

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**CRESCIMENTO, CARACTERÍSTICAS NUTRICIONAIS E
FISIOLÓGICAS DE PROGÊNIES DE *Eucalyptus grandis* W.
HILL. EX MAIDEN SOB DIFERENTES DOSES DE FÓSFORO**

**Jansen Barrozo Fernandes
Engenheiro Florestal**

2015

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA- UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**CRESCIMENTO, CARACTERÍSTICAS NUTRICIONAIS E
FISIOLÓGICAS DE PROGÊNIES DE *Eucalyptus grandis* W.
HILL. EX MAIDEN SOB DIFERENTES DOSES DE FÓSFORO**

Jansen Barrozo Fernandes

Orientador: Prof. Dr. Rinaldo Cesar de Paula

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Agronomia (Produção Vegetal).

2015

Fernandes, Jansen Barrozo

F363c Crescimento, características nutricionais e fisiológicas de progênies de *Eucalyptus grandis* W. Hill. Ex. Maiden sob diferentes doses de fósforo / Jansen Barrozo Fernandes. -- Jaboticabal, 2015
xi, 44 p. : il. ; 29 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista,
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2015

Orientadora: Rinaldo César de Paula

Banca examinadora: Sérgio Valiengo Valeri, Magali Ribeiro da
Silva

Bibliografia

1. Adubação fosfatada. 2. Aquisição-eficiência. 3. Utilização-
eficiência. 4. Eucalipto. 5. Nutrição florestal. I. Título. II. Jaboticabal-
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 631.85:634.0.2



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

CAMPUS DE JABOTICABAL

FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS DE JABOTICABAL

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: CRESCIMENTO, CARACTERÍSTICAS NUTRICIONAIS E FISIOLÓGICAS DE PROGÊNIES DE *Eucalyptus grandis* W. HILL. EX MAIDEN SOB DIFERENTES DOSES DE FÓSFORO

AUTOR: JANSEN BARROZO FERNANDES

ORIENTADOR: Prof. Dr. RINALDO CESAR DE PAULA

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de MESTRE EM AGRONOMIA (PRODUÇÃO VEGETAL), pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. RINALDO CESAR DE PAULA

Departamento de Produção Vegetal / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal


Prof. Dr. SERGIO VALIENGO VALERI

Departamento de Produção Vegetal / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal


Profa. Dra. MAGALI RIBEIRO DA SILVA

Departamento de Ciência Florestal / Faculdade de Ciências Agrômicas de Botucatu

Data da realização: 03 de julho de 2015.

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

Jansen Barrozo Fernandes, nascido em 12 de Outubro de 1985 em Caraguatatuba, Estado de São Paulo, filho de Carlos Alberto Fernandes e Sandra Regina Santana Barrozo Fernandes, é Engenheiro Florestal formado pela Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, da Universidade de São Paulo, em 2008. Atua como profissional do setor florestal em instituição privada desde o início de 2009, com atuações nas áreas de silvicultura, tecnologia e colheita florestal. Possui pós-graduação *Latu sensu* em “Manejo do Solo” pela Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” finalizada em 2011. Em março de 2013 iniciou o curso de Mestrado em Agronomia (Produção Vegetal) na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal, UNESP.

Aos meus pais, Carlos Alberto Fernandes e Sandra Regina Fernandes, e a minha irmã, Joyce Fernandes, por me proporcionarem todas as bênçãos de uma família unida e feliz.

DEDICO

À minha esposa, Aline Fernandes, pelo apoio, carinho, amor, amizade e por estar ao meu lado em absolutamente todos os momentos.

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

A Deus por me conceder todos os dias levantar, trabalhar e me guiar em todos os momentos de dificuldades e também de alegrias.

Aos meus pais, Carlos Fernandes e Sandra Fernandes, pelos valores de honestidade, respeito, simplicidade, por toda a educação e por nunca terem medido esforços para que eu atingisse os meus objetivos. Espero conseguir da mesma forma repassar tudo isso à minha nova família.

À minha irmã Joyce Fernandes, por sempre estar presente em minha vida, com seu jeito alegre e amigo. Sinto sempre saudades.

À minha esposa, Aline Fernandes, por sempre priorizar estarmos juntos. Sua dedicação, atenção, confiança, paciência e amor fazem a diferença para mim o tempo todo.

Ao prof. Dr. Rinaldo César de Paula por sua orientação completa, dicas, ajudas mais do que necessárias e parceria para que conseguíssemos atingir aos objetivos.

À Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, da Universidade Estadual Paulista (FCAV-Unesp) de Jaboticabal pela oportunidade do aprendizado e convívio em um ambiente de excelência em produção intelectual.

Aos engenheiros Leandro de Siqueira e Shinitiro Oda, principais incentivadores deste trabalho. Tenho que agradecer toda a confiança que sempre recebi. Seus ensinamentos de liderança também me ajudaram a formar como profissional.

À Suzano Papel e Celulose, por ter me fornecido os materiais e a proposta de projeto para a realização deste trabalho, além da possibilidade de dedicação ao mesmo. Espero retribuir a oportunidade recebida com muita dedicação.

“Para onde quer que se dilate o nosso olhar, em parte alguma vemos contradição entre Ciências Naturais e Religião; antes, encontramos plena convergência nos pontos decisivos (...). Para o crente, Deus está no começo; para o físico, Deus está no ponto de chegada de toda a sua reflexão.”

Max Plank (1858-1947) -

criador da teoria dos quanta e Prêmio Nobel de 1928

SUMÁRIO

RESUMO.....	x
ABSTRACT.....	xi
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	5
2.1 O <i>Eucalyptus grandis</i>	5
2.2 Eficiência Nutricional.....	5
2.3 Fósforo (P) nas Plantas: Função, Mecanismo de Absorção e Eficiência de Uso.....	8
2.4 Mecanismos para Aumento da Eficiência Nutricional de Fósforo em Plantas.....	10
2.5 Efeitos do Fósforo nos Parâmetros Fisiológicos das Plantas.....	12
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	14
3.1 Tratamentos e Delineamento Experimental.....	14
3.2 Avaliações de Crescimento e Alocação de Massa de Matéria Seca.....	15
3.3 Avaliações Fisiológicas.....	16
3.4 Determinação dos Conteúdos e da Eficiência de Absorção, de Translocação e de Uso de Fósforo.....	16
3.5 Determinação da Atividade da Fosfatase Ácida.....	17
3.6 Análise dos Dados.....	17
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	19
4.1. Análise de Variância e Covariância.....	19
4.2. Características de Crescimento e Massa de Matéria Seca.....	19
4.3. Conteúdo de Nutrientes e Eficiência Nutricional.....	23
4.4. Características Fisiológicas.....	30
4.5. Atividade da Fosfatase Ácida.....	36
5. CONCLUSÕES.....	38
6. REFERÊNCIAS.....	39

CRESCIMENTO, CARACTERÍSTICAS NUTRICIONAIS E FISIOLÓGICAS DE PROGÊNIES DE *Eucalyptus grandis* W. HILL. EX MAIDEN SOB DIFERENTES DOSES DE FÓSFORO

RESUMO

O cultivo de espécies do gênero *Eucalyptus* no Brasil compõe um importante setor da economia brasileira e abrange grande variedade de ambientes com diferentes potenciais de produção. Nestes ambientes, a produtividade florestal é governada em sua maior parte pelos fluxos de água e nutrientes no ecossistema, sendo o fósforo (P) um dos elementos minerais que mais limitam a produtividade florestal. A seleção de materiais genéticos com maior eficiência na absorção, translocação e utilização do elemento podem contribuir para o aumento da produtividade das culturas, além de contribuir positivamente para a sustentabilidade da produção agrícola nestes ambientes. Neste contexto, este estudo objetivou a caracterização do crescimento, a produção de biomassa, os aspectos nutricionais e as características fisiológicas de quatro progênies de *Eucalyptus grandis*, submetidas a seis diferentes doses de adubação fosfatada, em condições de vasos. O delineamento experimental foi o de blocos casualizados, em esquema fatorial 4 x 6 (4 progênies de *E. grandis* e 6 doses de P: 0, 75, 150, 225, 300 e 375 mg dm⁻³ P₂O₅), com 5 repetições de duas plantas cada. Os dados foram submetidos a análise de variância com comparação de médias entre as progênies e análise de regressão polinomial para as doses de P₂O₅. As progênies responderam de forma diferenciada às doses de P₂O₅, conforme a característica avaliada. Doses maiores que 225 mg dm⁻³ P₂O₅ não proporcionam ganhos em crescimento e acúmulo de biomassa. A eficiência de absorção das progênies em geral aumentou com a elevação das doses, enquanto que a eficiência de utilização decresceu. As taxas de assimilação líquida e de condutância estomática não sofreram alterações com as diferentes doses de P. As doses mais elevadas de P não impactaram negativamente a absorção de nitrogênio.

Palavras-chave: Adubação fosfatada, eficiência de aquisição, eficiência de utilização, eucalipto, nutrição florestal.

GROWTH, NUTRITIONAL AND PHYSIOLOGICAL TRAITS OF *Eucalyptus grandis* W. HILL. EX MAIDEN PROGENIES UNDER DIFFERENT PHOSPHORUS DOSES

ABSTRACT

The crop of *Eucalyptus* species in Brazil makes up an important sector of the Brazilian economy and covers wide variety of environments with different production potential. In these environments, forest productivity is governed mostly by the flow of water and nutrients in the ecosystem, and phosphorus (P) is the mineral element more that more limited forest productivity. The selection of genetic materials with greater efficiency in the uptake, translocation and use of the element can contribute to increased crop yields and contribute positively to the sustainability of agricultural production in these environments. In this context, this study aimed to characterize the growth, mass production, nutritional and physiological characteristics of four *Eucalyptus grandis* progenies subject to six different doses of phosphorus fertilization, in pots conditions. The experimental design was a randomized complete block in a factorial 4 x 6 (4 progenies of *E. grandis* and 6 doses of P: 0, 75, 150, 225, 300 and 375 mg dm⁻³ P₂O₅), with 5 repetitions of two plants each. Data were subjected to analysis of variance with mean comparison between progenies and polynomial regression analysis for P₂O₅ doses. The progenies responded differently to P₂O₅ doses, according to the characteristics evaluated. Doses greater than 225 mg dm⁻³ P₂O₅ not provide gains in growth and accumulation of biomass. The efficiency of acquisition of the progenies generally increased with increasing doses, while the utilization efficiency decreased. The net assimilation rates and stomatal conductance have not changed according to different doses of P. The higher doses of P do not negatively impact the nitrogen uptake.

Keywords: Forest fertilization, acquisition efficiency, utilization efficiency, eucalypt, forest nutrition.

1. INTRODUÇÃO

O cultivo de espécies do gênero *Eucalyptus* no Brasil compõe um importante setor da economia brasileira e em 2013 a área plantada atingiu 5.473.176 hectares (IBÁ, 2014), abrangendo grande variedade de tipos de solo e clima, com diferentes potenciais de produção. O cultivo gera como matéria prima produtos florestais madeireiros, usados na produção de celulose, chapas, biomassa para energia, madeira serrada, madeiramento para construção civil, e não madeireiros, como óleos essenciais, resinas, mel entre outros.

Devido ao grande potencial de adaptação das espécies do gênero no país, em função principalmente das características climáticas semelhantes à região de origem, a cultura permite rotação relativamente curta e obtenção de elevadas produtividades quando comparadas às espécies florestais nativas, apresentando assim importante função quanto aos aspectos econômicos e silviculturais nacionais. Do ponto de vista ambiental, os plantios de eucalipto reduzem a pressão sobre as florestas naturais, justamente por fornecer matéria prima de alta qualidade em menor tempo.

As florestas de *Eucalyptus* spp. do Brasil estão entre as mais produtivas do mundo, com média de incrementos médios anuais em torno de $40 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$. Esta produtividade representa ganhos na ordem de 3 a 4 vezes desde o início dos plantios florestais no país, sendo consequência dos avanços nos programas de melhoramento genético e o aprimoramento das práticas de manejo, dentre elas, o preparo e o manejo químico do solo e o controle de plantas daninhas (STAPE et al., 2010).

Altas produtividades florestais são consequências da interação genótipo-ambiente, isto é, ocorrem em função da adaptabilidade de materiais genéticos a condições edafoclimáticas específicas. Para Stape, Binkley e Ryan (2004) a produção florestal pode ser expressa como o resultado de um função que considera a disponibilidade de um recurso no ambiente, a quantidade absorvida pela planta e a eficiência com que a planta utiliza este recurso para fixar o CO_2 atmosférico e transforma-lo em biomassa. Em ambientes tropicais, luz e temperatura não são fatores limitantes à produção, podendo-se afirmar que a sustentabilidade da

produção florestal nos trópicos é governada principalmente pelos fluxos de água e nutrientes no solo (BARROS; COMERFORD, 2002). Assim, uma adequada compreensão de como estes recursos atuam sobre a produtividade florestal são de fundamental importância para uma predição mais assertiva sobre o potencial produtivo do *site* e para a realização de recomendações técnicas de manejo silvicultural e alocação de materiais genéticos.

No que se refere aos nutrientes no solo, um genótipo com alta eficiência nutricional, ou seja, uma planta altamente eficiente na utilização de nutrientes, e que se destaca das demais, mesmo em condições adversas de baixa fertilidade, de recursos hídricos ou de excesso de sais, pode ser o caminho para a obtenção de maior produtividade em menor espaço de tempo, ou mesmo, para a seleção de material genético superior (CAMARGO et al., 2004).

O termo “eficiência” é definido como a habilidade de uma planta em absorver, translocar e, ou utilizar os nutrientes. Em um material genético de maior eficiência, os nutrientes seriam mais eficientemente absorvidos e convertidos em biomassa. Para Nambiar (1984), o potencial genético de um material para alta produção não será completamente expresso se não for acompanhado por uma otimização dos recursos água e nutrientes. Camargo et al. (2004) relatam que em função da correlação positiva entre eficiência nutricional e características de crescimento, especialmente sob condições limitantes, os genótipos de maior eficiência nutricional devem possuir um crescimento mais rápido.

O fósforo (P) é o nutriente mineral mais limitante para a produção agrícola (RAMAEKERS et al., 2010) e florestal (BARROS; NOVAIS; NEVES, 1990) e, em função de sua baixa mobilidade no solo e de interações com outros íons e com a argila formando compostos não solúveis, a eficiência esperada de uma adubação é da ordem de 15 a 30% do total de P presente no fertilizante (SYERS; JOHNSTON; CURTIN, 2008). Para Novais, Barros e Neves (1990) os elevados níveis críticos de P no solo limitam a produtividade florestal. Para Veneklaas et al. (2012), a limitação da produtividade das culturas pelo P provavelmente aumentará, porém maior eficiência de P pode ser obtida pela melhoria da absorção do solo, pela retranslocação entre os compartimentos da planta e, ou pelo aumento da produtividade por unidade de P absorvido.

Neste sentido, a eficiência nutricional (EN), ou seja, a capacidade de uma planta utilizar os nutrientes absorvidos na síntese de biomassa (RICHARDSON, 2009), assume grande importância, notadamente para aqueles nutrientes disponíveis em baixa quantidade para as plantas, de forma que o desenvolvimento de genótipos eficientes no uso de fósforo, que sejam capazes de crescer e produzir bem sob baixa disponibilidade do nutriente, é a chave para o aumento da produtividade das culturas (WANG; SHEN; LIAO, 2010). Gaxiola, Edwards e Elser (2011) comentam que uma estratégia para aumentar a eficiência no uso de P é aumentar as eficiências de absorção e de translocação, por meio da seleção de cultivares em programas tradicionais de melhoramento ou com a engenharia genética.

Diversas pesquisas têm demonstrado a existência de alta variabilidade genética para características associadas à EN, conforme revisão apresentada por Richardson (2009), principalmente para eficiência de absorção (LYNCH; HO, 2005; LAMBERS et al., 2006; FAGERIA; BALIGAR; LI, 2008; HODGE, 2009; RICHARDSON et al., 2009), translocação (VENEKLAAS et al., 2012) e utilização de P (WANG; SHEN; LIAO, 2010) em espécies agrícolas. Trabalhos com eucalipto nesta linha de pesquisa ainda são escassos, sobretudo em um passado recente e em literatura estrangeira, sendo referência trabalhos que evidenciaram diferenças entre espécies e procedências (SANTANA et al., 2008), famílias (PAULA et al., 2003), híbridos (FARIA et al., 2008) e clones (PINTO et al., 2011), os quais demonstram a possibilidade de seleção e melhoramento para condições de baixa disponibilidade de P e, ou para melhor aproveitamento do P aplicado na síntese de biomassa.

Empreendimentos florestais buscam por meio de seus programas de melhoramento a identificação e seleção de materiais genéticos que possam ser mais eficientes no uso de determinado recurso. É o caso da Companhia Suzano de Papel e Celulose, que identificou de maneira preliminar em um de seus pomares de polinização aberta de *Eucalyptus grandis*, quatro progênies, em princípio, mais eficientes no uso de fósforo, por meio de indicadores nutricionais encontrados nos tecidos foliares destas. Isto, se confirmado, abre uma perspectiva de utilização destes materiais seminais e de sua variabilidade genética para o uso em programas

de melhoramento que visam a obtenção de genótipos mais eficientes no uso de fósforo, trazendo ganhos financeiros às operações da companhia.

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi avaliar o crescimento, produção de biomassa, características fisiológicas e o conteúdo e as eficiências de absorção, translocação e utilização de P em progênies de *Eucalyptus grandis* submetidas a diferentes doses do elemento, em condições de vasos.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. O *Eucalyptus grandis*

O *Eucalyptus grandis* W. Hill. Ex Maiden é nativo da costa leste da Austrália desde Queensland até New South Wales (26° a 33° latitude sul) e Atherton Tablelands (13° latitude sul). No Brasil é a espécie mais cultivada devido às suas características silviculturais desejáveis, propriedades tecnológicas de sua madeira, importância econômica e a aplicabilidade da madeira para diversos fins (MIRANDA, 2012).

Há grande variabilidade intra e interespecífica para as espécies de *Eucalyptus*, principalmente quanto à produção de biomassa, taxa de crescimento, resistência a geadas e déficit hídrico (PINTO et al., 2011). Miranda (2012) cita que o *E. grandis* supera qualquer outra espécie de *Eucalyptus* pelo incremento volumétrico em condições ambientais adequadas, sendo a espécie do gênero mais plantada no Brasil e também pela sua plasticidade genética, muito utilizada na obtenção de híbridos e na clonagem de árvores selecionadas.

2.2. Eficiência Nutricional

Entende-se como eficiência nutricional a capacidade de absorção e utilização de nutrientes pelas plantas, sendo a eficiência de absorção mais importante para plantas jovens e a eficiência de utilização dos nutrientes, importante durante todo o ciclo de crescimento da planta, inclusive por exercer forte influência na produção final de biomassa e na exportação de nutrientes no ecossistema (BARROS; NOVAIS; NEVES, 1990).

Sob o ponto de vista de produtividade, a eficiência nutricional pode ser definida como a capacidade da planta em produzir alto rendimento em um meio com condições desfavoráveis que afetem negativamente a produção padrão (MACHADO; FURLANI; MACHADO, 2001). Já o sob o ponto de vista de requerimento interno de um nutriente pela planta, a eficiência nutricional é caracterizada pela biomassa produzida por unidade de nutriente aplicado no solo, dependendo de dois principais

componentes: a eficiência de aquisição e a eficiência de utilização. A eficiência de aquisição é função, basicamente, das eficiências de absorção e de enraizamento e a eficiência de utilização depende das eficiências de translocação e de conversão do nutriente absorvido em biomassa (SILVA, 2012).

O conteúdo total de nutrientes na planta é tido como o mais simples indicador da eficiência de aquisição dos mesmos, permitindo comparações preliminares entre materiais genéticos, ainda que não dê visibilidade aos mecanismos envolvidos na absorção (ARAUJO, SOUZA, SILVEIRA, 2000). Para Fageria, Baligar e Li (1998), a eficiência nutricional pode ser expressa pela quantidade de matéria seca ou de grãos produzidos por unidade de nutriente aplicado. Segundo Graham (1984), o índice de eficiência refere-se à produção relativa de um genótipo em um solo deficiente, comparativamente à sua produção no nível ótimo de nutrientes. Israel e Rufty (1988) conceituam eficiência nutricional como a relação entre a biomassa total e a quantidade de nutriente absorvido. Moll, Kamprath e Jackson (1992) definiram que a eficiência nutricional pode ser expressa pela relação entre a biomassa seca produzida (ou quantidade de grãos produzidos) por unidade de nutriente suprida à cultura. Este índice por sua vez, pode ser decomposto em dois componentes principais sendo o primeiro a “eficiência de aquisição” e o segundo a “eficiência de utilização interna”. O primeiro é definido como a quantidade de nutriente absorvido pela planta dividido pela quantidade de nutriente suprido à cultura. Já o segundo é a razão da quantidade de biomassa produzida por unidade do nutriente absorvido. Os autores ainda definem que a eficiência de utilização interna também pode ser decomposta em mais dois componentes: a capacidade da planta em levar o nutriente da parte aérea para os grãos (eficiência de translocação) e a capacidade da planta em produzir os grãos (ou biomassa) por unidade de nutriente nos grãos (ou na biomassa) – eficiência de utilização.

Para o cálculo de eficiência nutricional global de um dado genótipo e nutriente devem ser contabilizadas as eficiências de absorção – EA (SWIADER; CHYAN; FREIJI, 1994), de translocação - ET (LI; McKEAND; ALLEN, 1991) e de utilização - EU (SIDDIQI; GLASS, 1981) nos diversos compartimentos das plantas. A expressão sugerida por Siddiqi e Glass (1981) para cálculo da eficiência de utilização é amplamente aceita e utilizada por levar em consideração não só o indicador de

eficiência, mas também o crescimento da planta, evitando assim que plantas eventualmente eficientes, mas de baixa produção sejam selecionadas.

As diferenças na eficiência nutricional entre genótipos estão associadas às características morfológicas e fisiológicas das plantas (ABICHEQUER, 1995), sendo que as diferenças entre as espécies, procedências, progênies e clones, além de serem inerentes à capacidade de absorção, de translocação e de conversão dos nutrientes em biomassa de cada genótipo são produtos da interação genótipo-ambiente (ALMEIDA, 2009). Esta conclusão também é compartilhada por Santana, Barros e Neves (1999) que relatam que o coeficiente de herdabilidade para eficiência nutricional pode ser alto ou baixo, dependendo do nutriente e das características do sítio.

Pelo menos cinco características podem contribuir para o aumento da eficiência de absorção e utilização de nutrientes: 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 (CAMARGO et al., 2004).

Em estudo com clones de *E. grandis*, Barros et al. (1985) encontraram que a eficiência de absorção e de utilização de nutrientes é variável entre nutrientes e entre clones. Esses resultados foram corroborados por Pinto et al. (2011), os quais sugeriram que essas diferenças possibilitam a seleção de genótipos para condições específicas de fertilidade do solo, permitindo sua alocação em solos com características nutricionais distintas.

Em um experimento conduzido no Vale do Jequitinhonha, em Minas Gerais, Faria et al. (2008) encontraram maiores valores de eficiência na absorção e utilização de N, P, K, Ca e Mg em híbridos de polinização aberta de *E. grandis* x *E. urophylla* quando comparados a híbridos de *E. grandis* x *E. camaldulensis*. Viera et al. (2008), avaliando a eficiência de utilização de nutrientes em *E. saligna* e híbridos de *E. grandis* x *E. urophylla*, com 18 meses de idade, encontraram valores semelhantes entre as espécies, com exceção do uso de micronutrientes para o componente madeira, em que o *E. saligna* teve maior eficiência. Em relação aos

macronutrientes, a sequência de eficiência, para ambas as espécies, em ordem decrescente, foi a seguinte: $S > P > Mg > N > K > Ca$ para casca e galhos, enquanto que para as folhas foi: $S > P > Mg > K = Ca > N$ e para o fuste: $S > P > Mg > Ca > N > K$.

2.3. Fósforo (P) nas Plantas: Função, Mecanismo de Absorção e Eficiência de Uso

O fósforo (P) é um importante macronutriente e constitui entre 0,2% e 0,5% da biomassa das plantas (RAGHOTHAMA, 1999). É um componente estrutural de macromoléculas fazendo parte da estrutura de ácidos nucleicos, fosfolipídios de membranas celulares e ésteres de carboidratos, participando dos processos de produção de energia e ativação enzimática nas plantas. Faz parte das moléculas de preservação e transferência de energia como uridina trifosfato (UTP), cistidina trifosfato (CTP), guanosina trifosfato (GTP) e adenosina trifosfato (ATP), responsáveis, por exemplo, pela síntese de amido, sacarose e celulose nas plantas (SILVEIRA; GAVA, 2004). Destaca-se também a participação do elemento como parte estrutural nos ácidos desoxirribonucléicos (DNA) e ribonucleicos (RNA), os quais contém o código genético das plantas (TAIZ; ZEIGER, 2004).

A deficiência de P acarreta uma série de efeitos na planta, como alterações em sua morfologia, na fisiologia e no transporte e utilização interna de outros nutrientes, resultando em redução do potencial produtivo (PARENTONI; MENDES; GUIMARÃES, 2011). O armazenamento e a transferência de energia na planta são realizados pelas moléculas de ATP e ADP e quando tais moléculas fosfáticas se quebram, uma grande quantidade de energia proveniente dos carboidratos produzidos pela fotossíntese é liberada, garantindo assim a ocorrência dos processos vegetativos e reprodutivos das plantas (BATISTA, 2012). Por isso a restrição de P restringe a ocorrência do pleno ciclo vital das plantas.

Embora a quantidade de P total no solo possa ser elevada, a concentração de formas disponíveis no solo é geralmente muito baixa, sendo que em torno de 80% do P aplicado via fertilização torna-se indisponível à planta devido a sua adsorção às partículas do solo, precipitação ou transformação em P orgânico (MARENCO;

LOPES, 2009). A absorção pelas plantas ocorre pelo mecanismo de difusão, processo lento e de pouca amplitude, sendo ainda influenciado por diversos fatores, tais como a quantidade e o tipo de argila, a aeração e umidade (e compactação) do solo, o pH do solo e a concentração de outros nutrientes na solução do solo, tais como o cálcio, enxofre, nitrogênio e zinco (LOPES, 1998).

No Brasil, a atividade florestal tem se expandido para solos distróficos, geralmente álicos, nos quais há respostas positivas ao uso de fertilizantes, principalmente o P, em virtude da sua dinâmica em solos mais intemperizados dos trópicos, como por exemplo, a alta capacidade de fixação do elemento. Barros, Novais e Neves (1990) ressaltam que, em florestas plantadas, o P é o principal nutriente a limitar o crescimento das árvores. A sua aplicação, portanto, é essencial nos programas de adubação.

As plantas absorvem P do solo na forma de H_2PO_4^- e HPO_4^{2-} ; após a absorção, 80 a 90% do fósforo é rapidamente incorporado a compostos orgânicos, principalmente na forma de hexose fosfato e uridina fosfato. A adsorção do P bem como a absorção pelas plantas na forma de H_2PO_4^- e HPO_4^{2-} depende intimamente da reação do solo (pH). Condições drásticas de seca reduzem consideravelmente o processo de difusão (MARSCHNER, 1995).

As espécies e variedades de plantas podem variar amplamente quanto à habilidade de absorver e utilizar P (ABICHEQUER, 1995). O conteúdo de P nos diferentes compartimentos das plantas de eucalipto varia em função da espécie, idade, fertilidade do solo e produtividade (SILVEIRA; GAVA, 2004).

Em trabalho realizado por Silva, Poggiani e Coelho (1983) o *E. grandis* foi mais eficiente na utilização de P que o *E. saligna*, *E. propinqua*, *E. dunnii* e *E. robusta*, proporcionando uma produção de 43 t de biomassa do lenho por quilograma de P neste componente. Furtini Neto et al. (1996) ao avaliarem a eficiência no uso de P em condições de baixa disponibilidade do nutriente em cinco espécies de eucalipto encontraram que *E. pilularis* e *E. urophylla* apresentaram maior eficiência de absorção e utilização de P quando comparadas ao *E. cloeziana*, *E. grandis* e *E. pellita*. O aumento da eficiência de absorção nas maiores doses de P foi mais acentuado para *E. cloeziana* em relação às demais espécies e, *E. urophylla* e *E. cloeziana* apresentaram baixa eficiência de utilização de P sob baixa

disponibilidade do elemento. Com base nos resultados, os autores estabeleceram três grupos quanto ao comportamento da produção de matéria seca em relação à aplicação de P: espécie com maior facilidade de adaptação em solos pobres e com resposta intermediária à adição de P - *E. pilularis*; espécies com dificuldades de estabelecimento em solos pobres, porém com elevada resposta à aplicação de P - *E. pellita*, *E. grandis* e *E. urophylla*; e espécie com dificuldade de adaptação em solos pobres e resposta pequena à aplicação do nutriente - *E. cloeziana*.

Em estudo conduzido em casa de vegetação, Gonçalves e Passos (2000) avaliaram em mudas de cinco espécies de eucalipto os efeitos do déficit hídrico em dois níveis de P no solo (30 e 300 mg L⁻¹) sobre o crescimento e partição de fotoassimilados pelas plantas. Houve diferenças significativas entre espécies, doses de P e déficit hídrico sobre a distribuição de fotoassimilados e acúmulo de nutrientes nos diferentes órgãos da planta. Nos tratamentos com as maiores doses de P, todas as espécies apresentaram maior área foliar do que naqueles com a menor dose do nutriente, bem como maiores incrementos na produção de massa seca do tronco e de raízes. No entanto, não foi detectado efeito da adubação no crescimento quando as plantas foram submetidas ao déficit hídrico.

2.4. Mecanismos para Aumento da Eficiência Nutricional de Fósforo em Plantas

O cultivo de plantas em solos com baixo teor de fósforo disponível tem levado ao desenvolvimento de diversas tecnologias para maximização da oferta do nutriente à planta e para aumento da eficiência de absorção do nutriente pelos vegetais. Práticas como a calagem e o plantio direto tendem a aumentar a disponibilidade do fósforo no sistema. Aumento nas eficiências de aquisição e utilização também são importantes estratégias para o cultivo em ambientes de estresse por baixo suprimento do elemento. Lynch e Ho (2005) afirmam que a eficiência de P é um fenômeno complexo que é impactado por diversos mecanismos no sistema solo-planta-atmosfera, envolvendo desde a disponibilidade do nutriente no substrato às relações a nível celular. Para melhoria das eficiências de aquisição e utilização do P pelas plantas, Parentoni, Mendes e Guimarães (2011) citam que

modificações radiculares, associações com microorganismos, modificações no microambiente da rizosfera e modificações bioquímicas em transportadores da membrana compõem as principais estratégias para o primeiro grupo, enquanto que efeitos de transporte, remobilização, distribuição e alocação mais eficientes (sob menores concentrações nos tecidos) são estratégias importantes para a busca de melhores eficiências de utilização.

Outros autores descrevem em literatura que as modificações radiculares possuem especial participação no aumento da eficiência de aquisição, como o desenvolvimento de raízes laterais, pelos radiculares, aumento da relação raiz, parte aérea, mudanças na arquitetura radicular e formação de raízes proteoides (SILVA, 2012). Para nutrientes como o fósforo que possuem baixas taxas de difusão no solo, a maior proximidade entre a superfície radicular e a fonte do recurso é fundamental (HARPER; JONES; SACKVILLE-HAMILTON, 1991). Além de investir no aumento da biomassa radicular para aumento da eficiência de absorção, os vegetais mais eficientes também podem reduzir a respiração celular sob baixa disponibilidade de P, diminuindo os custos energéticos dessas estruturas (LYNCH; HO, 2005). Para Gahoonia e Nielsen (2004) a seleção e o melhoramento de genótipos com o sistema radicular mais extenso podem contribuir para o uso mais eficiente do P no solo, mas, entretanto, esta técnica ainda é pouco explorada por programas de melhoramento. Parentoni e Souza (2008) determinaram a importância relativa das eficiências de absorção e utilização em milho, e concluíram que em ambientes com estresse de P, a eficiência de absorção é cerca de duas vezes mais importante que a eficiência de utilização, e até três vezes mais importantes nos ambientes com alta disponibilidade de P.

Já a variabilidade e o controle genético para a eficiência de uso de P têm sido mais bem explorados em estudos com diversas culturas, como o feijão, trigo, milho e outras (PARENTONI; MENDES; GUIMARÃES, 2011). Na maioria destes estudos, tanto os efeitos aditivos como os não-aditivos têm se mostrado como importantes no controle da eficiência. Os estudos também demonstram a natureza quantitativa desta herança e por isso o mapeamento das regiões cromossômicas com o objetivo de se identificar genes que controlam esta característica tem ganhado cada vez mais destaque em programas de melhoramento.

2.5. Efeitos do Fósforo nos Parâmetros Fisiológicos das Plantas

Depois do nitrogênio, o fósforo na maioria dos solos é o elemento que mais limita a produção vegetal (MARENCO; LOPES, 2009). Quando o fornecimento de fosfato inorgânico é limitado, até mesmo sob condições favoráveis para a fotossíntese, a deficiência do nutriente resulta em um acúmulo de assimilado (sacarose e amido) no cloroplasto reduzindo a atividade fotossintética, já que o fosfato inorgânico é fundamental para o transporte de trioses do cloroplasto para o citosol (SILVA et al., 2010).

A fotossíntese pode ser inibida pelo suprimento inadequado de fósforo inorgânico, o que se deve primordialmente a duas razões: a alta demanda de ATP pelo crescimento vegetal e a função de intermediários fosforilados nas reações de fixação do CO₂ (STITT, 1990). Quando há decréscimos da ciclagem de P entre o citoplasma e o estroma, podem ocorrer reduções no consumo e na produção de ATP e NADPH, menor carboxilação/regeneração da RuBP, decréscimo na expressão de genes relacionados à fotossíntese, fechamento estomático e menor condutância do mesofilo (LAWLOR; CORNIC, 2002). Portanto, o resultado final é o comprometimento da atividade fotossintética das plantas, com possível redução de seu crescimento e desenvolvimento.

A menor ativação de algumas enzimas do ciclo de Calvin-Benson, tais como a ribulose-1,5-bisfosfato carboxilase/oxigenase (Rubisco) e sua menor regeneração, bem como modificações ocorridas na partição do carbono causadas em parte por modificações no metabolismo de sacarose e de amido reduzem a taxa de assimilação líquida de carbono. De acordo com Silva et al. (2010) a produção de RuBP em folhas deficientes é limitada por uma diminuição da oferta de carbono devido ao aumento do desvio desse elemento para a síntese de amido e não pela diminuição do fornecimento de ATP.

Em condições de restrição hídrica, a absorção de fósforo que é dependente da disponibilidade de água no solo é afetada e neste momento podem ocorrer déficits de fósforo no tecido das plantas, sendo necessária a manutenção de um estoque do nutriente no vacúolo das mesmas para manutenção das taxas fotossintéticas. A movimentação de água entre as células das plantas é realizada

por proteínas especializadas denominadas aquaporinas sendo que estas para ficarem ativas precisam ser fosforiladas, o que sugere que em condições de melhor nutrição de fósforo na planta a atividade de aquaporinas também é acentuada (SILVA et al., 2010). Com isso, a condutância estomática também é favorecida, como discutido por Kuwahara e Souza (2009), que em experimento com *Brachiaria brizantha* encontraram nas maiores doses de adubação fosfatada contribuição significativa para recuperação da abertura estomática das plantas após o período de estresse hídrico. A abertura estomática, regulada pela pressão de turgor nas células-guarda e pela concentração de CO₂ intercelular, pode ter sido favorecida neste caso pela redução deste segundo, visto a retomada das taxas fotossintéticas por plantas com adequada nutrição fosfatada quando houve o retorno do fornecimento de água, ocasionando aumento das taxas fotossintéticas e consequente abertura de estômatos e aumento da condutância estomática.

3. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, entre 01/10/2013 a 10/01/2014, no município de Jaboticabal, estado de São Paulo. O município está situado a 21°16' de latitude sul, 48°19' de longitude oeste e a 575 m de altitude. Segundo a classificação climática de Köppen o clima é de transição entre os tipos CWA (quente e inverno seco) e AW (tropical de inverno seco).

3.1. Tratamentos e Delineamento Experimental

Foram obtidas quatro progênies de *Eucalyptus grandis* W. Hill. Ex Maiden procedentes de Pomares de Sementes Clonais da empresa Suzano Papel e Celulose S.A., as quais foram previamente identificadas como potenciais para maior eficiência de uso de fósforo. As mudas dessas progênies foram produzidas no viveiro da empresa no município de Ibaté, Estado de São Paulo, usando-se substrato orgânico comercial, adubado com 1,5 kg.m⁻³ do fertilizante Osmocote de formulação NPK 15-09-12. Em todas as fases de produção, a realização de adubações de cobertura seguiu o manejo comercial realizado pelo viveiro.

As mudas das quatro progênies de *E. grandis* foram plantadas, com idade média de 120 dias após a semeadura, em vasos preenchidos com 7 L de um Neossolo Quartzarênico, cuja caracterização química e granulométrica, realizadas no Departamento de Solos e Adubos da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, da Universidade Estadual Paulista (FCAV/Unesp), campus de Jaboticabal, encontram-se na Tabela 1. Vinte dias antes do plantio das mudas, aplicou-se, por vaso, 1,40 g de carbonato de cálcio, 0,35 g de carbonato de magnésio, de forma a elevar a saturação por bases para 60% (GONÇALVES et al., 1996) e as doses de P, conforme o tratamento: 0, 75, 150, 225, 300 e 375 mg dm⁻³ de P₂O₅, via superfosfato simples, sendo estes misturados e incorporados ao substrato de maneira simultânea. Dez dias após o plantio, todas as mudas receberam adubação com N, K e micronutrientes, conforme a seguir: 40 mg dm⁻³ de N; 150 mg dm⁻³ K₂O; 40 mg dm⁻³ de S; 5 mg dm⁻³ de Zn; 0,5 mg dm⁻³ de B; 0,5 mg dm⁻³ de Cu; 1,5 mg dm⁻³ de Mn; e 0,1 mg dm⁻³ de Mo. A dose de K foi parcelada em

três aplicações de $50 \text{ mg dm}^{-3} \text{ K}_2\text{O}$, aos 10, 40 e 70 dias após o plantio e aos 40 dias após o plantio aplicaram-se 40 mg dm^{-3} de N.

O experimento teve uma duração de 102 dias após o plantio das mudas nos vasos, com irrigações diárias a fim de não submeter às plantas nenhum risco de estresse hídrico. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, em esquema fatorial 4×6 (quatro progênies e seis doses de P) com cinco repetições, totalizando 120 parcelas. Cada parcela foi composta por um vaso com duas plantas.

Tabela 1. Características químicas e granulométricas do solo usado no experimento.

pH	M.O.	P- resina	K	Ca	Mg	H+Al	SB	T	V	
CaCl ₂	g dm^{-3}	mg dm^{-3}	$\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$							
4,7	9	6	0,6	7	3	16	10,6	26,6	40	
B	Cu	Fe	Mn	Zn	Argila	Limo	Areia Fina	Areia Grossa	Classe	
mg dm^{-3}			g kg^{-1}							Textural
0,33	0,20	14	0,7	0,2	39	9	605	347	Arenosa	

3.2. Avaliações de Crescimento e Alocação de Massa de Matéria Seca

No plantio avaliou-se a altura das plantas (cm), com régua graduada em mm, e diâmetro do coleto (mm), com paquímetro digital, sendo esta padronizada a uma altura de 5 cm acima do substrato. Ao final do experimento foram avaliados a altura das plantas (cm) e o diâmetro do coleto (mm), conforme descrito anteriormente, e a massa de matéria seca das diferentes partes da planta (folhas, caule e raízes), após submeter esses componentes em estufa com ventilação forçada a $65 \text{ }^\circ\text{C}$ por 120 horas e, posteriormente pesados em balança de precisão ($0,0001 \text{ g}$), obtendo-se assim, a massa de matéria seca das folhas, do caule, das raízes, da parte aérea (folhas + caule) e total (folhas + caule + raízes), bem como a relação massa de matéria seca das raízes/massa de matéria seca da parte aérea (RPA).

3.3. Avaliações Fisiológicas

Ao longo do experimento em cinco diferentes épocas, foram avaliadas as seguintes características em todas as plantas do experimento: taxas de assimilação líquida (A), condutância estomática (g_s) e transpiração (E), usando-se um analisador de gases a infravermelho, portátil (LCPro⁺ SYSTEM, ADC) sob concentração de CO₂ ambiente ($390 \pm 10 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$), FFFA (fluxo de fótons fotossinteticamente ativo) de $1300 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ e temperatura da folha mantida a 26 °C. Essas avaliações foram realizadas nos períodos compreendidos entre 8h e 10h 30 min, em folhas totalmente expandidas, no terço médio das plantas. De posse dos valores de A , g_s e E foram calculadas as eficiências instantânea ($ET = A/E$) e intrínseca no uso da água ($EUA = A/g_s$), conforme Pita et al. (2005).

3.4. Determinação dos Conteúdos e da Eficiência de Absorção, de Translocação e de Uso de Fósforo

Amostras de folhas, caule e raízes foram obtidas de toda a copa das plantas, sendo separadas por tratamento e repetição, moídas e encaminhadas ao Departamento de Solos e Adubos da FCAV-UNESP, para a determinação dos teores de fósforo, pelo método de colorimetria, após digestão nítrico-perclórica (SARRUGE; HAAG, 1974). De posse dos teores de P, em cada parte da planta, obteve-se o conteúdo de P, a partir do produto das massas de matéria seca de cada componente (folhas, galhos e raízes) pelos seus respectivos teores.

A eficiência nutricional foi avaliada, para cada progênie, por meio do cálculo da eficiência de absorção (EAP), eficiência de translocação (ETP) e eficiência de utilização (EUP), conforme expressões apresentadas por Pinto et al. (2011):

$EAP = \text{mg do nutriente na planta} / \text{g de matéria seca da raiz};$

$ETP = \text{mg do nutriente na parte aérea} / \text{mg do nutriente na planta e}$

$EUP = (\text{g matéria seca total})^2 / \text{mg do nutriente na planta}.$

3.5. Determinação da Atividade da Fosfatase Ácida

Visando uma avaliação preliminar de possíveis fatores condicionantes de uma eventual maior eficiência no uso de P por parte das progênes estudadas, foi amostrado solo nos vasos de cultivo das quatro progênes e também sem a presença de plantas das progênes de eucalipto, todos na ausência de adubação com fósforo (dose $0 \text{ mg dm}^{-3} \text{ P}_2\text{O}_5$). Nestas amostras foram quantificadas a atividade da fosfatase ácida, segundo método de Tabatabai e Bremner (1969). Para tanto, foram pesados 0,2g de terra fina seca ao ar, os quais foram colocados em tubo de ensaio (18x180mm), adicionado 4mL de tampão acetato pH 5,4, e 1mL de solução *p*-NFP (*p*-Nitrofenil fosfato) 30mM. Após, os tubos foram agitados levemente para efetuar a mistura dos reagentes, permanecendo em banho-maria por 30min a 37°C. Após o tempo de incubação acrescentou-se 1mL de solução de cloreto de cálcio 0,5M e 4mL de solução de hidróxido de sódio 0,5M, sendo em seguida agitados vigorosamente, em agitador de tubos, e posteriormente filtrados em papel de filtro Whatman número 12. O filtrado foi lido em espectrofotômetro a 405nm. Foram usadas quatro repetições por tratamento e a atividade da fosfatase ácida foi expressa em $\mu\text{g } p\text{-NFP.g}^{-1} \text{ solo seco.h}^{-1}$.

3.6. Análise dos Dados

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância pelo teste F em esquema fatorial, seguido de comparações de médias de progênes pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$) e de análise de regressão polinomial para descrever as características avaliadas em função das doses de P aplicadas, separadamente para cada progênie ou na média das quatro progênes. Inicialmente procedeu-se ao desdobramento da interação progênes x doses de P para os ajustes das equações de regressão, independentemente da significância ou não dessa interação na análise de variância, conforme recomendado por Banzato e Kronka (2006). Na ausência de ajuste de regressão por progênie, procedeu-se ao estudo de ajustes de regressão a partir da média das quatro progênes estudadas. Tal recomendação dos autores supracitados mesmo em situações de não significância é em função do teste

F não verificar a possível tendência existente entre os tratamentos de efeitos quantitativos do experimento. Em função de diferenças de altura e diâmetro do coleto, entre as progênies no momento da instalação do experimento, os valores iniciais dessas características foram usados como covariável nas análises de variância. Quando o efeito da covariável foi significativo, as comparações de médias e, ou ajustes de regressão foram realizados com as médias ajustadas em função do efeito da covariável. As análises estatísticas foram realizadas com o uso dos programas SAS (1999).

No caso específico das avaliações de trocas gasosas, os dados foram analisados com base na média das cinco avaliações, realizadas ao longo do experimento.

Na análise dos dados da atividade da fosfatase ácida, usou-se um delineamento de blocos casualizados com cinco tratamentos (4 solos cultivados com progênies e 1 solo sem cultivo). Os graus de liberdade para tratamentos foram decompostos em efeitos de solos cultivados com progênies e num contraste entre os dois tipos de solos. As médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Análise de Variância e Covariância

A altura inicial como covariável nas análises de variância foi significativa para as seguintes características: altura final, massa de matéria seca de raízes (MSR), de caule, da parte aérea e total (MST) indicando que essas características foram influenciadas positivamente pela altura inicial das plantas das diferentes progênes (Tabela 2). Já o diâmetro do coleto inicial como covariável foi significativo para diâmetro final do coleto (DC), MSR, MST e conteúdo de fósforo na raiz, indicando que plantas de maior diâmetro inicial do coleto, apresentaram ao final do experimento maiores valores nessas características.

A interação doses de P x progênes foi significativa para conteúdo de P nas raízes (CPR), na parte aérea (CPPA) e total (CPT) e para eficiência de utilização de fósforo (EUP), de nitrogênio (EUN) e intrínseca no uso da água (ET). Não foram observados efeitos significativos das doses de P sobre os conteúdos de N nas folhas (CNF), caule (CNC) e parte aérea (CNPA), taxa de assimilação líquida (A), eficiência intrínseca (ET) e instantânea no uso da água (EUA). Diferenças entre progênes foram significativas para diâmetro do coleto (DC), massa de matéria seca de folhas (MSF), de caule (MSC) e de raízes (MSR), relação massa de matéria seca de raízes/massa de matéria seca da parte aérea (RPA), conteúdo de P no caule (CPC), na parte aérea (CPPA) e total (CPT), eficiência de translocação de P (ETP), conteúdo de N no caule (CNC) e eficiência na absorção de N (EAN), Tabela 2.

4.2. Características de Crescimento e Massa de Matéria Seca

A progênie 3 apresentou menor altura (ALT) e diâmetro do coleto (DC) com o aumento das doses de P_2O_5 ; por outro lado as progênes 1, 2 e 4, para altura, e a progênie 2, para diâmetro do coleto não responderam a adubação com fósforo (Figura 1). Considerando-se a produção de matéria seca nos diferentes compartimentos das quatro progênes, constata-se que não há uma associação direta desta com o crescimento em altura e, ou diâmetro. A progênie 2, por exemplo,

Tabela 2. Resumo da análise de características avaliadas em quatro progênie de *Eucalyptus grandis* submetidas a 0, 75, 150, 225, 300 e 375 mg dm⁻³ de P₂O₅, aos 102 dias após o plantio em vasos.

Característica	Nível de significância do teste F para as diferentes causas de variação						CV (%)
	Bloco	Doses de Fósforo(F)	Progênie (Prog)	F x Prog	Covariável		
					Alt1	DC1	
ALT	0,4485	0,7817	0,0982	0,7600	0,0053	0,9045	6,67
DC	0,8580	0,0070	0,0073	0,1748	0,1984	0,0011	4,99
MSF	0,2991	0,0100	0,0091	0,2736	0,5172	0,2547	15,47
MSC	0,2050	0,0101	0,0169	0,7653	0,0005	0,7319	10,92
MSR	0,0766	0,0009	0,0164	0,3277	0,0089	0,0014	12,16
MSPA	0,0962	0,0401	0,9569	0,4603	0,0116	0,3407	10,24
MST	0,0233	0,0003	0,5841	0,3671	0,0013	0,0332	8,53
RPA	0,2961	0,0247	0,0175	0,4812	0,7249	0,0548	14,74
CPF	0,0226	<0,0001	0,0607	0,2217	0,1380	0,4729	18,79
CPC	0,1893	<0,0001	0,0013	0,1171	0,4076	0,8677	32,27
CPR	0,0992	<0,0001	0,1682	0,0071	0,8251	0,0322	21,70
CPPA	0,1521	<0,0001	0,0007	0,0500	0,2268	0,7066	22,49
CPT	0,2103	<0,0001	0,0011	0,0299	0,3141	0,3366	18,97
EAP	0,8271	<0,0001	0,2426	0,2256	0,5136	0,2763	20,38
ETP	0,7560	<0,0001	0,0357	0,3209	0,2920	0,5769	8,10
EUP	0,8471	<0,0001	0,1403	0,0267	0,1038	0,7465	23,07
CNF	0,0672	0,2357	0,2356	0,9347	0,5490	0,5020	12,72
CNC	0,0669	0,5292	0,0181	0,4790	0,3616	0,5992	17,26
CNR	0,5296	0,0213	0,9513	0,0585	0,8977	0,0851	15,71
CNPA	0,0128	0,5799	0,4864	0,8984	0,8844	0,7127	10,75
CNT	0,0201	0,6119	0,6543	0,4955	0,8557	0,2768	9,26
EAN	0,2643	0,0011	0,0125	0,6821	0,0413	0,0431	12,34
ETN	0,3136	0,0189	0,6257	0,2430	0,9551	0,2641	4,86
EUN	0,0468	<0,0001	0,2941	0,0011	<0,0001	0,0667	10,09
A	<0,0001	0,1284	0,4384	0,9485	0,4326	0,7733	10,22
E	0,5930	0,0076	0,2235	0,2996	0,5844	0,3412	7,82
g _s	0,0004	0,0477	0,3131	0,7815	0,9935	0,5563	18,28
ET	<0,0001	0,1127	0,1804	0,0251	0,3290	0,0194	5,19
EUA	0,0056	0,0854	0,7017	0,1798	0,2378	0,9722	10,72

ALT – altura; DC - diâmetro do coleto. MSF, MSC, MSR, MSPA e MST - respectivamente, massa de matéria seca de folhas, caule, raízes, da parte aérea e total; RPA - relação massa de matéria seca de raízes/massa de matéria seca da parte aérea; CPF, CPC, CPF, CPPA, CPT - respectivamente, conteúdo de P nas folhas, caule, raízes, na parte aérea e total; EAP, ETP, EUP - respectivamente, eficiência de absorção, de translocação e de utilização de P; CNF, CNC, CNF, CNPA, CNT - respectivamente, conteúdo de N nas folhas, caule, raízes, na parte aérea e total; EAN, ETN, EUN - respectivamente, eficiência de absorção, de translocação e de utilização de N; A – taxa de assimilação líquida; E - transpiração; g_s – condutância estomática; ET, EUA – respectivamente, eficiência intrínseca e instantânea no uso da água. CV (%) – coeficiente de variação experimental.

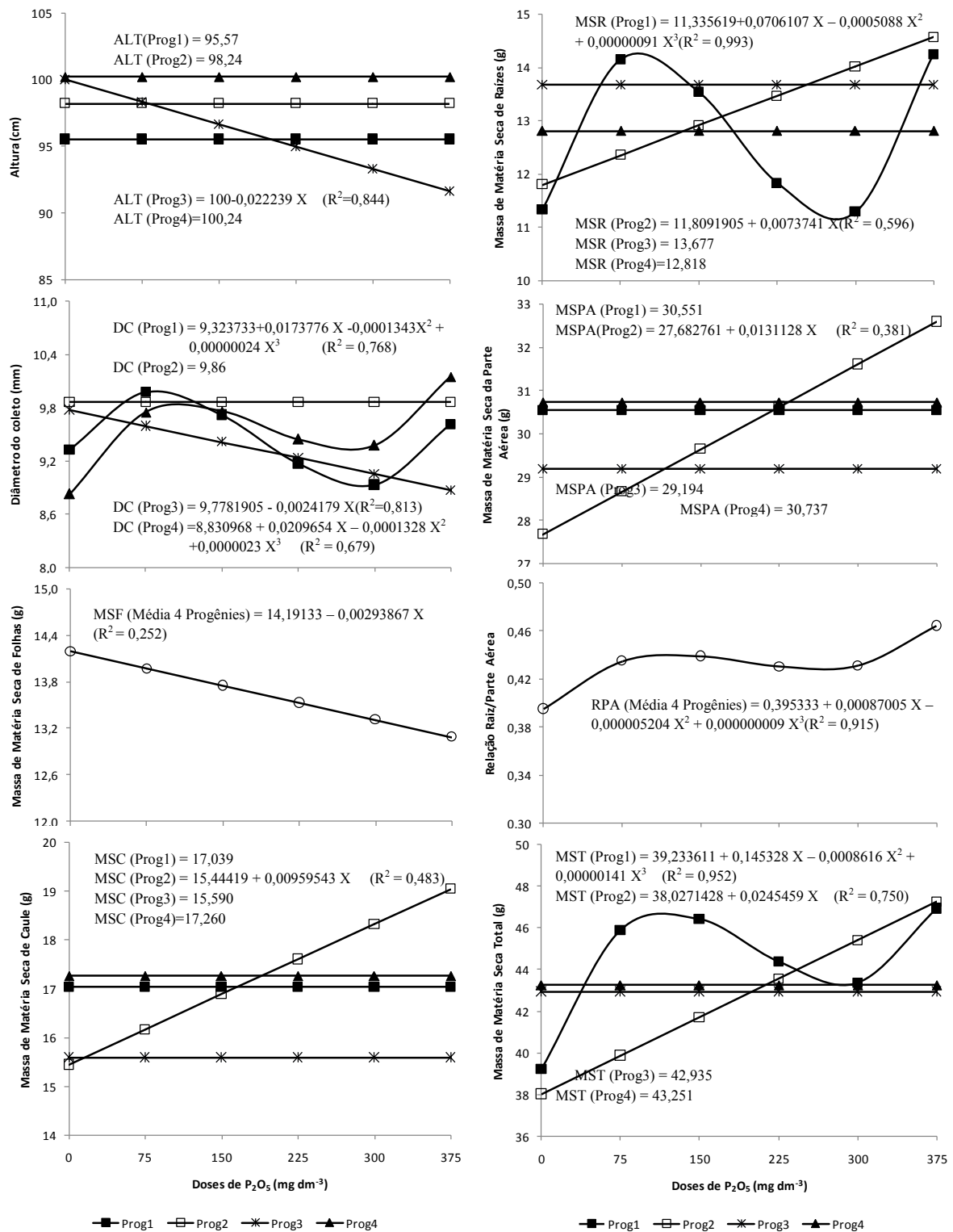


Figura 1. Altura (cm), diâmetro do coleto (mm) e massa de matéria seca ($g.planta^{-1}$) de folhas, de caule, de raízes, da parte aérea e total e relação massa se matéria seca de raízes/massa de matéria seca da parte aérea de plantas de quatro progênes de *Eucalyptus grandis* submetidas a seis doses de P.

apresentou maior massa de matéria seca de caule, de raízes, da parte aérea e total à medida em que as doses de P_2O_5 aumentaram, apesar de não ter respondido à adubação quanto ao crescimento em altura e diâmetro; por outro lado, apesar da progênie 3 ter apresentado menores ALT e DC com o aumento das doses de P_2O_5 , isto não afetou a produção de massa seca, a qual não foi alterada com a adubação; também a progênie 4 não alterou a produção de massa seca em função das doses de P_2O_5 , apesar de ter apresentado resposta em diâmetro do coleto. Já a progênie 1 apresentou comportamento irregular quanto a produção de matéria seca de raízes e total, com aumentos nesta última até $150 \text{ mg dm}^{-3} P_2O_5$, seguido de redução até $300 \text{ mg dm}^{-3} P_2O_5$, e novamente aumento na dose de $375 \text{ mg dm}^{-3} P_2O_5$, de forma semelhante ao observado para o DC (Figura 1).

Esses resultados demonstram respostas diferenciadas das progênies à adubação com P. Para Barros, Novais e Neves (1990) não há dúvidas quanto à resposta de espécies de *Eucalyptus*, tanto em fase de mudas quanto em plantios em campo, sendo essencial a adubação fosfatada para o adequado crescimento e produtividade florestal.

Doses elevadas de P podem prejudicar o desenvolvimento de algumas espécies (FURTINI NETO et al., 1996), pelo comprometimento da absorção de zinco (HOFFLAND; WEI; WISSUWA, 2006), o que sugere que essas espécies não têm um mecanismo efetivo para se evitar o consumo de luxo de P (FURTINI NETO et al., 1996).

A matéria seca de raízes foi 10% superior, em média, na progênie 3 em relação à progênie 1 (Tabela 3). Contudo, não é possível estabelecer uma dose ótima de P_2O_5 para a produção de raízes, nem para os demais componentes da planta, uma vez que as progênies 3 e 4 não responderam à adubação, ao passo que a progênie 1 apresentou comportamento variável e a progênie 2, crescimento linear com o aumento das doses de P (Figura 1). Já a relação massa de matéria seca de raízes/parte aérea (RPA), foi maior na progênie 3, em relação à progênie 2 (Tabela 3). A RPA é um indicador da relação dreno/fonte de fotoassimilados e estes resultados demonstram a menor eficiência de uso destes fotoassimilados pela progênie 3, e maior para a progênie 2.

Tabela 3. Médias das características avaliadas em quatro progênies de *Eucalyptus grandis* submetidas a 0, 75, 150, 225, 300 e 375 mg dm⁻³ de P₂O₅, aos 102 dias após o plantio em vasos.

Características	Progênies*			
	1	2	3	4
ALT	94,23	100,73	98,55	100,50
DC	9,55 ab	9,86 a	9,46 b	9,53 b
MSF	12,676 b	13,631 ab	14,581 a	13,671 ab
MSC	17,289 a	17,435 a	16,048 a	17,234 a
MSR	12,508 b	13,170 ab	13,869 a	12,954 ab
MSPA	30,369	30,703	30,588	30,905
MST	43,989	42,869	44,452	43,756
RPA	0,445 ab	0,409 b	0,456 a	0,419 ab

ALT – altura (cm); DC - diâmetro do coleto (mm); MSF, MSC, MSR, MSPA e MST - respectivamente, massa de matéria seca de folhas, caule, raízes, da parte aérea e total (g.planta⁻¹); RPA - relação massa de matéria seca de raízes/massa de matéria seca da parte aérea.

* - médias seguidas por uma mesma letra, em cada característica, não diferem entre si pelo teste Tukey (p>0,05)

4.3. Conteúdo de Nutrientes e Eficiência Nutricional

Diferenças entre progênies ocorreram para o conteúdo de P no caule (Tabela 4), em que a progênie 2 superou as progênies 1 e 4. Independentemente do compartimento da planta, as progênies tenderam a se diferenciar apenas na dose de 375 mg dm⁻³ P₂O₅ (Figura 2). Em média o conteúdo de P na parte aérea correspondeu a 73% do conteúdo total na planta. O maior percentual na parte aérea foi encontrado para a progênie 2 (77%), na maior dose de P. A partir de 150 mg dm⁻³ de P₂O₅ sempre foram observados valores de conteúdo de P superiores a média. O conteúdo de P nos compartimentos da planta sofre grande variação em função de diversos fatores, tais como a espécie, a idade, fertilidade do solo e produtividade, mas os valores médios nas folhas estão em torno de 40% do conteúdo da parte aérea (SANTANA et al., 2008), valor semelhante ao encontrado para as progênies neste estudo, que variou de 36%, na progênie 2, a 42% nas progênies 1 e 3.

Maiores eficiências de absorção de P ocorreram de uma forma geral, com o aumento das doses de P₂O₅. Essa mesma tendência foi observada por Stahl et al. (2013) em mudas de *Eucalyptus benthamii* e *Eucalyptus dunnii* em vasos. A

progênie 1, por outro lado, apresentou queda nesta característica na maior dose de P_2O_5 (Figura 3).

Tabela 4. Médias de conteúdo de nutrientes de P e de eficiência nutricional avaliadas em quatro progênies de *Eucalyptus grandis* submetidas a 0, 75, 150, 225, 300 e 375 $mg\ dm^{-3}$ de P_2O_5 , aos 102 dias após o plantio em vasos.

Características	Progênies*			
	1	2	3	4
CPF	13,466	15,630	15,824	14,776
CPC	19,781 b	30,504 a	23,595 ab	22,561 b
CPR	12,194	12,453	14,184	13,131
CPPA	33,247 b	46,134 a	39,420 ab	37,337 b
CPT	45,173 b	58,998 a	53,922 ab	50,007 b
EAP	3,696	4,253	3,947	4,022
ETP	0,718 a	0,766 a	0,714 a	0,720 a
EUP	44,731	52,451	49,181	52,802

CPF, CPC, CPR, CPPA, CPT - respectivamente, conteúdo de P nas folhas, caule, raízes, parte aérea e total ($mg\ planta^{-1}$); EAP, ETP, EUP - respectivamente, eficiência de absorção ($mg\ g^{-1}$), de translocação ($mg\ mg^{-1}$) e de utilização ($g^2\ mg^{-1}$) de P;

* - médias seguidas por uma mesma letra, em cada característica, não diferem entre si pelo teste Tukey ($p>0,05$)

Apesar de o teste F apontar diferenças entre as progênies para a eficiência de translocação de P, o teste de Tukey não detectou essas diferenças (Tabelas 2 e 4), mas pequenos acréscimos ocorreram nesta característica com o aumento das doses de P_2O_5 para as progênies 3 e 4 e para a progênie 1 até a dose de 225 $mg\ dm^{-3}$ de P_2O_5 (Figura 3).

Quanto à eficiência de utilização de P (EUP), maiores valores foram observados na ausência de adubação, diminuindo com o aumento da dose de P_2O_5 aplicada. Maiores diferenças entre as progênies ocorreram na ausência de adubação, em que as progênies 2, 3 e 4 apresentaram maior EUP que a progênie 1 (Figura 3). Apesar desses resultados não é possível afirmar que as progênies 2, 3 e 4 sejam mais tolerantes à baixa disponibilidade de P. Por exemplo, em linhagens de milho não houve relação entre genótipos para eficiência no uso de P e tolerância à baixa disponibilidade do elemento (MAIA et al., 2011). Também, neste sentido, Wang, Shen e Liao (2010) afirmam que um programa de melhoramento para a

seleção de genótipos com maior eficiência de utilização de P pode trazer maiores ganhos do que a seleção para maior eficiência de absorção, mas que em ambientes com suprimento limitado de P, a eficiência de absorção pode ser mais importante que a eficiência de utilização.

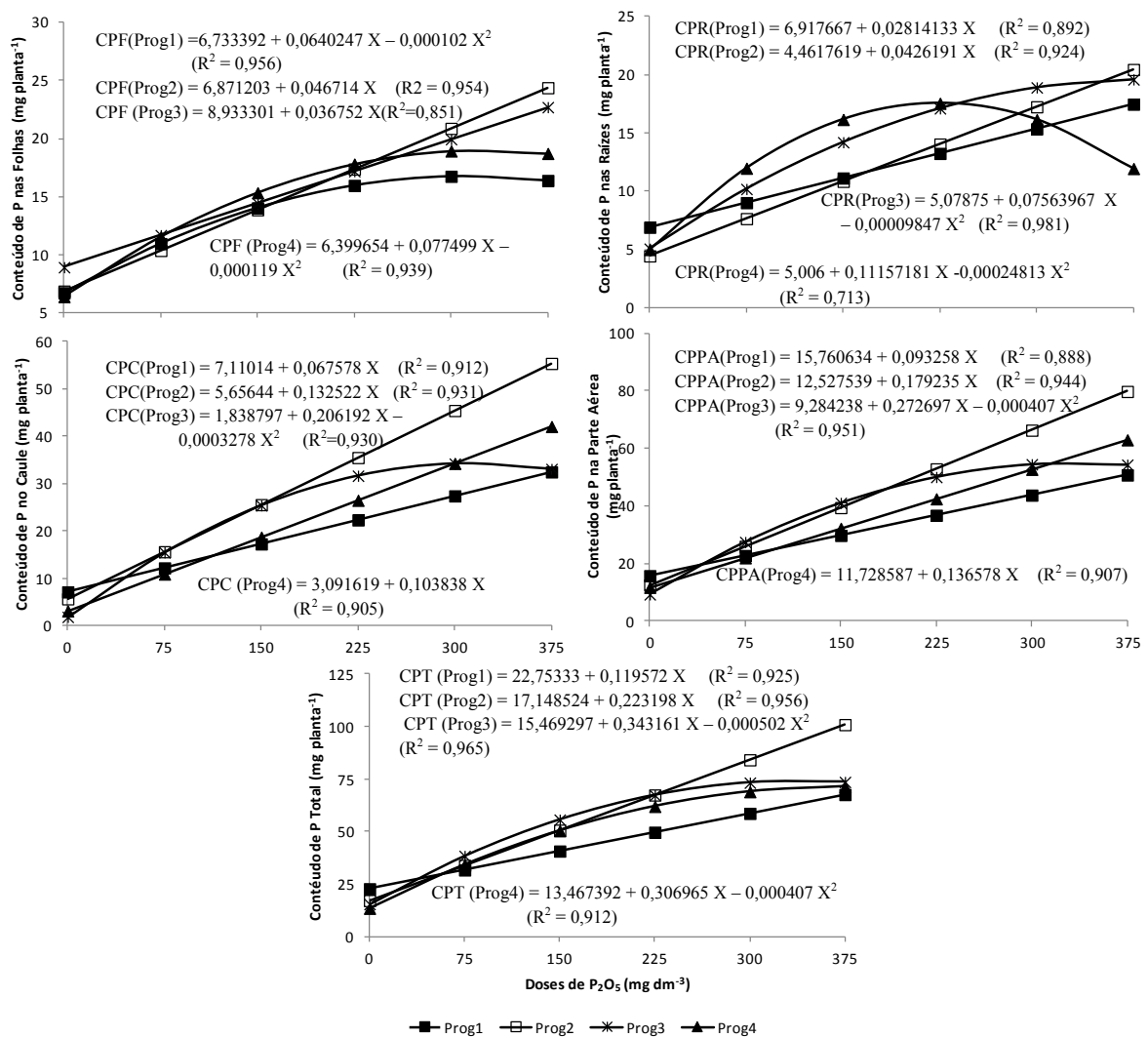


Figura 2. Conteúdo (mg planta⁻¹) de P nas folhas, caule e raízes em plantas de quatro progênies de *Eucalyptus grandis* submetidas a seis doses de P.

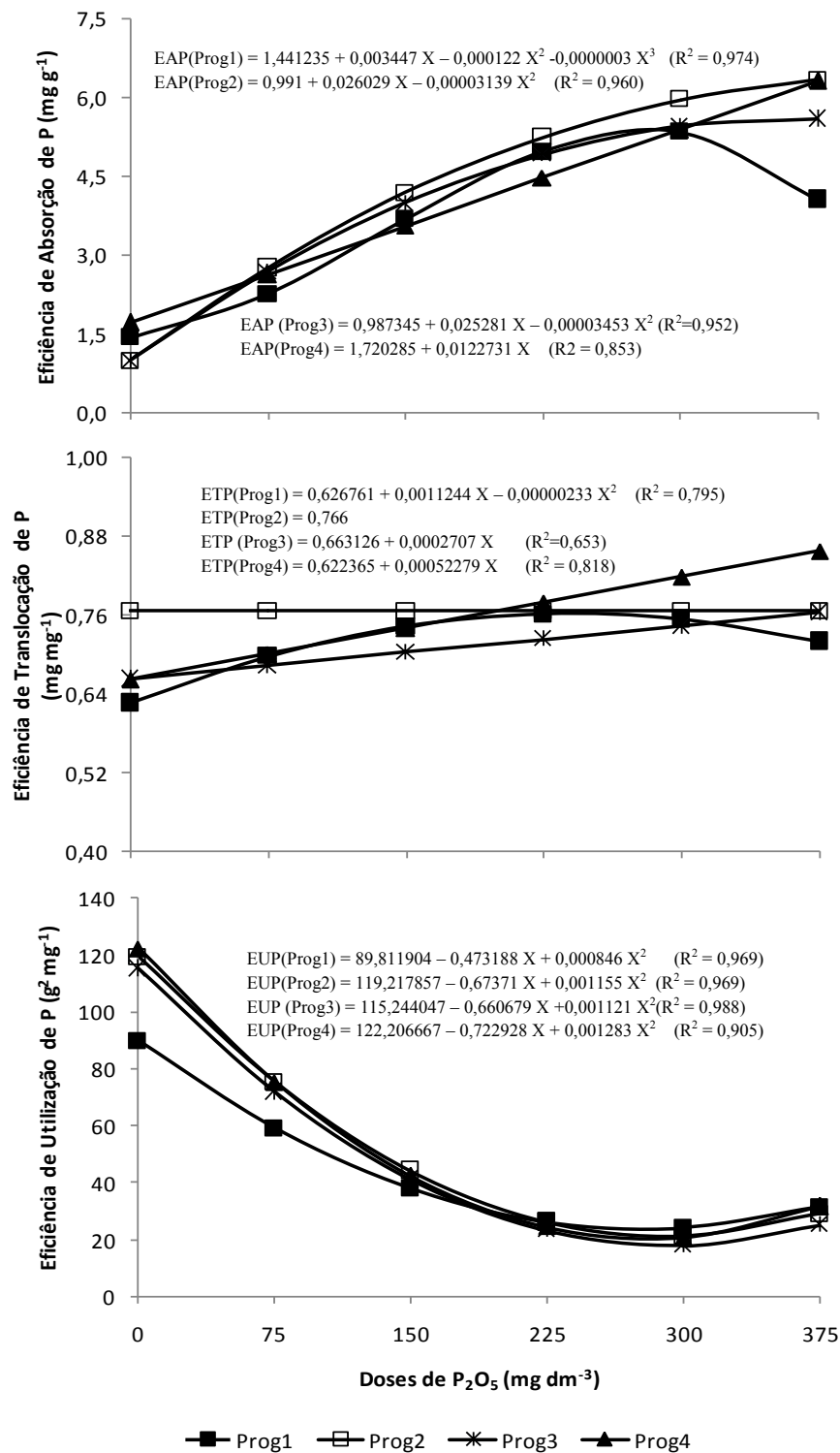


Figura 3. Eficiência de absorção (mg P na planta/g massa seca de raízes), eficiência de translocação (mg P na parte aérea/mg de P na planta) e eficiência de utilização de P [(g massa seca total)²/mg de P na planta], em plantas de quatro progênies de *Eucalyptus grandis* submetidas a seis doses de P.

Não necessariamente, as progênies que se destacam com maior eficiência de utilização em ambientes de baixa disponibilidade do elemento podem ser também classificadas como materiais tolerantes a ambientes com baixa oferta deste recurso. Sob o ponto de vista fisiológico é contraditório a realização de um melhoramento para a tolerância e a eficiência de uso simultaneamente. Os diferentes mecanismos fisiológicos e/ou anatômicos podem conferir às plantas uma maior tolerância ao fator de estresse ou a uma maior eficiência no uso do recurso.

Assim, são reconhecidos em literatura, segundo Fritsche-Neto et al. (2011) três principais estratégias das plantas para se enfrentar os estresses: especialização, quando o genótipo é adaptado a um ambiente específico; generalização, quando o genótipo apresenta aptidão moderada para a maioria dos ambientes; e, plasticidade fenotípica, que são quando sinais ambientais interagem com o genótipo e estimulam a produção de fenótipos alternativos. Plasticidade fenotípica e estabilidade produtiva possuem alta correlação e por isso nem sempre a elevada estabilidade (e baixa plasticidade) é uma característica desejada, pois estes genótipos apresentam produtividade moderada mesmo em ambientes de elevado potencial produtivo.

Os resultados de produção de biomassa nos diferentes ambientes demonstram que as progênies 3 e 4 são as mais estáveis, enquanto que a progênie 2 se mostra com uma alta plasticidade fenotípica, respondendo aos estímulos dos diferentes ambientes (doses de fósforo).

Em relação ao comportamento das progênies a outros nutrientes, destaca-se a questão do nitrogênio, em função das numerosas relações em processos metabólicos em que o fósforo e o nitrogênio possuem elevada interação. Resultados experimentais indicam que a deficiência de fósforo limita a absorção de nitrogênio em algumas culturas (ALVES et al., 1996).

Neste estudo, o acúmulo de nitrogênio nas folhas e no caule não foram afetados pelas diferentes doses de fósforo (Tabelas 2 e 5), com exceção do acúmulo de nitrogênio nas folhas para a progênie 2, que demonstrou um comportamento irregular quanto às doses, decrescendo até a dose de 150 mg dm^{-3} a partir da testemunha, elevando-se com as doses de 225 e 300 mg dm^{-3} e voltando a cair na maior dose (Figura 4). A mesma progênie 2 no entanto apresentou uma interação

linear positiva com o aumento das doses de P para o aumento da concentração de N nas raízes, diferente da progênie 3 que se manteve estável e das progênies 1 e 4 que tiveram um comportamento irregular, com grande oscilação entre os valores (Figura 4).

Tabela 5. Médias de conteúdo de nutrientes de N e de eficiência nutricional avaliadas em quatro progênies de *Eucalyptus grandis* submetidas a 0, 75, 150, 225, 300 e 375 mg dm⁻³ de P₂O₅, aos 102 dias após o plantio em vasos.

Características	Progênies*			
	1	2	3	4
CNF	200,396	188,427	203,766	203,522
CNC	68,478 ab	74,381 a	62,692 b	73,854 A
CNR	97,301	97,698	99,930	97,476
CNPA	366,180	360,510	366,390	374,850
CNT	268,873	262,808	266,458	277,376
EAN	26,864 ab	29,823 ab	26,958 b	30,634 A
ETN	0,734	0,729	0,727	0,741
EUN	5,427	5,151	5,073	5,030

CNF, CNC, CNR, CNPA, CNT - respectivamente, conteúdo de P nas folhas, caule, raízes, parte aérea e total (mg planta⁻¹); EAN, ETN, EUN - respectivamente, eficiência de absorção (mg g⁻¹), de translocação (mg mg⁻¹) e de utilização (g² mg⁻¹) de P.

* - médias seguidas por uma mesma letra, em cada característica, não diferem entre si pelo teste Tukey (p>0,05)

Plantas jovens com alto nível de N tendem a produzir maior área foliar e de maneira mais precoce e, conseqüentemente, mais fotossintetizados para posterior desenvolvimento radicular (YAMADA, 2002). O maior conteúdo de N nas plantas encontra-se nas folhas e um elevado valor neste tecido mesmo em condições limitantes de P pode revelar um genótipo de bom potencial de desenvolvimento radicular, o que contribuiria para uma maior absorção de P, devido ao maior volume de solo explorado.

Quanto a eficiência de absorção de N (EAN), diferentemente da eficiência de absorção de P (EAP), as progênies 2 e 4 tiveram seus valores reduzidos com o aumento das doses de P, sendo que não houve alterações nas progênies 1 e 3. A eficiência de translocação para estas últimas progênies também se manteve estável. Para a progênie 2, a eficiência de translocação decresceu linearmente enquanto que

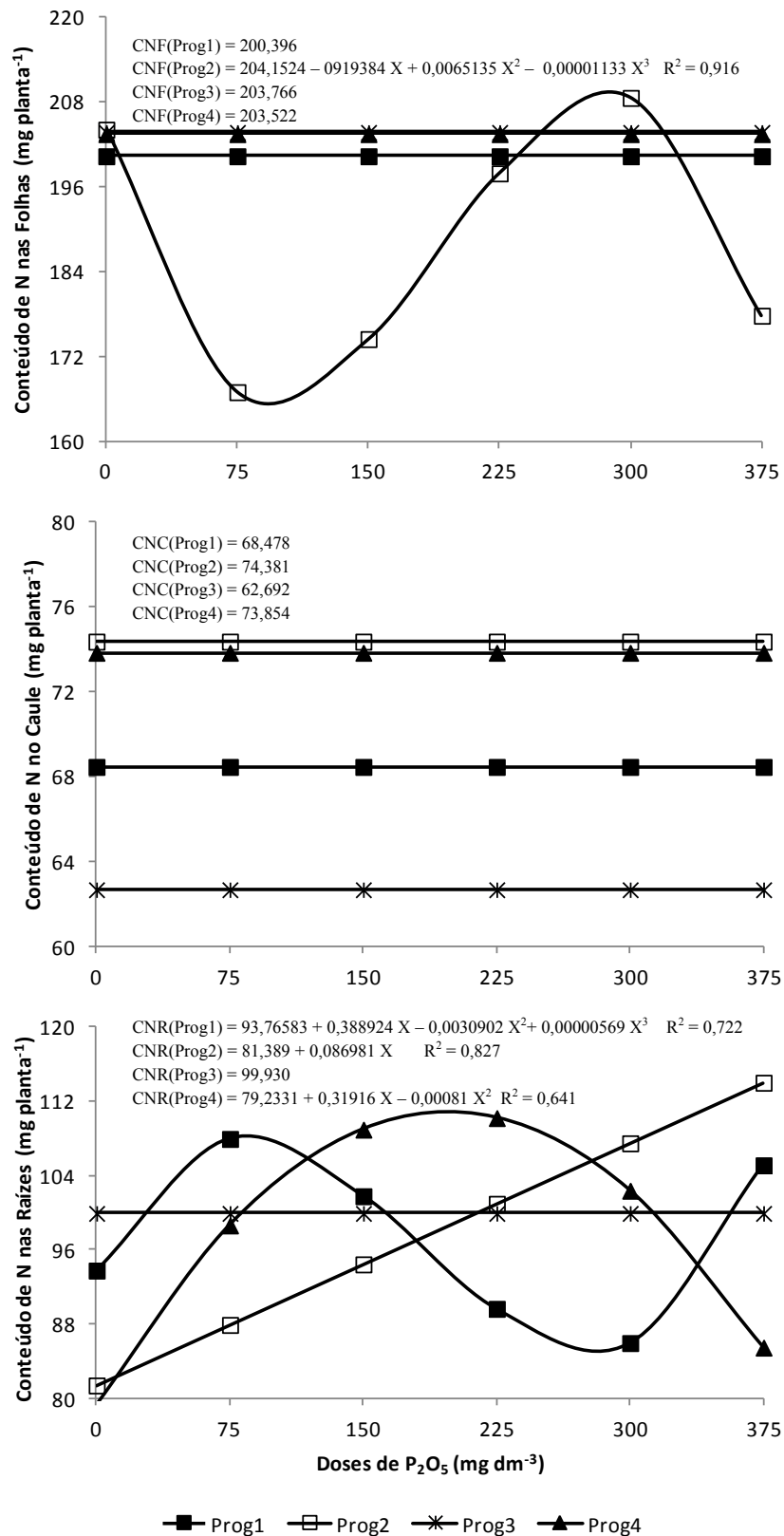


Figura 4. Conteúdo (mg planta⁻¹) de N nas folhas, caule e raízes em plantas de quatro progênies de *Eucalyptus grandis* submetidas a seis doses de P.

para a progênie 4 apresentou comportamento quadrático, com redução até 198 mg dm⁻³ P₂O₅, com posterior aumento nas doses maiores a esta. Para a eficiência de utilização de N, as progênies 1, 2 e 4 apresentaram comportamentos semelhantes, atingindo valores ótimos na maior dose de P (Figura 5).

Doses elevadas de P não parecem ter inibido a absorção de N e contribuíram positivamente para uma maior eficiência de utilização deste nutriente, apesar da literatura evidenciar o antagonismo entre doses elevadas de P e teores de N (MENARD; MALAVOLTA, 1962). Vieira et al. (2011) também não encontraram relações de antagonismo entre doses elevadas destes nutrientes para o crescimento inicial de *Campomanesia adamantium* (Cambess.) O. Berg em vasos. Os resultados de eficiência diferem dos encontrados por Mendes, Marrenco e Magalhães (2013) em que a eficiência do uso do N diminui com o aumento de conteúdo de P em espécies florestais da Amazônia Central.

4.4. Características Fisiológicas

A taxa de assimilação líquida (A), transpiração (E) e condutância estomática (g_s) não apresentaram grandes variações entre as progênies, sendo superior na progênie 1 para todas estas características (Tabela 6). Apesar disto, esta progênie não se destacou na produção de biomassa e crescimento. Inoue e Ribeiro (1988) ao avaliarem a fotossíntese e transpiração em clones de *E. grandis* e *E. saligna* encontraram para alguns genótipos maior correlação entre a área foliar e a produtividade do que a produtividade destes com o potencial fotossintético, afirmando que a produtividade pode estar relacionada à maior área foliar, ao próprio potencial fotossintético e à eficiência do uso da luz. Os autores destacam que os materiais com grande potencial fotossintéticos e manejados de maneira adequada, com tratos silviculturais corretos de adubação, preparo de solo e espaçamento, por exemplo, podem proporcionar ganhos expressivos à produção.

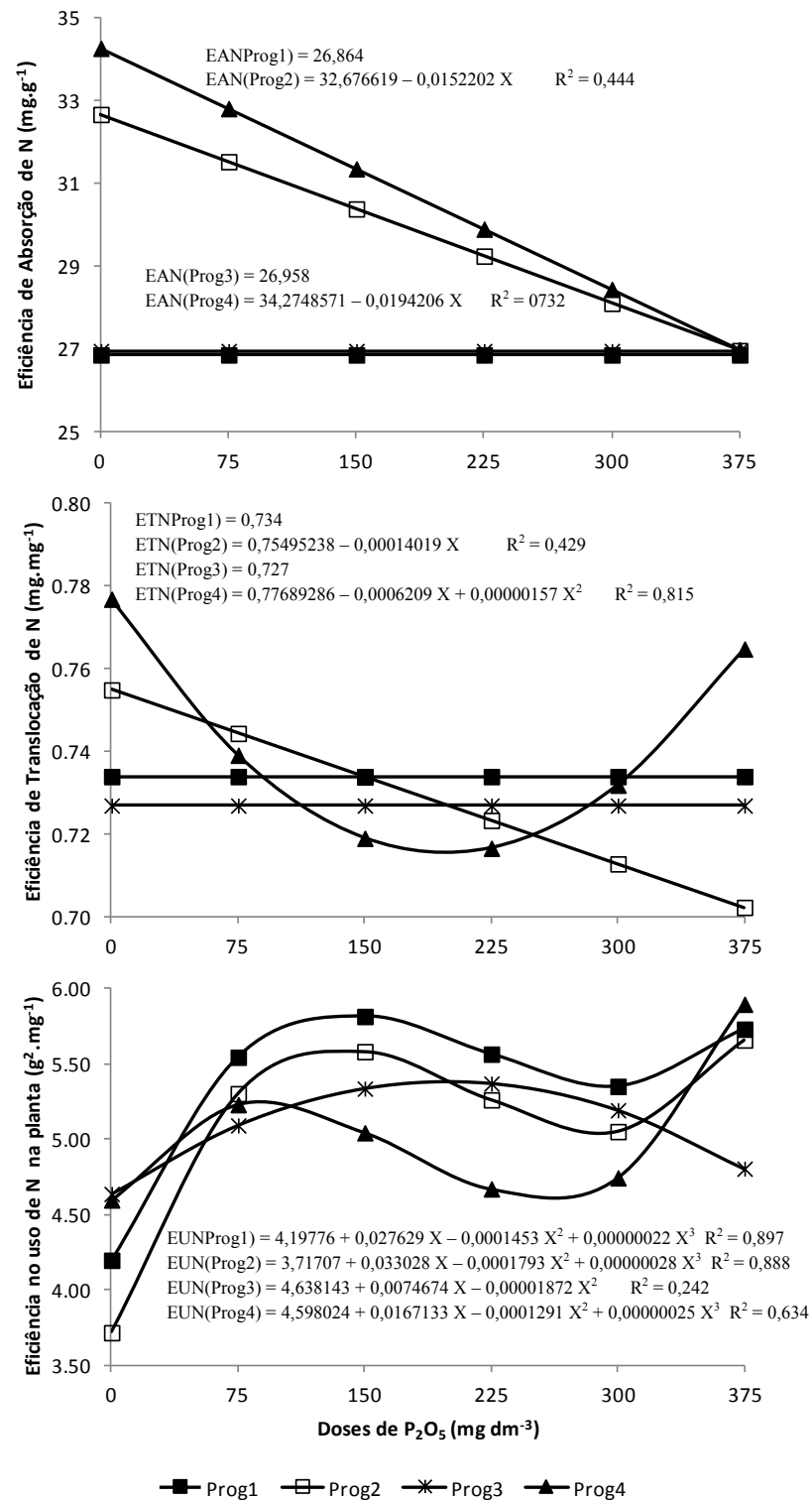


Figura 5. Eficiência de absorção (mg N na planta/g massa seca de raízes), eficiência de translocação (mg N na parte aérea/mg de N na planta) e eficiência de utilização de N [(g massa seca total)²/mg de N na planta], em plantas de quatro progênies de *Eucalyptus grandis* submetidas a seis doses de P.

Tabela 6. Médias de características fisiológicas avaliadas em quatro progênies de *Eucalyptus grandis* submetidas a 0, 75, 150, 225, 300 e 375 mg dm⁻³ de P₂O₅, aos 102 dias após o plantio em vasos.

Características	Progênies*			
	1	2	3	4
A	8,59	8,19	8,24	8,48
E	3,97	3,84	3,76	3,86
g _s	0,319	0,291	0,291	0,312
ET	2,178	2,121	2,177	2,211
EUA	27,64	28,57	28,71	28,05

A - Taxa de assimilação líquida ($\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\text{ s}^{-1}$); E - transpiração ($\text{mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\text{ s}^{-1}$); g_s - condutância estomática ($\text{mol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\text{ s}^{-1}$); ET, EUA - eficiência intrínseca ($\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{mmol}^{-1}\text{ H}_2\text{O}$) e instantânea (EUA, $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{mol}^{-1}\text{ H}_2\text{O}$) no uso da água

Em estudo com 18 clones de *Eucalyptus* spp., Vellini et al. (2008) verificaram que o genótipo que apresentou maiores valores nos parâmetros fisiológicos não necessariamente apresentou os maiores incrementos relativos para as variáveis de crescimento, não diferindo estatisticamente dos clones que apresentaram maiores valores para altura, número de folhas e área foliar, mas apresentando diferença estatística e com valores inferiores para as variáveis diâmetro do coleto, massa seca de folhas, massa seca de caule e massa seca de raízes. Marrichi (2009) também não encontrou relação entre o crescimento de árvores de eucalipto e as taxas fotossintéticas. Otto et al. (2013) destacam que esta ausência de correlação pode se dar, ao menos em parte, pelo fato das avaliações das variáveis acontecerem em momentos distintos, ou seja, o crescimento é resultante de um processo contínuo que resulta no acúmulo de biomassa, enquanto a avaliação de fotossíntese é realizada em uma ocasião pontual durante o crescimento da planta.

As doses de P também não influenciaram os parâmetros fisiológicos, com exceção da progênie 2, que apresentou valores irregulares entre as doses (Figura 6). Tal resultado não era o esperado, já que se sabe que a disponibilidade de fósforo pode provocar alterações na fotossíntese, mesmo em condições ótimas ambientais para o fenômeno, uma vez que o P atua como agente formador da molécula de ATP na fase fotoquímica da fotossíntese, em que os produtos serão utilizados na fase bioquímica (LARCHER, 2000). Baixa produção de ATP afetará diretamente o

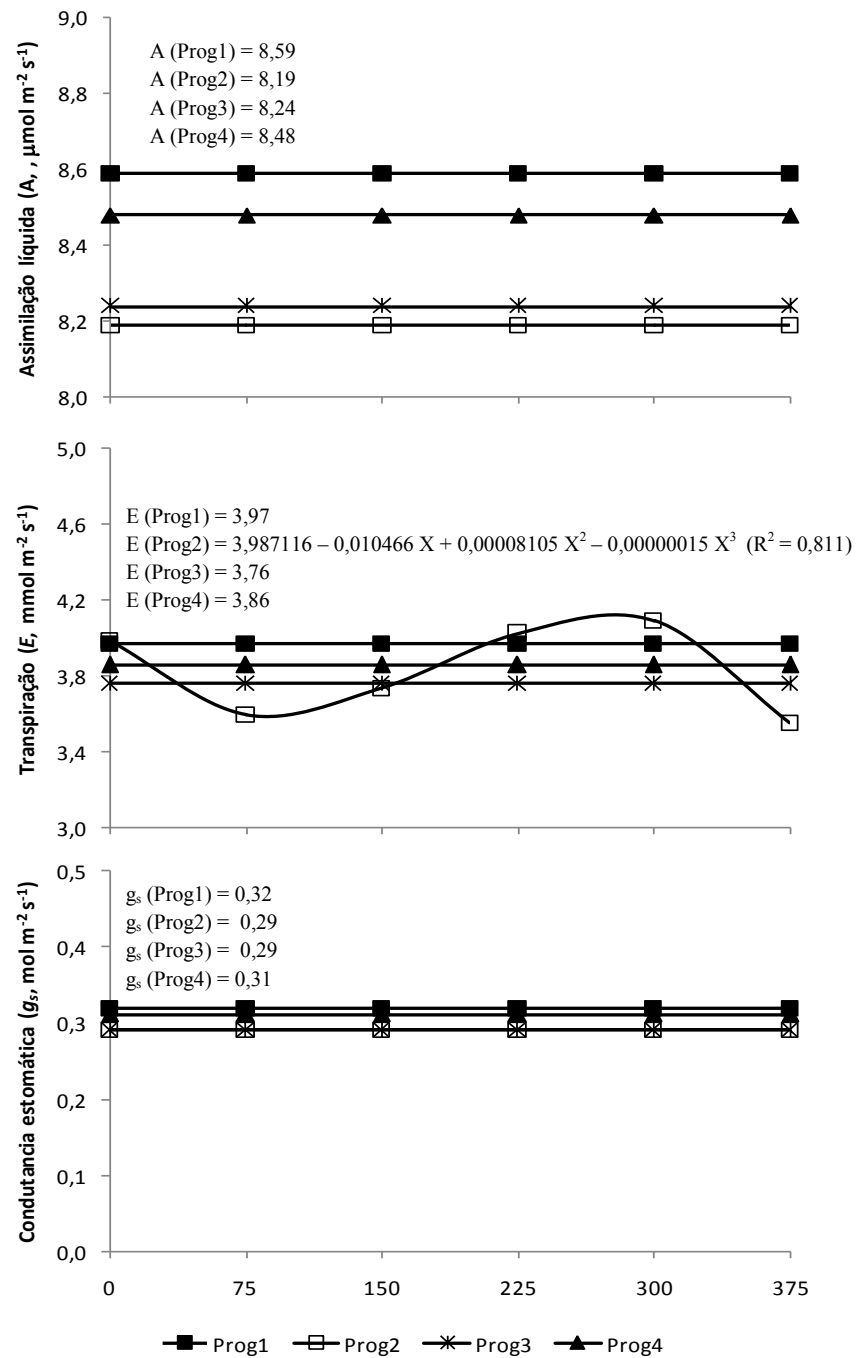


Figura 6. Taxa de assimilação líquida (A , $\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$), transpiração (E , $\text{mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) e condutância estomática (g_s , $\text{mol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) em plantas de quatro progênies de *Eucalyptus grandis* submetidas a seis doses de P.

crescimento das plantas. A não identificação destes efeitos neste estudo pode explicar em parte, a identificação preliminar da boa eficiência nutricional quanto ao uso de P destas progênies em campo.

A condutância estomática neste estudo pode não ter sido afetada em função de um adequado fornecimento de água para as mudas em vasos. Silva et al. (2010) ao analisarem parâmetros fisiológicos em cafeeiros jovens em diferentes níveis de fornecimento de P, observaram menor condutância estomática na ausência de fornecimento de P e menores valores de assimilação de CO₂. A condutância estomática segundo o autor é afetada pela menor fosforilação das aquaporinas, proteína responsável pelo fluxo de água nas plantas e sua condutância hidráulica.

A eficiência intrínseca no uso da água (ET) calculada através da razão da taxa de assimilação líquida de CO₂ pela taxa de transpiração apresentou comportamento variável de acordo com as doses de P (Figura 7). As progênies 1 e 4 tiveram desempenho semelhante, com pequeno aumento na dose de 75 mg dm⁻³ e decrescendo em doses maiores, com novo aumento na dose de 375 mg dm⁻³. A progênie 3 apresentou aumentos na ET até a dose estimada de 192 mg dm⁻³, decrescendo nas doses superiores. A progênie 2 não mostrou alteração em ET com a variação das doses. Na ausência da adubação fosfatada, as progênies apresentaram praticamente os mesmos valores, sendo a progênie 3 aquela que apresentou o menor valor. Já para a eficiência instantânea do uso da água (EUA) obtida pela razão entre a taxa de assimilação líquida de CO₂ pela condutância estomática não houve alterações nos valores para as progênies, com exceção da progênie 4, que apresentou uma redução linear com o aumento das doses de P. Esta ausência de variação é reflexo da também baixa variação encontrada nos valores de assimilação e condutância encontrada nas progênies em função das doses de P.

A eficiência do uso da água pode ser definida como a quantidade de água transpirada para a produção de matéria seca ou pela fixação de carbono. A maior eficiência do uso da água pode estar relacionada ou a um maior crescimento e, ou fotossíntese ou a maior taxa de fechamento dos estômatos (MENDES, 2011).

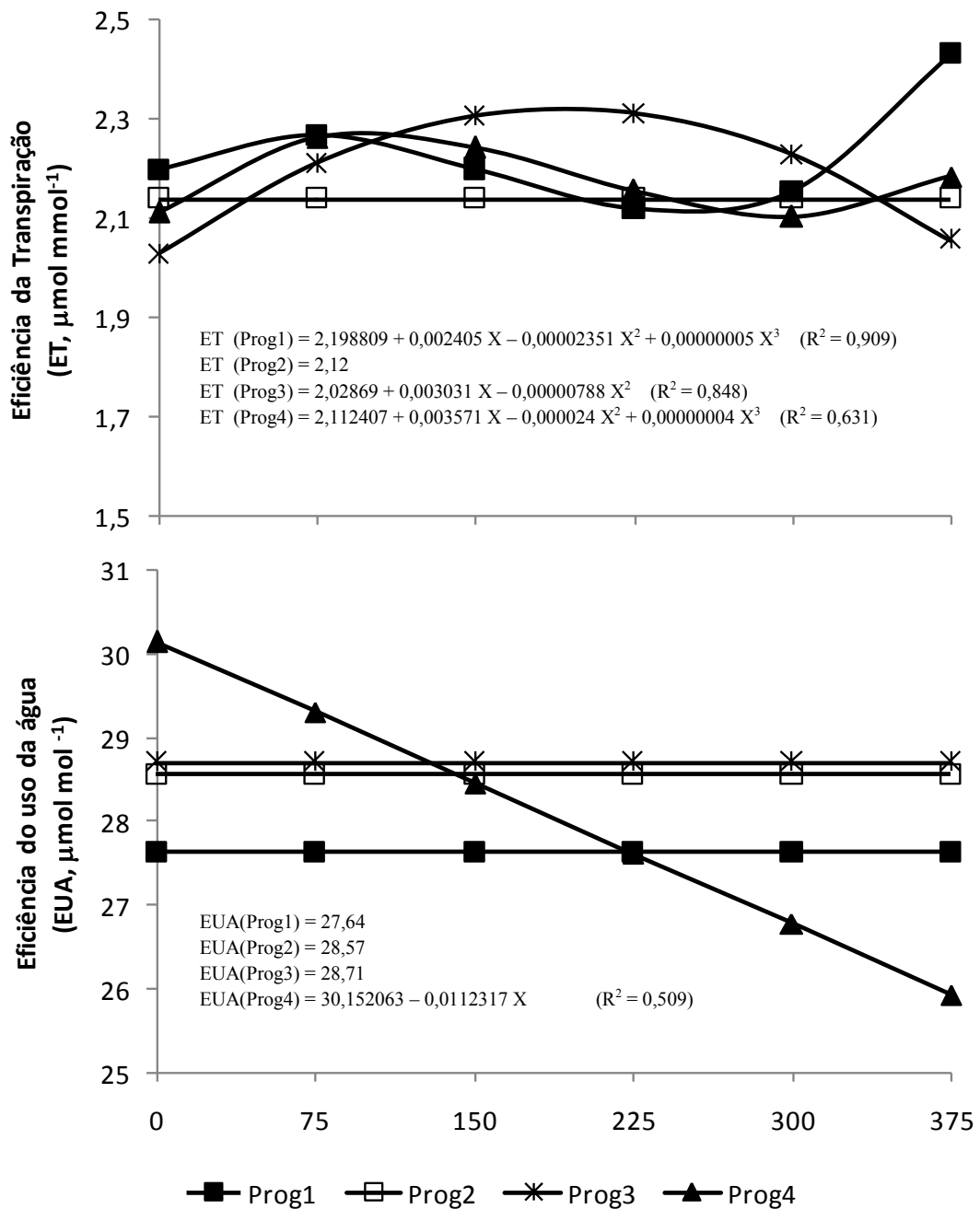


Figura 7. Eficiência intrínseca (ET, $\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{mmol}^{-1} \text{H}_2\text{O}$) e instantânea (EUA, $\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{mol}^{-1} \text{H}_2\text{O}$) no uso da água de plantas de quatro progênies de *Eucalyptus grandis* submetidas a seis doses de P.

4.5. Atividade da Fosfatase Ácida

A atividade da fosfatase ácida nos solos cultivados com as progênes foi maior do que a observada com o solo sem cultivo, todos sem a aplicação de P. Dada a grande variabilidade nos dados, não foram detectadas diferenças entre as progênes na atividade da fosfatase ácida. A progênie 3 que apresentou valores absolutos superiores de atividade da fosfatase ácida, também apresentou altos valores para a massa de matéria seca de raízes (MSR) e conteúdo de P nas raízes (CPR), mas o mesmo não foi observado para a progênie 1 (Tabela 7). Ambas não apresentaram os maiores valores de acúmulo de P nos tecidos (CPT), o que corrobora com o estudo de Silva e Basso (1993) que também verificaram uma correlação negativa entre a atividade de fosfatase ácida e o acúmulo de P nos tecidos e o crescimento em plantas de cana-de-açúcar. A atividade de fosfatase também parece não ter influenciado significativamente as eficiências de absorção e utilização das progênes.

Em experimento conduzido em campo com diferentes cultivares de feijão, Oliveira et al. (1999) encontraram uma correlação negativa entre parâmetros de crescimento e a atividade de fosfatase ácida. Os autores discutem que em plantas com maior atividade da enzima, houve uma menor produção de biomassa radicular, e que este primeiro é reflexo desta baixa produção, sendo a maior produção da enzima responsável pela complementação da nutrição com fósforo. Fernandes et al. (1998) também não encontraram correlação entre a atividade de fosfatase ácida e o estado nutricional das plantas.

A quantificação de atividades enzimáticas nem sempre é uma tarefa simples, por ser influenciada por diversos fatores, dentre os principais, o pH do meio e a temperatura (GIONGO, 2006), o que explica a grande variabilidade nos dados experimentais e conseqüentemente a não detecção de diferenças estatísticas.

Tabela 7. Resumo da análise de variância e comparação de médias de tratamentos para atividade da fosfatase ácida ($\mu\text{g } p\text{-NFP.g}^{-1} \text{ solo seco.h}^{-1}$) em solos cultivados (Progênes 1 a 4) ou não (Solo) com progênes de *Eucalyptus grandis*, na ausência de adubação fosfatada.

Fonte de Variação	Graus de Liberdade	Nível de significância do teste F para as diferentes causas de variação
Bloco	3	0,0781
Tratamentos	4	(0,0073)
Progênes	3	0,2258
Progênes vs Solo	1	0,0012
CV (%)		16,83
Tratamentos		Médias \pm desvio-padrão
Progênie 1		93,690 \pm 16,540
Progênie 2		72,573 \pm 17,890
Progênie 3		87,972 \pm 17,240
Progênie 4		82,015 \pm 16,450
Média das 4 Progênes		84,063 \pm 17,246 a
Solo		53,093 \pm 05,020 b

5. CONCLUSÕES

Progênes de *Eucalyptus grandis* apresentam exigências diferenciadas de P na fase inicial de crescimento.

Doses maiores que 225 mg dm⁻³ de P₂O₅ não proporcionam ganhos em crescimento e acúmulo de biomassa em progênes de *Eucalyptus grandis*.

A eficiência de utilização de P em progênes de *Eucalyptus grandis* diminui com o aumento da disponibilidade de P no solo, com tendência de estabilização a partir de 225 mg dm⁻³ de P₂O₅.

As progênes 3 e 4 são estáveis quanto à produção de biomassa em ambientes de elevada e baixa disponibilidade de fósforo, sendo recomendada o seu cultivo em ambientes de baixa oferta do elemento e de menor investimento em fertilização.

A progênie 2 é altamente responsiva ao maior suprimento de fósforo, sendo exigente à oferta do elemento, não sendo portanto recomendado o seu cultivo em ambientes com baixa disponibilidade de fósforo, sobretudo com pouco investimento em tecnologia de fertilização.

A progênie 1 apresenta menor eficiência de utilização de P na ausência da adubação fosfatada, mas apresenta entretanto, elevados indicadores de potencial fotossintético, demonstrando ser uma progênie também de bom potencial de produção de biomassa e responsiva ao suprimento de P.

A progênie 4 demonstra ser uma progênie de elevado potencial para uso em programas de melhoramento para aumento da eficiência de uso de P, visto os elevados valores encontrados para a eficiência de absorção e utilização de P mesmo em ambientes com baixa oferta do elemento. Além disso, a progênie também demonstra bons indicadores de eficiência de absorção e uso de N, nestes mesmos ambientes de restrição de P, o que também deve trazer benefícios para a produtividade.

6. REFERÊNCIAS

- ABICHEQUER, A. D. **Eficiência de absorção e utilização de fósforo por variedade de trigo**. 1995. 90 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1995.
- ALMEIDA, J. C. R. **Nutrição, crescimento, eficiência do uso de água e de nutrientes em povoamentos de *Eucalyptus grandis* fertilizados com potássio e sódio**. 2009. 112 f. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.
- ALVES, V. M. C.; NOVAIS, R. F.; OLIVEIRA, M. F. G.; BARROS, N. F. Efeito da omissão de fósforo na absorção de nitrogênio por híbridos de milho (*Zeamays* L.). **Revista Ceres**, Viçosa, v. 43, n. 248, p. 435-443, 1996.
- ARAÚJO, E. F.; SOUZA, A. J.; SILVEIRA, R. L. V. A. Método da matriz para avaliação nutricional de clones de *Eucalyptus* na região sul da Bahia. In: REUNIÃO BRASILEIRA DEFERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 25.; REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 8.; SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 6.; REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO – FERTBIO, 3.; 2000, Santa Maria, RS. Santa Maria: SBCS, 2000. 1 CD-ROM.
- BANZATO, D. A.; KRONKA, S. N. **Experimentação agrícola**. 4. ed. Jaboticabal: FUNEP, 2006. 237 p.
- BARROS, N. F.; COMERFORD, N. B. Sustentabilidade da produção de florestas plantadas na região tropical. In: ALVAREZ, V. V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R.; BARROS, N. F.; MELLO, J. W. V.; COSTA, L. M. (Ed.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002. v. 2. p.487-592.
- 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. (Ed.). **Relação solo-eucalipto**. Viçosa: Folha de Viçosa, 1990. p. 127-186.
- 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., 1085, Belém. **Resumos...** Belém: SBCS, 1985. p. 109
- BATISTA, K. D. **Características morfoanatômicas de raízes de milho e de sorgo cultivados sob diferentes condições concentrações de fósforo**. 2012. 87 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2012.
- CAMARGO, M. L. P.; MORAES, C. B.; MORI, E. S.; GUERRINI, I. A.; MELLO, E. J.; ODA, S. Considerações sobre eficiência nutricional em *Eucalyptus*. **Cientifica**, São Paulo, v. 32, n. 2, p. 191-196, 2004,

FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C.; LI, Y. C. The role of nutrient efficient plants in improving crop yields in the twenty first century. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 31, n. 6, p. 1121–1157, 2008. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1080/01904160802116068>>.

FARIA, G. E.; BARROS, N. F.; CUNHA, V. L. P.; MARTINS, I. S.; MARTINS, R. C. C. Avaliação da produtividade, conteúdo e eficiência de utilização de nutrientes em genótipos de *Eucalyptus spp.* no vale do Jequitinhonha, MG. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 18, n. 3, p. 363-373, 2008.

FERNANDES, L. A.; FURTINI NETO, A. E.; CURI, N.; LIMA, J. M.; GUEDES, G. A. A. Fósforo e atividade de fosfatase em dois solos sob diferentes condições de uso. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 33, n. 7, p. 1159-1170, 1998.

FURTINI NETO, A. E.; BARROS, N. F.; GODOY, M. F.; NOVAIS, R. F. Eficiência nutricional de mudas de *Eucalyptus* em relação a fósforo. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 20, n. 1, p. 17-28, 1996.

GAHOONIA, T. S.; NIELSEN, N. E. Root traits as tools for creating phosphorus: efficient crop varieties. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 260, n. 1-2, p. 47-57, 2004.

GAXIOLA, R. A.; EDWARDS, M.; ELSER, J. J. A transgenic approach to enhance phosphorus use efficiency in crops as part of a comprehensive strategy for sustainable agriculture. **Chemosphere**, Oxford, v. 84, n. 6, p. 840–845, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2011.01.062>>.

GIONGO, J. L. **Caracterização e aplicação de proteases produzidas por linhagens de *Bacillus* sp.** 2006. 80 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

GONÇALVES, M. R.; PASSOS, C. A. M. Crescimento de cinco espécies de eucalipto submetidas a déficit hídrico em dois níveis de fósforo. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 10, n. 2, p. 145-161, 2000.

GONÇALVES, J. L. M.; RAIJ, B. van; GONÇALVES, J. C. Florestas. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; GUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (Ed.). **Recomendação de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas/Fundação IAC, 1997. p. 245-259.

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

HARPER, J. L.; JONES, M.; SACKVILLE-HAMILTON, N. R. The evolution of roots and the problems of analysing their behaviour. In: ATKINSON, D. (Ed.). **Plant root growth: an ecological perspective**. Oxford: Blackwell, 1991. p. 3-22.

HODGE, A. Root decisions. **Plant, Cell and Environment**, Oxford, v. 32, n. 6, p. 628–640, 2009. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-3040.2008.01891.x>>.

HOFFLAND, E.; WEI, C.; WISSUWA, M. Organic acid exudation by lowland rice (*Oryza sativa* L.) at zinc and phosphorus deficiency. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 283, n. 1-2, p. 155–162, 2006.

IBÁ. Indústria Brasileira de Árvores. **Relatório Ibá 2014**. 100 p. Disponível em: <http://www.iba.org/shared/iba_2014_pt.pdf>. Acesso em: 23 jan. 2014.

INOUE, M. T.; RIBEIRO, F. A. Fotossíntese e transpiração de clones de *Eucalyptus grandise E. saligna*. **IPEF**, Piracicaba, n. 40, p. 15-20, 1988.

ISRAEL, D. W.; RUFTY, J. W. Influence of phosphorus nutrition on phosphorus and nitrogen utilization efficiencies and associated physiological responses in soybean. **Crop Science**, Madison, v. 28, p. 954-960, 1988. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.2135/cropsci1988.0011183X002800060018x>>.

KUWAHARA, F.A.; SOUZA, G.M. Fósforo como possível mitigador dos efeitos da deficiência hídrica sobre o crescimento e as trocas gasosas de *Brachiaria brizanta* cv. MG-5 Vitória. **Acta Scientiarum: agronomy**, Maringá, v. 31, n. 2, p. 261-267, 2009. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.4025/actasciagron.v31i2.836>>.

LAMBERS, H.; SHAN, M. W.; CRAMER, M. D.; PEARSE, S. J.; VENEKLAAS, E. J. Root structure and functioning for efficient acquisition of phosphorus: matching morphological and physiological traits. **Annals of Botany**, London, v. 98, n. 4, p. 693–713, 2006.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: RiMa Editora, 2000. 550 p.

LAWLOR, D. W.; CORNIC, G. Photosynthetic carbon and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. **Plant, Cell and Environment**, Oxford, v. 25, n. 2, p. 275-294, 2002.

LI, B.; McKEAND, S. E.; ALLEN, H. L. Genetic variation in nitrogen use efficiency of loblolly pine seedlings. **Forest Science**, Bethesda, v. 37, n. 2, p. 613-626, 1991.

LOPES, A. S. **Manual internacional da fertilidade do solo**. Piracicaba: POTAFOS, 1998.

LYNCH, J. P.; HO, M. D. Rhizo economics: carbon costs of phosphorus acquisition. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 269, p. 45–56, 2005.

MACHADO, C. T. T.; FURLANI, A. M. C.; MACHADO, A. T. Índices de eficiência de variedades locais e melhoradas de milho ao fósforo. **Bragantia**, Campinas, v. 60, n. 3, p. 225-238, 2001.

MAIA, C.; DO VALE, J. C.; FRITSCHÉ-NETO, R.; CAVATTE, P. C.; MIRANDA, G. V. The difference between breeding for nutrient use efficiency and for nutrient stress tolerance. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa, v. 11, n. 3, p. 270-275, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1984-70332011000300010>>.

MARENCO, R. A.; LOPES, N. F. **Fisiologia vegetal**: fotossíntese, respiração, relações hídricas e nutrição mineral. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2009. 451 p

MARRICHI, A. H. C. **Caracterização da capacidade fotossintética e da condutância estomática em sete clones comerciais de *Eucalyptus* e seus padrões de resposta ao déficit de pressão de vapor**. 2009. 104 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. San Diego: Academic Press, 1995. 889 p.

MENARD, L. N.; MALAVOLTA, E. Estudos com adubos fosfatados marcados com fósforo - 32. In: INTER-AMERICAN SYMPOSIUM ON THE PEACEFUL APPLICATION OF NUCLEAR ENERGY, 4., 1962, Mexico City. v. 2, p. 219-223.

MENDES, H. S. J. **Comportamento de clones de eucalipto em resposta a disponibilidade hídrica e adubação potássica**. 2011. 43 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Genética e Melhoramento de Plantas) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2011.

MENDES, K. R.; MARENCO, R. A.; MAGALHÃES, N. S. Crescimento e eficiência fotossintética de uso do nitrogênio e fósforo em espécies florestais da Amazônia na fase juvenil. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 37, n. 4, p. 707-716, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622013000400014>>.

MIRANDA, A. C. **Produtividade, estabilidade e adaptabilidade em progênies de *Eucalyptus grandis***. 2012. 56 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2012.

MOLL, R. H.; KAMPRATH, E. J.; JACKSON, W. A. Analysis and interpretation of factors which contribute to efficiency of nitrogen utilization. **Agronomy Journal**, Madison, v. 74, n. 3, p. 562-564, 1982.

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. Nutrição mineral do eucalipto. In: BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F. **Relação solo-eucalipto**. Viçosa: Folha de Viçosa, 1990. p. 25-98.

OLIVEIRA, I. P.; THUNG, M. D.; SOUZA, C. M. R.; SANTOS, R. S. M. Atividade da fosfatase ácida no feijoeiro e sua correlação com parâmetros de crescimento. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 29, n. 2, p. 43-49, 1999.

OTTO, M. S.G.; VERGANI, A. R.; GONÇALVES, A. N.; VRECHI, A.; SILVA, S. R.; STAPE, J. L. Fotossíntese, condutância estomática e produtividade de clones de *Eucalyptus* sob diferentes condições edafoclimáticas. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 37, n. 3, p. 431-439, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622013000300006>>.

PARENTONI, S. N.; SOUZA, C. L. de. Phosphorus acquisition and internal utilization efficiency in tropical maize genotypes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 7, p. 893-901, 2008.

PARENTONI, S. N.; MENDES, F. F.; GUIMARÃES, L. J. M. Melhoramento para eficiência no uso do fósforo. In: FRITSCHÉ-NETO, R.; BOREM, A. (Ed.). **Melhoramento de plantas para condições de estresses abióticos**. Visconde do Rio Branco: Suprema, 2011. p. 101-126.

PAULA, R. C.; PAULA, N. F.; VALERI, S. V.; CRUZ, M. C. P.; TOLFO, A. L. T. Controle genético da eficiência de utilização de fósforo em famílias de meio-irmãos de *Eucalyptus grandis*, em casa de vegetação. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 27, n. 1, p. 25-34, 2003. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622003000100004>>.

PINTO, S. I. C.; FURTINI NETO, A. E.; NEVES, J. C. L.; FAQUIN, V.; MORETTI, B. S. Eficiência nutricional de clones de eucalipto na fase de mudas cultivadas em solução nutritiva. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 2, p. 523-533, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832011000200021>>.

PITA, P.; CAÑAS, I.; SORIA, F.; RUIZ, F.; TOVAL, G. Use of physiological traits in tree breeding for improved yield in drought-prone environments. The case of *Eucalyptus globulus*. **Investigación Agraria: sistemas y recursos forestales**, Madrid, v. 14, n. 1, p. 383-393, 2005.

RAGHOTHAMA, K. G. Phosphate acquisition. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Palo Alto, v. 50, p. 665-693, 1999.

RAMAEKERS, L.; REMANS, R.; RAO, I. M.; BLAIR, M. W.; VANDERLEYDEN, J. Strategies for improving phosphorus acquisition efficiency of crop plants. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 117, n. 2-3, p. 169-176, 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.fcr.2010.03.001>>.

RICHARDSON, A. E. Regulating the phosphorus nutrition of plants: molecular biology meeting agronomic needs. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 322, n. 1-2, p. 17-24, 2009.

RICHARDSON, A. E.; HOCKING, P. J.; SIMPSON, R. J.; GEORGE, T. S. Plant mechanisms to optimize access to soil phosphorus. **Crop and Pasture Science**,

Collingwood, v. 60, p. 124–143, 2009. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1071/CP07125>>.

SANTANA, R. C.; BARROS, N. F.; NEVES, J. C. L. Biomassa e conteúdo de nutrientes de procedências de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* em alguns sítios florestais do Estado de São Paulo. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 56, p. 155-169, 1999.

SANTANA, R. C.; BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F., LEITA, H. G.; COMERFORD, N. B. Alocação de nutrientes em plantios de eucalipto no Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. esp., p. 2723-2733, 2008.

SARRUGE, J. R.; HAAG, H. P. **Análise química das plantas**. Piracicaba: ESALQ, 1974. 56 p.

SAS INSTITUTE. **SAS procedures guide**: version8 (TSMO). Cary, 1999. 454 p.

SIDDIQI, 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**, New York, v. 4, n. 3, p. 289-302, 1981.

SILVA, L. A. **Fenotipagem para a eficiência de fósforo em linhagens de sorgo**. 2012. 83 f. Tese (Doutorado em Agronomia – Genética e Melhoramento de Plantas) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, SP, 2012.

SILVA, F. C.; BASSO, L. C. Avaliação da atividade in vivo da fosfatase ácida na folha na diagnose da nutrição fosfórica em cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 17, p. 371-375, 1993.

SILVA, H. D.; POGGIANI, F.; COELHO, L. C. Eficiência de utilização de nutrientes em cinco espécies de *Eucalyptus*. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Curitiba, v. 6/7, p. 1-8, 1983.

SILVA, L.; MARCHIORI, P. E. R.; MACIEL, C. P.; MACHADO, E. C.; RIBEIRO, R. V. Fotossíntese, relações hídricas e crescimento de cafeeiros jovens em relação à disponibilidade de fósforo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, n. 9, 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2010000900005>>.

SILVEIRA, L. V. A. R.; GAVA, J. L. Nutrição e adubação fosfatada em *Eucalyptus*. In: YAMADA, T.; STIPP-ABDALLA, S. R.(Ed.). **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba: POTAFOS, 2004. p. 495-536.

STAHL, J.; ERNANI, P. R.; GATIBONI, L. C.; CHAVES, D. M. Produção de massa seca e eficiência nutricional de clones de *Eucalyptus dunnii* e *Eucalyptus benthamii* em função da adição de doses de fósforo ao solo. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 23, n. 2, p. 287-295, 2013.

STAPE, J. L.; BINKLEY, D.; RYAN, M. G. *Eucalyptus* production and the supply, use and efficiency of use of water, light and nitrogen across a geographic gradient in Brazil. **Forest Ecology and Management**, New York, v. 193, p. 17–31, 2004.

STAPE, J. L.; BINKLEY, D.; RYAN, M. G.; FONSECA, S.; LOOS, R. A.; TAKAHASHI, E. N.; SILVA, C. R.; HAKAMADA, R. E.; FERREIRA, J. M.; LIMA, A. M. N.; GAVA, J. L.; LEITE, F. P.; ANDRADE, H. B.; ALVES, J. M.; SILVA, G. G. C.; AZEVEDO, M. R. The Brazil *Eucalyptus* productivity project: influence of water, nutrients and stand uniformity on wood production. **Forest Ecology and Management**, New York, v. 259, n. 9, p. 1684-1694, 2010. Disponível em <<http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2010.01.012>>.

STITT, M. Fructose – 2,6 – biphosphate as a regulatory molecule in plants. **Forest Ecology and Management**, New York, v. 41, p. 153-185, 1990.

SWIADER, J. M.; CHYAN, Y.; FREIJI, F. G. Genotypic differences in nitrate uptake and utilization efficiency in pumpkin hybrids. **Journal Plant Nutrition**, New York, v. 17, n. 10, p. 1687-1699, 1994. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1080/01904169409364840>>.

SYERS, J. K.; JOHNSTON, A. E.; CURTIN, D. **Efficiency of soil and fertilizer phosphorus use. Reconciling changing concepts of soil phosphorus behavior with agronomic information**. Rome: FAO, 2008. 108 p. (Fertilizer and Plant Nutrition Bulletin, 18).

TABATABAI, M. A.; BREMNER, J. M. Use of p-nitrophenyl phosphate for assay of soil phosphatase activity. **Soil Biology Biochemistry**, Amsterdam, v. 1, n. 4, p. 301-307, 1969. Disponível em: <[http://dx.doi.org/10.1016/0038-0717\(69\)90012-1](http://dx.doi.org/10.1016/0038-0717(69)90012-1)>.

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

VELLINI, A. L. T. T.; PAULA, N. F.; ALVES, P. L. C. A.; PAVANI, L. C.; BONINE, C. A. V.; SCARPINATI, E. A.; PAULA, R. C. Respostas fisiológicas de diferentes clones de eucalipto sob diferentes regimes de irrigação. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 32, n. 4, p. 651-663, 2008. Disponível em: <>.

VENEKLAAS, E. J.; LAMBERS, H.; BRAGG, J.; FINNEGAN, P. M.; LOVELOCK, C. E.; PLAXTON, W. C.; PRICE, C. A.; SCHEIBLE, W. R.; SHANE, M. W.; WHITE, P. J.; RAVEN, J. A. Opportunities for improving phosphorus-use efficiency in crop plants. **New Phytologist**, Oxford, v. 195, n. 2, p. 306–320, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1111/j.1469-8137.2012.04190.x>>.

VIEIRA, M. C.; PEREZ, V. B.; HEREDIA ZÁRATE N. A.; SANTOS, M. C.; PELLOSO, I. A. O.; PESSOA, S M. Nitrogênio e fósforo no desenvolvimento inicial da guavira [*Campomanesiaadamantium* (Cambess.) O. Berg] cultivada em vasos. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, Botucatu, v. 13, n. esp., p. 542-549, 2011.

VIERA, M.; BONACINA, D. M.; D'ÁVILA, R. C.; CALIL, F. N.; SCHUMACHER, M. V.; RAMIRES, G. A.; RAMOS, L. O. O. Eficiência de utilização de nutrientes em povoamentos de *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus urograndis* no município de Piratini, Rio Grande do Sul. In: SIMPÓSIO LATINO AMERICANO SOBRE MANEJO FLORESTAL, 4., 2008, Santa Maria, RS. **Anais...** p. 321-326.

WANG, X.; SHEN, J.; LIAO, H. Acquisition or utilization, which is more critical for enhancing phosphorus efficiency in modern crops? **Plant and Science**, Shannon, v. 179, n. 4, p. 302–306, 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.plantsci.2010.06.007>>.

YAMADA, T. **Melhoria na eficiência da adubação aproveitando as interações entre os nutrientes**. Piracicaba: POTAFÓS, 2002. 5 p. (Informações Agronômicas, 100).