

EFICIÊNCIA NUTRICIONAL DE CLONES DE EUCALIPTO NA FASE DE MUDAS CULTIVADOS EM SOLUÇÃO NUTRITIVA⁽¹⁾

Sheila Isabel do Carmo Pinto⁽²⁾, Antonio Eduardo Furtini Neto⁽³⁾, Júlio César Lima Neves⁽⁴⁾, Valdemar Faquin⁽³⁾ & Bruno da Silva Moretti⁽⁵⁾

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 caracterizar os genótipos quanto à eficiência de absorção, translocação e utilização de macronutrientes. O experimento foi conduzido em casa de vegetação no ano de 2008. 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. 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 modo geral, os clones podem ser separados, quanto à eficiência nutricional, na seguinte sequência: I144 > 386 > 58 ≈ GG100 > VM1 > I042. O clone I144 mostrou-se mais eficiente, 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 a produção de biomassa. O clone VM1 destacou-se entre os demais clones de eucalipto, sendo mais eficiente na translocação de todos os macronutrientes para a parte aérea das mudas dessa cultura. 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.

Termos de indexação: nutrição mineral, eficiência de absorção de nutrientes, eficiência de utilização dos nutrientes.

⁽¹⁾ Parte da Tese de Doutorado do primeiro autor apresentada ao Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras – UFLA. Recebido para publicação em agosto de 2009 e aprovado em janeiro de 2011.

⁽²⁾ Professora do Departamento de Ciências Agrárias, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – IFMG. Campus Bambuí, CEP 38900-000 Bambuí (MG). E-mail: sheila.isabel@ifmg.edu.br

⁽³⁾ Professor do Departamento de Ciência do Solo, UFLA. Bolsista CNPq. E-mails: afurtini@ufla.br; vafaquin@ufla.br

⁽⁴⁾ Professor do Departamento de Solos, Universidade Federal de Viçosa – UFV. CEP 36571-000 Viçosa (MG). Bolsista CNPq. E-mail: julio.neves@pesquisador.cnpq.br

⁽⁵⁾ Acadêmico do curso de Agronomia, UFLA. Bolsista do CNPq. E-mail: bsmoretti@hotmail.com

SUMMARY: NUTRITIONAL EFFICIENCY OF EUCALYPTUS CLONES IN THE SEEDLING PHASE IN NUTRIENT SOLUTION

The objectives of this study were to evaluate the biomass production and nutritional efficiency of seedlings of eucalyptus clones in nutrient solution, to characterize the macronutrient uptake, translocation and utilization efficiency. The experiment was carried out in a greenhouse using seedlings of six eucalyptus clones (58, 386, GG100, I042, I144, and VM1), grown in nutrient solution. The treatments, represented by the six clones, were distributed in a completely randomized design, with four replications. The eucalyptus clones differed from each other in biomass production and in nutritional efficiency. Differences were detected 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 ranked for nutritional efficiency in the following sequence: I144 > 386 > 58 ≈ GG100 > VM1 > I042. Clone I144 was most efficient, mainly for N, P, K, Mg and S, with higher uptake and utilization efficiency of these nutrients in biomass production. Clone I042 was inefficient in uptake and utilization of all macronutrients, compromising biomass production. VM1 stood out among the other clones as the most efficient in the translocation of all macronutrients to the aerial part of the eucalyptus seedlings. The differences identified in this study in terms of nutritional efficiency of eucalyptus clones in the seedling phase suggest the possibility of selection of eucalyptus genotypes for distinct soil fertility conditions.

Index terms: mineral nutrition, nutrient uptake efficiency, nutrient use efficiency.

INTRODUÇÃO

O cultivo do eucalipto ampliou-se muito nas últimas décadas. Grandes maciços florestais estão distribuídos por todas as regiões do Brasil. A área de florestas plantadas no País em 2009 totalizou cerca de 6,3 milhões de hectares. Desse total, cerca de 4,5 milhões correspondem a áreas de plantios com eucalipto. Minas Gerais é o Estado com maior área plantada, cerca de 1,3 milhão de hectares, correspondendo a 29 % da área plantada com eucalipto no Brasil (ABRAF, 2010).

Há grande variabilidade intra e interespecífica 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 esses materiais genéticos são adaptados às mais diversas condições edafoclimáticas e atendem a inúmeros tipos de exploração econômica.

Entretanto, além da facilidade de adaptação de materiais clonais às diversas condições ambientais e do 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 desses materiais em converter os nutrientes absorvidos em biomassa, ou seja, sua eficiência nutricional. Nesse sentido, na década de 1990, 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).

A eficiência nutricional pode ser definida como a capacidade de absorção e, ou, utilização de nutrientes (Epstein, 1972; Clarkson & Hanson, 1980; Clark, 1983). Clarkson (1985) define a eficiência na absorção de nutrientes como a capacidade de aquisição de nutrientes em condições de baixa disponibilidade. Nesse 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 empregá-los na síntese da biomassa (Clarkson & Hanson, 1980), sempre desejável, conquanto influencie diretamente a produtividade de biomassa ou a economia na exportação de nutrientes.

Vários trabalhos têm constatado diferenças na eficiência nutricional entre espécies de eucalipto (Pereira et al., 1984; Muniz et al., 1985; Morais 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 (Morais 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.

A produção de biomassa é determinada pelas características genéticas da espécie, e maiores produtividades estão associadas com maiores exportações de nutrientes do sítio (Santana et al., 2002). Nesse 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 conseqüente 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 caracterizar os genótipos quanto à eficiência de absorção, translocação e utilização dos macronutrientes, fornecendo subsídios para a posterior verificação em campo da correlação juvenil-adulto quanto à eficiência nutricional.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em 2008, sendo conduzido 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* vs *Eucalyptus camaldulensis*, e os demais, de híbrido de *Eucalyptus urophylla* vs *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 em intervalos de cinco dias até atingir 100 % da força iônica original ao término de duas semanas de aclimação. Posteriormente, as plantas foram selecionadas quanto à uniformidade de raízes e parte aérea e 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 30 dias. Durante essa fase foram utilizadas quatro repetições de cada clone, dispostas inteiramente ao acaso, sendo a unidade experimental constituída por uma planta por vaso.

Após 45 dias de cultivo das mudas em solução nutritiva, foram efetuadas as medições de 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 Conveyer* 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 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 e digerido em bloco digestor na presença de ácido nítrico-perclórico, para posterior 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). A eficiência nutricional dos clones para cada nutriente foi avaliada por meio do cálculo dos valores da eficiência de absorção - EA (Swiader et al., 1994), eficiência de translocação - ET (Li et al., 1991) e eficiência de utilização - EU (Siddiqui & Glass, 1981), as quais foram calculadas, respectivamente, de acordo com as equações 1, 2 e 3.

$$EA = \frac{\text{mg do nutriente na planta/g}}{\text{de matéria seca da raiz}} \quad (1)$$

$$ET = \frac{\text{mg do nutriente na parte aérea/mg}}{\text{do nutriente na planta}} \quad (2)$$

$$EU = \frac{\text{(g matéria seca total)}^2/\text{mg}}{\text{do nutriente na planta}} \quad (3)$$

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

com o auxílio do programa estatístico SISVAR® (Ferreira, 2000).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os clones de eucalipto apresentaram comportamento diferenciado quanto ao crescimento em diâmetro, altura e área foliar (Quadro 1). Em relação ao crescimento em altura, o clone 58 destacou-se 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 de caule e área foliar foram observados no clone 386. De maneira geral, o clone 386 obteve melhor desenvolvimento vegetativo da parte aérea em relação às três variáveis analisadas, enquanto o clone I042 exibiu o menor crescimento vegetativo entre os clones de eucalipto avaliados (Quadro 1).

Diferenças ($p < 0,05$) também 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 a das raízes (Quadro 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 por esses materiais genéticos (Quadro 1). Os demais clones não diferiram entre si, com as menores produções de matéria seca da parte aérea. No tocante à matéria seca de raízes, os clones 386, I144 e 58 apresentaram as maiores produções, enquanto para os demais clones não houve diferenças na produção de matéria seca nesse 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 obtendo os maiores valores.

De maneira geral, as maiores produções de matéria seca foram identificadas nos clones 386 e I144. O clone I042, entretanto, apresentou a menor produção

Quadro 1. Altura, diâmetro do caule e área foliar dos seis clones de eucalipto

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

Quadro 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 a da raiz (MSPA/MSR), apresentadas pelos seis clones de eucalipto

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

de matéria seca, o que é consistente com o baixo crescimento em altura, diâmetro e área foliar (Quadro 1). Embora esses 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 os materiais considerados geneticamente superiores. Essas diferenças na produção de biomassa entre clones de eucaliptos também foram identificadas por outros autores (Molica, 1992; Grespan, 1997; Lima et al., 2005).

Não foi observada diferença ($p > 0,05$) para a relação entre a produção de matéria seca da parte aérea e a das raízes entre os clones GG100, 386, I144, VM1 e 58, que apresentaram maiores valores (Quadro 2). A menor relação entre a produção de matéria seca da parte aérea e a das raízes foi observada no 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 relação linear entre a produção de matéria seca total pelos clones de eucalipto e a área foliar (Figura 1) indica que a quantidade de fotoassimilados na planta é, geralmente, proporcional à área foliar (Zonta et al., 2006); assim, pode-se inferir que os fotoassimilados são convertidos em biomassa, o que contribui para o aumento da matéria seca total.

Martinez et al. (1993) ressaltam que o comportamento diferenciado, quanto ao crescimento de plantas de variedades diferentes, cultivadas sob mesma con-

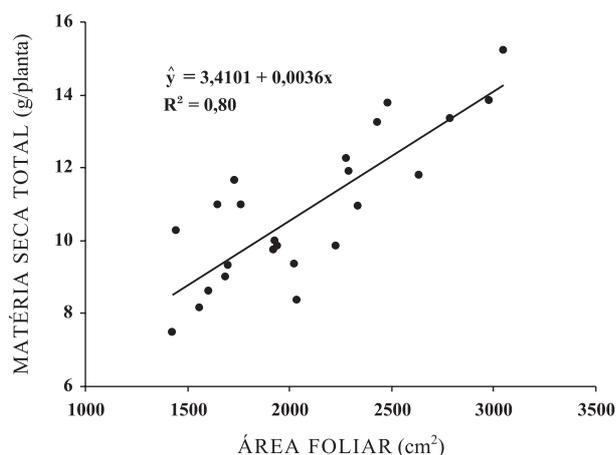


Figura 1. Matéria seca total das mudas de eucalipto em função da área foliar, para os seis clones de eucalipto.

dição, pode indicar diferenças nos fatores internos responsáveis pela eficiência nutricional desses materiais genéticos. Nesse contexto, é apresentada a caracterização da eficiência nutricional dos clones de eucalipto estudados (Quadro 3). Diferenças ($p < 0,05$) entre eles foram observadas na eficiência de absorção, translocação e utilização dos macronutrientes.

A maior eficiência de absorção de N entre os materiais genéticos avaliados foi identificada no clone GG100 (Quadro 3). Os clones 386 e I042 apresentaram as menores eficiências de translocação de N para a parte aérea, e os clones 386 e I144 foram os mais eficientes na utilização desse nutriente (Quadro 3). A caracterização da eficiência nutricional dos clones em relação ao N permite separá-los em quatro grupos (Figura 2): 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 desse nutriente (clone 386); grupo 3, formado por clones com alta eficiência na absorção de N, porém com baixa eficiência de utilização desse nutriente na produção biomassa (clones 58, GG100 e VM1); e grupo 4, formado por clone com baixa eficiência tanto na absorção quanto na utilização do N (clone I042).

O N é um dos nutrientes requeridos em maior quantidade pelas plantas e o que mais limita o crescimento. Na fase de muda, nutrientes como N e P são importantes para o rápido crescimento radicular do eucalipto (Barros et al., 1997), uma vez que eles são os que mais alteram a produção de raízes quando fornecidos em quantidades insuficientes (Clarkson, 1985). Nesse sentido, maior atenção deve ser direcionada para os clones do grupo 1 (I144) e do grupo

Quadro 3. Eficiências de absorção (EA), translocação (ET) e utilização (EU) dos macronutrientes pelos seis clones de eucalipto

Clone	EA ⁽¹⁾	ET ⁽²⁾	EU ⁽³⁾	EA	ET	EU
	mg g ⁻¹		g ² mg ⁻¹	mg g ⁻¹		g ² mg ⁻¹
	Nitrogênio			Fósforo		
58	201,41 b ⁽⁴⁾	0,92 a	0,33 b	16,48 a	0,95 a	4,04 c
386	183,55 b	0,89 b	0,47 a	15,13 a	0,93 b	5,72 a
GG100	226,24 a	0,91 a	0,30 b	16,72 a	0,95 a	4,03 c
I042	154,03 b	0,88 b	0,29 b	12,02 b	0,92 b	3,76 c
I144	187,89 b	0,91 a	0,41 a	16,33 a	0,95 a	4,72 b
VM1	193,27 b	0,92 a	0,32 b	15,98 a	0,96 a	3,83 c
Média	191,06	0,91	0,35	15,44	0,94	4,35
	Potássio			Cálcio		
58	86,26 a	0,84 a	0,77 c	66,09 b	0,83 b	1,01 a
386	82,04 b	0,94 a	1,04 a	94,74 a	0,89 a	0,91 a
GG100	94,58 a	0,95 a	0,72 c	89,06 a	0,90 a	0,76 b
I042	70,14 b	0,92 c	0,64 c	63,28 b	0,83 b	0,72 b
I144	88,99 a	0,93 b	0,87 b	70,22 b	0,85 b	1,10 a
VM1	88,34 a	0,95 a	0,70 c	68,44 b	0,88 a	0,89 a
Média	85,06	0,94	0,79	75,30	0,86	0,90
	Magnésio			Enxofre		
58	16,77 a	0,87 b	3,97 b	15,92 a	0,95 a	4,17 c
386	17,53 a	0,92 a	4,92 a	10,21 c	0,94 b	8,41 a
GG100	19,00 a	0,90 a	3,55 b	12,58 b	0,94 b	5,40 c
I042	12,91 b	0,88 b	3,48 b	9,10 c	0,91 c	4,99 c
I144	18,03 a	0,93 a	4,26 a	11,76 c	0,93 b	6,64 b
VM1	16,67 a	0,92 a	3,67 b	13,00 b	0,96 a	4,77 c
Média	16,82	0,90	3,97	12,10	0,94	5,73

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

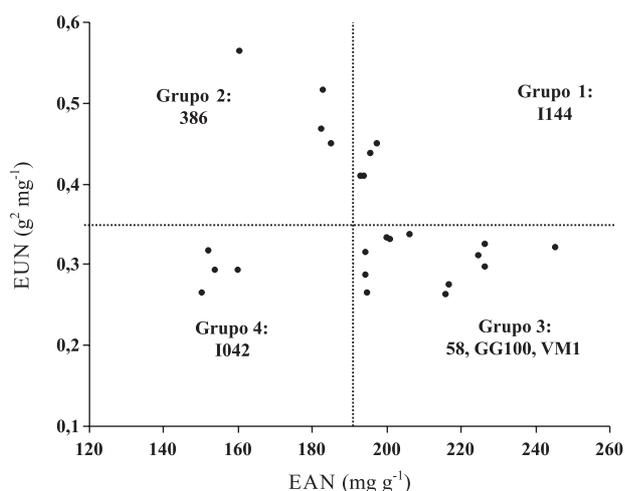


Figura 2. Diagrama de distribuição dos clones de eucalipto em função das eficiências de absorção (EA) e de utilização (EU) de nitrogênio.

3 (58, I042 e VM1) quanto à adubação nitrogenada, principalmente na fase de implantação da floresta, uma vez que estudos realizados por Wadt et al. (1999) sobre as variações no estado nutricional de eucaliptos sob influência de diferentes materiais genéticos e da idade da árvore demonstraram que a deficiência de N é maior no início do ciclo da cultura.

O clone I042 mostrou-se menos eficiente na absorção de P, e os clones I042 e 386, os menos eficientes na translocação de P para a parte aérea (Quadro 3). O clone 386 caracterizou-se por ser o mais eficiente na utilização de P (Quadro 3). 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 (clones I144 e 386); grupo 2, caracterizado pela alta eficiência na absorção de P e baixa eficiência de utilização desse nutriente na produção biomassa (clones 58, GG100 e VM1); e grupo 3, caracterizado pela baixa eficiência tanto na absorção quanto na utilização do P (clone I042). Segundo Barros et al. (1986a), no sistema de silvicultura 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). Assim, considerando 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.

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) ressaltam que, em florestas plantadas, não há dúvidas quanto ao fato de ser o P o principal nutriente a limitar o crescimento das árvores. A sua aplicação, portanto, é essencial nos programas de adubação (Barros et al., 1986b). Nesse sentido, materiais genéticos mais eficientes na absorção e utilização desse elemento, como os clones 386 e I144, são fundamentais para o uso mais racional de P e contribuem para a redução dos custos da fertilização sem comprometer a produtividade do sítio florestal.

Em relação à absorção do K, os clones 386 e I042 mostraram-se menos eficientes (Quadro 3). O clone I042 apresentou a menor eficiência de translocação de K para a parte aérea, e o clone 386, a maior eficiência na utilização desse nutriente (Quadro 3). Os clones podem ser separados em quatro grupos quanto à eficiência nutricional para o K (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 desse nutriente na produção de biomassa (clone 386); grupo 3, formado por clones com alta eficiência na absorção de K, porém com baixa eficiência de utilização desse nutriente na produção biomassa (clones 58 e GG100); e grupo 4, formado por clones com baixa eficiência tanto na absorção quanto na utilização do K (clones VM1 e I042).

O K e o P são nutrientes com maior incidência de deficiência nos plantios de eucaliptos (Silveira et al., 2004), sendo indicados como os mais limitantes ao seu crescimento em várias regiões florestais do Brasil. Barros et al. (1990) ressaltam que a necessidade de K

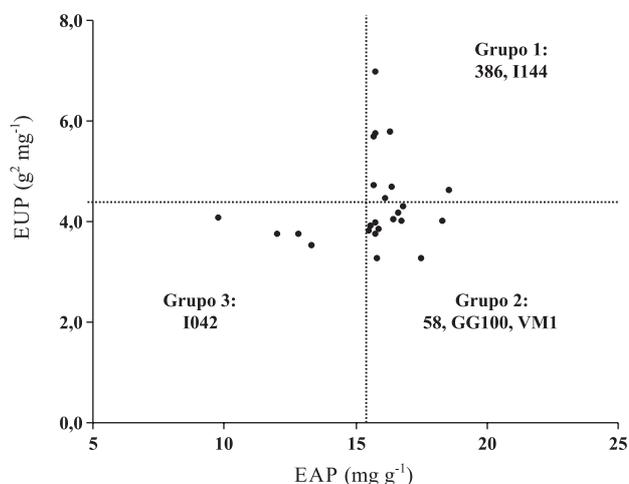


Figura 3. Diagrama de distribuição dos clones de eucalipto em função das eficiências de absorção (EA) e de utilização (EU) de fósforo.

aumenta com o acúmulo de biomassa e, portanto, com a idade do eucalipto. Assim, clones com maior eficiência na utilização de K, como os clones I144 e 386, são desejáveis, pois conseguem se estabelecer em solos com menor disponibilidade desse nutriente sem comprometer a produção de biomassa.

Em relação à absorção de Ca, os clones 386 e GG100 foram os mais eficientes (Quadro 3). Os clones 386, GG100 e VM1 mostraram ser os mais eficientes na translocação de Ca para a parte aérea, e os clones GG100 e I042, os menos eficientes na utilização desse nutriente. 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 desse nutriente

na produção de biomassa (clones 58 e I144); grupo 3, caracterizado pela alta eficiência na absorção de Ca e baixa eficiência de utilização desse nutriente na produção biomassa (clone GG100); e grupo 4, caracterizado pela baixa eficiência tanto na absorção quanto na utilização do Ca (clones VM1 e I042).

Grandes quantidades de macronutrientes são acumuladas e exportadas durante a exploração florestal por meio da parte aérea do eucalipto. Entre os macronutrientes, o cálcio é um dos mais 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 está alocado 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 desse nutriente.

A avaliação do estado nutricional de eucaliptos sob influência de diferentes materiais genéticos e da idade da árvore demonstrou que a deficiência de Ca, assim como a de N, é maior no início do ciclo da cultura (Wadt et al., 1999), requerido, principalmente, nos processos de divisão e alongação celular (Cunha et al., 2009). Assim, materiais genéticos pouco eficientes na absorção e utilização desse nutriente precisam de maior atenção quanto à adubação, sobretudo na fase de implantação da floresta, para não comprometer a produção de madeira.

Em relação à absorção de Mg, o clone I042 foi o menos eficiente (Quadro 3). Os clones 58 e I042 foram menos eficientes na translocação do Mg para a parte aérea, e os clones 386 e I144, os mais eficientes na utilização do Mg (Quadro 3). Os clones podem ser separados em três grupos quanto à eficiência nutricional para o Mg (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 desse nutriente na produção de biomassa (clones 58 e GG100); e grupo 3, caracterizado pela baixa eficiência tanto na absorção quanto na utilização do Mg (clones VM1 e I042).

Embora esse 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. Nessas 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 grande quantidade tanto de Mg quanto de cálcio pode ser exportada da área pela exploração florestal (Neves et al., 1990). Nesse contexto, os clones com maior eficiência na absorção (58 e GG100) e utilização (386 e I144) desse nutriente constituem materiais genéticos importantes para a implantação de florestas plantadas nessas áreas.

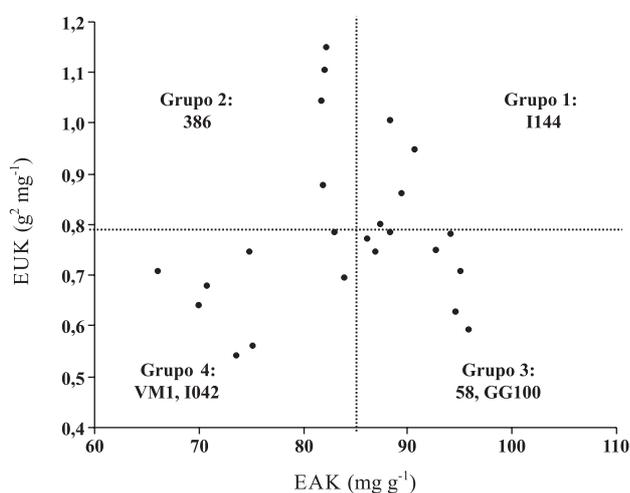


Figura 4. Diagrama de distribuição dos clones de eucalipto em função das eficiências de absorção (EA) e de utilização (EU) de potássio.

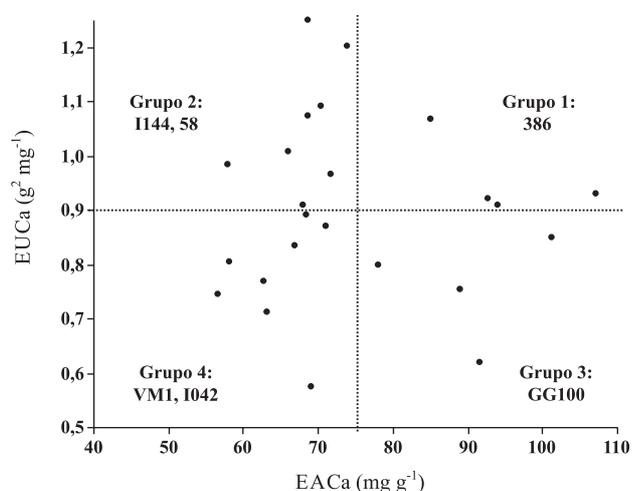


Figura 5. Diagrama de distribuição dos clones de eucalipto em função das eficiências de absorção (EA) e de utilização (EU) de cálcio.

Em relação à absorção de S, o clone 58 foi o mais eficiente (Quadro 3). Os clones 58 e VM1 foram os mais eficientes na translocação do S para a parte aérea, e o clone 386, o mais eficiente na sua utilização (Quadro 3). 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 desse nutriente na produção de biomassa (clone 386); grupo 3, formado por clone com alta eficiência na absorção de S, porém com baixa eficiência de utilização desse nutriente na produção de biomassa (clones 58, GG100 e VM1); e grupo 4, formado por clone com baixa eficiência tanto na absorção quanto na utilização do S (clone I042).

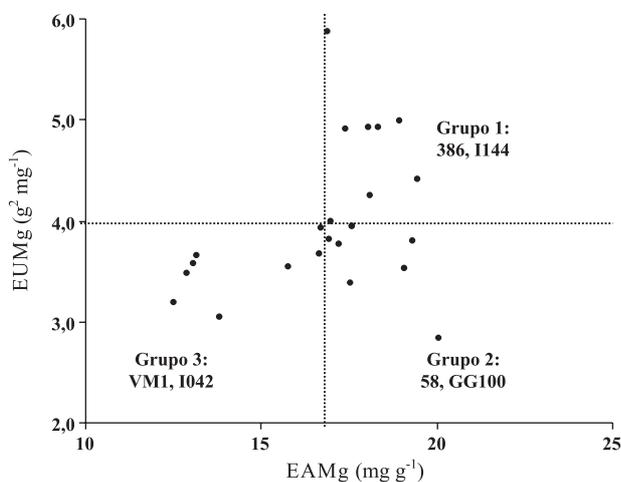


Figura 6. Diagrama de distribuição dos clones de eucalipto em função das eficiências de absorção (EA) e de utilização (EU) de magnésio.

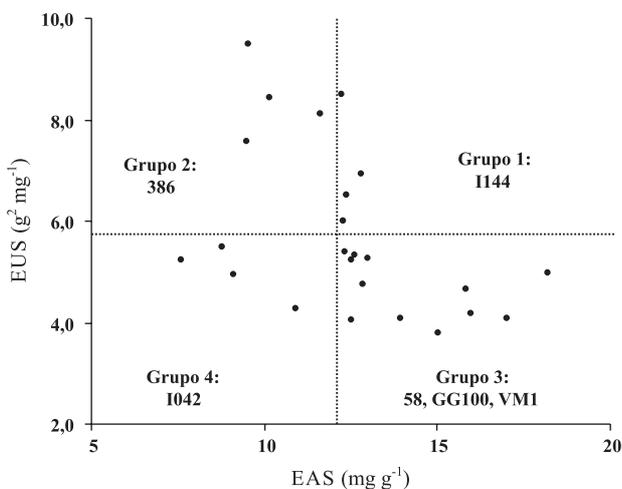


Figura 7. Diagrama de distribuição dos clones de eucalipto em função das eficiências de absorção e utilização do enxofre.

O comportamento do enxofre no solo assemelha-se 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). Nessas áreas, maior atenção deveria ser dirigida para o clone I042, em razão da baixa eficiência na absorção e utilização de enxofre.

De modo geral, os clones de eucalipto podem ser separados, quanto à eficiência nutricional para os macronutrientes, na seguinte sequência: I144 > 386 > 58 ≈ GG100 > VM1 > I042. O clone I144 destacou-se, sendo mais eficiente nutricionalmente, principalmente para N, P, K, Mg e S, com maior eficiência na absorção e na utilização desses nutrientes na produção de biomassa. O clone 386 também mostrou-se 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 e GG100 obtiveram 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.

Nesse 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 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 mesmos 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 sua vez, 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. Embora ainda não tenha sido verificada a eficiência nutricional dos referidos clones sob condições de campo como forma de corroborar o comportamento apresentado em solução nutritiva, bons resultados em produção de biomassa têm sido verificados em plantios realizados com o clone I144 em propriedades de Minas Gerais.

No tocante à translocação dos nutrientes para a parte aérea, o VM1 destacou-se entre os demais clones de eucalipto, sendo o mais eficiente na translocação de todos os macronutrientes para a parte aérea das mudas dessa cultura (Quadro 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.

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, essas diferenças na eficiência nutricional podem representar fator importante no emprego mais racional de fertilizantes.

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 os 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 nesse 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, a eficiência nutricional 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, a necessidade da realização de estudos mais detalhados em solo, especialmente, sob condições de campo. Além disso, deve-se verificar a correlação juvenil-adulto no que se refere à eficiência nutricional dos materiais genéticos, muito importante na previsão da manutenção das exigências nutricionais ao longo do ciclo de cultivo do eucalipto, uma vez que 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.

CONCLUSÕES

1. Os genótipos de eucalipto diferem 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.

2. 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 dessa cultura para condições distintas de fertilidade do solo, permitindo sua alocação em solos com distintas características nutricionais.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) a concessão das bolsas de doutorado e de produtividade.

LITERATURA CITADA

- ABICHEQUER, A. D. & BOHNEN, H. Eficiência de absorção, translocação e utilização de fósforo por variedades de trigo. *R. Bras. Ci. Solo*, 22:21-26, 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. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 1994. 106p. (Tese de Doutorado).

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS – ABFPF. Anuário estatístico ABRAF: ano base 2009. Brasília, 2010. 140p.
- 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. Anais... Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1985. p.109.
- BARROS, N.F. & COMERFORD, N.B. Sustentabilidade da produção de florestas plantadas na região tropical. In: ALVAREZ V., V.H.; SCHAEFER, C.E.G.R.; BARROS, N.F.; MELLO, J.W.V. & COSTA, L.M., eds. 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. Inf. Agropec., 18:70-75, 1997.
- BARROS, N.F.; NEVES, J.C.L. & NOVAIS, R.F. Mineral fertilizer recommendations for eucalypt plantations. In: GONÇALVES, J.L.M., ed. 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. 430p.
- BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F.; CARMO, D.N. & NEVES, J.C.L. Classificação nutricional de sítios florestais: Descrição de uma metodologia. R. Árvore, 10:112-120, 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., eds. 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. Inf. Agropec., 12:15-19, 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. J. Agric. Food Chem., 23:458-460, 1975.
- CLARK, R.B. Plant genotype differences in uptake, translocation, accumulation and use of mineral elements required for plant growth. Plant Soil, 72:175-196, 1983.
- CLARKSON, D.T. & HANSON, J.B. The mineral nutrition of higher plants. Ann. Rev. Plant Phys., 31:239-298, 1980.
- CLARKSON, D.T. Adaptações morfológicas e fisiológicas das plantas a ambientes de baixa fertilidade. In: ROSAND, P.C., ed. Reciclagem de nutrientes e agricultura de baixos insumos nos trópicos. Ilhéus, CEPLAC/SBCS, 1985. p.45-75.
- CUNHA, A.C.M.C.M.; PAIVA, H.N.; BARROS, N.F.; LEITE, H.G. & LEITE, F.P. Relação do estado nutricional de minicepas com o enraizamento de miniestacas de eucalipto. R. Bras. Ci. Solo, 33:591-599, 2009.
- EPSTEIN, E. Physiological genetics of plant nutrition. In: EPSTEIN, E. Mineral nutrition of plants: Principles and perspectives. New York, J. Wiley, 1972. p.325-344.
- 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. Anais... São Carlos, Universidade Federal de São Carlos, 2000. p.255-258.
- FURTINI NETO, A.E. Efeito do enxofre no crescimento e assimilação de nitrogênio por diferentes espécies de eucalipto. Lavras, Escola Superior de Agricultura de Lavras, 1988. 95p. (Tese de Mestrado)
- FURTINI NETO, A.E. Eficiência nutricional, cinética de absorção e frações fosfatadas em *Eucalyptus* ssp. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 1994. 99p. (Tese de Doutorado)
- FURTINI NETO, A.E.; BARROS, N.F.; GODOY, M.F. & NOVAIS, R.F. Eficiência nutricional de mudas de *Eucalyptus* em relação a fósforo. R. Árvore., 20:17-28, 1996.
- GRESPLAN, S.L. Produção e eficiência nutricional de clones de eucalipto no Norte do Espírito Santo e suas relações com características do solo. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 1997. 81p. (Tese de Mestrado)
- 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. R. Bras. Ci. Solo, 22:667-674, 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., ed. 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. R. Bras. Ci. Solo, 30:77-85, 2006.
- LI, B.; McKEAND, S.E. & ALLEN, H.L. Genetic variation in nitrogen use efficiency of loblolly pine seedlings. For. Sci., 37:613-626, 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. R. Bras. Ci. Solo, 29:903-909, 2005.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C. & OLIVEIRA, S.A. Avaliação do estado nutricional das plantas: Princípios e aplicações. 2.ed. Piracicaba, Potafos, 1997. 319p.
- 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. R. Bras. Ci. Solo, 17:239-244, 1993.

- MOLICA, S.G. Produção de biomassa e eficiência nutricional de híbridos interespecíficos de eucalipto em duas regiões bioclimáticas de Minas Gerais. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 1992. 120p. (Tese de Doutorado)
- MORAIS, E.J. Crescimento e eficiência nutricional de espécies de eucalipto em duas regiões bioclimáticas de Minas Gerais. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 1988. 56p. (Tese de Mestrado)
- 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. R. Bras. Ci. Solo, 14:353-362, 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., ed. Florestas plantadas nos neotrópicos como fonte de energia. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 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. Campo dos Goytacazes, Universidade Estadual do Norte Fluminense, 2000. 191p. (Tese de Doutorado)
- NEVES, J.C.L.; GOMES, J.M. & NOVAIS, R.F. Fertilização mineral de mudas de eucalipto. In: BARROS, N.F. & NOVAIS, R.F., eds. Relação solo-eucalipto. Viçosa, MG, Folha de Viçosa, 1990. p.99-126.
- 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, 15:8-16, 1984.
- REIS, M.G.F. & BARROS, N.F. Ciclagem de nutrientes em plantio de eucalipto. In: BARROS, N.F. & NOVAIS, R.F., eds. 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. R. Árvore, 26:447-457, 2002.
- SIDDIQUI, M.Y. & GLASS, A.D.M. Utilization index: A modified approach to the estimation and comparison of nutrient utilization efficiency in plants. J. Plant Nutr., 4:289-302, 1981.
- 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., ed. Forest nutrition and fertilization. Piracicaba: IPEF, 2004. p. 85-111.
- SWIADER, J.M.; CHYAN, Y. & FREIJI, F.G. Genotypic differences in nitrate uptake and utilization efficiency in pumpkin hybrids. J. Plant Nutr., 7:1687-1699, 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. R. Árvore, 13:34-50, 1989.
- WADT, P.G.S.; NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F. & DIAS, L.E. Variações no estado nutricional de eucaliptos por influência do material genético e da idade da árvore. Pesq. Agropec. Bras., 34:1797-1803, 1999.
- 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., ed. Nutrição mineral de plantas. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p.8-52.