                   |  | Dap  | Altura | Volume                             |
|---|--|------|--------|------------------------------------|
| K <sub>2</sub> O (kg ha <sup>-1</sup> ) | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg ha <sup>-1</sup> ) | (cm) | (m)    | (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> ) |
| 0                                       | 0  | 6,06 | 5,73   | 12,85                              |
| 0                                       | 50   | 6,42 | 6,49   | 17,23                              |
| 0                                       | 100  | 6,65 | 6,77   | 19,25                              |
| 0                                       | 200  | 6,92 | 6,92   | 21,20                              |
| 100                                     | 0  | 5,92 | 5,89   | 13,38                              |
| 100                                     | 50   | 6,82 | 6,89   | 20,47                              |
| 100                                     | 100  | 6,89 | 6,94   | 21,04                              |
| 100                                     | 200  | 6,47 | 6,43   | 17,18                              |
| 200                                     | 0  | 6,05 | 5,98   | 14,43                              |
| 200                                     | 50   | 6,41 | 6,69   | 18,15                              |
| 200                                     | 100  | 6,92 | 6,99   | 21,59                              |
| 200                                     | 200  | 6,39 | 6,44   | 17,29                              |