

**CINÉTICA DE ABSORÇÃO CONJUNTA DE
FÓSFORO, POTÁSSIO, CÁLCIO E
MAGNÉSIO E EFICIÊNCIA NUTRICIONAL
DE MACRONUTRIENTES DE CLONES DE
EUCALIPTO**

SHEILA ISABEL DO CARMO PINTO

2009

SHEILA ISABEL DO CARMO PINTO

**CINÉTICA DE ABSORÇÃO CONJUNTA DE FÓSFORO, POTÁSSIO,
CÁLCIO E MAGNÉSIO E EFICIÊNCIA NUTRICIONAL DE
MACRONUTRIENTES DE CLONES DE EUCALIPTO**

Tese apresentada à Universidade Federal de
Lavras, como parte das exigências do Curso de
Doutorado em Ciência do Solo para a obtenção
do título de "Doutor".

Orientador

Prof. Antonio Eduardo Furtini Neto

LAVRAS
MINAS GERAIS - BRASIL
2009

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca Central da UFLA**

Pinto, Sheila Isabel do Carmo.

Cinética de absorção conjunta de fósforo, potássio, cálcio e magnésio e eficiência nutricional de macronutrientes de clones de eucalipto / Sheila Isabel do Carmo Pinto. – Lavras : UFLA, 2009.
102 p. : il.

Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Lavras, 2009.

Orientador: Antonio Eduardo Furtini Neto.

Bibliografia.

1. Parâmetros cinéticos. 2. Influxo de nutrientes. 3. Eficiência nutricional. 4. Eucalipto. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 634.97342

SHEILA ISABEL DO CARMO PINTO

**CINÉTICA DE ABSORÇÃO CONJUNTA DE FÓSFORO, POTÁSSIO,
CÁLCIO E MAGNÉSIO E EFICIÊNCIA NUTRICIONAL DE
MACRONUTRIENTES DE CLONES DE EUCALIPTO**

Tese apresentada à Universidade Federal de
Lavras, como parte das exigências do Curso de
Doutorado em Ciência do Solo para a obtenção
do título de "Doutor".

APROVADA em 06 de abril de 2009

Pesq. Dra. Ângela de Fátima Barbosa Abreu	EMBRAPA/CNPAF
Profa. Dra. Janice Guedes de Carvalho	DCS/UFLA
Prof. Dr. Júlio César Lima Neves	DPS/UFV
Prof. Dr. Valdemar Faquin	DCS/UFLA

Prof. Dr. Antonio Eduardo Furtini Neto
UFLA
(Orientador)

LAVRAS
MINAS GERAIS – BRASIL

A Deus pelo amparo e proteção constante em minha vida.

Aos meus pais e irmãos pelo apoio e incentivo
em todos os momentos.

OFEREÇO

“A inteligência infinita reage à natureza dos nossos pensamentos, o que sentimos
nós atraímos, o que contemplamos nós nos tornamos, qualquer idéia que
carregamos de sentimentos e entusiasmo se tornará objetivada em nossa vida”.

Joanna de Ângelis

Aos meus pais, Joana D’arc Fássio Pinto e José Cupertino Pinto, pela confiança,
dedicação, carinho e amor.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus pelas oportunidades que me concede, pelo auxílio e proteção em todos os instantes de minha vida.

Aqueles que se dedicaram ao meu crescimento pessoal e profissional, por meio do apoio, incentivo e amor: meus pais (Joana D'arc Fássio Pinto e José Cupertino Pinto) e irmãos (Cláudio Eugênio Pinto e Israel Adriano Pinto).

À Universidade Federal de Lavras (UFLA) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela oportunidade de realizar o curso e pela concessão da bolsa de estudo.

Ao professor Antonio Eduardo Furtini Neto pela amizade, orientação e ensinamentos transmitidos durante o curso.

Ao professor do Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa, Júlio César Lima Neves, pela orientação, apoio fornecido e, principalmente, pelo exemplo de ética no exercício da profissão.

Aos professores Valdemar Faquin e Janice Guedes de Carvalho e à pesquisadora da Embrapa (CNPAP) Ângela de Fátima Barbosa Abreu pelos ensinamentos e sugestões na correção do presente trabalho.

Ao Viveiro Esteio pela concessão das mudas dos clones de eucalipto utilizadas na realização do presente trabalho.

A Embrapa (CNPMS) na pessoa do pesquisador Dr. Paulo César Magalhães pelo auxílio na caracterização da morfologia radicular dos clones de eucalipto.

Ao professor Joaquim Paulo da Silva do Departamento de Ciências Exatas e seu estagiário Bruno Montoani pela ajuda na montagem da câmara de crescimento.

Aos professores do Departamento de Ciência do Solo pelos conhecimentos transmitidos durante o curso.

Aos funcionários do Departamento de Ciência do Solo pelo auxílio e convivência.

À secretária do Departamento de Ciência do Solo, Daniela, pela dedicação e colaboração no transcorrer do curso.

Ao laboratorista Roberto Lelis Mesquita pela convivência e auxílio em todas as etapas do presente trabalho.

Ao bolsista Bruno da Silva Moretti pela valiosa colaboração nos experimentos.

Aos colegas do curso de pós-graduação pela salutar convivência.

Aos amigos do Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas Josinaldo, Sílvio, Fabrício, José Zilton, Leandro, Thiago pelo convívio e troca de experiências.

Finalmente, agradeço às demais pessoas que, direta ou indiretamente me ajudaram, seja com um sorriso ou com uma palavra de incentivo.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE TABELAS.....	i
LISTA DE FIGURAS.....	iii
RESUMO GERAL.....	v
GENERAL ABSTRACT.....	vii
1 Introdução Geral.....	01
2 Referências Bibliográficas.....	07
CAPÍTULO 1: Morfologia radicular e cinética de absorção conjunta de fósforo, potássio, cálcio e magnésio em clones de eucalipto.....	14
1 Resumo.....	15
2 Abstract.....	16
3 Introdução.....	17
4 Material e Métodos.....	20
5 Resultados e Discussão.....	23
5.1 Morfologia radicular.....	23
5.2 Cinética de absorção de P, K, Ca e Mg.....	26
6 Conclusões.....	42
7 Referências Bibliográficas.....	43
CAPÍTULO 2: Eficiência nutricional de clones de eucalipto na fase de mudas cultivados em solução nutritiva.....	50
1 Resumo.....	51
2 Abstract.....	53
3 Introdução.....	55

4 Material e Métodos.....	58
5 Resultados e Discussão.....	61
5.1 Crescimento e produção de biomassa.....	61
5.2 Eficiência nutricional.....	65
6 Conclusão.....	87
7 Referências Bibliográficas.....	88
ANEXOS.....	94

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1

		Página
TABELA 1	Comprimento, volume, área de superfície, diâmetro médio e área específica das raízes de seis clones de eucalipto.....	24
TABELA 2	Valores de Vmax para P, K, Ca e Mg apresentados pelos seis clones de eucalipto em função da produção de matéria fresca (MF) e seca de raiz (MS), diâmetro médio (DM), área (A), volume (V) e comprimento (C) de raiz	27
TABELA 3	Valores de Km, Cmin, Vmax e poder de absorção (α) para P, K, Ca e Mg apresentados pelos seis clones de eucalipto.....	29

CAPÍTULO 2

TABELA 1	Altura, diâmetro do caule e área foliar de seis clones de eucalipto.....	62
TABELA 2	Produção de matéria seca pela parte aérea (MSPA), pelo sistema radicular (MSR), total (MST) e relação entre a matéria seca da parte aérea e raiz (MSPA/MSR) apresentada pelos seis clones de eucalipto.....	63

TABELA 3	Teores, acúmulos e eficiências de absorção (EA), translocação (ET) e utilização (EU) dos macronutrientes por seis clones de eucalipto.....	66
TABELA 4	Eficiência de utilização dos nutrientes na produção de matéria seca da parte aérea (EUPA) por seis clones de eucalipto.....	82

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

		Página
FIGURA 1	Influxo líquido de P em mudas de seis clones de eucalipto de acordo com suas respectivas concentrações em solução.....	32
FIGURA 2	Influxo líquido de K em mudas de seis clones de eucalipto de acordo com suas respectivas concentrações em solução.....	34
FIGURA 3	Influxo líquido de Ca em mudas de seis clones de eucalipto de acordo com suas respectivas concentrações em solução.....	36
FIGURA 4	Influxo líquido de Mg em mudas de seis clones de eucalipto de acordo com suas respectivas concentrações em solução.....	38

CAPÍTULO 2

FIGURA 1	Matéria seca total das mudas de eucalipto em função da área foliar para os seis clones de eucalipto.....	65
----------	--	----

FIGURA 2	Diagrama de distribuição dos clones de eucalipto em função das eficiências de absorção e utilização do nitrogênio.....	69
FIGURA 3	Diagrama de distribuição dos clones de eucalipto em função das eficiências de absorção e utilização do fósforo.....	72
FIGURA 4	Diagrama de distribuição dos clones de eucalipto em função das eficiências de absorção e utilização do potássio.....	74
FIGURA 5	Diagrama de distribuição dos clones de eucalipto em função das eficiências de absorção e utilização do cálcio.....	76
FIGURA 6	Diagrama de distribuição dos clones de eucalipto em função das eficiências de absorção e utilização do magnésio.....	78
FIGURA 7	Diagrama de distribuição dos clones de eucalipto em função das eficiências de absorção e utilização do enxofre.....	80

RESUMO GERAL

PINTO, Sheila Isabel do Carmo. **Cinética de absorção conjunta de fósforo, potássio, cálcio e magnésio e eficiência nutricional de macronutrientes de clones de eucalipto.** 2009. 102 p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG¹.

Os objetivos do presente trabalho foram avaliar a morfologia radicular, a produção de biomassa, a eficiência nutricional, bem como determinar os parâmetros cinéticos (V_{max} , K_m e C_{min}) da absorção conjunta de P, K, Ca e Mg e analisar o influxo desses nutrientes em mudas de clones de eucalipto. O experimento foi conduzido em casa de vegetação e câmara de crescimento do Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras (MG), utilizando-se mudas de seis clones de eucalipto (58, 386, GG100, I042, I144 e VM1), cultivadas em solução nutritiva. Os tratamentos, representados pelos seis clones, foram distribuídos em delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições. Após 45 dias de cultivo foram determinados os atributos do crescimento da parte aérea e raízes, produção de biomassa, eficiências de absorção, translocação e utilização dos macronutrientes, os parâmetros cinéticos de absorção e o influxo de P, K, Ca e Mg. Os clones de eucalipto diferiram entre si na produção de biomassa e na eficiência nutricional, sendo identificadas diferenças na eficiência de absorção, translocação e utilização dos macronutrientes em relação aos diferentes clones de eucalipto, bem como em função do nutriente. De forma geral, os clones podem ser separados, quanto à eficiência nutricional para os macronutrientes, na seguinte seqüência: I144 > 386 > 58 \approx GG100 > VM1 > I042. O clone I144 mostrou-se mais eficiente nutricionalmente, principalmente para N, P, K, Mg e S, com maior eficiência na absorção e utilização desses nutrientes na produção de biomassa. O clone I042 foi ineficiente tanto na absorção quanto na utilização de todos os macronutrientes, comprometendo sua produção de biomassa. O clone VM1 se destacou entre os demais clones, sendo o mais eficiente na translocação de todos os macronutrientes para a parte aérea das mudas de eucalipto. Os atributos morfológicos do sistema radicular variaram entre os clones de eucalipto. Os clones 386 e GG100 se destacaram em relação aos demais, o primeiro por apresentar um sistema radicular mais desenvolvido e o segundo por apresentar um sistema radicular com desenvolvimento bastante restrito. O comportamento

¹Comitê Orientador: Prof. Antonio Eduardo Furtini Neto – DCS/UFLA (Orientador), Prof. Júlio César Lima Neves - DPS/UFV (Co-orientador).

dos clones de eucalipto se mostrou bastante semelhante independente da variável morfológica radicular utilizada na obtenção da V_{max} . Os parâmetros cinéticos de absorção variaram com os genótipos e com os nutrientes. O clone VM1 se destacou entre os clones de eucalipto estudados pela grande plasticidade, podendo se estabelecer mais facilmente em condições com altos ou baixos teores de P e K, e pelos maiores influxos de P, K e Ca. O clone I042, contudo, apresentou os menores influxos para P, Ca e Mg, o que contribuiu para sua baixa produção de biomassa. A cinética de absorção iônica de P, K, Ca e Mg, realizada de forma conjunta, permitiu a caracterização do influxo desses nutrientes pelos clones de eucalipto. As diferenças identificadas no presente trabalho quanto à eficiência nutricional e o influxo de nutrientes pelos clones de eucalipto na fase de mudas sugerem a possibilidade de seleção de genótipos de eucalipto para condições distintas de fertilidade do solo.

GENERAL ABSTRACT

PINTO, Sheila Isabel do Carmo. **Joint uptake kinetics of phosphorus, potassium, calcium and magnesium and nutritional efficiency of macronutrients of eucalyptus clones.** 2009. 102 p. Thesis (Doctorate in Soil Science) – Federal University of Lavras, Lavras, MG¹.

The objectives of the present work were to evaluate the root morphology, biomass production, nutritional efficiency, as well as to determine the kinetic parameters (V_{max} , K_m and C_{min}) of the joint uptake of P, K, Ca and Mg and to analyze the influx of those nutrients in seedlings of eucalyptus clones. The experiment was carried out in a greenhouse and growth chamber of the Soil Science Department of the Federal University of Lavras (MG), using seedlings of six eucalyptus clones (58, 386, GG100, I042, I144 and VM1), cultivated in nutrient solution. The treatments, represented by the six clones, were distributed in a completely randomized design, with four repetitions. After 45 days of cultivation the growth attributes of the aerial part and roots, biomass production, uptake efficiencies, translocation and utilization of the macronutrients, the uptake kinetic parameters and the influx of P, K, Ca and Mg were determined. The eucalyptus clones differed among themselves in biomass production and in nutritional efficiency, differences being identified in the uptake efficiency, translocation and utilization of the macronutrients in relation to the different eucalyptus clones, as well as in function of the nutrient. In a general way, the clones can be separate, as to the nutritional efficiency of the macronutrients, in the following sequence: $I144 > 386 > 58 \approx GG100 > VM1 > I042$. The clone I144 showed to be more nutritionally efficient, mainly for N, P, K, Mg and S, with higher uptake and utilization efficiency of these nutrients in the biomass production. The clone I042 was inefficient in the uptake and utilization of all of the macronutrients, compromising its biomass production. The clone VM1 stood out among the other clones, being the most efficient in the translocation of all of the macronutrients to the aerial part of the eucalyptus seedlings. The morphologic attributes of the root system varied among the eucalyptus clones. The clones 386 and GG100 stood out in relation to the others, the first for presenting a more developed root system and the second for presenting a root system with quite restricted development. The behavior of the eucalyptus clones was shown to be quite similar, independent of the root morphologic variable

¹Guidance Committee: Prof. Antonio Eduardo Furtini Neto – DCS/UFLA (adviser), Prof. Júlio César Lima Neves - DPS/UFV (Co-adviser).

used in the obtaining of V_{max} . The uptake kinetic parameters varied with the genotypes and with the nutrients. The clone VM1 stood out among the eucalyptus clones studied by its high plasticity, being able to establish itself more easily under high or low conditions of P and K levels, and for the higher influxes of P, K and Ca. The clone I042, however, presented the lower influxes for P, Ca and Mg, which contributed to its low biomass production. The ionic uptake kinetics of P, K, Ca and Mg, carried out in a joint way, allowed the characterization of the influx of these nutrients for the eucalyptus clones. The differences identified in the present work as to the nutritional efficiency and the influx of nutrients for the eucalyptus clones in the seedling phase suggests the possibility of selection of eucalyptus genotypes for distinct soil fertility conditions.

1 INTRODUÇÃO GERAL

O Brasil experimenta um novo ciclo de expansões dos projetos florestais industriais existentes e de novos projetos, a maioria utilizando madeira de florestas plantadas. A demanda crescente pelos produtos florestais, somada às vantagens comparativas e competitivas da silvicultura no país, e a elevação da produtividade florestal, têm sido os fatores preponderantes na decisão empresarial pela expansão de novas unidades industriais e ampliação da capacidade produtiva das existentes. A área plantada vem crescendo em média de 2,5 a 3,0% ao ano nos últimos anos, com o Brasil possuindo cerca de 6 milhões de hectares de florestas plantadas em 2007. O crescimento observado ainda é insuficiente para atender à demanda crescente de madeira para diferentes segmentos do setor produtivo, o que tem sido compensado pelo aumento da produtividade das florestas plantadas (Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas - ABRAF, 2008).

Assim, para que os plantios florestais atinjam as metas de produtividade é fundamental o atendimento das necessidades adaptativas de clima e solo, principalmente a adequação às limitações edáficas. Em relação ao eucalipto, o Brasil é o país onde se tem observado as maiores respostas à adubação mineral. Há estreita relação entre a produção e o conteúdo de nutrientes na biomassa, o que implica em florestas manejadas para elevadas produtividades e altas taxas de exportações de nutrientes do ecossistema. Considerando-se a baixa fertilidade da imensa maioria dos solos brasileiros, a manutenção da produtividade florestal dependerá cada vez mais freqüente e acentuadamente da utilização de fertilizantes e corretivos (Barros et al., 2004).

Assim, a necessidade de buscar a otimização da relação custo-benefício tem levado algumas empresas florestais a desenvolver pesquisas voltadas à

seleção de materiais genéticos adaptados às diversas condições ambientais (Lima et al., 2005). Com a evolução dos programas de melhoramento genético tradicional e da clonagem, atualmente estão sendo utilizados híbridos interespecíficos de eucalipto. Os materiais genéticos hibridizados apresentam maior “plasticidade” quanto à adaptação aos diferentes sítios florestais e, além disso, são mais produtivos, e, ou, apresentam melhores características da madeira (Silveira et al., 2001).

Considerando que as características nutricionais influenciam a adaptação da planta ao meio e a conservação dos nutrientes no sítio, é ainda mais interessante que, para árvores de elevada produtividade, como os diversos clones de eucalipto, haja compatibilidade entre suas características nutricionais e a capacidade produtiva do sítio florestal (Barros et al., 1990; Reis & Barros, 1990; Molica, 1992).

A exigência nutricional é bem variável entre espécies e genótipos de plantas cultivadas. Assim, é comum observar que sob a mesma condição de fertilidade do solo, a nutrição e o crescimento de determinados materiais genéticos sejam superiores aos de outros. Do ponto de vista nutricional, esse fato pode ser resultante da maior eficiência de absorção ou de utilização do nutriente (Martinez et al., 1993a). Portanto, o emprego de materiais genéticos nutricionalmente eficientes, como estratégia para a obtenção de economia de nutrientes e, ou, de elevada produtividade, em tese, deve considerar os nutrientes mais limitantes da produtividade (Molica, 1992) e, particularmente, a interação genótipo-nutriente, além dos mecanismos que determinam a maior eficiência nutricional do genótipo (Furtini Neto, 1994).

A eficiência nutricional pode ser definida como a capacidade de absorção e, ou, utilização de nutrientes (Epstein, 1972; Clarkson & Hason, 1980; Clark, 1983). Clarkson (1985) define a eficiência na absorção de nutrientes como a capacidade de aquisição de nutrientes em condições de baixa

disponibilidade. Neste contexto, a alta eficiência absorptiva otimiza a recuperação dos fertilizantes aplicados, sobretudo os pouco solúveis, sendo de maior interesse nos estádios iniciais de crescimento e desenvolvimento do eucalipto (Barros et al., 1990). A eficiência na utilização de nutrientes é a capacidade de utilização de nutrientes na síntese da biomassa (Clarkson & Hason, 1980), sempre desejável, conquanto influencia diretamente a produtividade de biomassa ou a economia na exportação de nutrientes.

Vários trabalhos têm constatado diferenças na eficiência nutricional entre as espécies de eucalipto (Pereira et al., 1984; Muniz et al., 1985; Morais et al., 1990; Furtini Neto et al., 1996; Santana et al., 2002) e entre clones de eucalipto (Barros et al., 1985; Molica, 1992; Grespan, 1997; Neves, 2000; Lima et al., 2005). Essas diferenças sugerem a possibilidade de seleção e adaptação de genótipos de eucalipto a condições distintas de solo, mais especificamente àquelas de baixa fertilidade natural (Morais et al., 1990; Furtini Neto, 1994), comumente encontrada nos plantios florestais.

As diferenças entre as plantas quanto à capacidade de absorver nutrientes são decorrentes de variações nos atributos morfológicos radiculares (comprimento, volume, raio, superfície e taxa de crescimento) e nos parâmetros cinéticos de absorção, que compreendem o influxo máximo (V_{max}), a afinidade dos carregadores pelo íon a ser transportado (K_m) e a concentração na solução do solo junto às raízes onde o influxo para de ocorrer (C_{min}) (Anghinoni et al., 1989).

Os valores dos parâmetros cinéticos de absorção podem variar de acordo com a idade (Edwards & Barber, 1976; Sacramento & Rosolem, 1997), concentração dos nutrientes nas plantas (Fontes & Barber, 1984; Vale et al., 1987; Jungk et al., 1990; Martinez et al., 1993a; Sacramento & Rosolem, 1997; Grespan et al., 1998; Baptista et al., 2000), morfologia radicular (Warncke & Barber, 1974; Anghinoni et al., 1989; Baptista et al., 2000; Machado & Furlani,

2004; Horn et al., 2006), presença de elementos tóxicos (Vale, 1982; Castells, 1984; Vale et al., 1984; Vilela & Anghinoni, 1984; Alves et al., 1988; Petry et al., 1994; Costa et al., 2000), micorrizas (Faquin et al., 1990; Silveira & Cardoso, 2004), mudanças climáticas (Bassirirad, 2000) e entre os genótipos e as espécies vegetais (Nielsen & Barber, 1978; Schenk & Barber, 1979; Alves et al., 1988; Furlani, 1988; Anghinoni et al., 1989; Jungk et al., 1990; Martinez et al., 1993a; Vahl et al., 1993; Sacramento & Rosolem, 1997; Grespan et al., 1998; Baptista et al., 2000; Alves et al., 2002; Machado & Furlani, 2004; Lima et al., 2005; Horn et al., 2006).

Variações nos parâmetros cinéticos de absorção de nutrientes têm sido observadas em várias espécies, incluindo milho (Vale et al., 1984, 1987; Anghinoni et al., 1989; Jungk et al., 1990; Alves et al., 1998, 2002; Costa et al., 2000; Machado & Furlani, 2004; Horn et al., 2006), soja (Castells, 1984; Castells et al., 1985; Faquin et al., 1990; Jungk et al., 1990; Martinez et al., 1993a; Sacramento & Rosolem, 1997), arroz (Furlani, 1988; Anghinoni et al., 1989; Vahl et al., 1993; Baptista et al., 2000), feijão (Silveira & Cardoso, 2004), trigo (Anghinoni et al., 1989; Alves et al., 1998), tomate (Fontes & Barber, 1984), cebola (Abbès et al., 1995); fumo (Petry et al., 1994) e espécies forrageiras (Anghinoni et al., 1989; Fattore & Anghinoni, 1992).

Em relação à cultura do eucalipto, existem valores dos parâmetros cinéticos de absorção iônica (V_{max} , K_m e C_{min}) para P (Vale, 1982; Furtini Neto, 1994), para N, tanto para nitrato quanto para amônio (Vale, 1982; Grespan et al., 1998) e para K, Ca e Mg (Lima et al., 2005). Dentre esses trabalhos somente os realizados com P, N (Vale, 1982) e K, Ca e Mg (Lima et al., 2005) utilizaram material propagado vegetativamente.

As variáveis morfológicas radiculares e os parâmetros cinéticos de absorção são necessários para operar os modelos que descrevem quantitativamente o processo de absorção dos nutrientes. Tais modelos,

chamados de mecanísticos, pressupõem um entendimento dos processos envolvidos na transferência dos nutrientes do solo para as plantas (Anghinoni et al., 1989). Esses modelos matemáticos foram desenvolvidos com o objetivo de simular a interação dinâmica entre esses dois processos e são baseados essencialmente nos mesmos princípios. Os modelos predizem a absorção integrando o suprimento potencial do solo por difusão e fluxo de massa com o tamanho, morfologia e taxa de crescimento do sistema radicular e com a cinética de absorção do nutriente pela raiz (Meurer, 2006). Quando o modelo descreve adequadamente a absorção, ele pode ser utilizado para determinar a importância relativa de cada parâmetro na absorção, o que pode proporcionar o entendimento em nível mais fundamental da dinâmica de disponibilidade dos nutrientes no solo e dos fatores que a afetam (Barber, 1995), além de prever os impactos do cultivo de floretas plantadas sobre o fluxo de nutrientes no solo (Neves, 2000).

Deve-se destacar, no entanto, que fatores de natureza química e física, como interações ou antagonismo entre íons, teor de oxigênio na rizosfera, temperatura, pH, entre outros, podem afetar significativamente a absorção dos íons pelas raízes das plantas. Anghinoni & Meurer (1999) ressaltam que quando diversos íons estão presentes na solução, a taxa de absorção de um íon pelas raízes de determinada espécie pode ser afetada por outro íon. A presença de cálcio, por exemplo, estimula a absorção de diversos íons; o teor de potássio na planta pode aumentar a taxa de absorção de nitrato; a adição de nitrogênio, particularmente, na forma amoniacal, pode aumentar a absorção de fósforo; o potássio apresenta um efeito depressivo sobre a absorção do magnésio.

Em relação ao eucalipto, Vale (1982) observou que as mudas de eucalipto pré-tratadas com amônio em solução apresentaram maior capacidade de absorção de fosfato que as pré-tratadas com nitrato. Neste mesmo trabalho observou-se que a presença do alumínio em solução aumentou a absorção de nitrogênio pelas mudas de eucalipto, tanto na forma de amônio quanto na de

nitrate. Eucalypt seedlings grown in a medium with nitrogen, only in nitrate form, in the absence of phosphorus, had its nitrate absorption efficiency drastically reduced in the species *Eucalyptus grandis* and *Eucalyptus pellita* (Grespan et al., 1998).

In this sense, the method of the steady state of absorption, commonly used in the kinetics of ionic absorption has received some criticisms. Escamilla & Comerford (1998) emphasize that the procedure may not represent adequately the conditions of the soil solution in the rhizosphere of plants that grow in field conditions. Thus, efforts were made in the present work to perform a kinetics of simultaneous absorption of P, K, Ca and Mg as a way to approach the interaction between ions in the solution.

Therefore, this work was carried out with the general objective of evaluating biomass production, nutritional efficiency and root morphology, as well as to determine the kinetic parameters of simultaneous absorption of P, K, Ca and Mg and analyze the influx of these nutrients in seedlings of six clones of eucalypt, grown in nutritive solution.

2 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABBÉS, C.; PARENT, L. E.; KARAM, A.; ISFAN, D. Effect of NH_4^+ : NO_3^- ratios on growth and nitrogen uptake by onions. **Plant and Soil**, The Hague, v. 171, n. 2, p. 289-286, Apr. 1995.

ALVES, V. A. C.; NOVAIS, R. F.; NEVES, J. C. L.; BARROS, N. F. Efeito do alumínio sobre a absorção e translocação de fósforo e sobre a composição mineral de duas cultivares de trigo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 23, n. 6, p. 563-573, jun. 1988.

ALVES, V. M. C.; MAGALHÃES, J. V.; NOVAIS, R. F.; BAHIA FILHO, F. C.; OLIVEIRA, C. A.; FRANÇA, C. C. M. Localização de fósforo e de nitrogênio afetando os parâmetros cinéticos de absorção de nitrogênio em milho. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Londrina, v. 10, n. 3, p. 197-201, dez. 1998.

ALVES, V. M. C.; PARENTONI, S. N.; VASCONCELLOS, C. A.; PITTA, G. V. E.; FRANÇA, C. C. M. Cinética de absorção de fósforo e crescimento do sistema radicular de genótipos de milho contrastantes para eficiência a fósforo. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 1, n. 1, p. 85-92, jan./abr. 2002.

ANGHINONI, I.; MEURER, E. J. Eficiência de absorção pelas raízes. In: FERNANDES, M. F.; TAVARES, E. D.; LEAL, M. L. S. **Workshop sobre desenvolvimento do sistema radicular: metodologias e estudos de casos**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 1999. p. 57-87.

ANGHINONI, I.; VOLKART, C. R.; FATTORE, N.; ERNANI, P. R. Morfologia de raízes e cinética da absorção de nutrientes em diversas espécies e genótipos de plantas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 13, n. 3, p. 355-361, set./dez. 1989.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS. **Anuário estatístico ABRAF**: ano base 2007. Brasília, DF, 2008. 90 p.

BAPTISTA, J. A.; FERNANDES, M. S.; SOUZA, S. R. Cinética de absorção de amônio e crescimento radicular das cultivares de arroz agulha e bico ganga. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 35, n. 7, p. 1325-1330, jul. 2000.

BARBER, S. A. **Soil nutrient bioavailability**: a mechanistic approach. 2. ed. New York: J. Wiley, 1995. 414 p.

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., 1985, Belém, PA. **Anais...** Campinas: SBCS, 1985. p. 109.

BARROS, N. F.; NEVES, J. C. L.; NOVAIS, R. F. Mineral fertilizer recommendations for eucalypt plantations. In: GONÇALVES, J. L. M. **Forest nutrition and fertilization**. Piracicaba: IPEF, 2004. p. 269-284.

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. **Relação solo-eucalipto**. Viçosa, MG: Folha de Viçosa, 1990. p. 127-186.

BASSIRIRAD, H. Kinetics of nutrient uptake by roots: responses to global change. **New Phytologist**, Cambridge, v. 147, n. 179, p. 155-169, Jan./Feb. 2000.

CASTELLS, A. J. **Absorção de fósforo e de cálcio como critério de seleção de genótipos de soja (*Glycine max* (L.) Merrill) quanto à tolerância ao alumínio**. 1984. 62 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

CASTELLS, A. J.; NEVES, J. C. L.; BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F. Considerações referentes à determinação de parâmetros cinéticos de absorção de fósforo. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 32, n. 179, p. 85-91, jan./fev. 1985.

CLARK, R. B. Plant genotype differences in uptake, translocation, accumulation and use of mineral elements required for plant growth. **Plant and Soil**, The Hague, v. 72, n. 2, p. 175-196, June 1983.

CLARKSON, D. T. Adaptações morfológicas e fisiológicas das plantas a ambientes de baixa fertilidade. In: ROSAND, P. C. **Reciclagem de nutrientes e agricultura de baixos insumos nos trópicos**. Ilhéus: CEPLAC/SBCS, 1985. p. 45-75.

- CLARKSON, D. T.; HANSON, J. B. The mineral nutrition of higher plants. **Annual Review of Plant Physiology**, Palo Alto, v. 31, p. 239-298, 1980.
- COSTA, C. N.; CASTILHOS, R. M. V.; VAHL, L. C.; KONRAD, E. E.; PASSIANOTO, C. C. Efeitos do alumínio na morfologia de raízes e na cinética de absorção de potássio em milho. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 6, n. 3, p. 251-253, set./dez. 2000.
- EDWARDS, J. H.; BARBER, S. A. Nitrogen flux into corn roots as influenced by shoot requirement. **Agronomy Journal**, Madison, v. 68, n. 3, p. 471-473, May/June 1976.
- EPSTEIN, E. Physiological genetics of plant nutrition. In: _____. **Mineral nutrition of plants: principles and perspectives**. New York: J. Wiley, 1972. p. 325-344.
- ESCAMILLA, J. A.; COMERFORD, N. B. Measuring nutrient depletion by roots of mature trees in the field. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 62, n. 3, p. 797-804, May/June 1998.
- FAQUIN, V.; MALAVOLTA, E.; MURAOKA, T. Cinética da absorção de fosfato em soja sob influência de micorriza vesículo-arbuscular. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 14, n. 1, p. 41-48, jan./abr. 1990.
- FATTORE, N.; ANGHINONI, I. Eficiência de absorção de nutrientes por espécies forrageiras de inverno. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 27, n. 2, p. 251-258, fev. 1992.
- FONTES, P. C. R.; BARBER, S. A. Crescimento do sistema radicular e cinética da absorção de fósforo pelo tomateiro afetado por concentrações de fósforo na solução nutritiva. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 19, n. 10, p. 1203-1210, out. 1984.
- FURLANI, A. M. C. Variações em parâmetros de cinética de absorção de fósforo de três linhagens de arroz. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 12, n. 1, p. 77-80, jan./abr. 1988.
- FURTINI NETO, A. E. **Efeito do enxofre no crescimento e assimilação de nitrogênio por diferentes espécies de eucalipto**. 1988. 95 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras.

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

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, MG, v. 20, n. 1, p. 17-28, jan./mar. 1996.

GRESPLAN, S. L. **Produção e eficiência nutricional de clones de eucalipto no Norte do Espírito Santo e suas relações com características do solo.** 1997. 81 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

GRESPLAN, S. L.; DIAS, L. E.; NOVAIS, R. F. Crescimento e parâmetros cinéticos de absorção de amônio e nitrato por mudas de *Eucalyptus* spp submetidas a diferentes relações amônio/nitrato na presença e ausência de fósforo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 22, n. 4, p. 667-674, out./dez. 1998.

HORN, D.; ERNANI, P. R.; SANGOI, L.; SCHWEITZER, C.; CASSOL, P. C. Parâmetros cinéticos e morfológicos da absorção de nutrientes em cultivares de milho com variabilidade genética contrastante. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 30, n. 1, p. 77-85, fev. 2006.

JUNGK, A.; ASHER, C. J.; EDWARDS, D. G.; MEYER, D. Influence of phosphate status on phosphate uptake kinetics of maize (*Zea mays*) and soybean (*Glycine max*). **Plant and Soil**, The Hague, v. 124, n. 2, p. 175-182, June 1990.

LIMA, A. M. N.; NEVES, J. C. L.; SILVA, I. R.; LEITE, F. P. Cinética de absorção e eficiência nutricional de K, Ca e Mg em plantas jovens de quatro clones de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 29, n. 6, p. 903-909, dez. 2005.

MACHADO, C. T. T.; FURLANI, A. M. C. Kinetics of phosphorus uptake and root morphology of local and improved varieties of maize. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 61, n. 1, p. 69-76, jan./fev. 2004.

MARTINEZ, H. E. P.; NOVAIS, R. F.; RODRIGUES, L. A.; SACRAMENTO, L. V. S. Comportamento de variedades de soja cultivadas em diferentes doses de fósforo: I., cinética de absorção de fósforo e ajustes morfológicos da planta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 17, n. 2, p. 231-238, maio/ago. 1993a.

MEURER, E. J. Potássio. In: FERNANDES, M. S. **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa, MG: SBCS, 2006. p. 281-298.

MOLICA, S. G. **Produção de biomassa e eficiência nutricional de híbridos interespecíficos de eucalipto em duas regiões bioclimáticas de Minas Gerais**. 1992. 120 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

MORAIS, E. J. **Crescimento e eficiência nutricional de espécies de eucalipto em duas regiões bioclimáticas de Minas Gerais**. 1988. 56 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

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

MUNIZ, A. D.; NEVES, J. C. L.; NOVAIS, R. F.; NOVELINO, J. O. Eficiência de absorção de fósforo por *Eucalyptus* spp. In: BARROS, N. F. **Florestas plantadas nos neotrópicos como fonte de energia**. Viçosa, MG: UFV, 1985. p. 447-448.

NEVES, J. C. L. **Produção e partição de biomassa, aspectos nutricionais e híbridos em plantios clonais de eucalipto na região litorânea do Espírito Santo**. 2000. 191 p. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campo dos Goytacazes.

NIELSEN, N. E.; BARBER, S. A. Differences among genotypes of corn in the kinetics of P uptake. **Agronomy Journal**, Madison, v. 70, n. 5, p. 695-698, Sept./Oct. 1978.

PEREIRA, A. R.; ANDRADE, D. C.; LEAL, P. G. L.; TEIXEIRA, N. C. S. Produção de biomassa e remoção de nutrientes em povoamentos de *Eucalyptus citriodora* e *E. saligna* cultivados na região de cerrado de Minas Gerais. **Floresta**, Curitiba, v. 15, n. 2, p. 8-16, jun./dez. 1984.

PETRY, C.; RHEINHEIMER, D. S.; KAMINSKI, J.; PESSOA, A. C. S.; CASSOL, L. C. Influência do estresse de alumínio em plantas de fumo: II., efeito nos parâmetros cinéticos de absorção de fósforo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 18, n. 1, p. 69-72, jan./abr. 1994.

REIS, M. G. F.; BARROS, N. F. Ciclagem de nutrientes em plantio de eucalipto. In: BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F. **Relação solo-eucalipto**. Viçosa, MG: Folhas de Viçosa, 1990. p. 265-301.

SACRAMENTO, L. V. S.; ROSOLEM, C. A. Cinética de absorção de potássio e seus ajustes em plantas de soja em função da idade e estado nutricional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 21, n. 2, p. 213-219, abr./jun. 1997.

SALINAS, J. G.; SANCHEZ, P. Soil plant relationship affecting varietal and species differences in tolerance to low available soil phosphorus. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v. 28, n. 2, p. 156-168, Feb. 1976.

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

SCHENK, M. K.; BARBER, S. A. Phosphate uptake by corn as affected by soil characteristics and root morphology. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 43, n. 5, p. 880-883, Sept./Oct. 1979.

SILVEIRA, A. P. D.; CARDOSO, E. J. B. N. Arbuscular mycorrhiza and kinetic parameters of phosphorus absorption by bean plants. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 61, n. 2, p. 203-209, Mar./Apr. 2004.

SILVEIRA, R. L. V. A.; HIGASHI, E. N.; GONÇALVES, A. N.; MOREIRA, A. Evaluation of the nutritional status of eucalypts: visual and foliar diagnoses and their interpretation. In: GONÇALVES, J. L. M. **Forest nutrition and fertilization**. Piracicaba: IPEF, 2004. p. 85-111.

SILVEIRA, R. L. V. A.; HIGASHI, E. N.; SGARBI, F.; MUNIZ, M. R. A. **Seja o doutor do seu eucalipto**. São Paulo: Potafos, 2001. 32 p. (Informações agronômicas, 93).

VAHL, I. C.; ANGHINONI, I.; VOLKWEISS, S. J. Cinética de absorção de potássio afetada por ferro, cálcio e magnésio em genótipos de arroz de diferentes sensibilidades à toxicidade de ferro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 17, n. 2, p. 269-273, maio/ago. 1993.

VALE, F. R. **Efeito do alumínio sobre a cinética de absorção de nitrato, amônio e fosfato em milho (*Zea mays*, L.) e em clone de eucalipto (*Eucalyptus alba*)**. 1982. 71 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

VALE, F. R.; JACKSON, W. A.; VOLK, R. J. Potassium influx into maize root systems. Influence of root potassium concentration and ambient ammonium. **Plant Physiology**, Washington, DC, v. 84, n. 4, p. 1416-1420, Aug. 1987.

VALE, F. R.; NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; MILAGRES, B. G. Absorção de nitrato e amônio por raízes intactas de milho pré-tratadas com alumínio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 8, n. 2, p. 215-218, maio/ago. 1984.

VILELA, L.; ANGHINONI, I. Morfologia do sistema radicular e cinética de absorção de fósforo em cultivares de soja afetados pela interação alumínio-fósforo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 8, n. 1, p. 91-96, jan./abr. 1984.

WARNCKE, D. D.; BARBER, S. A. Root development and nutrient uptake by corn grown in solution culture. **Agronomy Journal**, Madison, v. 66, n. 4, p. 514-516, July/Aug. 1974.

CAPÍTULO 1

MORFOLOGIA RADICULAR E CINÉTICA DE ABSORÇÃO CONJUNTA DE FÓSFORO, POTÁSSIO, CÁLCIO E MAGNÉSIO EM CLONES DE EUCALIPTO

1 RESUMO

As variáveis morfológicas radiculares e os parâmetros cinéticos da absorção iônica (V_{max} , K_m e C_{min}) constituem fatores importantes na caracterização dos diferentes genótipos quanto à eficiência de absorção dos nutrientes. O presente trabalho teve por objetivos avaliar a morfologia radicular, os parâmetros cinéticos da absorção conjunta de P, K, Ca e Mg e o influxo desses nutrientes em mudas de clones de eucalipto. O experimento foi conduzido em câmara de crescimento, utilizando-se mudas de seis clones de eucalipto (58, 386, GG100, I042, I144 e VM1), propagadas vegetativamente, cultivadas em solução nutritiva. Os tratamentos, representados pelos seis clones, foram distribuídos em delineamento inteiramente casualizado com quatro repetições. Os atributos morfológicos do sistema radicular variaram entre os clones de eucalipto. Os clones 386 e GG100 se destacaram em relação aos demais, o primeiro por apresentar um sistema radicular mais desenvolvido e o segundo por apresentar um sistema radicular com desenvolvimento bastante restrito. O comportamento dos clones de eucalipto se mostrou bastante semelhante independente da variável morfológica radicular utilizada na obtenção da velocidade máxima de absorção (V_{max}). Os parâmetros cinéticos da absorção iônica variaram com os genótipos e com os nutrientes. O clone VM1 se destacou entre os demais clones pela grande plasticidade, podendo se estabelecer mais facilmente em condições de altos ou baixos teores de P e K, e pelos maiores influxos de P, K e Ca. O clone I042, contudo, apresentou os menores influxos para P, Ca e Mg, o que contribuiu para a baixa produção de biomassa por esse genótipo. A cinética de absorção iônica de P, K, Ca e Mg, realizada de forma conjunta, permitiu a caracterização do influxo desses nutrientes pelos clones de eucalipto.

Palavras-chave: parâmetros cinéticos, influxo de nutrientes, sistema radicular, absorção de nutrientes

2 ABSTRACT

The root morphologic variables and nutrient ionic uptake kinetics parameters (V_{max} , K_m and C_{min}) are useful to characterize the efficiency by different genotypes on nutrient uptake. The objectives of the present work were to evaluate the root morphology, the kinetic parameters (V_{max} , K_m and C_{min}) of the joint uptake of P, K, Ca and Mg and the influx of those nutrients in seedlings of eucalyptus clones. The experiment was carried out in a greenhouse and growth chamber of the Soil Science Department of the Federal University of Lavras (MG), using seedlings of six eucalyptus clones (58, 386, GG100, I042, I144 and VM1), cultivated in nutrient solution. The treatments, represented by the six clones, were distributed in a completely randomized design, with four repetitions. The morphologic attributes of the root system varied among the eucalyptus clones. The clones 386 and GG100 stood out in relation to the others, the first for presenting a more developed root system and the second for presenting a root system with quite restricted development. The behavior of the eucalyptus clones was shown to be quite similar, independent of the root morphologic variable used in the obtaining of V_{max} . The uptake kinetic parameters varied with the genotypes and with the nutrients. The clone VM1 stood out among the eucalyptus clones studied by its high plasticity, being able to establish itself more easily under high or low conditions of P and K levels, and for the higher influxes of P, K and Ca. The clone I042, however, presented the lower influxes for P, Ca and Mg, which contributed to its low biomass production. The ionic uptake kinetics of P, K, Ca and Mg, carried out in a joint way, allowed the characterization of the influx of these nutrients for the eucalyptus clones.

Key words: kinetics parameters, influxes for nutrients, root system, nutrient uptake

3 INTRODUÇÃO

A atividade florestal brasileira ocupa lugar de destaque na economia do país e os fatores preponderantes para a relevância do setor incluem as vantagens comparativas e competitivas da silvicultura nacional. Os reflorestamentos brasileiros apresentam potenciais produtivos bastante superiores aos encontrados em quaisquer outros países, colocando-se em evidência entre os exportadores de produtos de base florestal (Rodrigues, 2005).

A expansão dos reflorestamentos de eucalipto no Brasil tem sido realizada, principalmente, em áreas cujos solos são distróficos, com baixa fertilidade natural. Cerca de 50% destas áreas são constituídas por Latossolos e Podzólicos, e 17% por Areias quartzosas, Cambissolos e Litossolos (Gonçalves et al., 2004). Nessas áreas, o baixo teor de nutrientes disponíveis às plantas e a pequena reserva nutricional dos solos florestais, aliados ao curto ciclo de corte e elevada exportação de nutrientes pela madeira, indicam que a sustentabilidade dos povoamentos, a curto ou a longo prazo, está condicionada ao monitoramento nutricional e à utilização de fertilizantes (Silveira et al., 2001).

Decréscimos significativos na disponibilidade de nutrientes têm sido verificados em solos sob cultivo de eucalipto no Brasil, especialmente de P, K, Ca e Mg (Barros & Novais, 1996; Leite, 2001; Silveira et al., 2004), o que pode comprometer a sustentabilidade da produção florestal, caso não seja feita a reposição destes nutrientes mediante fertilização (Lima et al., 2005). Por outro lado, as diferenças nutricionais dos diferentes materiais genéticos podem ser aproveitadas para a compatibilização destes materiais com as condições específicas de fertilidade do solo dos diferentes sítios florestais (Anghinoni et al., 1989; Martinez et al., 1993a).

Neste contexto, as combinações do potencial genético das plantas com o uso eficiente dos nutrientes constituem importantes fatores na economia de fertilizantes, uma vez que estes materiais genéticos são capazes de absorver os nutrientes de forma mais eficiente e sintetizar o máximo de biomassa por unidade de elemento absorvido, contribuindo para a redução dos custos da fertilização e manutenção da capacidade produtiva dos sítios florestais.

A morfologia radicular e os parâmetros cinéticos de absorção de nutrientes têm sido apontados como fatores importantes na caracterização de espécies e genótipos quanto à eficiência de absorção de nutrientes (Anghinoni et al., 1989). Tais parâmetros são necessários na obtenção de modelos mecanísticos baseados em princípios de transporte de solutos que podem ser de grande utilidade para prever os impactos do cultivo de florestas plantadas com eucalipto sobre o capital e fluxo de nutrientes no solo (Lima et al., 2005).

Para a cultura do eucalipto, existem valores das constantes cinéticas de absorção iônica (V_{max} , K_m e C_{min}) para P (Vale, 1982; Furtini Neto, 1994), para N, tanto para nitrato como para amônio (Vale, 1982; Grespan et al., 1998) e para K, Ca e Mg (Lima et al., 2005), todos obtidos por meio de cinética independente, conforme o nutriente em estudo. Dentre esses trabalhos somente os realizados por Vale (1982) com P e N e por Lima et al. (2005) com K, Ca e Mg utilizaram material propagado vegetativamente.

O método do estado estacionário de absorção, comumente utilizado na cinética de absorção iônica, no entanto, tem recebido algumas críticas ressaltando que o procedimento pode não representar adequadamente as condições da solução do solo na rizosfera das plantas que crescem em condições de campo (Escamilla & Comerford, 1998). Aliado a esse fato, deve-se observar que o processo de absorção dos diversos íons presentes na solução do solo ocorre de forma simultânea e, quando estão presentes na solução, a taxa de absorção de um íon pode ser afetada por outro (Anghinoni & Meurer, 1999), por

meio de inibição e, ou, sinergismo. Nesse sentido, optou-se neste trabalho pela realização de uma cinética de absorção conjunta de P, K, Ca e Mg.

O presente trabalho teve por objetivos avaliar a morfologia radicular, os parâmetros cinéticos da absorção conjunta de P, K, Ca e Mg e o influxo destes nutrientes em mudas de seis clones de eucalipto.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido inicialmente em condições de casa de vegetação no Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras com mudas de seis clones de eucalipto: 58 e 386 (Cenibra), GG100 (Grupo Gerdau), I042, I144 (Acesita) e VM1 (Vallourec & Mannesman do Brasil). Os clones 58 e VM1 foram obtidos de híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus camaldulensis*, enquanto os demais de híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*.

Inicialmente, as plantas foram transferidas para bandejas com 36 L de solução nutritiva de Clark (Clark, 1975) com um quarto da força iônica e pH ajustado inicialmente e corrigido periodicamente (a cada dois dias), para 6,0, durante a aclimação. A força iônica da solução foi aumentada semanalmente até atingir 100% da força iônica original.

As plantas foram cultivadas em casa de vegetação por 35 dias. Posteriormente foram selecionadas quanto à uniformidade de raízes e parte aérea e transferidas para câmara de crescimento com umidade relativa em torno de 50%, temperatura de cerca de 27°C e intensidade luminosa aproximada de 120 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. As plantas foram transferidas para vasos plásticos com 2 L de solução nutritiva de igual composição à anteriormente utilizada com pH ajustado para 6,0, onde permaneceram por mais cinco dias. Durante esta fase foram utilizadas quatro repetições de cada clone dispostas inteiramente ao acaso, sendo a unidade experimental constituída por uma planta por vaso.

Após o período de aclimação, procedeu-se à troca da solução por outra com a concentração reduzida a 10% da solução anterior e pH ajustado para 6,0, onde as plantas permaneceram por mais cinco dias. Em seguida, a solução foi novamente trocada por outra com N (150 $\mu\text{mol L}^{-1}$), P (20 $\mu\text{mol L}^{-1}$), K (70

$\mu\text{mol L}^{-1}$), Ca ($60 \mu\text{mol L}^{-1}$), Mg ($50 \mu\text{mol L}^{-1}$) e S ($25 \mu\text{mol L}^{-1}$), conforme testes preliminares das concentrações iniciais a serem utilizadas durante a cinética de absorção destes elementos. Esta solução também teve o pH ajustado para 6,0 no momento da troca de solução. Após duas horas na solução de pré-exaustão para que o sistema atingisse as condições de estado estacionário da absorção, requeridas para a aplicação do modelo cinético (Epstein & Hagen, 1952), a solução foi renovada por outra de igual composição, que constituiu a solução de depleção.

Durante um período de 12 horas, a intervalos de uma hora, a solução de depleção foi amostrada (10 mL de alíquota), bem como efetuada uma última amostragem 24 horas após o início da cinética de absorção. Logo após, as plantas foram colhidas, separadas em parte aérea e raízes, submetidas à pesagem, e mediu-se o volume de solução remanescente nos vasos.

Nas alíquotas coletadas efetuou-se a determinação de P, K, Ca e Mg. A determinação do P foi feita por colorimetria (Murphy & Riley, 1962), a do K por fotometria de emissão de chama, e as de Ca e Mg por espectrofotometria de absorção atômica.

As raízes foram acondicionadas em potes plásticos com álcool 70% e transportadas para a EMBRAPA-CNPMS onde foram determinadas as variáveis morfológicas radiculares (comprimento, volume, área de superfície e diâmetro médio) por meio do sistema *WinRHIZO Pro 2007a* (Regente Instr. Inc.), acoplado a um *scanner* profissional *Epson XL 10000* equipado com uma unidade de luz adicional (TPU). Os teores de cada nutriente na solução de depleção, em cada tempo de amostragem, bem como os dados relativos ao volume inicial e final de solução nos vasos, e o peso de matéria seca de raízes, matéria fresca de raízes, comprimento, volume, área e diâmetro médio das raízes foram utilizados no *software* *Cinética 2.0* (Ruiz & Fernandes Filho, 1992), obtendo-se os valores dos parâmetros cinéticos V_{max} (velocidade máxima de

absorção - indica a quantidade de íon absorvida quando todos os sítios do carregador estiverem saturados) e K_m (constante de Michaelis-Menten - corresponde à concentração do íon em solução que garante metade da velocidade máxima de absorção e indica a afinidade do carregador pelo íon) em nível de cada repetição. Esse programa calcula a V_{max} por meio de uma equação linear e a K_m por equações do tipo exponencial, potencial ou exponencial-recíproco. A equação do modelo potencial foi a escolhida para o P, K e Mg e o modelo exponencial para o Ca, uma vez que apresentaram melhor ajuste aos dados, apresentando maiores valores para o coeficiente de determinação em todas as repetições. O valor de C_{min} (concentração mínima - corresponde à concentração externa em que o influxo é igual a zero) foi a menor concentração observada na solução de depleção após 24 horas. Os valores das taxas de influxo para cada nutriente estudado foram calculados com base na quantidade (μmol) de nutriente absorvida pelas plantas em relação à unidade de matéria fresca de raiz, mediante a utilização de aproximação gráfico-matemática (Ruiz, 1985). A separação dos clones de eucalipto em grupos foi realizada utilizando o influxo obtido na maior concentração do nutriente em solução por meio do agrupamento das médias dos clones (Tabela 8A).

Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias agrupadas pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade com o auxílio do programa estatístico SISVAR[®] (Ferreira, 2000).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Morfologia radicular

Em relação à caracterização do sistema radicular, diferenças significativas foram observadas entre os clones de eucalipto para todas as variáveis avaliadas (Tabelas 1 e 1A). O clone 386 apresentou maior área superficial e comprimento de raízes em comparação com os demais clones. A área de superfície de raiz pode ser considerada o mais importante fator determinante da absorção de nutrientes pelas plantas (Barber, 1995). Vários autores ressaltam que dentre as variáveis morfológicas do sistema radicular, a área e o comprimento das raízes têm sido as mais importantes na caracterização de espécies e cultivares quanto à eficiência de absorção de nutrientes (Tachibana & Ohta, 1983; Vilela & Anghinoni, 1984; Anghinoni et al., 1989; Baptista et al., 2000). Raízes mais longas e mais finas, para uma mesma massa (mesmo consumo metabólico), resultam em maior área superficial e, conseqüentemente, maior capacidade de absorver nutrientes, especialmente em relação à eficiência de absorção de nutrientes pouco móveis no solo (Anghinoni & Meurer, 1999), como o fosfato, para o qual a absorção é frequentemente relacionada com o comprimento radicular (Araújo & Machado, 2006).

Em relação ao volume do sistema radicular, os clones 386, 58, I144 e I042 apresentaram volumes de raízes superiores aos dos clones GG100 e VM1 (Tabela 1). Ernani et al. (1994) destacam que a absorção de nutrientes é proporcional ao volume de solo ocupado pelas raízes; assim, a exploração de um grande volume de solo pelas raízes é importante, principalmente, para a absorção dos nutrientes que se deslocam pelo mecanismo de difusão (Vilela & Anghinoni, 1984). Neste contexto, os clones 386, 58, I144 e I042 seriam capazes

de explorar um maior volume de solo e absorver de forma mais eficiente os nutrientes.

TABELA 1 Comprimento, volume, área de superfície, diâmetro médio e área específica das raízes de seis clones de eucalipto

Clone	Comprimento cm	Volume cm ³	Área superfície cm ²	Diâmetro médio mm	Área específica cm ² g ⁻¹
58	10766b ⁽²⁾	11167a	1226b	0,48b	677a
386	14187a	11625a	1434a	0,65a	696a
GG100	8019c	8995b	951c	0,38b	659a
I042	7554c	10487a	997c	0,42b	605b
I144	8699c	10962a	1090c	0,40b	558b
VM1	9843b	7018b	928c	0,61a	568b
Média	9845	10042	1104,74	0,49	627
CV (%) ⁽¹⁾	10,1	14,0	9,7	13,2	6,0

⁽¹⁾ Coeficiente de variação das médias entre clones. ⁽²⁾ Valores seguidos de mesma letra, em cada coluna, pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott-Knott a 5%.

As raízes com menor diâmetro médio foram observadas nos clones 58, GG100, I042 e I144 (Tabela 1). O diâmetro radicular está associado ao volume de solo que pode ser explorado pelas raízes por meio do investimento de fotoassimilados, pois raízes mais finas podem explorar maior volume de solo por unidade de massa radicular (Araújo & Machado, 2006). Neste contexto, os clones 58, I042 e I144 se destacam, uma vez que, além de raízes mais finas também apresentaram um volume maior de raízes, o que contribui para uma

maior exploração do solo e, provavelmente, maior acesso aos nutrientes, principalmente aqueles menos móveis.

Os clones de eucalipto com maior área específica de raiz foram o 386, 58 e GG100 (Tabela 1). A relação entre a área de superfície radicular e a matéria seca de raízes foi utilizada no presente trabalho, considerando que esta relação permite inferir sobre a eficiência com que o carbono é utilizado para a produção de área radicular, uma vez que o teor de carbono é muito pouco variável entre genótipos. Neste contexto, os clones 386, 58 e GG100 utilizam o estoque de carbono de forma mais eficiente na produção de raízes que os demais clones.

De forma geral, os clones 386 e GG100 se destacaram em relação aos demais, o primeiro por apresentar um sistema radicular mais desenvolvido e o segundo por apresentar um sistema radicular com desenvolvimento bastante restrito. Segundo Mengel & Barber (1974), a capacidade diferenciada entre genótipos em desenvolver o sistema radicular pode ser interpretada como uma habilidade adaptativa para absorver os nutrientes mais eficientemente. O maior desenvolvimento do sistema radicular apresentado pelo clone 386 é uma característica desejável, principalmente para o cultivo sob condições de baixa fertilidade de solo. Essa adaptação morfológica do sistema radicular pode ser uma estratégia para aumentar a eficiência de absorção de nutrientes, considerando-se o maior tamanho do sistema radicular, um indicativo de maior taxa de penetração de raízes no solo e maior volume de solo explorado na aquisição de água e nutrientes (Clarkson, 1985).

5.2 Cinética de absorção de P, K, Ca e Mg

O estudo da cinética de absorção foi realizado sob baixa concentração de P, K, Ca e Mg na solução, visando a atingir somente a primeira isoterma de absorção dos nutrientes correspondente ao mecanismo de absorção de alta afinidade, que é saturável e obedece ao modelo cinético enzimático de Michaelis-Menten (Fernandes & Souza, 2006).

Na tabela 2 são apresentados os parâmetros cinéticos V_{max} (velocidade máxima de absorção) obtidos por meio de diferentes variáveis morfológicas radiculares. O comportamento dos clones de eucalipto se mostrou bastante semelhante independente da variável morfológica radicular utilizada na obtenção da velocidade máxima de absorção, a exceção do magnésio, onde foi observada alguma discrepância. Dentre as variáveis morfológicas radiculares, o diâmetro médio das raízes e o comprimento apresentaram maiores variações.

De forma geral, a velocidade máxima de absorção obtida em função da matéria fresca e seca de raiz, da área e do volume de raiz discriminou os clones de forma semelhante conforme os valores dos coeficientes de variação entre as médias dos clones (Tabela 2). Assim, embora diversos autores ressaltem a importância da morfologia do sistema radicular na capacidade diferencial das espécies em absorver nutrientes (Tachibana & Ohta, 1983; Vilela & Anghinoni, 1984; Anghinoni et al., 1989; Ernani et al., 1994; Barber, 1995; Anghinoni & Meurer, 1999; Baptista et al., 2000; Araújo & Machado, 2006), no presente trabalho não foram observadas variações no *ranking* do influxo dos nutrientes pelos clones de eucalipto em função das diferentes variáveis morfológicas radiculares utilizadas na obtenção da velocidade máxima de absorção.

TABELA 2 Valores de Vmax para P, K, Ca e Mg apresentados pelos seis clones de eucalipto em função da produção de matéria fresca (MF) e seca de raiz (MS), diâmetro médio (DM), área (A), volume (V) e comprimento (C) de raiz

Clone	Vmax	Vmax	Vmax	Vmax A	Vmax V	Vmax C
	MF	MS	DM			
	$\mu\text{mol g}^{-1} \text{h}^{-1}$	$\mu\text{mol mm}^{-1} \text{h}^{-1}$	$\mu\text{mol mm}^{-1} \text{h}^{-1}$	$\mu\text{mol m}^{-2} \text{h}^{-1}$	$\mu\text{mol dm}^{-3} \text{h}^{-1}$	$\mu\text{mol m}^{-1} \text{h}^{-1}$
Fósforo						
58	0,23a ⁽²⁾	2,75a	11,30a	40,47a	0,45a	0,048a
386	0,16b	1,94b	6,16b	28,12b	0,35b	0,030b
GG100	0,24a	2,53a	9,40a	38,37a	0,41a	0,045a
I042	0,15b	1,84b	7,27b	30,41b	0,29b	0,040a
I144	0,16b	1,61b	7,18b	26,51b	0,28b	0,033b
VM1	0,23a	2,28a	6,02b	38,67a	0,52a	0,038b
Média	0,20	2,16	7,89	33,80	0,38	0,039
CV ⁽¹⁾ (%)	19,5	18,1	26,7	18,0	19,1	18,5
Potássio						
58	0,42b	4,97b	22,10a	75,44b	0,79b	0,090b
386	0,31b	3,80b	12,15c	57,20b	0,71b	0,058c
GG100	0,42b	4,52b	17,41b	71,44b	0,74b	0,088b
I042	0,59a	6,76a	22,62a	103,50a	1,10b	0,123a
I144	0,50b	4,89b	23,56a	87,99b	0,89b	0,110a
VM1	0,72a	6,62a	16,11b	119,98a	1,54a	0,118a
Média	0,49	5,26	18,99	85,92	0,96	0,098
CV(%)	24,2	20,1	15,3	17,0	19,1	18,9
Cálcio						
58	0,27b	3,21b	14,30b	48,61b	0,51b	0,058b
386	0,48a	5,60a	16,81b	79,86a	1,02a	0,076b
GG100	0,52a	5,45a	21,16a	82,20a	0,87a	0,100a
I042	0,20b	2,42b	9,44b	40,02b	0,38b	0,053b
I144	0,67a	6,31a	26,76a	105,73a	1,15a	0,123a
VM1	0,54a	4,74a	10,93b	86,61a	1,07a	0,090a
Média	0,45	4,62	16,57	73,84	0,83	0,083
CV(%)	31,0	27,3	26,6	29,9	32,5	27,6

...continua...

TABELA 2, Cont.

	Magnésio					
58	0,42a	4,64a	17,60b	69,51a	0,77b	0,080b
386	0,53a	5,33a	18,81b	87,56a	1,15a	0,083b
GG100	0,23b	2,43a	9,29c	38,64b	0,42b	0,043c
I042	0,34b	3,89a	13,11c	58,70b	0,63b	0,070b
I144	0,61a	6,08a	25,34a	98,87a	1,04a	0,118a
VM1	0,46a	4,49a	12,05c	75,82a	1,02a	0,070b
Média	0,43	4,48	16,03	71,51	0,84	0,077
CV(%)	28,1	29,1	21,1	20,0	24,5	18,4

⁽¹⁾ Coeficiente de variação das médias entre os clones. ⁽²⁾ Valores seguidos de mesma letra, em cada coluna, pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott-Knott a 5%.

Como a matéria fresca de raízes possibilita uma discriminação semelhante à das demais variáveis morfológicas do sistema radicular, principalmente, área e volume radicular, pode-se concluir que a matéria fresca de raízes, comumente utilizada na obtenção do parâmetro cinético V_{max} , facilita o processo operacional sem, aparentemente, interferir no influxo estimado, representando bem, principalmente, as variáveis, área e volume radicular, de difícil obtenção uma vez que demandam mais tempo e equipamentos apropriados, nem sempre disponíveis nos laboratórios.

Na tabela 3 são apresentados os valores dos parâmetros cinéticos da absorção de P, K, Ca e Mg, bem como o poder de absorção (α) definido como a razão V_{max}/K_m . Em relação ao fósforo não houve diferença entre os clones I144 e VM1 para a constante de Michaelis-Menten (K_m), os quais apresentaram menores valores para este parâmetro. Em relação à concentração mínima de P na solução após 24 horas (C_{min}), os clones 58 e VM1 apresentaram menores concentrações deste elemento em solução. A velocidade máxima de absorção (V_{max}) foi maior para os clones 58, GG100 e VM1. Os clones com maior “poder de absorção” foram VM1, GG100, I144 e 58. A eficiência de absorção de um nutriente em baixa concentração na solução será tanto maior quanto maior

for o Vmax e menor o Km. O parâmetro “poder de absorção” (α), sendo a razão dos dois, é uma expressão direta dessa eficiência e reflete os maiores valores de Vmax apresentados pelos referidos clones.

TABELA 3 Valores de Km, Cmin, Vmax e poder de absorção (α) para P, K, Ca e Mg apresentados pelos seis clones de eucalipto

Clone	<u>Fósforo</u>				<u>Potássio</u>			
	Km	Cmin	Vmax ⁽¹⁾	α	Km	Cmin	Vmax	α
	$\mu\text{mol L}^{-1}$	$\mu\text{mol g}^{-1} \text{h}^{-1}$			$\mu\text{mol L}^{-1}$	$\mu\text{mol g}^{-1} \text{h}^{-1}$		
58	15,1a ⁽²⁾	10,0b	0,23a	0,015a	38,0b	25,9b	0,42b	0,012b
386	14,9a	11,8a	0,16b	0,008b	55,3a	45,0a	0,31b	0,006c
GG100	14,6a	11,1a	0,24a	0,017a	41,9b	25,1b	0,42b	0,010b
I042	14,9a	12,6a	0,15b	0,010b	48,9a	37,5a	0,59a	0,014b
I144	14,0b	11,4a	0,16b	0,015a	39,4b	24,3b	0,50b	0,013b
VM1	13,3b	8,6b	0,23a	0,018a	31,8b	14,5b	0,72a	0,024a
Média	14,5	10,9	0,20	0,014	42,6	28,7	0,49	0,013
CV ⁽³⁾ (%)	4,9	10,2	19,5	16,9	14,3	30,7	24,2	24,5

Clone	<u>Cálcio</u>				<u>Magnésio</u>			
	Km	Cmin	Vmax	α	Km	Cmin	Vmax	α
	$\mu\text{mol L}^{-1}$	$\mu\text{mol g}^{-1} \text{h}^{-1}$			$\mu\text{mol L}^{-1}$	$\mu\text{mol g}^{-1} \text{h}^{-1}$		
58	24,8a	11,2a	0,27b	0,015c	36,7a	21,9b	0,42a	0,012b
386	34,1a	10,6a	0,48a	0,016c	38,2a	20,1b	0,53a	0,014b
GG100	23,9a	8,8a	0,52a	0,023b	29,8b	23,7b	0,23b	0,010c
I042	17,4a	11,1a	0,20b	0,023b	39,8a	32,6a	0,34b	0,006d
I144	31,0a	8,2a	0,67a	0,022b	39,6a	23,7b	0,61a	0,018a
VM1	17,0a	5,0a	0,54a	0,031a	36,3a	23,3b	0,46a	0,013b
Média	24,7	9,1	0,45	0,022	36,7	24,2	0,43	0,012
CV(%)	33,4	29,1	31,0	15,4	6,0	15,4	28,1	18,6

⁽¹⁾ Vmax obtida por meio da matéria fresca de raízes. ⁽²⁾ Valores seguidos de mesma letra, em cada coluna, pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott-Knott a 5%. ⁽³⁾ Coeficiente de variação das médias entre os clones.

Lima et al. (2005) ressaltam que um clone com maior V_{max} seria mais eficiente na absorção numa condição de elevada disponibilidade do nutriente. Por outro lado, um clone com menor K_m seria mais eficiente na absorção de determinado nutriente numa condição de menor disponibilidade. Assim, em termos práticos, espera-se que os genótipos com maior V_{max} e menor K_m sejam, comparativamente, superiores, tanto em alta quanto em baixa disponibilidade do nutriente no solo. Em relação ao P, entretanto, Novais & Mello (2007) afirmam que menores valores de K_m seriam mais convenientes que grandes valores de V_{max} , uma vez que as concentrações de P normalmente encontradas na solução de nossos “solos-dreno” não são suficientes para obter altos valores de V_{max} . Neste contexto, os clones VM1 e I144 se mostram mais aptos a absorver o P da solução do solo nessas condições.

Em termos ideais, uma planta eficiente nutricionalmente na absorção de P seria aquela que apresentasse uma alta taxa inicial de absorção de P, decorrente de alta afinidade do carregador com o P (baixo K_m) e atingisse uma concentração mínima baixa, extraindo o máximo possível do P da solução (Nielsen & Barber, 1978). Nesse contexto, o clone VM1 seria o genótipo de eucalipto com maior flexibilidade para se adaptar a solos com altos ou baixos teores de P (Tabela 3). Além dessas vantagens, o baixo valor de C_{min} apresentado pelo referido clone destaca a sua capacidade para operar o mecanismo de absorção de P até concentrações relativamente baixas desse nutriente em solução em relação aos demais clones de eucalipto.

Em estudo realizado com clone de eucalipto pré-tratado com amônio e nitrato, Vale (1982) observou que os valores dos parâmetros cinéticos de absorção de P variaram de 0,428 a 0,665 $\mu\text{moles g}^{-1} \text{h}^{-1}$, 3,27 a 4,52 μM e 0,17 a 0,72 μM , para V_{max} , K_m e C_{min} , respectivamente. Em trabalho realizado com cinco espécies de eucalipto, os parâmetros cinéticos da absorção de P variaram de 0,57 a 1,72 $\mu\text{moles g}^{-1} \text{h}^{-1}$, 1,15 a 1,29 $\mu\text{mol L}^{-1}$ e 0,23 a 2,08 $\mu\text{mol L}^{-1}$, para

V_{max}, K_m e C_{min}, respectivamente (Furtini Neto, 1994). Os valores apresentados pelos referidos autores estão muito distantes dos encontrados no presente trabalho; no entanto, deve-se ressaltar que aqueles foram obtidos em cinética isolada do nutriente e com elemento marcado (P³²) (Vale, 1982), o que torna difícil a comparação de valores.

O efeito conjunto de V_{max}, K_m e C_{min} sobre o influxo de P permitiu separar os clones de eucalipto em dois grupos distintos: o grupo com maior influxo, formado pelos clones VM1, 58 e GG100 e o grupo com menor influxo constituído pelos clones I144, 386 e I042 (Tabela 8A, Figura 1). O maior influxo apresentado pelo clone VM1 é consequência do alto valor de V_{max} e baixos valores de K_m e C_{min} (Tabela 3), como citado anteriormente, confirmando sua maior eficiência em manter a absorção de P em condições de alta ou baixa disponibilidade do elemento em solução. Esta observação é relevante, uma vez que demonstra a grande plasticidade do clone VM1 para se adequar às diversas condições edáficas em termos de maior ou menor disponibilidade de P no solo. Devido à grande limitação ao crescimento das árvores causada pela deficiência de P em florestas plantadas (Barros & Novais, 1990, 1996), a seleção de genótipos de eucalipto com comportamento similar ao do clone VM1 é importante para uma maior eficiência na recuperação do nutriente aplicado e redução de custos com a adubação fosfatada, sem comprometer a produção de biomassa.

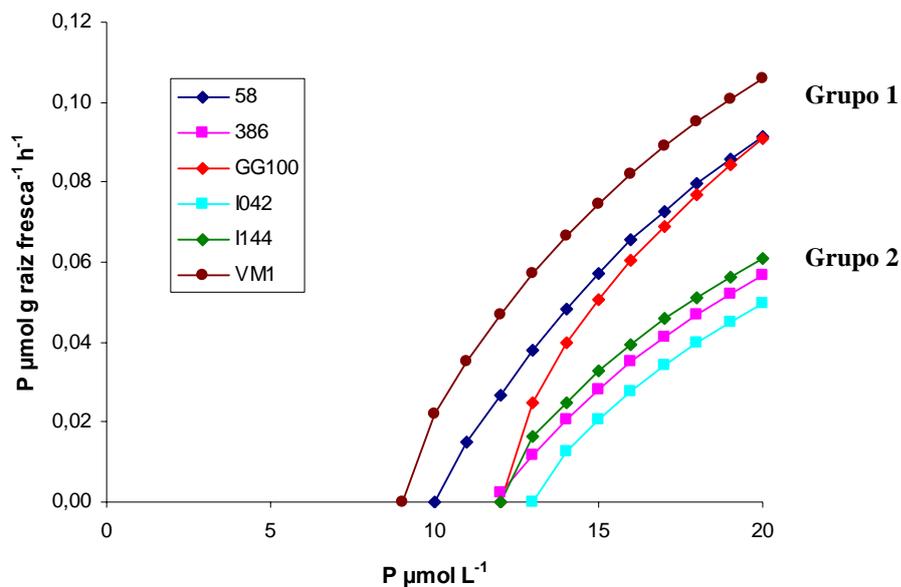


FIGURA 1 Influxo líquido de P em mudas de seis clones de eucalipto de acordo com suas respectivas concentrações em solução

Em relação à cinética de absorção de K, os clones 58, GG100, I144 e VM1 apresentaram os menores valores de K_m e C_{min} dentre os genótipos avaliados (Tabela 3). A velocidade máxima de absorção (V_{max}) foi maior para os clones I042 e VM1. O clone VM1 também apresentou o maior “poder de absorção” (α) de K. Analisando os parâmetros cinéticos apresentados pelo clone VM1, observa-se que este também apresenta grande flexibilidade em se adaptar a condições de altos ou baixos teores de K, em função dos menores valores de K_m e C_{min} e alto valor de V_{max} (Tabela 3). Este clone com grande capacidade de adaptação a condições diversas de disponibilidade de P e K em solução, constitui um material genético importante para o setor florestal brasileiro, uma vez que os sintomas de deficiências nutricionais mais comuns observados nos

plantios de eucalipto têm sido os de P e K (Silveira et al., 2004). No caso do K, maior atenção deve ser dispensada a esse nutriente, dadas as grandes quantidades exportadas dos sítios florestais após a exploração florestal (Morais, 1988; Reis & Barros, 1990; Molica, 1992; Grespan et al., 1998). No entanto, para nutrientes que chegam às raízes por difusão, como normalmente acontece com P e K (Barber, 1995), há a formação de uma zona de depleção no solo junto às raízes, onde a V_{max} normalmente não é atingida. Nessas condições, K_m passa a ser o parâmetro cinético mais importante na absorção destes nutrientes, principalmente nos solos onde a disponibilidade destes nutrientes varia de média a baixa (Horn et al., 2006).

Valores dos parâmetros cinéticos de absorção de K obtidos em clones de eucalipto variaram de 0,4 a 1,3 $\mu\text{moles g}^{-1} \text{h}^{-1}$, 6,2 a 21,3 $\mu\text{mol L}^{-1}$ e 3,4 a 9,4 $\mu\text{mol L}^{-1}$, para V_{max} , K_m e C_{min} , respectivamente (Lima et al., 2005). Os valores obtidos no presente trabalho para V_{max} estão dentro da faixa de variação do trabalho citado; no entanto, os valores de K_m e C_{min} foram superiores aos apresentados por esses autores. Provavelmente a causa dos valores mais elevados para esses parâmetros seja a condição diferente de realização da cinética, uma vez que o trabalho mencionado realizou a cinética isolada do elemento. Como a cinética conjunta permite a interação entre os íons na solução pode-se inferir sobre a possibilidade de redução na afinidade do sistema transportador pelo K na presença, principalmente, de íons competidores como o Ca e o Mg. Na interação competitiva os íons competem pelo mesmo sítio do transportador o que resulta em aumento do K_m e o V_{max} se mantém inalterado (Costa et al., 2000; Fernandes & Souza, 2006).

O influxo estimado de K possibilitou a separação dos clones de eucalipto em três grupos distintos: o grupo com maior influxo formado pelo clone VM1, o grupo com influxo intermediário constituído pelos clones I144,

I042, 58 e GG100 e o terceiro grupo constituído pelo clone 386 com o menor influxo dentre os clones de eucalipto avaliados (Tabela 8A, Figura 2).

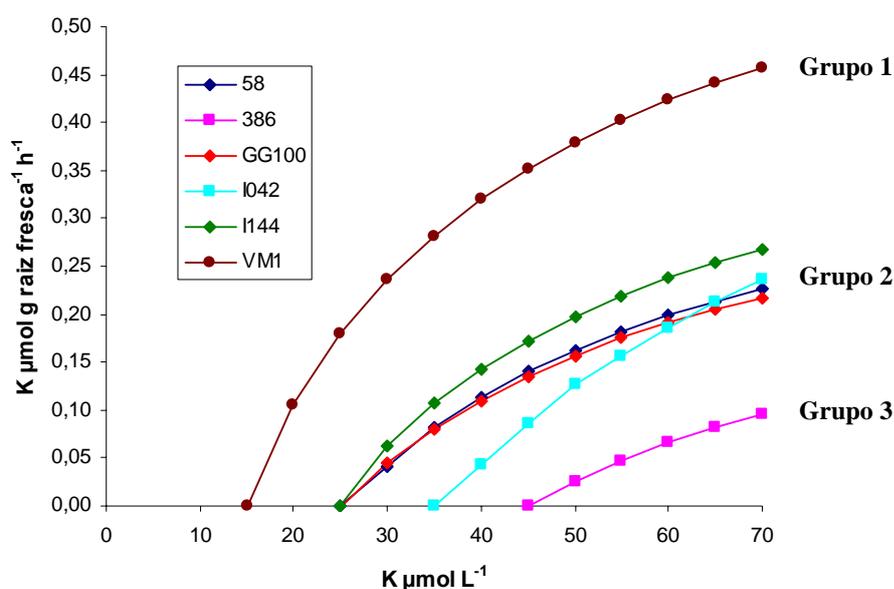


FIGURA 2 Influxo líquido de K em mudas de seis clones de eucalipto de acordo com suas respectivas concentrações em solução

O clone VM1, assim como também observado para o P, apresentou maior influxo de K dentre os clones de eucalipto avaliados no presente trabalho. Este comportamento do clone VM1 é relevante, pois não pode ser atribuído ao desenvolvimento do sistema radicular, uma vez que este foi muito restrito em comparação com os demais clones. Talvez a explicação mais coerente seja a maior concentração e, ou, velocidade de giro (razão de *turnover*) dos carregadores presentes no sistema radicular deste clone de eucalipto (Vale et al., 1984).

Não houve diferenças nos valores de K_m e C_{min} para os seis clones de eucalipto na cinética de absorção de Ca (Tabela 3), indicando que estes clones de eucalipto apresentam semelhantes eficiências de absorção de Ca sob condições de baixa a média concentração desse nutriente na solução. Os maiores valores de V_{max} foram apresentados pelos clones 386, GG100, I144 e VM1. O clone VM1 apresentou o maior “poder de absorção” (α) de Ca.

Em estudo realizado por Lima et al. (2005) com clones de eucalipto, os valores dos parâmetros cinéticos de absorção de Ca variaram de 0,7 a 2,9 $\mu\text{moles g}^{-1} \text{h}^{-1}$, 45,5 a 72,2 $\mu\text{mol L}^{-1}$ e 15,1 a 46,3 $\mu\text{mol L}^{-1}$, para V_{max} , K_m e C_{min} , respectivamente. Os valores obtidos neste estudo para V_{max} estão abaixo da faixa de variação do trabalho citado; no entanto, os valores de K_m e C_{min} foram inferiores ao apresentado por estes autores.

O efeito conjunto de V_{max} , K_m e C_{min} sobre o influxo estimado de Ca permitiu a separação dos clones em três grupos distintos: o grupo com maior influxo formado pelos clones VM1 e I144, o grupo com menor influxo constituído pelos clones 58 e I042 e o grupo com influxo intermediário formado pelos clones GG100 e 386 (Tabela 8A, Figura 3).

Quando não há limitação no suprimento dos nutrientes pelo solo às raízes, a V_{max} é o parâmetro que mais influencia a quantidade absorvida desses pelas plantas. No entanto, quando o suprimento pelo solo é pequeno, como ocorre em solos com baixa concentração de nutrientes ou em períodos de déficit hídrico, o C_{min} exerce grande influência na absorção (Horn et al., 2006). Assim, pode-se constatar a grande influência do C_{min} no influxo de Ca, o qual foi inversamente proporcional à concentração mínima deste nutriente em solução (C_{min}) (Tabela 3 e Figura 3).

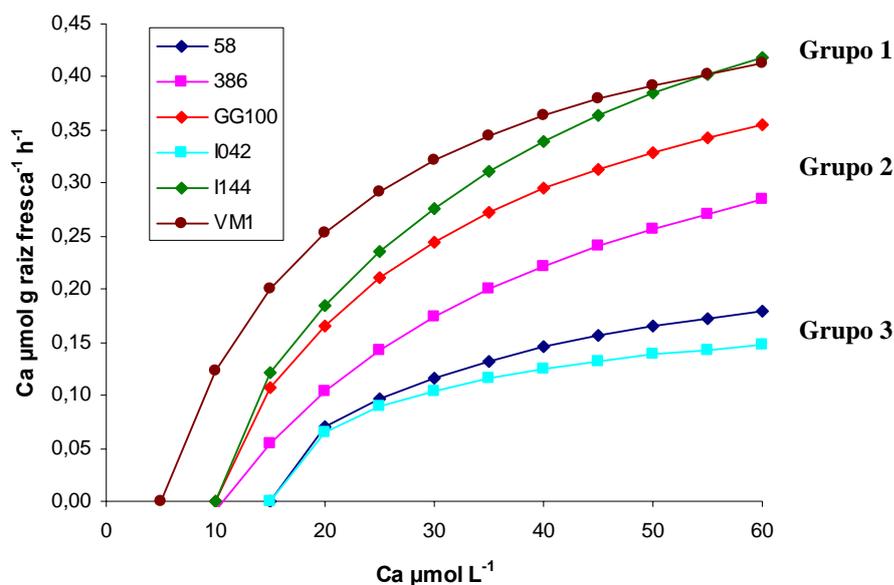


FIGURA 3 Influxo líquido de Ca em mudas de seis clones de eucalipto de acordo com suas respectivas concentrações em solução

O clone VM1, assim como para o P e K, também apresentou o maior influxo para Ca. Os decréscimos significativos de nutrientes em solos cultivados com eucalipto, especialmente de P, K e Ca (Barros & Novais, 1996; Leite, 2001; Silveira et al., 2004), ressaltam a importância de genótipos de eucalipto como o clone VM1 com grande capacidade de absorção destes nutrientes, podendo recuperá-los mais facilmente dos fertilizantes adicionados ao solo. Essa constatação contrasta com a conclusão de Lima et al. (2005) de que a seleção de plantas com constantes cinéticas favoráveis a vários nutrientes simultaneamente não seja uma estratégia viável.

Em relação aos parâmetros da cinética de absorção de Mg (Tabela 3), o clone GG100 apresentou o menor valor de K_m , ou seja, as proteínas

transportadoras de Mg na membrana plasmática das células radiculares desse clone apresentam maior afinidade por esse nutriente. O clone I144 apresentou o maior “poder de absorção” (α) de Mg. O clone I042 apresentou o maior valor de C_{min} . Os maiores valores de V_{max} foram apresentados pelos clones 58, 386, I144 e VM1. Anghinoni et al. (1989) destacam que menores índices de K_m e C_{min} são esperados para genótipos mais adaptados a condições de baixa fertilidade de solo (Salinas & Sanchez, 1976), enquanto valores mais altos de V_{max} são esperados para genótipos desenvolvidos em condições de elevada fertilidade.

Embora o Mg seja requerido em menor quantidade pelo eucalipto, muitas vezes em solos, e, ou, subsolos de muitas áreas de cerrado, teores adequados não são atingidos (Neves et al., 1990). Nessas áreas, os genótipos com menores valores de C_{min} seriam interessantes, pois são capazes de operar o mecanismo de absorção de Mg até concentrações relativamente baixas desse nutriente em solução.

Lima et al. (2005), em estudo realizado com quatro clones de eucalipto, encontraram valores dos parâmetros cinéticos de absorção de Mg que variaram de 0,7 a 1,8 $\mu\text{moles g}^{-1} \text{h}^{-1}$, 77,3 a 122 $\mu\text{mol l}^{-1}$ e 54,5 a 74,3 $\mu\text{mol l}^{-1}$, para V_{max} , K_m e C_{min} , respectivamente. Com comportamento semelhante ao Ca, os valores obtidos para V_{max} estão abaixo da faixa de variação do trabalho citado; no entanto, os valores de K_m e C_{min} foram inferiores ao apresentado por esses autores.

O influxo estimado de Mg possibilitou a separação dos clones em três grupos distintos: o grupo com maior influxo formado pelos clones I144 e 386, o segundo grupo com influxo intermediário constituído pelos clones VM1 e 58 e um terceiro grupo formado pelos clones GG100 e I042 com o menor influxo dentre os materiais genéticos avaliados (Tabela 8A, Figura 4).

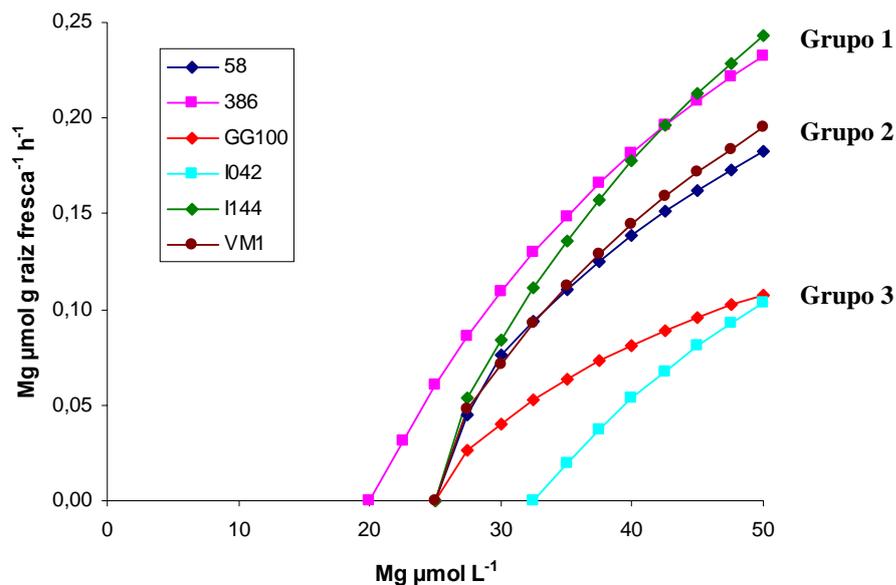


FIGURA 4 Influxo líquido de Mg em mudas de seis clones de eucalipto de acordo com suas respectivas concentrações em solução

Os valores dos parâmetros cinéticos da absorção de P, K, Ca e Mg variaram com os genótipos e com os nutrientes (Tabela 3). Maiores diferenças nos valores de V_{max} entre os clones ocorreram para Ca e Mg e, nos de K_m e C_{min} para Ca. Variações nestes parâmetros também foram observadas por outros autores trabalhando com cinética de absorção de nutrientes em eucalipto (Vale, 1982; Furtini Neto, 1994; Grespan et al., 1998; Lima et al., 2005). Em outras culturas, variações nos parâmetros cinéticos de absorção de nutrientes também foram observadas, incluindo milho (Vale et al., 1984, 1987; Anghinoni et al., 1989; Jungk et al., 1990; Alves et al., 1998, 2002; Costa et al., 2000; Machado & Furlani, 2004; Horn et al., 2006), soja (Castells, 1984; Castells et al., 1985; Faquin et al., 1990; Jungk et al., 1990; Martinez et al., 1993a;

Sacramento & Rosolem, 1997), arroz (Furlani, 1988; Anghinoni et al., 1989; Vahl et al., 1993; Baptista et al., 2000), feijão (Silveira & Cardoso, 2004), trigo (Anghinoni et al., 1989; Alves et al., 1998), tomate (Fontes & Barber, 1984), cebola (Abbès et al., 1995); fumo (Petry et al., 1994) e espécies forrageiras (Anghinoni et al., 1989; Fattore & Anghinoni, 1992).

O clone VM1 se destacou entre os demais clones de eucalipto estudados apresentando os maiores influxos de P, K e Ca. Embora este clone apresente um sistema radicular pouco desenvolvido, com menor área específica de raízes (Tabela 1), apresentou os maiores valores de V_{max} , indicando a provável ocorrência de um maior número de carregadores em nível radicular, ou, que o *turnover* dos carregadores deste clone seja mais rápido se comparado com os demais clones (Furtini Neto, 1994). Pode-se sugerir que o maior influxo de P, K e Ca e a eficiente translocação dos nutrientes para a parte aérea, desempenham papel importante na eficiência nutricional deste clone. Assim, a eficiência nutricional inexpressiva apresentada pelo clone VM1 (Capítulo 2 - Tabela 3) não é consequência da baixa eficiência na absorção dos nutrientes, mas da menor eficiência de utilização dos nutrientes absorvidos na produção de biomassa. Este clone, portanto, constitui um material genético promissor para a silvicultura brasileira, pois absorve, de forma eficiente, nutrientes bastante limitantes à cultura do eucalipto.

Após o clone VM1, o clone I144 é o clone que mais se destacou com altos influxos de K, Ca e Mg. O bom desempenho deste clone pode ser atribuído à baixa exigência metabólica, refletida pela alta eficiência nutricional (Capítulo 2 - Tabela 3) e grande produção de biomassa (Capítulo 2 - Tabela 2), além de apresentar um grande volume de raízes com menor diâmetro (Tabela 1). Vilela & Anghinoni (1984) afirmam que a eficiência de absorção dos nutrientes varia na razão direta do volume e da menor espessura das raízes, uma vez que esses atributos influenciam a superfície de absorção radicular.

O clone 386, embora seja eficiente nutricionalmente (Capítulo 2) e apresente um sistema radicular bastante desenvolvido com maior área específica de raízes (Tabela 1), apresentou baixo influxo de nutrientes, à exceção do influxo de Ca e Mg. Esse comportamento indica a provável ocorrência de uma saturação dos carregadores em nível radicular, tornando o *turnover* dos carregadores deste clone mais lento. Assim, pode-se inferir que os baixos influxos apresentados por este clone são compensados pela alta eficiência de utilização dos nutrientes, o que concorre para a maior produção de biomassa apresentada por este clone de eucalipto (Capítulo 2 - Tabela 2).

O clone I042, por outro lado, apresentou os menores influxos para P, Ca e Mg. A baixa capacidade de absorção deste clone pode ser confirmada por meio das características indicativas da baixa eficiência nutricional (Capítulo 2 - Tabela 3) desse genótipo, bem como em relação à baixa produção de matéria seca (Capítulo 2 - Tabela 2). O referido clone também apresentou uma baixa relação na produção de matéria seca da parte aérea/raiz. Lima et al. (2005) observaram que os clones com maior valor de influxo para K, Ca e Mg apresentaram maior relação parte aérea/raiz. Estes autores ressaltam que o fato de tais clones apresentarem essa característica fisiológica mais eficiente, contribui para que haja um maior transporte desses nutrientes para a parte aérea, resultando, conseqüentemente, em um maior crescimento desse compartimento.

O paralelo realizado entre o influxo dos nutrientes e a eficiência nutricional dos diferentes clones permite ressaltar a importância de uma análise conjunta dessas variáveis como forma de facilitar o entendimento não só da aquisição de nutrientes do solo, mas também em relação à alocação desses nutrientes de forma mais eficiente para a produção de biomassa. Essas variáveis não devem ser dissociadas, pois o influxo representa melhor a eficiência de absorção que índices associados ao acúmulo de nutrientes e produção de matéria seca de raiz. Assim, a eficiência de utilização e o influxo podem descrever

melhor o comportamento dos materiais genéticos quanto à recuperação e emprego dos elementos aplicados via fertilização na produção de biomassa e, conseqüentemente, quanto à exportação dos nutrientes do sítio florestal.

A cinética de absorção iônica de P, K, Ca e Mg realizada de forma conjunta se mostrou adequada na caracterização do influxo destes nutrientes pelos clones de eucalipto, uma vez que os valores dos coeficiente estão próximos dos encontrados em outros trabalhos, principalmente para K, Ca e Mg obtidos por meio de elementos não marcados. Essa metodologia apresenta vantagens em relação à cinética isolada dos nutrientes, tais como: economia no uso de reagentes, abreviação no tempo de realização da cinética de absorção, além de melhor representar a absorção dos nutrientes da solução do solo, pois permite a interação entre íons (competição/sinergismo) comumente observada na solução do solo. Embora novas metodologias sejam utilizadas como forma de contornar as limitações expostas acima, como a utilizada por Escamilla & Comerford (1998) para a mensuração da absorção em espécies arbóreas adultas em condições de campo, deve-se ressaltar, no entanto, em relação à cinética conjunta, que para conclusões definitivas a este respeito, novos experimentos devem ser conduzidos com a cinética isolada dos nutrientes sendo realizada de forma paralela à conjunta, para que os parâmetros cinéticos e os influxos possam ser comparados.

6 CONCLUSÕES

Os atributos morfológicos do sistema radicular que afetam a absorção de nutrientes variaram entre os clones de eucalipto, com os clones 386 e GG100 se destacando em relação aos demais (58, I042, I144, VM1), o primeiro por apresentar um sistema radicular mais desenvolvido e o segundo por apresentar um sistema radicular com desenvolvimento bastante restrito.

O comportamento dos clones de eucalipto se mostrou bastante semelhante independente da variável morfológica radicular utilizada na obtenção do parâmetro cinético V_{max} . Desta forma, a utilização da matéria fresca de raízes na obtenção da velocidade máxima de absorção (V_{max}) facilita o processo operacional sem, aparentemente, interferir no influxo estimado.

Os parâmetros cinéticos da absorção iônica de P, K, Ca e Mg variaram com os genótipos e com os nutrientes. O clone VM1 se destacou entre os clones de eucalipto estudados pela grande plasticidade, podendo se estabelecer mais facilmente em condições de altos ou baixos teores de P e K em solução.

A avaliação conjunta dos parâmetros cinéticos por meio da equação de Michaelis-Menten possibilitou identificar o clone VM1 com os maiores influxos de P, K e Ca, dentre os clones de eucalipto. O clone I042, contudo, apresentou os menores influxos para P, Ca e Mg, o que contribuiu para a baixa produção de biomassa por este genótipo.

A cinética de absorção iônica de P, K, Ca e Mg, realizada de forma conjunta, permitiu a caracterização do influxo destes nutrientes pelos clones de eucalipto.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABBÉS, C.; PARENT, L. E.; KARAM, A.; ISFAN, D. Effect of NH_4^+ : NO_3^- ratios on growth and nitrogen uptake by onions. **Plant and Soil**, The Hague, v. 171, n. 2, p. 289-286, Apr. 1995.
- ALVES, V. A. C.; NOVAIS, R. F.; NEVES, J. C. L.; BARROS, N. F. Efeito do alumínio sobre a absorção e translocação de fósforo e sobre a composição mineral de duas cultivares de trigo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 23, n. 6, p. 563-573, jun. 1988.
- ALVES, V. M. C.; MAGALHÃES, J. V.; NOVAIS, R. F.; BAHIA FILHO, F. C.; OLIVEIRA, C. A.; FRANÇA, C. C. M. Localização de fósforo e de nitrogênio afetando os parâmetros cinéticos de absorção de nitrogênio em milho. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Londrina, v. 10, n. 3, p. 197-201, dez. 1998.
- ALVES, V. M. C.; PARENTONI, S. N.; VASCONCELLOS, C. A.; PITTA, G. V. E.; FRANÇA, C. C. M. Cinética de absorção de fósforo e crescimento do sistema radicular de genótipos de milho contrastantes para eficiência a fósforo. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 1, n. 1, p. 85-92, jan./abr. 2002.
- ANGHINONI, I.; MEURER, E. J. Eficiência de absorção pelas raízes. In: FERNANDES, M. F.; TAVARES, E. D.; LEAL, M. L. S. **Workshop sobre desenvolvimento do sistema radicular: metodologias e estudos de casos**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 1999. p. 57-87.
- ANGHINONI, I.; VOLKART, C. R.; FATTORE, N.; ERNANI, P. R. Morfologia de raízes e cinética da absorção de nutrientes em diversas espécies e genótipos de plantas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 13, n. 3, p. 355-361, set./dez. 1989.
- ARAÚJO, A. P.; MACHADO, C. T. T. Fósforo. In: FERNANDES, M. S. **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa, MG: SBCS, 2006. p. 253-280.
- BAPTISTA, J. A.; FERNANDES, M. S.; SOUZA, S. R. Cinética de absorção de amônio e crescimento radicular das cultivares de arroz agulha e bico ganga. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 35, n. 7, p. 1325-1330, jul. 2000.

BARBER, S. A. **Soil nutrient bioavailability**: a mechanistic approach. 2. ed. New York: J. Wiley, 1995. 414 p.

BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F. **Relação solo-eucalipto**. Viçosa, MG: Folha de Viçosa, 1990. 430 p.

BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F. Eucalypt nutrition and fertilizer regimes in Brazil. In: ATTIWILL, P. M.; ADAMS, M. A. **Nutrition of the eucalypts**. Collingwood: CSIRO, 1996. p. 335-356.

CASTELLS, A. J. **Absorção de fósforo e de cálcio como critério de seleção de genótipos de soja (*Glycine max* (L.) Merrill) quanto à tolerância ao alumínio**. 1984. 62 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

CASTELLS, A. J.; NEVES, J. C. L.; BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F. Considerações referentes à determinação de parâmetros cinéticos de absorção de fósforo. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 32, n. 179, p. 85-91, jan./fev. 1985.

CLARK, R. B. Characterization of phosphates of intact maize roots. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 23, n. 3, p. 458-460, May 1975.

CLARKSON, D. T. Adaptações morfológicas e fisiológicas das plantas a ambientes de baixa fertilidade. In: ROSAND, P. C. **Reciclagem de nutrientes e agricultura de baixos insumos nos trópicos**. Ilhéus: CEPLAC/SBCS, 1985. p. 45-75.

COSTA, C. N.; CASTILHOS, R. M. V.; VAHL, L. C.; KONRAD, E. E.; PASSIANOTO, C. C. Efeitos do alumínio na morfologia de raízes e na cinética de absorção de potássio em milho. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 6, n. 3, p. 251-253, set./dez. 2000.

EPSTEIN, E.; HAGEN, E. A kinetic study of the absorption of alkali cations by barley roots. **Plant Physiology**, Washington, DC, v. 27, n. 3, p. 457-474, July 1952.

ERNANI, P. R.; SANTOS, J. C. P.; KAMINSKI, J.; RHEINHEIMER, D. Prediction of phosphorus uptake by a mechanistic model in a low phosphorus highly weathered soil as affected by mycorrhizae inoculation. **Journal of Plant Nutrition**, Monticello, v. 17, n. 6, p. 1067-1078, May 1994.

ESCAMILLA, J. A.; COMERFORD, N. B. Measuring nutrient depletion by roots of mature trees in the field. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 62, n. 3, p. 797-804, May/June 1998.

FAQUIN, V.; MALAVOLTA, E.; MURAOKA, T. Cinética da absorção de fosfato em soja sob influência de micorriza vesículo-arbuscular. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 14, n. 1, p. 41-48, jan./abr. 1990.

FATTORE, N.; ANGHINONI, I. Eficiência de absorção de nutrientes por espécies forrageiras de inverno. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 27, n. 2, p. 251-258, fev. 1992.

FERREIRA, D. F. Análise estatística por meio do SISVAR - Sistema para Análise de Variância para Windows versão 4.0. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45., 2000, São Carlos, SP. **Anais...** São Carlos: UFSCar, 2000. p. 255-258.

FONTES, P. C. R.; BARBER, S. A. Crescimento do sistema radicular e cinética da absorção de fósforo pelo tomateiro afetado por concentrações de fósforo na solução nutritiva. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 19, n. 10, p. 1203-1210, out. 1984.

FURLANI, A. M. C. Variações em parâmetros de cinética de absorção de fósforo de três linhagens de arroz. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 12, n. 1, p. 77-80, jan./abr. 1988.

FURTINI NETO, A. E. **Efeito do enxofre no crescimento e assimilação de nitrogênio por diferentes espécies de eucalipto**. 1988. 95 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras.

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

GONÇALVES, J. L. M.; STAPE, J. L.; BENEDETTI, V.; FESSEL, V. A. G.; GAVA, J. L. An evaluation of minimum and intensive soil preparation regarding fertility and tree nutrition. In: GONÇALVES, J. L. M. **Forest nutrition and fertilization**. Piracicaba: IPEF, 2004. p. 13-64.

GRESPLAN, S. L.; DIAS, L. E.; NOVAIS, R. F. Crescimento e parâmetros cinéticos de absorção de amônio e nitrato por mudas de *Eucalyptus* spp submetidas a diferentes relações amônio/nitrato na presença e ausência de fósforo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 22, n. 4, p. 667-674, out./dez. 1998.

HORN, D.; ERNANI, P. R.; SANGOI, L.; SCHWEITZER, C.; CASSOL, P. C. Parâmetros cinéticos e morfológicos da absorção de nutrientes em cultivares de milho com variabilidade genética contrastante. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 30, n. 1, p. 77-85, fev. 2006.

JUNGK, A.; ASHER, C. J.; EDWARDS, D. G.; MEYER, D. Influence of phosphate status on phosphate uptake kinetics of maize (*Zea mays*) and soybean (*Glycine max*). **Plant and Soil**, The Hague, v. 124, n. 2, p. 175-182, June 1990.

LEITE, F. P. **Relações nutricionais e alterações edáficas de solos da região do Vale do Rio Doce, Mina Gerais, pelo cultivo de eucalipto**. 2001. 66 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

LIMA, A. M. N.; NEVES, J. C. L.; SILVA, I. R.; LEITE, F. P. Cinética de absorção e eficiência nutricional de K, Ca e Mg em plantas jovens de quatro clones de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 29, n. 6, p. 903-909, dez. 2005.

MACHADO, C. T. T.; FURLANI, A. M. C. Kinetics of phosphorus uptake and root morphology of local and improved varieties of maize. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 61, n. 1, p. 69-76, jan./fev. 2004.

MARTINEZ, H. E. P.; NOVAIS, R. F.; RODRIGUES, L. A.; SACRAMENTO, L. V. S. Comportamento de variedades de soja cultivadas em diferentes doses de fósforo: I., cinética de absorção de fósforo e ajustes morfológicos da planta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 17, n. 2, p. 231-238, maio/ago. 1993a.

MENGEL, D. B.; BARBER, S. A. Rate of nutrient uptake per unit of root under field conditions. **Agronomy Journal**, Madison, v. 66, n. 3, p. 399-402, May/June 1974.

MOLICA, S. G. **Produção de biomassa e eficiência nutricional de híbridos interespecíficos de eucalipto em duas regiões bioclimáticas de Minas Gerais**. 1992. 120 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

MORAIS, E. J. **Crescimento e eficiência nutricional de espécies de eucalipto em duas regiões bioclimáticas de Minas Gerais**. 1988. 56 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

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

MURPHY, J.; RILEY, H. P. A modified single solution method for the determination for phosphate in natural waters. **Analysis Chemistry Acta**, New York, v. 27, p. 31-36, 1962.

NIELSEN, N. E.; BARBER, S. A. Differences among genotypes of corn in the kinetics of P uptake. **Agronomy Journal**, Madison, v. 70, n. 5, p. 695-698, Sept./Oct. 1978.

NOVAIS, R. F.; MELLO, J. W. V. Relação solo-planta. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: SBCS, 2007. p. 133-204.

PETRY, C.; RHEINHEIMER, D. S.; KAMINSKI, J.; PESSOA, A. C. S.; CASSOL, L. C. Influência do estresse de alumínio em plantas de fumo: II., efeito nos parâmetros cinéticos de absorção de fósforo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 18, n. 1, p. 69-72, jan./abr. 1994.

REIS, M. G. F.; BARROS, N. F. Ciclagem de nutrientes em plantio de eucalipto. In: BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F. **Relação solo-eucalipto**. Viçosa, MG: Folhas de Viçosa, 1990. p. 265-301.

RODRIGUES, L. C. E. Modernização do setor depende de mais investimentos. **Visão Agrícola**, Piracicaba, v. 4, n. 4, p. 72-75, jul./dez. 2005.

RUIZ, H. A. Estimativa dos parâmetros cinéticos Km e Vmax por uma aproximação gráfico-matemática. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 32, n. 179, p. 79-84, jan./fev. 1985.

- RUIZ, H. A.; FERNANDES FILHO, E. I. Cinética: software para estimar as constantes Vmax e Km da equação de Michaelis-Menten. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 10., 1992, Piracicaba, SP. **Anais...** Piracicaba: SBCS, 1992. p. 124-125.
- SACRAMENTO, L. V. S.; ROSOLEM, C. A. Cinética de absorção de potássio e seus ajustes em plantas de soja em função da idade e estado nutricional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 21, n. 2, p. 213-219, abr./jun. 1997.
- SALINAS, J. G.; SANCHEZ, P. Soil plant relationship affecting varietal and species differences in tolerance to low available soil phosphorus. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v. 28, n. 2, p. 156-168, Feb. 1976.
- SILVEIRA, A. P. D.; CARDOSO, E. J. B. N. Arbuscular mycorrhiza and kinetic parameters of phosphorus absorption by bean plants. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 61, n. 2, p. 203-209, Mar./Apr. 2004.
- SILVEIRA, R. L. V. A.; HIGASHI, E. N.; GONÇALVES, A. N.; MOREIRA, A. Evaluation of the nutritional status of eucalypts: visual and foliar diagnoses and their interpretation. In: GONÇALVES, J. L. M. **Forest nutrition and fertilization**. Piracicaba: IPEF, 2004. p. 85-111.
- SILVEIRA, R. L. V. A.; HIGASHI, E. N.; SGARBI, F.; MUNIZ, M. R. A. **Seja o doutor do seu eucalipto**. São Paulo: Potafos, 2001. 32 p. (Informações agrônomicas, 93).
- TACHIABANA, J.; OHTA, Y. Root surface area as a parameter in relation to water and nutrient uptake by cucumber plant. **Soil Science and Plant Nutrition**, Tokyo, v. 29, p. 387-392, 1983.
- VAHL, I. C.; ANGHINONI, I.; VOLKWEISS, S. J. Cinética de absorção de potássio afetada por ferro, cálcio e magnésio em genótipos de arroz de diferentes sensibilidades à toxicidade de ferro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 17, n. 2, p. 269-273, maio/ago. 1993.
- VALE, F. R. **Efeito do alumínio sobre a cinética de absorção de nitrato, amônio e fosfato em milho (*Zea mays*, L.) e em clone de eucalipto (*Eucalyptus alba*)**. 1982. 71 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

VALE, F. R.; JACKSON, W. A.; VOLK, R. J. Potassium influx into maize root systems. Influence of root potassium concentration and ambient ammonium. **Plant Physiology**, Washington, DC, v. 84, n. 4, p. 1416-1420, Aug. 1987.

VALE, F. R.; NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; MILAGRES, B. G. Absorção de nitrato e amônio por raízes intactas de milho pré-tratadas com alumínio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 8, n. 2, p. 215-218, maio/ago. 1984.

VILELA, L.; ANGHINONI, I. Morfologia do sistema radicular e cinética de absorção de fósforo em cultivares de soja afetados pela interação alumínio-fósforo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 8, n. 1, p. 91-96, jan./abr. 1984.

CAPÍTULO 2

EFICIÊNCIA NUTRICIONAL DE CLONES DE EUCALIPTO NA FASE DE MUDAS CULTIVADOS EM SOLUÇÃO NUTRITIVA

1 RESUMO

O objetivo do presente trabalho foi avaliar a produção de biomassa e a eficiência nutricional de mudas de clones de eucalipto, cultivados em solução nutritiva, visando a caracterizar os genótipos quanto à eficiência de absorção e utilização dos macronutrientes como subsídio para a compreensão da cinética de absorção iônica de P, K, Ca e Mg. O experimento foi conduzido em casa de vegetação e em câmara de crescimento do Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras (MG). Mudas de seis clones de eucalipto (58, 386, GG100, I042, I144 e VM1) foram cultivadas em solução nutritiva. Os tratamentos, representados pelos seis clones, foram distribuídos em delineamento inteiramente casualizado com quatro repetições. Após 45 dias de cultivo foram avaliados o crescimento da parte aérea, a produção de biomassa e os teores, acúmulos e eficiências de absorção, translocação e utilização dos macronutrientes. Os clones diferiram entre si na produção de biomassa e na eficiência nutricional, sendo identificadas diferenças na eficiência de absorção, translocação e utilização dos macronutrientes em relação aos diferentes clones de eucalipto, bem como em função do nutriente. De forma geral, os clones podem ser separados, quanto à eficiência nutricional para os macronutrientes, na seguinte seqüência: I144 > 386 > 58 \approx GG100 > VM1 > I042. O clone I144 mostrou-se mais eficiente nutricionalmente, principalmente para N, P, K, Mg e S, com maior eficiência na absorção e utilização destes nutrientes na produção de biomassa. O clone I042 foi ineficiente tanto na absorção quanto na utilização de todos os macronutrientes, comprometendo a produção de biomassa. O clone VM1 se destacou entre os demais clones de eucalipto, sendo mais eficiente na translocação de todos os macronutrientes para a parte aérea das mudas de eucalipto. Os clones 386 e I144 foram os mais eficientes na utilização dos macronutrientes na produção de parte aérea do eucalipto. As diferenças identificadas no presente trabalho, quanto à eficiência nutricional dos clones de eucalipto na fase de mudas, sugerem a possibilidade de seleção de genótipos de eucalipto para condições distintas de fertilidade do solo.

Palavras-chaves: nutrição mineral, eficiência de absorção de nutrientes, eficiência de utilização dos nutrientes

2 ABSTRACT

The objectives of the present work were to evaluate the biomass production and the nutritional efficiency in seedlings of eucalyptus clones, cultivated in nutrient solution, aiming to characterize the genotypes as to the uptake efficiency, translocation and utilization of the macronutrients as subsidy for understanding of the ionic uptake kinetics of P, K, Ca and Mg. The experiment was carried out in a greenhouse and growth chamber of the Soil Science Department of the Federal University of Lavras (MG), using seedlings of six eucalyptus clones (58, 386, GG100, I042, I144 and VM1), cultivated in nutrient solution. The treatments, represented by the six clones, were distributed in a completely randomized design, with four repetitions. After 45 days of cultivation the growth attributes of the aerial part and roots, biomass production, the concentration, accumulation and uptake efficiencies, translocation and utilization of the macronutrients were evaluated. The eucalyptus clones differed among themselves in biomass production and in nutritional efficiency, differences being identified in the uptake efficiency, translocation and utilization of the macronutrients in relation to the different eucalyptus clones, as well as in function of the nutrient. In a general way, the clones can be separate, as to the nutritional efficiency of the macronutrients, in the following sequence: I144 > 386 > 58 \approx GG100 > VM1 > I042. The clone I144 showed to be more nutritionally efficient, mainly for N, P, K, Mg and S, with higher uptake and utilization efficiency of these nutrients in the biomass production. The clone I042 was inefficient in the uptake and utilization of all of the macronutrients, compromising its biomass production. The clone VM1 stood out among the other clones, being the most efficient in the translocation of all of the macronutrients to the aerial part of the eucalyptus seedlings. The clones 386 and I144 were more efficient in utilization of the macronutrients in the eucalyptus aerial part production. The differences identified in the present work as to the nutritional efficiency for the eucalyptus clones in the seedling phase suggests the possibility of selection of eucalyptus genotypes for distinct soil fertility conditions.

Key words: mineral nutrition, the uptake efficiency of the nutrients, utilization efficiency of the nutrients

3 INTRODUÇÃO

O cultivo do eucalipto se ampliou muito nas últimas décadas. Grandes maciços florestais estão distribuídos por todas as regiões do país. A área de florestas plantadas no Brasil em 2007 totalizou cerca de seis milhões de hectares. Desse total, cerca de 3,75 milhões correspondem a áreas de plantios com eucalipto. Minas Gerais é o estado com maior área plantada, cerca de 1,1 milhões de hectares, correspondendo a 28% da área plantada com eucalipto no Brasil. A contribuição desta essência florestal na economia do país tem sido patente, com as exportações alcançando US\$ 6,1 bilhões no ano de 2007 (Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas - ABRAF, 2008).

Há grande variabilidade intra e inter-específica para as espécies de *Eucalyptus*, principalmente, em características como produção de biomassa, taxa de crescimento, resistência a geadas e déficit hídrico (Chaperon, 1987). Uma forma de manter as características favoráveis, evitando a variabilidade encontrada em árvores obtidas a partir de sementes, é recorrer à propagação vegetativa (Higashi et al., 2004). Desde 1979, quando se iniciou o estabelecimento das primeiras florestas clonais comerciais no Brasil, na região litorânea do Espírito Santo, a produção de mudas clonais tem alcançado avanços tecnológicos expressivos (Higashi et al., 2004). O elevado número de espécies e clones confere ao eucalipto grande possibilidade de expansão geográfica e econômica, uma vez que estes materiais genéticos são adaptados às mais diversas condições edafoclimáticas e atendem a inúmeros tipos de explorações econômicas.

Entretanto, além da facilidade de adaptação destes materiais clonais às diversas condições ambientais e o atendimento dos requisitos tecnológicos dos mais diversos segmentos da produção industrial de base florestal, é muito

importante o entendimento de aspectos ligados à demanda de nutrientes e à eficiência destes materiais em converter os nutrientes absorvidos em biomassa, ou seja, sua eficiência nutricional. Neste sentido, na década de 90, os programas de seleção de eucalipto no Brasil passaram também a considerar a eficiência de utilização de nutrientes como critério para a escolha de genótipos superiores, além da produtividade, qualidade da madeira, forma da árvore e resistência a pragas e doenças (Santana et al., 2002).

Vários trabalhos têm constatado diferenças na eficiência nutricional entre as espécies de eucalipto (Pereira et al., 1984; Muniz et al., 1985; Moraes et al., 1990; Furtini Neto et al., 1996; Santana et al., 2002). Essas diferenças podem representar fator importante na economia ou no emprego mais racional de fertilizantes e contribuem para explicar a capacidade que certas espécies têm de se adaptar às diversas condições de estresses ambientais (Alves, 1994; Lima et al., 2005).

Diferenças na eficiência nutricional entre clones de eucalipto também têm sido observadas por vários autores (Barros et al., 1985; Molica, 1992; Grespan, 1997; Neves, 2000; Lima et al., 2005). Esse comportamento diferencial quanto à eficiência nutricional sugere a possibilidade de seleção e adaptação de genótipos de eucalipto a condições distintas de solo, mais especificamente àquelas de baixa fertilidade natural, e tem sido uma preocupação constante, em que espécies de rápido crescimento e baixa demanda de nutrientes possam ser aproveitadas (Moraes et al., 1990; Furtini Neto, 1994), uma vez que grande parte dos plantios florestais tem se expandido para áreas com solos marginais em termos de fertilidade.

Neste contexto, o cultivo de genótipos com alta eficiência na absorção, e, ou, utilização de nutrientes permitiria a otimização do uso dos nutrientes do solo ou a amenização da tendência à exaustão de nutrientes, por exportação, durante os ciclos de cultivos (Barros et al., 1990; Molica, 1992). Os nutrientes

seriam mais eficientemente absorvidos e convertidos em biomassa, com consequente aumento da produtividade e diminuição dos custos, fundamentais para a economia e racionalização no uso dos recursos edáficos, que podem ser obtidos pela combinação do potencial genético das plantas com o uso eficiente dos nutrientes.

O objetivo do presente trabalho foi avaliar a produção de biomassa e a eficiência nutricional de mudas de seis clones de eucalipto, cultivados em solução nutritiva, visando a caracterizar os genótipos quanto à eficiência de absorção e utilização dos macronutrientes como subsídio para a compreensão da cinética de absorção iônica de P, K, Ca e Mg.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido inicialmente em condições de casa de vegetação no Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras com mudas de seis clones de eucalipto: 58 e 386 (Cenibra), GG100 (Grupo Gerdau), I042, I144 (Acesita) e VM1 (Vallourec & Mannesman do Brasil). Os clones 58 e VM1 foram obtidos de híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus camaldulensis*, enquanto os demais de híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*.

Inicialmente as plantas foram transferidas para bandejas com 36 L de solução nutritiva de Clark (Clark, 1975) com um quarto da força iônica e pH ajustado inicialmente e corrigido periodicamente (a cada dois dias), para 6,0, durante a aclimação. A força iônica da solução foi aumentada semanalmente até atingir 100% da força iônica original ao término de três semanas de aclimação. As plantas foram cultivadas em casa de vegetação por 35 dias. Posteriormente foram selecionadas quanto à uniformidade de raízes e parte aérea e transferidas para câmara de crescimento com umidade relativa em torno de 50%, temperatura de cerca de 27°C e intensidade luminosa aproximada de 120 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. As plantas foram transferidas para vasos plásticos com 2 L de solução nutritiva de igual composição à anteriormente utilizada com pH ajustado para 6,0, onde permaneceram por mais cinco dias. Durante esta fase foram utilizadas quatro repetições de cada clone dispostas inteiramente ao acaso, sendo a unidade experimental constituída por uma planta por vaso.

Após o período de aclimação, procedeu-se à troca da solução por outra com a concentração reduzida a 10% da solução anterior e pH ajustado para 6,0, onde as plantas permaneceram por mais cinco dias. Em seguida, a solução foi novamente trocada por outra com N (150 $\mu\text{mol L}^{-1}$), P (20 $\mu\text{mol L}^{-1}$), K (70

$\mu\text{mol L}^{-1}$), Ca ($60 \mu\text{mol L}^{-1}$), Mg ($50 \mu\text{mol L}^{-1}$) e S ($25 \mu\text{mol L}^{-1}$), conforme testes preliminares, onde as plantas permaneceram por 24 horas, durante a realização de cinética de absorção de P, K, Ca e Mg.

Assim, após 45 dias de cultivo das mudas em solução nutritiva, foram efetuadas as medições da altura e diâmetro do caule. Posteriormente, as plantas foram separadas em parte aérea e raízes. As folhas foram destacadas do caule para a determinação da área foliar por meio do medidor de área *Transparent Belt Conveyor* modelo LI-3050A (LI-COR, inc. Lincoln-USA). Após a determinação da área foliar, as folhas foram acondicionadas juntamente com o caule em sacos de papel, secos em estufa e pesados para a obtenção da matéria seca da parte aérea (MSPA). Procedimento similar foi adotado para as raízes na determinação da matéria seca de raízes (MSR).

O material vegetal seco foi moído para a determinação dos teores totais de P e S por colorimetria; K por fotometria de emissão de chama; Ca e Mg por espectrofotometria de absorção atômica e N total pelo método Kjeldahl (Malavolta et al., 1997). Relacionando-se os teores dos nutrientes com a matéria seca produzida foi determinado o acúmulo de cada nutriente na parte aérea e raízes. A eficiência nutricional dos clones para cada nutriente foi avaliada por meio do cálculo dos valores da eficiência de absorção pela fórmula $EA = (\text{mg do nutriente na planta/g de matéria seca da raiz})$ (Swiader et al., 1994), eficiência de translocação $ET = (\text{mg do nutriente na parte aérea/mg do nutriente na planta})$ (Li et al., 1991), eficiência de utilização dos nutrientes na produção de matéria seca da parte aérea $EUPA = (\text{g de matéria seca da parte aérea/teor do nutriente na planta})$ e a eficiência de utilização (EU), sendo $EU = (\text{matéria seca total})^2/\text{mg do nutriente na planta}$, conforme Siddiqui & Glass (1981).

Um diagrama foi utilizado para agrupar os clones quanto à eficiência nutricional. Utilizaram-se as médias das eficiências de absorção e utilização de

cada nutriente para a separação do diagrama em quadrantes (grupos de eficiência nutricional).

Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias agrupadas pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade com o auxílio do programa estatístico SISVAR[®] (Ferreira, 2000).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Crescimento e produção de biomassa

Os clones de eucalipto apresentaram comportamento diferenciado quanto ao crescimento em diâmetro, altura e área foliar (Tabelas 1 e 9A). Em relação ao crescimento em altura o clone 58 se destacou entre os demais, seguido pelo clone VM1, híbridos de eucalipto *urocamaldulensis* com grande desenvolvimento vegetativo da parte aérea. Comportamento oposto foi apresentado pelos clones I042 e GG100 com menor crescimento em altura. Os maiores diâmetros do caule e área foliar foram observados no clone 386. Embora maiores valores de área foliar sejam relacionados à maior transpiração e consumo de água, em relação ao eucalipto, esta relação não pode ser generalizada, uma vez que os genótipos podem apresentar diferenças no controle da abertura e fechamento estomático, interferindo na eficiência de uso da água, como verificado por Silva et al. (2004).

De maneira geral, o clone 386 apresentou melhor desenvolvimento vegetativo da parte aérea em relação às três variáveis analisadas, enquanto o clone I042 apresentou o menor crescimento vegetativo dentre os clones de eucalipto avaliados (Tabela 1).

Diferenças significativas foram identificadas entre os clones de eucalipto quanto às produções de matéria seca da parte aérea, raízes e total, bem como para a relação entre a produção de matéria seca da parte aérea e raízes (Tabela 2). As maiores produções de matéria seca da parte aérea foram apresentadas pelos clones 386 e I144, confirmando o maior desenvolvimento vegetativo da parte aérea apresentado por estes materiais genéticos (Tabela 1). Os demais clones não diferiram entre si apresentando as menores produções de matéria seca da parte aérea. Em relação à matéria seca de raízes os clones 386, I144 e 58

apresentaram as maiores produções, enquanto para os demais clones não houve diferenças significativas na produção de matéria seca neste compartimento. A produção de matéria seca total pelos clones seguiu o padrão de produção da matéria seca da parte aérea, com os clones 386 e I144, apresentando as maiores produções de biomassa.

TABELA 1 Altura, diâmetro do caule e área foliar de seis clones de eucalipto

Clone	Altura cm	Diâmetro do caule mm	Área Foliar cm ²
58	78,0a ⁽¹⁾	5,15b	1646c
386	60,3b	6,35a	2787a
GG100	43,0d	5,07b	2230b
I042	47,8d	4,57b	1602c
I144	53,8c	5,52b	2278b
VM1	65,8b	4,95b	1930c
Média	58,1	5,27	2079

⁽¹⁾ Valores seguidos de mesma letra, em cada coluna, pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott-Knott a 5%.

De maneira geral, os clones 386 e I144 apresentaram as maiores produções de matéria seca para todas as variáveis analisadas, refletindo o maior crescimento vegetativo da parte aérea (Tabela 1). O clone I042, entretanto, apresentou as menores produções de matéria seca, o que é consistente com o baixo crescimento em altura, diâmetro e área foliar (Tabela 1). Embora estes clones tenham sido submetidos a diversos testes, pelas empresas que os utilizam em seus reflorestamentos, durante o processo de melhoramento genético,

diferenças de produção de biomassa ainda são identificadas, mesmo entre estes materiais geneticamente superiores, confirmando as diferenças entre clones de eucalipto, quanto à produção de biomassa, também identificadas por outros autores (Molica, 1992; Grespan, 1997; Lima et al., 2005).

TABELA 2 Produção de matéria seca pela parte aérea (MSPA), pelo sistema radicular (MSR), total (MST) e relação entre a matéria seca da parte aérea e raiz (MSPA/MSR) apresentadas pelos seis clones de eucalipto

Clone	MSPA	MSR	MST	MSPA/MSR
----- g planta ⁻¹ -----				
58	9,16b ⁽²⁾	1,81a	10,97b	5,07a
386	11,26a	2,09a	13,35a	5,45a
GG100	8,40b	1,44b	9,84b	5,81a
I042	6,95b	1,65b	8,60b	4,23b
I144	10,30a	1,95a	12,25a	5,26a
VM1	8,35b	1,63b	9,98b	5,14a
Média	9,07	1,76	10,83	5,16
CV (%) ⁽¹⁾	13,8	11,6	13,0	10,1

⁽¹⁾ Coeficiente de variação das médias entre clones. ⁽²⁾ Valores seguidos de mesma letra, em cada coluna, pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott-Knott a 5%.

Não foram observadas diferenças significativas para a relação entre a produção de matéria seca da parte aérea e raízes entre os clones GG100, 386, I144, VM1 e 58 que demonstraram as maiores relações (Tabela 2). A menor relação entre a produção de matéria seca da parte aérea e raízes foi apresentada

pelo clone I042, evidenciando o maior investimento relativo em produção de raízes que em parte aérea. Uma baixa relação parte aérea/raiz pode ser benéfica em condições de baixo nível de fertilidade do solo, pois haverá maior superfície radicular para suprir as necessidades da planta. Por outro lado, a maior translocação de fotoassimilados para o sistema radicular pode limitar o desenvolvimento vegetativo da parte aérea, diminuindo a área fotossinteticamente ativa (Horn et al., 2006). A baixa relação parte aérea/raiz tem sido relacionada com a suscetibilidade das plantas à deficiência de P (Machado & Furlani, 2004). Baixos valores para essa relação têm sido observados em vários genótipos de diferentes espécies de plantas crescendo sob condições de baixa disponibilidade de P, em comparação àquelas sob suprimento regular de P (Föhse et al., 1988; Fageria & Baligar, 1989; Gill et al., 1992).

Na figura 1 é apresentada a relação entre a produção de matéria seca total pelos clones de eucalipto e a área foliar, indicando um padrão linear entre essas variáveis. A quantidade de fotoassimilados na planta é, geralmente, proporcional à área foliar (Zonta et al., 2006); assim, pode-se inferir que estes fotoassimilados são convertidos em biomassa contribuindo para o aumento da matéria seca total.

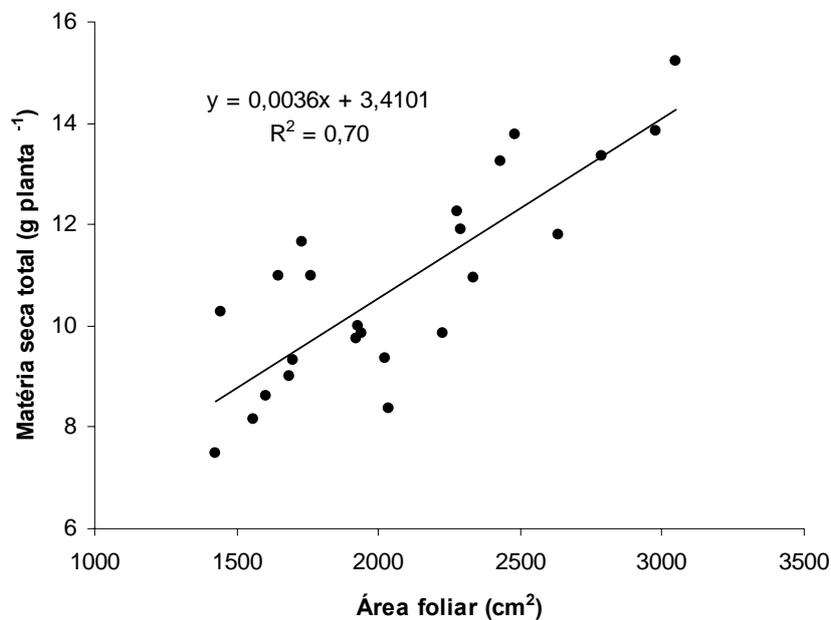


FIGURA 1 Matéria seca total das mudas de eucalipto em função da área foliar para os seis clones de eucalipto

5.2 Eficiência nutricional

Martinez et al. (1993b) ressaltam que o comportamento diferenciado, quanto ao crescimento de plantas de variedades diferentes, cultivadas sob mesma condição, pode indicar diferenças nos fatores internos responsáveis pela eficiência nutricional destes materiais genéticos. Neste contexto são apresentadas na tabela 3 as variáveis para a caracterização da eficiência nutricional dos seis clones de eucalipto.

Diferenças significativas foram observadas na eficiência de absorção, translocação e utilização dos macronutrientes em relação aos clones de eucalipto, bem como em função dos macronutrientes (Tabela 3).

TABELA 3 Teores, acúmulos e eficiências de absorção (EA), translocação (ET) e utilização (EU) dos macronutrientes por seis clones de eucalipto

Clone	Teor PA ⁽¹⁾	Teor R ⁽²⁾	Acúmulo PA	Acúmulo R	EA ⁽³⁾	ET ⁽⁴⁾	EU ⁽⁵⁾
	g kg ⁻¹		mg planta ⁻¹		mg g ⁻¹	mg mg ⁻¹	g ² mg ⁻¹
Nitrogênio							
58	36,33a ⁽⁶⁾	17,00a	333,54a	30,82b	201,41b	0,92a	0,33b
386	30,33b	18,67a	339,05a	38,70a	183,55b	0,89b	0,47a
GG100	35,33a	20,67a	297,32a	29,80b	226,24a	0,91a	0,30b
I042	32,33b	17,33a	225,20b	28,69b	154,03b	0,88b	0,29b
I144	32,33b	17,67a	333,53a	34,76a	187,89b	0,91a	0,41a
VM1	35,00a	15,00b	290,47a	24,53b	193,27b	0,92a	0,32b
Média	33,61	17,72	303,18	31,22	191,06	0,91	0,35
Fósforo							
58	3,09a	0,80a	28,35a	1,46b	16,48a	0,95a	4,04c
386	2,61b	0,90a	29,32a	1,88a	15,13a	0,93b	5,72a
GG100	2,73b	0,88a	22,77b	1,27c	16,72a	0,95a	4,03c
I042	2,63b	0,90a	18,50b	1,49b	12,02b	0,92b	3,76c
I144	2,95a	0,84a	30,43a	1,65a	16,33a	0,95a	4,72b
VM1	2,97a	0,71b	24,83b	1,16c	15,98a	0,96a	3,83c
Média	2,83	0,84	25,70	1,49	15,44	0,94	4,35
Potássio							
58	16,03a	5,02b	146,98a	9,09b	86,26a	0,84a	0,77c
386	14,29a	4,61b	161,52a	9,67b	82,04b	0,94a	1,04a
GG100	15,45a	5,02b	128,81b	7,23c	94,58a	0,95a	0,72c
I042	15,26a	5,6a	106,01b	9,21b	70,14b	0,92c	0,64c
I144	15,84a	5,79a	162,44a	11,30a	88,99a	0,93b	0,87b
VM1	16,22a	4,83b	135,52b	7,87c	88,34a	0,95a	0,70c
Média	15,51	5,15	140,21	9,06	85,06	0,94	0,79
Cálcio							
58	10,87c	10,97a	99,60b	19,86a	66,09b	0,83b	1,01a
386	15,56a	10,05a	175,48a	21,10a	94,74a	0,89a	0,91a
GG100	13,64b	9,40b	115,03b	13,51b	89,06a	0,90a	0,76b
I042	12,43c	10,68a	86,07b	17,64a	63,28b	0,83b	0,72b
I144	11,39c	10,30a	116,83b	20,18a	70,22b	0,85b	1,10a
VM1	11,76c	8,32c	97,88b	13,59b	68,44b	0,88a	0,89a
Média	12,61	9,95	115,15	17,65	75,30	0,86	0,90

...continua...

TABELA 3, Cont.

Magnésio							
58	2,90a	2,08a	26,58b	3,76a	16,77a	0,87b	3,97b
386	2,96a	1,42d	33,27a	2,96b	17,53a	0,92a	4,92a
GG100	2,96a	1,80b	24,71b	2,60b	19,00a	0,90a	3,55b
I042	2,69b	1,57c	18,72c	2,59b	12,91b	0,88b	3,48b
I144	3,17a	1,37d	32,70a	2,66b	18,03a	0,93a	4,26a
VM1	2,99a	1,36d	24,91b	2,22b	16,67a	0,92a	3,67b
Média	2,94	1,60	26,81	2,80	16,82	0,90	3,97
Enxofre							
58	3,02a	0,69a	27,60a	1,25a	15,92a	0,95a	4,17c
386	1,76c	0,65a	19,88b	1,39a	10,21c	0,94b	8,41a
GG100	2,05c	0,67a	17,06c	0,97b	12,58b	0,94b	5,40c
I042	1,97c	0,80a	13,79c	1,31a	9,10c	0,91c	4,99c
I144	2,10c	0,74a	21,36b	1,44a	11,76c	0,93b	6,64b
VM1	2,41b	0,49b	20,30b	0,79b	13,00b	0,96a	4,77c
Média	2,22	0,67	19,99	1,19	12,10	0,94	5,73

⁽¹⁾ PA = parte aérea. ⁽²⁾ R = raiz. ⁽³⁾ EA = (mg do nutriente/matéria seca de raiz em grammas). ⁽⁴⁾ ET = (mg do nutriente na parte aérea/mg do nutriente na planta). ⁽⁵⁾ EU = [(matéria seca)²/mg do nutriente]. ⁽⁶⁾ Valores seguidos de mesma letra, em cada coluna, pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott-Knott a 5%.

O clone GG100 apresentou, por meio dos índices utilizados, a maior eficiência de absorção de N dentre os materiais genéticos avaliados, devido aos maiores teores de N na biomassa (Tabela 3) e à menor produção de MSR (Tabela 2). Os clones 386 e I042 apresentaram as menores eficiências de translocação de N para a parte aérea em função dos maiores teores de N na raiz e menores na parte aérea (Tabela 3). Em relação à utilização do N, os clones 386 e I144 foram mais eficientes (Tabela 3), devido à maior conversão dos baixos teores de N na parte aérea em produção de MST (Tabela 2).

Na figura 2 é apresentado o diagrama de distribuição das eficiências de absorção e utilização do N pelos clones de eucalipto. A caracterização da eficiência nutricional dos clones em relação ao N permite separá-los em quatro grupos: grupo 1 formado por clones com alta eficiência na absorção e utilização

de N (clone I144); grupo 2 formado por clones com baixa eficiência na absorção de N, mas com grande eficiência de utilização deste nutriente (clone 386); grupo 3 formado por clones com alta eficiência na absorção de N, mas com baixa eficiência de utilização deste nutriente na produção biomassa (clones 58, GG100 e VM1); grupo 4 formado por clone com baixa eficiência tanto na absorção quanto na utilização do N (clone I042). Considerando-se que o padrão atual de comportamento da eficiência nutricional dos clones não seja alterado durante o ciclo de cultivo do eucalipto, pode-se inferir que os clones 386 e I042 necessitam de adubação nitrogenada mais intensa devido à menor taxa de recuperação (absorção) do nitrogênio aplicado. O clone 386, no entanto, apresenta maior capacidade de converter o N absorvido em biomassa, o que pode justificar o maior investimento na adubação nitrogenada como forma de contornar a baixa eficiência de absorção apresentada por este clone. Os clones 58, GG100 e VM1, embora necessitem de menores investimentos na adubação nitrogenada devido à maior taxa de recuperação do nutriente aplicado, apresentam menor eficiência na conversão deste em produção de biomassa.

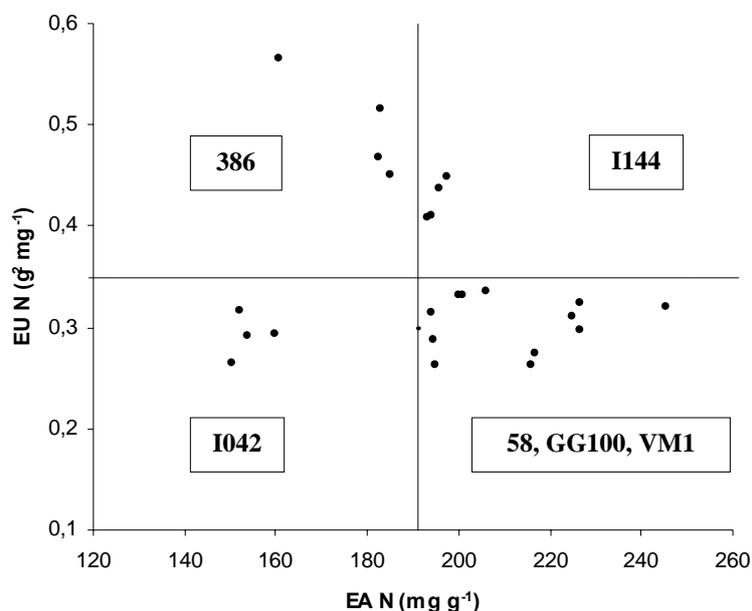


FIGURA 2 Diagrama de distribuição dos clones de eucalipto em função das eficiências de absorção e utilização do nitrogênio

O nitrogênio é um dos nutrientes requeridos em maior quantidade pelas plantas e o que mais limita o crescimento. Na fase de muda, nutrientes como nitrogênio e fósforo são importantes para o rápido crescimento radicular do eucalipto (Barros et al., 1997), uma vez que estes nutrientes são os que mais afetam a produção de raízes quando fornecidos em quantidades insuficientes (Clarkson, 1985). Neste sentido, maiores atenções devem ser direcionadas para os clones do grupo 1 (386 e I144) e grupo 3 (58, I042 e VM1) quanto à adubação nitrogenada, principalmente na fase de implantação da floresta, para não comprometer a produção do sítio florestal.

Em relação à absorção de P, o clone I042 foi menos eficiente na absorção deste nutriente em função do menor teor de P na parte aérea (Tabela 3) e maior produção de MSR em relação à produção de MSPA (Tabela 2). Os

clones 386 e I042 apresentaram as menores eficiências de translocação de P para a parte aérea, devido aos menores teores de P neste compartimento e maiores na raiz (Tabela 3). O clone 386 foi o mais eficiente na utilização de P em função dos baixos teores de P na parte aérea (Tabela 3) e grande produção de MST (Tabela 2).

Os clones de eucalipto podem ser separados em três grupos quanto à eficiência nutricional para o P (Figura 3): grupo 1 caracterizado pela alta eficiência na absorção e utilização do P (clone I144 e 386); grupo 2 caracterizado pela alta eficiência na absorção de P e baixa eficiência de utilização deste nutriente na produção biomassa (clones 58, GG100 e VM1); grupo 3 caracterizado pela baixa eficiência tanto na absorção quanto na utilização do P (clone I042). Segundo Barros et al. (1986a), no sistema silvicultural brasileiro, a maior capacidade de absorção de nutrientes seria, particularmente, importante nos povoamentos recém-implantados, para permitir maior taxa de recuperação dos elementos aplicados via fertilização, enquanto maior eficiência de utilização seria desejável durante todo o ciclo de cultivo, sendo a característica mais importante com relação à biomassa comercial de povoamentos adultos, por ter forte implicação na exportação de nutrientes (Molica, 1992), principalmente para os solos brasileiros, que são, relativamente, pobres em nutrientes. Neste contexto, considerando-se que o padrão atual de comportamento da eficiência nutricional dos clones não seja alterado durante o ciclo de cultivo do eucalipto os clones I144 e 386 são os genótipos mais apropriados para atender às demandas de P tanto na fase de implantação quanto durante todo o ciclo de cultivo do eucalipto, necessitando de menores investimentos na adubação fosfatada. A maior eficiência de utilização apresentada por esses clones pode estar relacionada à menor necessidade de fósforo para as reações bioquímicas da planta, à maior redistribuição do nutriente para os pontos de crescimento e à maior mobilização do fósforo

armazenado nos vacúolos das células (Gerloff & Gabelman, 1983; Abichequer & Bohnen, 1998). Os clones 58, GG100 e VM1, embora necessitem de menores investimentos na adubação fosfatada devido à maior taxa de recuperação do nutriente aplicado, apresentam uma menor conversão deste em produção de biomassa. O clone I042 é o genótipo mais exigente quanto à adubação fosfatada; no entanto, apresentando uma menor capacidade de converter o nutriente em biomassa, tornando a relação benefício/custo menor.

Furtini Neto et al. (1996), avaliando a eficiência nutricional de mudas de cinco espécies de eucalipto em relação a P constataram que essas espécies respondem de maneira distinta à aplicação de P, apresentando diferenças nos atributos indicativos da eficiência nutricional para P, como verificado no presente trabalho.

No Brasil, a atividade florestal tem-se expandido em solos distróficos, geralmente álicos, com respostas positivas a fertilizantes, principalmente a P, em virtude da sua dinâmica em solos mais intemperizados dos trópicos com alta capacidade de fixação do elemento. Barros & Novais (1990, 1996) ressaltam que em florestas plantadas, não há dúvidas quanto ao fato de ser o fósforo o principal nutriente a limitar o crescimento das árvores. A aplicação do nutriente, portanto, é essencial nos programas de adubação (Barros & Novais, 1996). Neste sentido, materiais genéticos mais eficientes na absorção e utilização desse elemento, como os clones 386 e I144, são fundamentais para o uso mais racional deste nutriente e contribuem para a redução dos custos da fertilização florestal sem comprometer a produtividade do sítio florestal.

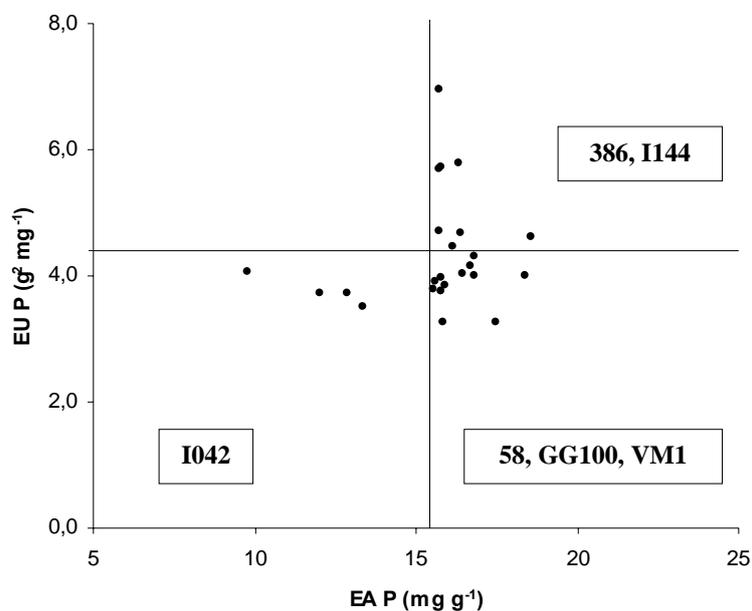


FIGURA 3 Diagrama de distribuição dos clones de eucalipto em função das eficiências de absorção e utilização do fósforo

Em relação à absorção do K, os clones 386 e I042 foram os menos eficientes (Tabela 3). O primeiro devido aos menores teores de K na raiz e à grande produção de MSR (Tabela 2) e o segundo devido à maior produção de MSR em relação à produção de MSPA (Tabela 2). O clone I042 apresentou a menor eficiência de translocação de K, também devido à maior produção de MSR em relação à MSPA (Tabela 2). O clone 386 foi o mais eficiente na utilização do K em função dos menores teores de K na raiz (Tabela 3) e da grande produção de MST (Tabela 2).

Quanto à eficiência nutricional para o K, os clones podem ser separados em quatro grupos (Figura 4): grupo 1 formado por clone com alta eficiência de absorção e utilização do K (clone I144); grupo 2 formado por clone com baixa eficiência na absorção de K, mas com grande eficiência de utilização deste

nutriente na produção biomassa (clone 386); grupo 3 formado por clones com alta eficiência na absorção de K, mas com baixa eficiência de utilização deste nutriente na produção biomassa (clones 58 e GG100); grupo 4 formado por clones com baixa eficiência tanto na absorção quanto na utilização do K (clones VM1 e I042). Neste contexto, considerando-se que o padrão atual de comportamento da eficiência nutricional dos clones não seja alterado durante o ciclo de cultivo do eucalipto e também a ressalva feita por Barros et al. (1986a) quanto às eficiências de absorção e utilização, os clones 386, VM1 e I042 necessitam de adubação potássica mais intensa devido à menor taxa de recuperação do K aplicado. O clone 386, no entanto, apresenta maior capacidade de converter o K absorvido em biomassa, o que pode justificar o maior investimento na fertilização potássica, enquanto para os clones VM1 e I042 a menor capacidade de conversão do nutriente em biomassa pode aumentar os custos de produção. Os clones 58 e GG100, embora necessitem de menores investimentos na adubação potássica devido à maior taxa de recuperação do nutriente aplicado, apresentam uma menor conversão deste nutriente em produção de biomassa.

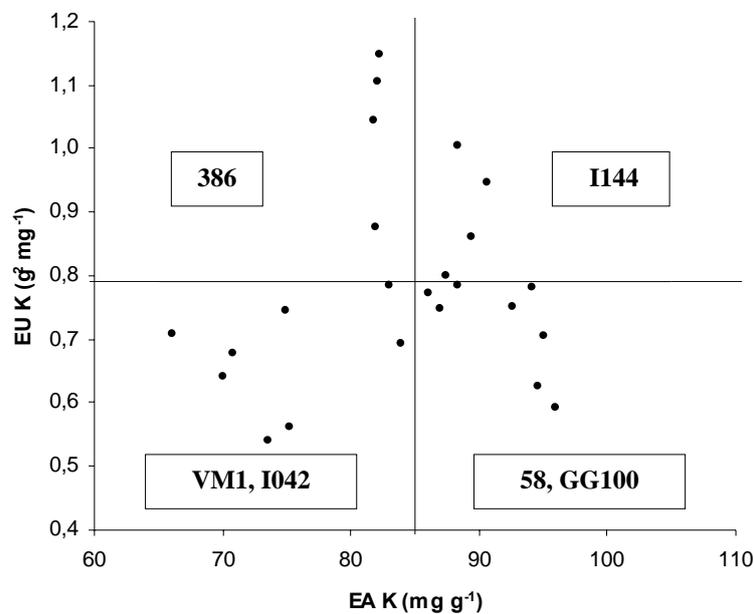


FIGURA 4 Diagrama de distribuição dos clones de eucalipto em função das eficiências de absorção e utilização do potássio

O K é um dos cátions mais abundantes nas plantas, sendo absorvido em grande quantidade pelas raízes. Este nutriente tem importante função no estado energético da planta, na translocação e armazenamento de assimilados e na manutenção da água nos tecidos vegetais (Meurer, 2006). O K, assim como o P, é o nutriente com maior incidência de deficiência nos plantios de eucaliptos (Silveira et al., 2004), sendo indicado como o nutriente mais limitante ao crescimento do eucalipto em várias regiões florestais do país. Barros et al. (1990) ressaltam que a necessidade de potássio aumenta com o acúmulo de biomassa e, portanto, com a idade do eucalipto. Assim, clones com maior eficiência na utilização do potássio, como os clones I144 e 386, são desejáveis,

pois conseguem se estabelecer em solos com menor disponibilidade deste nutriente sem comprometer a produção de biomassa.

Em relação à absorção de Ca, os clones 386 e GG100 foram os mais eficientes (Tabela 3) devido à maior produção de MSPA em relação à produção de MSR (Tabela 2). Os clones 386, GG100 e VM1 foram os mais eficientes na translocação de Ca para a parte aérea, também em função da maior produção de MSPA em relação à produção de MSR (Tabela 2). Os clones GG100 e I042 foram os menos eficientes na utilização do Ca devido à menor produção de MST (Tabela 2), além do maior teor de Ca na raiz para o clone I042.

Os clones podem ser separados em quatro grupos quanto à eficiência nutricional para o Ca (Figura 5): grupo 1 caracterizado pela grande eficiência na absorção e utilização do Ca (clone 386); grupo 2 com baixa eficiência na absorção de Ca, mas com grande eficiência de utilização deste nutriente na produção biomassa (clones 58 e I144); grupo 3 caracterizado pela alta eficiência na absorção de Ca e baixa eficiência de utilização deste nutriente na produção biomassa (clone GG100); grupo 4 caracterizado pela baixa eficiência tanto na absorção quanto na utilização do Ca (clones VM1 e I042). Considerando-se que o padrão atual de comportamento da eficiência nutricional dos clones não seja alterado durante o ciclo de cultivo do eucalipto, o clone 386, assim como para o P, constitui o genótipo mais apropriado para atender às demandas de Ca, tanto na fase de implantação quanto durante todo o ciclo de cultivo do eucalipto, necessitando de menores investimentos na adubação. O clone GG100, embora, também necessite de menores investimentos na adubação devido à alta taxa de recuperação do Ca aplicado, apresenta uma menor conversão deste em produção de biomassa. Os clones 58, I144, VM1 e I042 necessitam de adubação mais intensa devido à baixa taxa de recuperação do Ca aplicado. Os clones 58 e I144, no entanto, apresentam maior capacidade de converter o Ca absorvido em biomassa, o que pode justificar o maior investimento na fertilização.

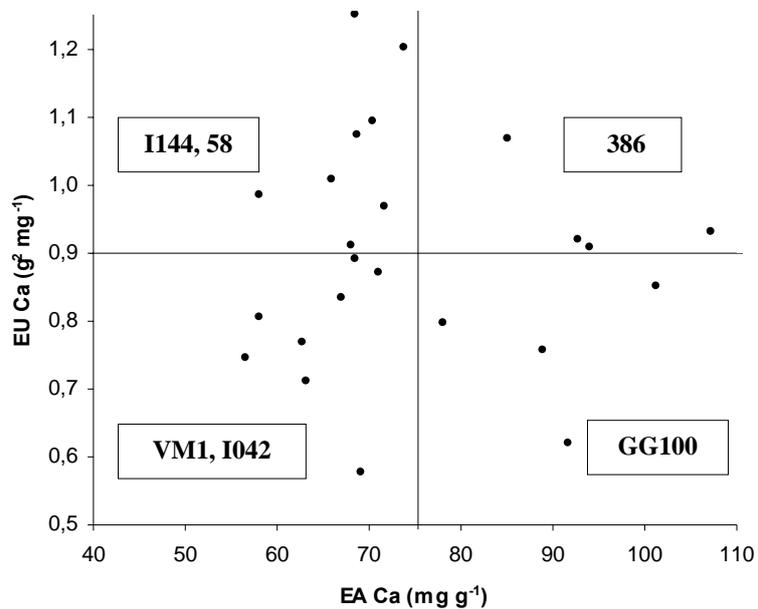


FIGURA 5 Diagrama de distribuição dos clones de eucalipto em função das eficiências de absorção e utilização do cálcio

Grandes quantidades de macronutrientes são acumuladas e exportadas durante a exploração florestal por meio da parte aérea do eucalipto. Dentre os macronutrientes o cálcio é um dos nutrientes exportados em maior quantidade dos sítios florestais com a remoção da madeira, principalmente, quando a casca não é removida, uma vez que 50% ou mais do cálcio total estão alocados na casca (Morais, 1988; Reis & Barros, 1990; Molica, 1992; Grespan et al., 1998). Assim, materiais genéticos eficientes na utilização do Ca, como os clones 386, 58 e I144, são importantes na manutenção da produtividade dos sítios florestais, pois contribuem para a redução da exportação do Ca e para a economia no uso deste nutriente.

Em relação à absorção de Mg, o clone I042 foi o menos eficiente (Tabela 3) devido à maior produção de MSR em relação à produção MSPA (Tabela 2). Os clones 58 e I042 foram menos eficientes na translocação do Mg para a parte aérea. O primeiro devido à menor produção de MSPA (Tabela 2) e o segundo devido à maior produção de MSR em relação à produção da MSPA (Tabela 2). Os clones 386 e I144 foram os mais eficientes na utilização do Mg, o primeiro devido ao menor teor de Mg nas raízes e o segundo devido à maior produção de MST (Tabela 2).

Quanto à eficiência nutricional para o Mg, os clones podem ser separados em três grupos (Figura 6): grupo 1 caracterizado pela grande eficiência na absorção e utilização do Mg (clones 386 e I144); grupo 2 caracterizado pela alta eficiência na absorção de Mg e baixa eficiência de utilização deste nutriente na produção de biomassa (clones 58 e GG100); grupo 3 caracterizado pela baixa eficiência tanto na absorção quanto na utilização do Mg (clone VM1 e I042). Levando-se em consideração que o padrão atual de comportamento da eficiência nutricional dos clones não seja alterado durante o ciclo de cultivo do eucalipto e que a maior capacidade de absorção de nutrientes seria, particularmente, importante nos povoamentos recém-implantados, para permitir maior taxa de recuperação dos elementos aplicados via fertilização, enquanto maior eficiência de utilização seria desejável durante todo o ciclo de cultivo (Barros et al., 1986a), os clones 386 e I144 são os materiais genéticos mais apropriados para atender às demandas de Mg tanto na implantação quanto durante o ciclo de cultivo do eucalipto, necessitando de menores investimentos na adubação. O clone I042, assim como para o N, P, K e Ca, é o genótipo mais exigente quanto à adubação com Mg; no entanto, apresentando menor capacidade de converter o nutriente em biomassa.

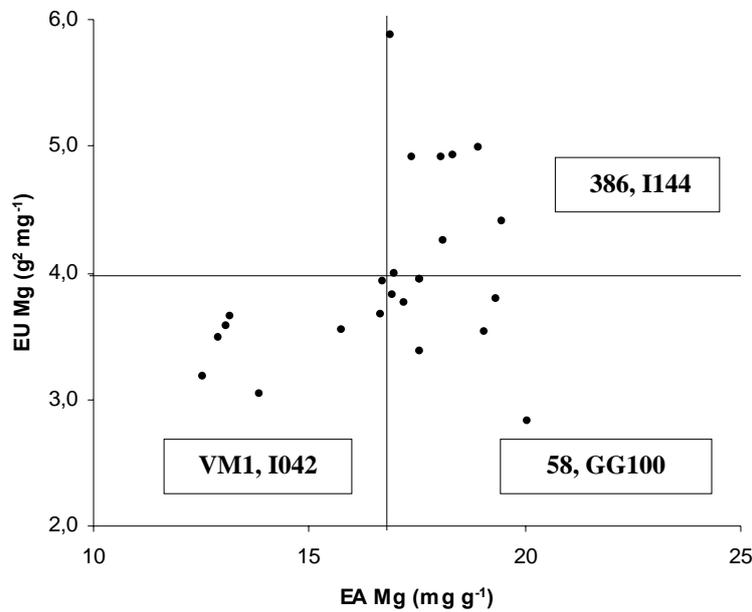


FIGURA 6 Diagrama de distribuição dos clones de eucalipto em função das eficiências de absorção e utilização do magnésio

O magnésio desempenha importantes funções no metabolismo da planta, incluindo a ativação enzimática, constituição da molécula de clorofila e atuação como “carregador do fósforo” (Vitti et al., 2006). Embora este nutriente seja requerido em baixos teores pelo eucalipto, muitas vezes em solos, e, ou, subsolos de muitas áreas de cerrado, esses teores não são atingidos. Nestas condições a adubação com o Mg resulta em respostas positivas ao crescimento das plantas, e isso não apenas na fase de mudas, uma vez que grandes quantidades tanto de magnésio quanto cálcio podem ser exportadas da área em consequência da exploração florestal (Neves et al., 1990). Neste contexto, os clones com maior eficiência na absorção (58 e GG100) e utilização (386 e I144) deste nutriente constituem materiais genéticos importantes para a implementação de florestas plantadas nestas áreas.

Em relação à absorção de S, o clone 58 foi o mais eficiente devido aos maiores teores de S na parte aérea (Tabela 3) e à maior produção de MSPA em relação à produção de MSR (Tabela 2). Os clones 58 e VM1 foram os mais eficientes na translocação do S para a parte aérea devido à maior produção de MSPA em relação à MSR (Tabela 2), além do maior teor de S na parte aérea do clone 58 e menor teor de S nas raízes do clone VM1 (Tabela 3). O clone 386 foi o mais eficiente na utilização do S em função do menor teor de S na parte aérea e à grande produção de MST (Tabela 2).

Os clones podem ser separados em quatro grupos quanto à eficiência nutricional para o S (Figura 7): grupo 1 formado por clone com alta eficiência de absorção e utilização do S (clone I144); grupo 2 formado por clone com baixa eficiência na absorção de S, mas com grande eficiência de utilização deste nutriente na produção de biomassa (clone 386); grupo 3 formado por clone com alta eficiência na absorção de S, mas com baixa eficiência de utilização deste nutriente na produção biomassa (clone 58, GG100 e VM1); grupo 4 formado por clone com baixa eficiência tanto na absorção quanto na utilização do S (clone I042). Neste contexto, considerando que o padrão atual de comportamento da eficiência nutricional dos clones não seja alterado durante o ciclo de cultivo do eucalipto, os clones 386 e I042 necessitam de adubação com S mais intensa devido à baixa taxa de recuperação do S aplicado. O clone 386, no entanto, apresenta maior capacidade de converter o S absorvido em biomassa, enquanto para o clone I042 a baixa capacidade de conversão do nutriente em biomassa pode aumentar os custos de produção. Os clones I144, 58, GG100 e VM1 necessitam de menores investimentos na adubação com S, devido à alta taxa de recuperação do nutriente aplicado; no entanto, os clones 58, GG100 e VM1 apresentam menor conversão deste em produção de biomassa.

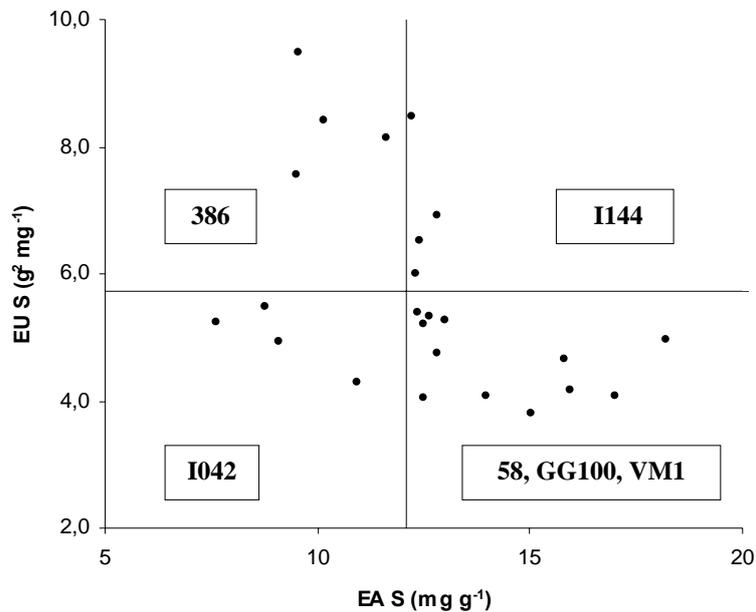


FIGURA 7 Diagrama de distribuição dos clones de eucalipto em função das eficiências de absorção e utilização do enxofre

O comportamento do enxofre no solo se assemelha ao do P, pois sua forma inorgânica predominante é o sulfato, que é também adsorvido pelos óxidos de Fe e Al. Por isso, nos solos tropicais de regiões úmidas, o S pode ser um nutriente a limitar o crescimento das plantas (Barros & Comerford, 2002). Em relação à cultura do eucalipto, os efeitos do enxofre podem ser acentuados (Furtini Neto, 1988), principalmente nos plantios efetuados em áreas do cerrado, geralmente deficientes em enxofre (Barros et al., 1986b), para o qual se têm obtido respostas significativas em crescimento (Barros et al., 1997). Nestas áreas, maiores atenções deveriam ser dirigidas para o clone I042 em função da baixa eficiência na absorção e utilização deste nutriente.

De forma geral, os clones podem ser separados, quanto à eficiência nutricional para os macronutrientes, na seguinte seqüência: I144 > 386 > 58 ≈

GG100 > VM1 > I042. O clone I144 mostrou-se mais eficiente nutricionalmente, principalmente para N, P, K, Mg e S, com maior eficiência na absorção e na utilização destes nutrientes na produção de biomassa. O clone 386 também se mostrou eficiente na absorção e utilização de P, Ca e Mg. O clone I144 também foi eficiente na utilização de Ca, embora pouco eficiente na absorção deste nutriente. O clone 386 apresentou comportamento semelhante para N, K e S. Os clones 58, GG100 apresentaram menor eficiência de utilização dos nutrientes com variações na eficiência de absorção em função do nutriente. O clone VM1 foi ineficiente na absorção e utilização de K, Ca e Mg. O clone I042; no entanto, foi ineficiente tanto na absorção quanto na utilização de todos os macronutrientes, comprometendo a produção de biomassa.

Neste contexto, o clone I144, devido à sua maior eficiência na utilização dos nutrientes, exerceria menor pressão de absorção sobre o reservatório de nutrientes do solo conservando os nutrientes no sítio florestal. Molica (1992) ressalta que o cultivo de genótipos com alta eficiência na absorção, e, ou, utilização de nutrientes, permite a otimização do uso dos nutrientes do solo ou a amenização da tendência à exaustão dos nutrientes, por exportação, durante os ciclos de corte, e possibilita a elaboração de um manejo nutricional voltado para a manutenção do potencial produtivo dos solos florestais (Grespan, 1997). Assim, os nutrientes do solo ou de fertilizantes aplicados podem ser mais eficientemente absorvidos e convertidos em biomassa, numa relação benefício-custo mais alta (Barros et al., 1990). O clone I042, por outro lado, é um material genético que poderia contribuir para a depauperação do sítio florestal e requer maiores investimentos na fertilização florestal para a manutenção da produtividade, aumentando sobremaneira os custos de implantação e manutenção dos povoamentos florestais.

Em relação à translocação dos nutrientes para a parte aérea, o clone VM1 se destacou entre os demais clones de eucalipto, sendo o mais eficiente na

translocação de todos os macronutrientes para a parte aérea das mudas de eucalipto (Tabela 3). A eficiência de translocação dos nutrientes para a parte aérea condiciona o suprimento destes aos sítios fotossinteticamente ativos da planta, sendo influenciada pelo estado nutricional das células da raiz e pela taxa de transpiração dos genótipos (Abichequer & Bohnen, 1998). Assim, o clone VM1 consegue manter mais adequadamente as concentrações dos nutrientes necessárias ao metabolismo nos sítios fotossintéticos.

TABELA 4 Eficiência de utilização dos nutrientes na produção de matéria seca da parte aérea (EUPA) por seis clones de eucalipto

Clone	N	P	K	Ca	Mg	S
----- g (g kg ⁻¹) ⁻¹ -----						
58	0,17 b ⁽¹⁾	2,34 b	0,43 b	0,42 a	1,84 b	2,47 c
386	0,23 a	3,21 a	0,59 a	0,44 a	2,57 a	4,65 a
GG100	0,15 b	2,34 b	0,41 b	0,36 b	1,76 b	3,10 c
I042	0,14 b	1,97 b	0,33 b	0,30 b	1,63 b	2,54 c
I144	0,21 a	2,73 a	0,48 a	0,47 a	2,27 a	3,67 b
VM1	0,17 b	2,26 b	0,40 b	0,42 a	1,92 b	2,88 c
Média	0,18	2,47	0,44	0,40	2,00	3,22
CV(%) ⁽²⁾	15,5	15,0	15,2	14,1	15,2	14,9

⁽¹⁾ Valores seguidos de mesma letra, em cada coluna, pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott-Knott a 5%. ⁽²⁾ Coeficiente de variação das médias entre clones.

A produção de biomassa no compartimento da parte aérea das plantas de eucalipto se reveste de importância por ser a porção da planta que mais influi sobre a produção de madeira. Além disso, os fotossintatos produzidos na parte aérea são transportados para as raízes, onde são fundamentais para o crescimento

radicular e conseqüentemente aquisição de nutrientes minerais e água. Neste contexto, propôs-se no presente trabalho o uso da eficiência de utilização dos nutrientes na produção de matéria seca da parte aérea (Tabela 4).

Os clones 386 e I144 foram os mais eficientes na utilização do N, P, K e Mg na produção de matéria seca da parte aérea. Em relação ao cálcio, além dos clones 386 e I144, os clones 58 e VM1 também se mostraram eficientes na utilização desse nutriente na produção de parte aérea de eucalipto. Para o enxofre, o clone de eucalipto mais eficiente foi o 386 seguido pelo clone I144. De forma geral, os clones de eucalipto mais eficientes na utilização dos macronutrientes na produção de parte aérea foram o 386 e I144. Considerando-se que o padrão atual da eficiência de utilização dos nutrientes pelos clones de eucalipto na produção da parte aérea seja mantido durante o ciclo de cultivo do eucalipto, pode-se inferir que os clones 386 e I144 seriam os mais interessantes para o setor florestal, haja vista ser esse compartimento vegetal o explorado economicamente por meio da madeira.

Os resultados observados no presente estudo confirmam as diferenças de comportamento dos distintos clones de eucalipto com relação às características indicativas da eficiência nutricional para os macronutrientes. Diferentes genótipos podem apresentar diferenças na eficiência de aquisição do nutriente do solo e, ou, na utilização do nutriente absorvido na produção de matéria seca (Barros et al., 2004). Como a demanda de nutrientes pela planta depende da sua taxa de crescimento e da eficiência com que ela converte o nutriente absorvido em biomassa, estas diferenças na eficiência nutricional podem representar fator importante no emprego mais racional de fertilizantes. O conhecimento dessas diferenças na eficiência de utilização dos nutrientes é importante na seleção de técnicas de manejo do solo e de manejo florestal, para manter a capacidade produtiva do sítio florestal ao longo das rotações (Teixeira et al., 1989).

Embora alguns autores ressaltem que espécies ou genótipos distintos nem sempre reúnem todas as características desejáveis de eficiência para um ou mais nutrientes (Furtini Neto, 1994) e que dificilmente será possível selecionar um genótipo que possua alta eficiência na utilização de todos os nutrientes (Teixeira et al., 1989; Morais et al., 1990; Molica, 1992; Santana et al., 2002), neste estudo pode-se constatar que, de forma geral, os clones I144 e 386 foram mais eficientes na utilização dos macronutrientes.

Em outros estudos também foram observadas variações na eficiência nutricional entre espécies de eucalipto (Morais et al., 1990; Furtini Neto et al., 1996) e entre clones da mesma espécie (Barros et al., 1985; Molica, 1992; Grespan, 1997; Neves, 2000; Lima et al., 2005). Entretanto, deve-se salientar que o cultivo de materiais altamente eficientes na absorção de um nutriente em solos pobres que não receberam adubação, pode causar a depauperação mais rápida do solo (Santana et al., 2002). Portanto, deve-se compatibilizar a eficiência nutricional dos diferentes genótipos com a fertilidade dos solos dos diferentes sítios florestais, ou seja, genótipos pouco eficientes na absorção de determinado nutriente deveriam ser plantados em solos ricos neste nutriente, ou recebê-lo na forma de adubo ou calcário.

Furtini Neto (1994) salienta que quando se considera a atividade florestal brasileira, em face da diversidade de espécies utilizadas, e do aproveitamento de solos de variada fertilidade, este aspecto deve merecer atenção, a fim de que se utilize de forma racional a interação genótipo x ambiente. Assim, as diferenças identificadas no presente trabalho quanto à eficiência nutricional sugerem a possibilidade de seleção de genótipos de eucalipto para condições distintas de fertilidade do solo, aproveitando a baixa demanda de nutrientes e a maior produção de biomassa pelos materiais genéticos.

Deve-se ressaltar, entretanto, que antes de emitir conclusões definitivas sobre o comportamento dos clones de eucalipto, deve-se realizar estudos em solo, principalmente, em condições de campo. A verificação da correlação juvenil-adulto, em relação à eficiência nutricional dos materiais genéticos, torna-se importante na previsão da manutenção das exigências nutricionais ao longo do ciclo de cultivo do eucalipto. Este é um ponto frequentemente questionado nos trabalhos de nutrição e fertilização de eucalipto (Novais et al., 1991). No entanto, conforme esses autores, para crescimento e exigências nutricionais, a correlação entre resultados de casa de vegetação e de campo para eucalipto tem sido altamente significativa, em muitos casos. Souza (1994) identificou correlação positiva para a eficiência de utilização de Ca e P para produção de caule em mudas de eucalipto e a mesma característica em plantas adultas. Por outro lado, a exigência nutricional e a eficiência de utilização de nutrientes pelas diferentes espécies nas fases de muda e adulta podem não seguir o mesmo padrão. Estudos têm sido conduzidos sobre a correlação para características de crescimento, mas pouco ainda se conhece a respeito da correlação entre características nutricionais obtidas nas fases jovem e adulta.

A atenção também deve ser direcionada a outros fatores como pêlos radiculares, micorrizas e morfologia radicular, que não são importantes em solução nutritiva, mas que podem provocar diferenças na eficiência de absorção entre os genótipos cultivados em solo. A agitação da solução nutritiva provocada pela aeração transporta os nutrientes até as raízes, diminuindo a importância da difusão e da morfologia das raízes no acesso aos nutrientes (Gerloff & Gabelman, 1983). Outro fato importante a ser considerado é que a eficiência de utilização dos nutrientes pode variar à medida que sua disponibilidade no solo varia (Barros et al., 1986a). O conhecimento da distribuição dos nutrientes nos compartimentos do vegetal, também é de suma importância, pois do ponto de vista da fertilidade do solo e produtividade futura, os clones mais interessantes

seriam, naturalmente, aqueles que alocassem o mínimo de nutrientes na madeira e na casca, como forma de reduzir a exportação de nutrientes do sítio florestal (Morais et al., 1990). Assim, a condução de experimentos adicionais em campo pode auxiliar na caracterização destes clones quanto à eficiência nutricional e minimizar as limitações anteriormente consideradas.

6 CONCLUSÕES

Os genótipos de eucalipto diferiram na produção de biomassa e na eficiência nutricional, sendo identificadas diferenças na eficiência de absorção, translocação e utilização dos macronutrientes em relação aos diferentes clones de eucalipto, bem como em função do nutriente.

De forma geral, os clones podem ser separados, quanto à eficiência nutricional para os macronutrientes, na seguinte seqüência: I144 > 386 > 58 ≈ GG100 > VM1 > I042. O clone I144 mostrou-se mais eficiente nutricionalmente, principalmente para N, P, K, Mg e S, com maior eficiência na absorção e utilização destes nutrientes na produção de biomassa. O clone I042, no entanto, foi ineficiente tanto na absorção quanto na utilização de todos os macronutrientes, comprometendo a sua produção de biomassa.

O clone VM1 se destacou entre os demais clones de eucalipto, sendo mais eficiente na translocação dos macronutrientes para a parte aérea das mudas de eucalipto.

As diferenças identificadas no presente trabalho quanto à eficiência nutricional dos clones de eucalipto na fase de mudas sugerem a possibilidade de seleção de genótipos de eucalipto para condições distintas de fertilidade do solo, permitindo sua alocação em solos com distintas características nutricionais.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABICHEQUER, A. D.; BOHNEN, H. Eficiência de absorção, translocação e utilização de fósforo por variedades de trigo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 22, n. 1, p. 21-26, jan./fev. 1998.

ALVES, V. M. C. **Frações de fósforo, de açúcares solúveis e de nitrogênio em quatro híbridos de milho submetidos à omissão e ao ressuprimento de fósforo**. 1994. 106 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS. **Anuário estatístico ABRAF**: ano base 2007. Brasília, DF, 2008. 90 p.

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., 1985, Belém, PA. **Anais...** Campinas: SBCS, 1985. p. 109.

BARROS, N. F.; COMERFORD, N. B. Sustentabilidade da produção de florestas plantadas na região tropical. In: ALVAREZ, V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R.; BARROS, N. F.; MELLO, J. W. V.; COSTA, L. M. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG: Folha de Viçosa, 2002. v. 2, p. 487-592.

BARROS, N. F.; NEVES, J. C. L.; NOVAIS, R. F. Nutrição e adubação de eucalipto. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 18, n. 186, p. 70-75, 1997.

BARROS, N. F.; NEVES, J. C. L.; NOVAIS, R. F. Mineral fertilizer recommendations for eucalypt plantations. In: GONÇALVES, J. L. M. **Forest nutrition and fertilization**. Piracicaba: IPEF, 2004. p. 269-284.

BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F. **Relação solo-eucalipto**. Viçosa, MG: Folha de Viçosa, 1990. 430 p.

BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F.; CARMO, D. N.; NEVES, J. C. L. Classificação nutricional de sítios florestais: descrição de uma metodologia. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 10, n. 1, p. 112-120, jan./abr. 1986a.

- 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. **Relação solo-eucalipto**. Viçosa, MG: Folha de Viçosa, 1990. p. 127-186.
- BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F.; NEVES, J. C. L. Níveis críticos de fósforo no solo para eucalipto. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 12, n. 1, p. 15-19, jul. 1986b.
- CHAPERON, H. Vegetative propagation of *Eucalyptus*. In: SIMPÓSIO DE MELHORAMENTO Y MEJORAMIENTO DE ESPECIES FORESTALES, 1987, Buenos Aires. **Anais...** Buenos Aires: CIEF, 1987. p. 215-232.
- CLARK, R. B. Characterization of phosphates of intact maize roots. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 23, n. 3, p. 458-460, May 1975.
- CLARKSON, D. T. Adaptações morfológicas e fisiológicas das plantas a ambientes de baixa fertilidade. In: ROSAND, P. C. **Reciclagem de nutrientes e agricultura de baixos insumos nos trópicos**. Ilhéus: CEPLAC/SBCS, 1985. p. 45-75.
- FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C. Response of legumes and cereals to phosphorus in solution culture. **Journal of Plant Nutrition**, Monticello, v. 12, n. 9, p. 1005-1019, Sept. 1989.
- FERREIRA, D. F. Análise estatística por meio do SISVAR - Sistema para Análise de Variância para Windows versão 4.0. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45., 2000, São Carlos, SP. **Anais...** São Carlos: UFSCar, 2000. p. 255-258.
- FÖHSE, D.; CLAASSEN, N.; JUNGK, A. Phosphorus efficiency of plants: I., external and internal P requirement and P uptake efficiency of different plant species. **Plant and Soil**, The Hague, v. 110, n. 1, p. 101-109, Aug. 1988.
- FURTINI NETO, A. E. **Efeito do enxofre no crescimento e assimilação de nitrogênio por diferentes espécies de eucalipto**. 1988. 95 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras.
- FURTINI NETO, A. E. **Eficiência nutricional, cinética de absorção e frações fosfatadas em *Eucalyptus* spp.** 1994. 99 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

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, MG, v. 20, n. 1, p. 17-28, jan./mar. 1996.

GERLOFF, G. C.; GABELMAN, W. H. Genetic basis of inorganic plant nutrition. In: LÄUCHLI, A.; BIELESKI, R. L. **Inorganic plant nutrition**. New York: Springer-Verlag, 1983. p. 453-480.

GILL, M. A.; SALIM, R. M.; ZIA, M. S. Maize growth and uptake of phosphate and copper at different ambient phosphate concentrations. **Soil Science and Plant Nutrition**, Tokyo, v. 38, p. 631-636, 1992.

GRESPLAN, S. L. **Produção e eficiência nutricional de clones de eucalipto no Norte do Espírito Santo e suas relações com características do solo**. 1997. 81 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

GRESPLAN, S. L.; DIAS, L. E.; NOVAIS, R. F. Crescimento e parâmetros cinéticos de absorção de amônio e nitrato por mudas de *Eucalyptus* spp submetidas a diferentes relações amônio/nitrato na presença e ausência de fósforo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 22, n. 4, p. 667-674, out./dez. 1998.

HIGASHI, E. N.; SILVEIRA, R. L. V. A.; GONÇALVES, A. N. Nutritional monitoring and fertilization in clonal macro, mini, and microgardens. In: GONÇALVES, J. L. M. **Forest nutrition and fertilization**. Piracicaba: IPEF, 2004. p. 195-222.

HORN, D.; ERNANI, P. R.; SANGOI, L.; SCHWEITZER, C.; CASSOL, P. C. Parâmetros cinéticos e morfológicos da absorção de nutrientes em cultivares de milho com variabilidade genética contrastante. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 30, n. 1, p. 77-85, fev. 2006.

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

LIMA, A. M. N.; NEVES, J. C. L.; SILVA, I. R.; LEITE, F. P. Cinética de absorção e eficiência nutricional de K, Ca e Mg em plantas jovens de quatro clones de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 29, n. 6, p. 903-909, dez. 2005.

MACHADO, C. T. T.; FURLANI, A. M. C. Kinetics of phosphorus uptake and root morphology of local and improved varieties of maize. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 61, n. 1, p. 69-76, jan./fev. 2004.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas**: princípios e aplicações. 2. ed. Piracicaba: Potafos, 1997. 319 p.

MARTINEZ, H. E. P.; NOVAIS, R. F.; SACRAMENTO, L. V. S.; RODRIGUES, L. A. Comportamento de variedades de soja cultivadas sob diferentes níveis de fósforo: II., translocação do fósforo absorvido e eficiência nutricional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 17, n. 2, p. 239-244, maio/ago. 1993b.

MEURER, E. J. Potássio. In: FERNANDES, M. S. **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa, MG: SBCS, 2006. p. 281-298.

MOLICA, S. G. **Produção de biomassa e eficiência nutricional de híbridos interespecíficos de eucalipto em duas regiões bioclimáticas de Minas Gerais**. 1992. 120 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

MORAIS, E. J. **Crescimento e eficiência nutricional de espécies de eucalipto em duas regiões bioclimáticas de Minas Gerais**. 1988. 56 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

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

MUNIZ, A. D.; NEVES, J. C. L.; NOVAIS, R. F.; NOVELINO, J. O. Eficiência de absorção de fósforo por *Eucalyptus* spp. In: BARROS, N. F. **Florestas plantadas nos neotrópicos como fonte de energia**. Viçosa, MG: UFV, 1985. p. 447-448.

NEVES, J. C. L. **Produção e partição de biomassa, aspectos nutricionais e híbridos em plantios clonais de eucalipto na região litorânea do Espírito Santo**. 2000. 191 p. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campo dos Goytacazes.

NEVES, J. C. L.; GOMES, J. M.; NOVAIS, R. F. Fertilização mineral de mudas de eucalipto. In: BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F. **Relação solo-eucalipto**. Viçosa, MG: Folha de Viçosa, 1990. p. 99-126.

NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; TEIXEIRA, J. L.; NEVES, J. C. L.; GOULART, R.; MACEDO, P. R. O. Nutritional efficiency of *Eucalyptus* spp. seedlings. In: SYMPOSIUM ON INTENSIVE FORESTRY: THE ROLE OF *EUCALYPTUS*, 1991, Durban. **Proceedings...** Durban: IUFRO, 1991. p. 715-726.

PEREIRA, A. R.; ANDRADE, D. C.; LEAL, P. G. L.; TEIXEIRA, N. C. S. Produção de biomassa e remoção de nutrientes em povoamentos de *Eucalyptus citriodora* e *E. saligna* cultivados na região de cerrado de Minas Gerais. **Floresta**, Curitiba, v. 15, n. 2, p. 8-16, jun./dez. 1984.

REIS, M. G. F.; BARROS, N. F. Ciclagem de nutrientes em plantio de eucalipto. In: BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F. **Relação solo-eucalipto**. Viçosa, MG: Folhas de Viçosa, 1990. p. 265-301.

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

SIDDIQUI, M. Y.; GLASS, A. D. M. Utilization index: a modified approach to the estimation and comparison of nutrient utilization efficiency in plants. **Journal of Plant Nutrition**, Monticello, v. 4, n. 3, p. 289-302, July 1981.

SILVA, W.; SEDIYAMA, T.; SILVA, A. A.; CARDOSO, A. A. Índice de consumo e eficiência do uso da água em eucalipto, submetido a diferentes teores de água em convivência com a braquiária. **Floresta**, Curitiba, v. 34, n. 3, p. 325-335, set./dez. 2004.

SILVEIRA, A. P. D.; CARDOSO, E. J. B. N. Arbuscular mycorrhiza and kinetic parameters of phosphorus absorption by bean plants. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 61, n. 2, p. 203-209, Mar./Apr. 2004.

SOUZA, M. E. **Correlação adulto-juvenil para eficiência nutricional e comportamento de clones de *Eucalyptus grandis* em dois níveis de fertilidade do solo**. 1994. 49 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

SWIADER, J. M.; CHYAN, Y.; FREIJI, F. G. Genotypic differences in nitrate uptake and utilization efficiency in pumpkin hybrids. **Journal of Plant Nutrition**, Monticello, v. 7, n. 10, p. 1687-1699, Sept. 1994.

TEIXEIRA, J. L.; BARROS, N. F.; COSTA, L. M.; CAMPOS, J. C. C.; LEAL, P. G. L. Biomassa e conteúdo de nutrientes de duas espécies de eucalipto em diferentes ambientes do Médio Rio Doce, MG. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 13, n. 1, p. 34-50, jan./jun. 1989.

VITTI, G. C.; LIMA, E.; CICARONE, F. Cálcio, magnésio e enxofre. In: FERNANDES, M. S. **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa, MG: SBCS, 2006. p. 299-325.

ZONTA, E.; BRASIL, F. C.; GOI, S. R.; ROSA, M. M. T. O sistema radicular e suas interações com o ambiente edáfico. In: FERNANDES, M. S. **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa, MG: SBCS, 2006. p. 8-52.

ANEXOS

TABELA 1A Análises de variância (ANOVA) do comprimento, volume, área de superfície, diâmetro médio e área específica das raízes de seis clones de eucalipto

FV	GL	Quadrado Médio				
		Comprimento	Volume	Área superfície	Diâmetro médio	Área específica
Clone	5	23674235,2*	12048636,2*	151846,2*	0,051597	13576,06*
Resíduo	18	988926,8	1963638,8	11529,1	0,004144	1406,94
CV (%)		10,1	14,0	9,7	13,2	6,0

* Significativo a 5% pelo teste de F.

TABELA 2A Análises de variância (ANOVA) para os parâmetros cinéticos da absorção iônica de fósforo apresentados pelos seis clones de eucalipto

FV	GL	Quadrado Médio							
		Km	Cmin	Vmax MF	Vmax MS	Vmax DM	Vmax A	Vmax V	Vmax C
Clone	5	1,9*	8,1*	0,007*	0,76*	16,9*	148,7*	0,035*	0,0001*
Resíduo	18	0,4	1,2	0,001	0,15	4,4	36,9	0,005	0,00005
CV (%)		4,9	10,2	19,5	18,1	26,7	18,0	19,1	18,5

* Significativo a 5% pelo teste de F. Km (constante de Michaelis-Menten), Cmin (concentração mínima na solução após 24 horas), Vmax MF (obtida por meio da matéria fresca de raízes), Vmax MS (obtida por meio da matéria seca de raízes), Vmax DM (obtida por meio do diâmetro médio das raízes), Vmax A (obtida por meio da área de raízes), Vmax V (obtida por meio do volume de raízes), Vmax C (obtida por meio do comprimento de raízes).

TABELA 3A Análises de variância (ANOVA) para os parâmetros cinéticos da absorção iônica de potássio apresentados pelos seis clones de eucalipto

FV	GL	Quadrado Médio							
		Km	Cmin	Vmax MF	Vmax MS	Vmax DM	Vmax A	Vmax V	Vmax C
Clone	5	278,9*	467,4*	0,08*	5,60*	80,9*	2094*	0,40*	0,002*
Resíduo	18	36,93	77,4	0,01	1,11	8,4	213	0,03	0,0003
CV (%)		14,3	30,7	24,2	20,1	15,3	17,0	19,1	18,9

* Significativo a 5% pelo teste de F. Km (constante de Michaelis-Menten), Cmin (concentração mínima na solução após 24 horas), Vmax MF (obtida por meio da matéria fresca de raízes), Vmax MS (obtida por meio da matéria seca de raízes), Vmax DM (obtida por meio do diâmetro médio das raízes), Vmax A (obtida por meio da área de raízes), Vmax V (obtida por meio do volume de raízes), Vmax C (obtida por meio do comprimento de raízes).

TABELA 4A Análises de variância (ANOVA) para os parâmetros cinéticos da absorção iônica de cálcio apresentados pelos seis clones de eucalipto

FV	GL	Quadrado Médio							
		Km	Cmin	Vmax MF	Vmax MS	Vmax DM	Vmax A	Vmax V	Vmax C
Clone	5	193,7 ^{NS}	22,7 ^{NS}	0,12*	9,0*	170*	2453*	0,40*	0,002*
Resíduo	18	68,16	7,07	0,01	1,5	81	486	0,07	0,0005
CV (%)		33,4	29,1	31,0	27,3	26,6	29,9	32,5	27,6

^{NS} Não significativo a 5% pelo teste de F. * Significativo a 5% pelo teste de F. Km (constante de Michaelis-Menten), Cmin (concentração mínima na solução após 24 horas), Vmax MF (obtida por meio da matéria fresca de raízes), Vmax MS (obtida por meio da matéria seca de raízes), Vmax DM (obtida por meio do diâmetro médio das raízes), Vmax A (obtida por meio da área de raízes), Vmax V (obtida por meio do volume de raízes), Vmax C (obtida por meio do comprimento de raízes).

TABELA 5A Análises de variância (ANOVA) para os parâmetros cinéticos da absorção iônica de magnésio apresentados pelos seis clones de eucalipto

FV	GL	Quadrado Médio							
		Km	Cmin	Vmax MF	Vmax MS	Vmax DM	Vmax A	Vmax V	Vmax C
Clone	5	54,56*	74,8*	0,07*	6,27 ^{NS}	133,3*	1818*	0,316*	0,002*
Resíduo	18	4,81	13,8	0,01	1,69	11,42	203	0,042	0,0002
CV (%)		6,0	15,4	28,1	29,1	21,1	20,0	24,5	18,4

^{NS} Não significativo a 5% pelo teste de F. * Significativo a 5% pelo teste de F. Km (constante de Michaelis-Menten), Cmin (concentração mínima na solução após 24 horas), Vmax MF (obtida por meio da matéria fresca de raízes), Vmax MS (obtida por meio da matéria seca de raízes), Vmax DM (obtida por meio do diâmetro médio das raízes), Vmax A (obtida por meio da área de raízes), Vmax V (obtida por meio do volume de raízes), Vmax C (obtida por meio do comprimento de raízes).

TABELA 6A Análises de variância (ANOVA) do poder de absorção (α) de P, K, Ca e Mg apresentados pelos seis clones de eucalipto

FV	GL	Quadrado Médio			
		Fósforo	Potássio	Cálcio	Magnésio
Clone	5	0,00006*	0,00014*	0,0013*	0,00006*
Resíduo	18	0,000005	0,00001	0,00001	0,000005
CV (%)		16,9	24,5	15,4	18,6

* Significativo a 5% pelo teste de F.

TABELA 7A Análises de variância (ANOVA) do influxo líquido de P, K, Ca e Mg obtidos nas maiores concentrações desses nutrientes em solução utilizados na separação dos clones de eucalipto em grupos com influxos semelhantes

FV	GL	Quadrado Médio			
		Fósforo	Potássio	Cálcio	Magnésio
Clone	5	0,0029*	0,0631*	0,0353*	0,0207*
Resíduo	18	0,0001	0,0042	0,0010	0,0013
CV (%)		18,9	25,6	9,8	20,2

* Significativo a 5% pelo teste de F.

TABELA 8A Valores do influxo líquido de P, K, Ca e Mg obtidos nas maiores concentrações desses nutrientes em solução utilizados na separação dos clones de eucalipto em grupos com influxos semelhantes.

Clone	Fósforo	Potássio	Cálcio	Magnésio
	$\mu\text{mol g raiz fresca}^{-1} \text{ h}^{-1}$			
58	0,093a ⁽²⁾	0,237b	0,221c	0,185b
386	0,046b	0,093c	0,330b	0,230a
GG100	0,092a	0,198b	0,345b	0,117c
I042	0,044b	0,258b	0,205c	0,077c
I144	0,060b	0,271b	0,426a	0,272a
VM1	0,107a	0,476a	0,417a	0,195b
Média	0,074	0,255	0,324	0,179
CV ⁽¹⁾ (%)	18,9	25,6	9,8	20,2

⁽¹⁾ Coeficiente de variação das médias entre clones. ⁽²⁾ Valores seguidos de mesma letra, em cada coluna, pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott-Knott a 5%.

TABELA 9A Análises de variância (ANOVA) da altura, diâmetro do caule e área foliar de seis clones de eucalipto

FV	GL	Quadrado Médio		
		Altura	Diâmetro do caule	Área foliar
Clone	5	650,566*	1,501*	800245,36*
Resíduo	18	16,611	0,151	62235,38
CV (%)		7,0	7,4	12,0

* Significativo a 5% pelo teste de F.

TABELA 10A Análises de variância (ANOVA) da produção de matéria seca pela parte aérea (MSPA), pelo sistema radicular (MSR), total (MST) e relação entre a matéria seca da parte aérea e raiz (MSPA/MSR) apresentadas pelos seis clones de eucalipto

FV	GL	Quadrado Médio			
		MSPA	MSRA	MST	MSPA/MSR
Clone	5	9,433*	0,222*	12,062*	1,113*
Resíduo	18	1,562	0,041	1,971	0,271
CV (%)		13,8	11,6	13,0	10,1

* Significativo a 5% pelo teste de F.

TABELA 11A Análises de variância (ANOVA) dos teores, acúmulos e eficiências de absorção (EA), translocação (ET) e utilização (EU) de nitrogênio por seis clones de eucalipto

Quadrado Médio								
FV	GL	Teor PA	Teor R	Acúmulo PA	Acúmulo R	EA	ET	EU
Clone	5	21,05*	14,12*	7524*	97,46*	2229*	0,0007*	0,021*
Resíduo	18	3,51	3,59	1732	27,92	327	0,0001	0,002
CV (%)		5,6	10,7	13,7	16,9	9,5	3,0	15,0

* Significativo a 5% pelo teste de F. PA (parte aérea), R (raiz).

TABELA 12A Análises de variância (ANOVA) dos teores, acúmulos e eficiências de absorção (EA), translocação (ET) e utilização (EU) de fósforo por seis clones de eucalipto

Quadrado Médio								
FV	GL	Teor PA	Teor R	Acúmulo PA	Acúmulo R	EA	ET	EU
Clone	5	0,157*	0,020*	82,97*	0,269*	12,48*	0,0004*	2,26*
Resíduo	18	0,055	0,007	17,46	0,078	3,45	0,0001	0,42
CV (%)		8,3	10,0	16,3	18,8	12,0	2,0	15,0

* Significativo a 5% pelo teste de F. PA (parte aérea), R (raiz).

TABELA 13A Análises de variância (ANOVA) dos teores, acúmulos e eficiências de absorção (EA), translocação (ET) e utilização (EU) de potássio por seis clones de eucalipto

FV	GL	Quadrado Médio						
		Teor PA	Teor R	Acúmulo PA	Acúmulo R	EA	ET	EU
Clone	5	1,94 ^{NS}	0,804*	1852*	8,16*	280,08*	0,0003*	0,085*
Resíduo	18	0,76	0,04	406	1,11	71,18	0,00005	0,001
CV (%)		5,6	4,3	14,4	11,7	9,9	2,0	14,3

^{NS} Não significativo a 5% pelo teste de F. * Significativo a 5% pelo teste de F. PA (parte aérea), R (raiz).

TABELA 14A Análises de variância (ANOVA) dos teores, acúmulos e eficiências de absorção (EA), translocação (ET) e utilização (EU) de cálcio por seis clones de eucalipto

FV	GL	Quadrado Médio						
		Teor PA	Teor R	Acúmulo PA	Acúmulo R	EA	ET	EU
Clone	5	12,03*	3,71*	4022*	45,40*	695,5*	0,0033*	0,082*
Resíduo	18	0,57	0,23	299	7,43	62,70	0,0002	0,015
CV (%)		6,0	4,8	15,0	15,5	10,5	2,0	14,0

* Significativo a 5% pelo teste de F. PA (parte aérea), R (raiz).

TABELA 15A Análises de variância (ANOVA) dos teores, acúmulos e eficiências de absorção (EA), translocação (ET) e utilização (EU) de magnésio por seis clones de eucalipto

FV	GL	Quadrado Médio						
		Teor PA	Teor R	Acúmulo PA	Acúmulo R	EA	ET	EU
Clone	5	0,097*	0,331*	120,05*	1,11*	17,61*	0,0019*	1,202*
Resíduo	18	0,01	0,01	14,28	0,13	2,31	0,0001	0,309
CV (%)		4,6	6,9	14,1	12,9	9,1	2,0	14,0

* Significativo a 5% pelo teste de F. PA (parte aérea), R (raiz).

TABELA 16A Análises de variância (ANOVA) dos teores, acúmulos e eficiências de absorção (EA), translocação (ET) e utilização (EU) de enxofre por seis clones de eucalipto

FV	GL	Quadrado Médio						
		Teor PA	Teor R	Acúmulo PA	Acúmulo R	EA	ET	EU
Clone	5	0,794*	0,043*	85,53*	0,267*	22,87*	0,0011*	9,60*
Resíduo	18	0,045	0,010	9,29	0,081	3,20	0,0001	0,87
CV (%)		9,6	15,2	15,3	23,9	14,8	2,0	16,3

* Significativo a 5% pelo teste de F. PA (parte aérea), R (raiz).

TABELA 17A Análise de variância (ANOVA) da eficiência de utilização de N, P, K, Ca, Mg e S na produção de matéria seca da parte aérea (EUPA) por seis clones de eucalipto

FV	GL	Quadrado Médio					
		N	P	K	Ca	Mg	S
Clone	5	0,0047*	0,756*	0,031*	0,0149*	0,5019*	2,733*
Resíduo	18	0,0007	0,138	0,004	0,003	0,0926	0,229
CV (%)		15,5	15,0	15,2	14,1	15,2	14,9

* Significativo a 5% pelo teste de F.