

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⁽¹⁾

S. L. GRESPAN⁽²⁾, L. E. DIAS⁽³⁾ & R. F. NOVAIS⁽⁴⁾

RESUMO

Com o objetivo de avaliar o efeito do fornecimento exclusivo de amônio ou de nitrato, ou de ambos, na presença e ausência de fósforo, sobre os parâmetros cinéticos de absorção destas formas de N e sobre o crescimento de mudas de eucalipto, foram desenvolvidos dois ensaios em casa de vegetação. No primeiro ensaio, foram utilizadas as espécies *Eucalyptus urophylla* e *E. camaldulensis* e, no segundo, *E. pellita*, *E. grandis* e *E. cloeziana*. O crescimento inicial ocorreu em leito de areia lavada (32 dias) e, posteriormente, em solução nutritiva, em três relações amônio-nitrato (100-0, 50-50 e 0-100%) por 70 dias (ensaio 1) e 105 dias (ensaio 2). Após avaliação da altura, as plantas foram transferidas para câmara de crescimento onde permaneceram por 48 h em solução nutritiva isenta de nitrogênio (ensaio 1) ou com 0,36 mmol L⁻¹ de N (ensaio 2). Após esse período, parte das plantas foi colhida para a determinação dos pesos de matéria seca de caule, folhas e raízes, enquanto parte foi submetida à exaustão de N num período de 10 h na presença ou ausência de P na solução nutritiva com 0,36 mmol L⁻¹ de N. O fornecimento exclusivo de NO₃⁻ resultou em diminuição da altura e da produção de biomassa das plantas, à exceção do *E. cloeziana*, que mostrou maior crescimento com o aumento da concentração daquele ânion e morte de cerca de 80% das plantas, quando submetidas ao meio exclusivamente amoniacal. Excetuando *E. cloeziana*, maior proporção de nitrato no meio reduziu a relação biomassa de parte aérea/biomassa de raízes. Em meio nítrico, a ausência de P diminuiu drasticamente a eficiência de absorção de nitrato para *E. grandis* e *E. pellita* e pouco a modificou para o NH₄⁺. Passando de um meio puramente nítrico ou amoniacal para um meio misto (amônio + nitrato), houve redução nos valores de K_m-NH₄⁺ e aumento para K_m-NO₃⁻.

Termos de indexação: nutrição mineral, eucalipto, nitrogênio.

⁽¹⁾ Recebido para publicação em novembro de 1997 e aprovado em julho de 1998.

⁽²⁾ Engenheiro-Agrônomo, Fundação MT. Rua Pernambuco 1267, Cidade Salmen. Caixa Postal 79, CEP 78705-040 Rondonópolis (MT). E-mail: fnt@networld.com.br.

⁽³⁾ Professor Adjunto do Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa - UFV. CEP 36571-000 Viçosa (MG). E-mail: led@mail.ufv.br

⁽⁴⁾ Professor Titular do Departamento de Solos, UFV. E-mail: rfnovais@mail.ufv.br.

SUMMARY: *GROWTH AND KINETIC PARAMETERS OF ABSORPTION OF AMMONIUM AND NITRATE BY Eucalyptus spp SEEDLINGS SUBMITTED TO DIFFERENT AMMONIUM-NITRATE RATIOS AND THE PRESENCE AND ABSENCE OF PHOSPHORUS*

With the objective of evaluating the effect of exclusive supply of ammonium or nitrate, or both, on the growth of eucalypt seedlings, two experiments were carried out under greenhouse conditions. Eucalyptus urophylla and E. camaldulensis were cultivated in the first experiment and Eucalyptus pellita, E. grandis and E. cloeziana in the second. Initial growth (32 days) was carried out on washed sand bed. Then the seedlings were transferred to nutrient solution with three ammonium/nitrate ratios (100-0, 50-50 e 0-100%) where they grew for 70 days (experiment 1) or for 105 days (experiment 2). Plant heights were measured and the seedlings transferred to a no-nitrogen solution (experiment 1) or to 0.36 mmol L⁻¹ N (experiment 2) where they were left for 48 hours. After this period, part of the plants were taken to determine the dry matter of stem, leaf and root and the other part was submitted to N exhaustion for 10 hours in the presence and absence of P in the nutrient solution with 0.36 mmol L⁻¹ N. The exclusive supply of NO₃⁻ reduced the biomass for all species with exception of E. cloeziana which presented higher growth with increase in nitrate concentration. Approximately 80% of the plants submitted to exclusive ammonium medium died. With the exception of E. cloeziana, the shoot/root biomass ratio was reduced with increase in NO₃⁻ concentration. Under NO₃⁻ medium, the absence of P sharply reduced the efficiency of NO₃⁻ absorption by E. grandis and E. pellita and slightly modified it for NH₄⁺. Passing from a pure nitric or ammoniacal medium to a medium with both forms, K_m-NH₄⁺ was reduced and K_m-NO₃⁻ increased. Eucalyptus urophylla and E. pellita grew better under NH₄⁺, whereas E. camaldulensis and E. grandis grew equally well under both forms of N in solution; E. cloeziana showed better growth under NO₃⁻ medium.

Index terms: mineral nutrition, eucalypt, nitrogen.

INTRODUÇÃO

No Brasil, a atividade florestal tem-se expandido em solos distróficos, geralmente álicos, com respostas positivas a fertilizantes, principalmente a P, em virtude de sua dinâmica em solos mais intemperizados dos trópicos. Nutrientes como N, K e Ca também merecem atenção, dadas as grandes quantidades exportadas dos sítios florestais com a remoção da madeira (Morais, 1988; Reis & Barros, 1990; Molica, 1992; Santana, 1994). Incrementos na produção florestal em resposta à adição desses elementos aos solos têm sido constatados, com destaque para o N (Pritchett, 1979). A absorção de N é limitada em plantas deficientes em P, sendo isto verificado em várias espécies, como milho e *Hordeum vulgare* (Lewis et al., 1982; Lee et al., 1992). O aumento na concentração interna de glutamina e asparagina também apresentou efeito negativo na absorção de N em plantas de milho (Lee et al., 1992). Logo, a diminuição da absorção de nitrato em plantas pode resultar de acúmulo de aminoácidos livres ('feedback' negativo) e de menor disponibilidade de ATP (Rufty Jr. et al., 1990).

Em pesquisas com milho, houve redução nos teores de nitrogênio total e de nitrato das folhas, à medida que aumentou o período de omissão do

fósforo, tendo os colmos e as raízes apresentado maiores teores de nitrato que as folhas, pelo fato de ocorrer a redução do nitrato, nesta planta, principalmente no órgão fotossintético. A absorção de nitrato foi prejudicada mais rapidamente do que sua redução, indicando a necessidade de ATP para esse processo (Alves, 1994).

Geralmente, a forma de N mais absorvida pelas plantas é a nítrica, embora isto possa variar entre espécies e de acordo com fatores ambientais (Mengel & Kirkby, 1978). As espécies de eucalipto parecem absorver preferencialmente a forma amoniacal à nítrica, embora algumas apresentem grande 'plasticidade' quanto a este aspecto, como é o caso do *E. grandis* (Locatelli, 1984). Entretanto, ambientes diferentes condicionam as plantas a mecanismos diversos de absorção e assimilação do nitrogênio. Logo, a natureza constitutiva e adaptativa do mecanismo de absorção é aspecto fundamental da adaptação de uma espécie a seu ambiente edáfico (Lee & Stewart, 1978).

A absorção preferencial de amônio em relação à de nitrato pode constituir-se em vantagem, dado o menor gasto de energia metabólica, sendo desnecessária a ação de nitrato redutase nas raízes. Isto seria vantajoso ao eucalipto que parece reduzir mais o nitrato nas folhas que nas raízes (Costa, 1986).

O cultivo de doze espécies de eucalipto em diferentes relações amônio-nitrato mostrou que as espécies diferiram muito quanto à resposta a formas de N, independentemente do grupo taxonômico, mas apresentando correlação com os habitats ecológicos de cada espécie (Moore & Keraitis, 1971).

A absorção pelas plantas de íons em soluções com baixa concentração segue, geralmente, a cinética de Michaelis-Mentem, representada pela equação: $I_{max} = V_{max} c / (K_m + c)$, em que I é o influxo ou velocidade de absorção do íon ($\mu\text{mol g}^{-1} \text{h}^{-1}$) numa solução de concentração c ($\mu\text{mol L}^{-1}$). Os parâmetros V_{max} ($\mu\text{mol g}^{-1} \text{h}^{-1}$) e K_m ($\mu\text{mol L}^{-1}$) representam a velocidade máxima de absorção e a concentração em que a velocidade de absorção corresponde à metade de V_{max} , respectivamente (Ruiz, 1985). Esse modelo de cinética tem sido utilizado, com diferentes objetivos, em estudos de nutrição mineral de plantas. Mais recentemente, mostrou-se como uma valiosa ferramenta na avaliação da eficiência de absorção de nitrogênio por plantas de milho na presença e ausência de fósforo (Alves, 1994).

O presente trabalho teve como objetivo avaliar o crescimento e a cinética de absorção de amônio e nitrato por mudas de cinco espécies de eucalipto, quando submetidas ao fornecimento exclusivo de amônio, de nitrato, ou de ambos, na presença e ausência de fósforo.

MATERIAL E MÉTODOS

Sementes de *Eucalyptus urophylla*, *E. camaldulensis*, *E. pellita*, *E. grandis* e *E. cloeziana* foram colocadas para germinar em leito de areia lavada, em casa de vegetação. As irrigações foram realizadas com água destilada duas a três vezes ao dia. Após 32 dias, as plantas foram selecionadas quanto à altura (> 10 cm) e transferidas para solução nutritiva. Em decorrência ao espaço disponível na câmara de crescimento, foram desenvolvidos dois ensaios: ensaio 1, para a avaliação das duas primeiras espécies, e ensaio 2, para a avaliação das demais espécies. No ensaio 1, as plantas permaneceram por 70 dias em tanques plásticos de 24 L com solução nutritiva (Clark, 1982), havendo trocas de solução a cada 7 dias e correção diária de pH para $5,0 \pm 0,4$, com NaOH ou HCl $0,01 \text{ mol L}^{-1}$. Em função da menor taxa de crescimento das espécies, no ensaio 2, as plantas permaneceram nessas condições por 105 dias. As relações amônio/nitrato utilizadas foram 100-0, 50-50 e 0-100%, em ambos os ensaios. Após esse período, parte das plantas foi separada para o estudo de cinética, e o restante foi segmentado em caule, folhas e raízes, colocado em estufa de circulação forçada a 70°C , por 72 h, para posterior determinação do peso da matéria seca.

As plantas selecionadas de *E. pellita*, *E. grandis* e *E. cloeziana* foram submetidas a um período de adaptação à câmara de crescimento, sendo transferidas para vasos de 1,6 L e submetidas ao período de "fome" de N para estimular a absorção do nutriente. No ensaio 1, utilizou-se solução nutritiva de Clark (1982) sem nitrogênio e, no ensaio 2, a concentração de N foi reduzida de $5,95 \text{ mmol L}^{-1}$ para $0,36 \text{ mmol L}^{-1}$. Durante o período de adaptação (48 h), as plantas permaneceram sob condições controladas de temperatura ($25 \pm 2^\circ\text{C}$) e fotoperíodo (13 h).

Para determinar os parâmetros cinéticos, as plantas foram submetidas a soluções sem ou com P ($0,07 \text{ mmol L}^{-1}$), resultando em um esquema fatorial $3 \times 2 \times 3$, sendo três espécies, dois níveis de P e três relações amônio/nitrato (100-0, 50-50 e 0-100%). Alíquotas de 4,0 mL foram coletadas em intervalos de uma hora, entre 7 e 11 h, de meia hora, das 12 às 14 h, e de uma hora, das 14 às 20 h. A concentração inicial de N na solução foi de $0,3 \text{ mmol L}^{-1}$. As alíquotas foram colocadas em tubos plásticos de 10 mL e congeladas: as que continham nitrato receberam 0,5 mL de ácido bórico $0,01 \text{ mmol L}^{-1}$ antes do congelamento. O amônio foi determinado por colorimetria de Nesler, e o nitrato, pelo método descrito por Cataldo et al. (1975). A obtenção dos parâmetros cinéticos K_m , V_{max} e C_{min} deu-se pela utilização do "software" Cinética V.1.0 (Ruiz & Fernandes, 1992). Os conjuntos vaso-plantas foram pesados no início e no final da etapa de coletas de amostras, visando à avaliação da perda de água por transpiração. Da mesma forma que para os ensaios 1 e 2, o estudo de cinética foi realizado com três repetições de cada tratamento. Ao final do período de exaustão, as plantas foram segmentadas em caule, folhas e raízes, os quais foram colocados em estufa de circulação forçada a 70°C , por 72 h, para posterior determinação do peso da matéria seca.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ensaio 1: *E. urophylla* e *E. camaldulensis*

Altura e produção de biomassa das plantas

Na primeira avaliação, realizada aos 70 dias, houve resposta significativa para espécies, para formas de N e para a interação desses dois fatores, ou seja, a resposta aos tratamentos variou de acordo com a espécie. As plantas de *E. camaldulensis* mostraram maior altura (Quadro 1) em todas as relações amônio/nitrato, apresentando maior tamanho, à medida que a proporção de nitrato diminuía na solução. A diferença de altura entre as duas espécies diminuía com o aumento da proporção de nitrato no meio. Para *E. urophylla*, não houve resposta significativa quanto a forma de N, embora

houvesse tendência, não-significativa, para maior altura no meio com proporções iguais entre amônio e nitrato (N-50%) (Quadro 2).

Mesmo com menor altura, as plantas de *E. urophylla* produziram maior biomassa de caule, folhas e raízes que as de *E. camaldulensis* em todas as relações amônio/nitrato (Quadro 1). Maior produção de biomassa ocorreu no meio amoniacal para *E. urophylla*, diminuindo a produção de todos os componentes com o aumento da proporção de nitrato no meio. Para *E. camaldulensis*, a maior produção obtida no meio amoniacal foi superior à obtida com o meio misto (N-50%), enquanto o meio nítrico resultou em menores produções (Quadro 1).

Para ambas as espécies, o índice obtido pela relação biomassa da parte aérea/biomassa das raízes (PA/R) foi menor com o aumento da proporção de nitrato no meio, evidenciando o maior investimento relativo em produção de raízes do que de parte aérea, confirmando resultados obtidos com *Eucalyptus grandis* (Ferreira, 1986). É possível que o maior índice para meio amoniacal esteja indicando maior eficiência energética do sistema radicular nessa condição. O índice para biomassa foliar/biomassa de raízes (F/R) também mostrou maior produção relativa de raízes com o aumento da proporção de nitrato (Quadro 1). Isto pode estar relacionado com a maior demanda no processo de redução do nitrato nas raízes, bem como com o aumento da demanda

Quadro 1. Médias e índices⁽¹⁾ para altura e produção de matéria seca de caule (C), folhas (F) e raízes (R) em *E. urophylla* e *E. camaldulensis*, aos 70 dias de crescimento, em três relações amônio/nitrato em solução nutritiva com concentração de 5,95 mmol L⁻¹

	<i>E. urophylla</i>			<i>E. camaldulensis</i>		
	NH ₄ ⁺	N-50%	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	N-50%	NO ₃ ⁻
	Biomassa (g/vaso)					
C	2,83	2,66	1,88	2,24	2,27	1,80
F	5,74	5,00	4,01	4,17	4,12	3,31
R	2,03	2,37	1,87	1,55	1,76	1,49
	Altura (cm)					
	13,1	14,5	13,1	18,8	17,9	15,1
	Índice					
PA/R	4,29	3,15	3,25	4,14	3,43	3,63
F/R	2,83	2,25	2,15	2,70	2,35	2,23
C/F	0,49	0,53	0,47	0,54	0,55	0,54
C/R	1,40	1,12	1,01	1,45	1,29	1,22

⁽¹⁾ PA/R = (biomassa da parte aérea/biomassa de raízes). F/R = (biomassa de folhas/biomassa de raízes). C/F = (biomassa de caule/biomassa de folhas). C/R = (biomassa de caule/biomassa de raízes).

Quadro 2. Valores de F para os contrastes com altura de plantas, matéria seca de caule, folhas e raízes em plantas de *E. urophylla* e *E. camaldulensis*, em três relações amônio/nitrato em solução nutritiva

Contraste	F
Altura de plantas	
<i>E. urophylla</i> vs <i>E. camaldulensis</i> d/NH ₄ ⁺	32,6**
<i>E. urophylla</i> vs <i>E. camaldulensis</i> d/N-50%	11,9**
<i>E. urophylla</i> vs <i>E. camaldulensis</i> d/NO ₃ ⁻	4,2*
NH ₄ ⁺ vs NO ₃ ⁻ d/ <i>E. camaldulensis</i>	14,0**
NO ₃ ⁻ vs N-50% d/ <i>E. camaldulensis</i>	7,7**
Matéria seca de caule	
<i>E. urophylla</i> vs <i>E. camaldulensis</i> d/NH ₄ ⁺	4,0*
NH ₄ ⁺ vs NO ₃ ⁻ d/ <i>E. urophylla</i>	10,5**
NO ₃ ⁻ vs N-50%	9,0**
NO ₃ ⁻ vs N-50% d/ <i>E. urophylla</i>	7,0*
Matéria seca de folhas	
<i>E. urophylla</i> vs <i>E. camaldulensis</i> d/NH ₄ ⁺	9,8**
<i>E. urophylla</i> vs <i>E. camaldulensis</i> d/N-50%	3,0*
NH ₄ ⁺ vs NO ₃ ⁻ d/ <i>E. urophylla</i>	11,9**
NH ₄ ⁺ vs NO ₃ ⁻ d/ <i>E. camaldulensis</i>	2,9 ⁰
Matéria seca de raízes	
<i>E. urophylla</i> vs <i>E. camaldulensis</i> d/NH ₄ ⁺	3,4 ⁰
<i>E. urophylla</i> vs <i>E. camaldulensis</i> d/N-50%	5,4*
NO ₃ ⁻ vs N-50%	4,3*
NO ₃ ⁻ vs N-50% d/ <i>E. urophylla</i>	3,6 ⁰

** , * , ⁰ Significativos a 1 , 5 e 10%, respectivamente, pelo teste F.

energética pelos processos de redução e de assimilação. Para as diferentes relações entre componentes da biomassa analisados, a menor variação com os tratamentos foi para caule/folhas (C/F) (Quadro 1).

Para produção de caule, houve diferenças entre espécies e entre relações amônio/nitrato. Menores produções de caule ocorreram com o aumento da proporção de nitrato, principalmente para *E. urophylla*. Para *E. camaldulensis*, não houve variação significativa na produção de biomassa de caule com a alteração das formas de N, fato contrário ao observado para *E. urophylla* (Quadro 1). A tolerância a alumínio é mais acentuada em algumas espécies de eucalipto, e a preferência amoniacal pode refletir condições naturais de sua evolução. Assim, *E. urophylla* seria mais tolerante a uma situação nutricional de baixo pH e maior disponibilidade de amônio do que *E. cloeziana* (Barros et al., 1990).

Para produção de biomassa foliar, observaram-se diferenças entre espécies e relações amônio/nitrato. Maior produção ocorreu para *E. urophylla*, sendo a diferença entre as duas espécies maior no meio

amoniacoal, diminuindo com o aumento da proporção de nitrato. Entretanto, para *E. camaldulensis*, não houve diferença significativa entre os meios NH_4^+ e N-50% e significativa entre os meios NH_4^+ e NO_3^- . Em *E. urophylla* percebeu-se menor produção de folhas com o aumento da proporção de nitrato. No meio nítrico, as espécies não diferiram entre si (Quadro 2).

Ao contrário do observado para caule e folhas, não houve diferença significativa entre as relações amônio/nitrato como fator de produção de raízes. Em todas as situações, as plantas de *E. urophylla* produziram mais raízes que as de *E. camaldulensis*, ocorrendo, para ambas, as maiores produções no meio misto (N-50%) e as menores no meio nítrico (Quadro 1). Não houve diferenças significativas entre os meios NH_4^+ e NO_3^- para ambas as espécies, havendo, entretanto, entre estes e o meio misto (N-50%) (Quadro 2).

Ensaio 2: *E. pellita*, *E. grandis* e *E. cloeziana*

Altura e produção de biomassa das plantas

Aos 137 dias de idade, sendo 32 em leito de areia e 105 em solução nutritiva, as espécies diferiram entre si quanto à altura das plantas. As plantas de *E. cloeziana* apresentaram cerca de 80% de mortalidade no tratamento exclusivo com amônio, sendo os resultados obtidos com este tratamento descartados da análise de variância envolvendo as três espécies.

E. grandis foi a espécie que apresentou maiores valores de altura, enquanto os menores valores foram observados para *E. cloeziana* (Quadro 3). Houve diferença estatística entre *E. pellita* e *E. grandis*, quando submetidas aos meios com

nitrato e misto (N-50%) mas não no meio com amônio (Quadro 4). Passando de um meio exclusivamente amoniacoal para outro exclusivamente nítrico, houve maior redução na altura das plantas de *E. pellita*, não afetando *E. grandis*. Entretanto, para esta última espécie, o meio N-50% proporcionou maior crescimento em altura, sendo tal efeito significativo em relação ao crescimento observado com o meio nítrico (Quadro 3).

A produção de biomassa de caule, folhas e raízes foi acentuadamente menor para *E. cloeziana* do que para as outras espécies (Quadro 3), sendo essa diferença estatisticamente significativa.

Menor produção de raízes ocorreu no meio amoniacoal para *E. pellita* e para *E. grandis*. Aumentando a proporção de nitrato, aumentou a produção de raízes, sendo este efeito mais evidente para *E. grandis* e para *E. cloeziana*. Da mesma forma, o aumento de nitrato na solução decresceu a produção de caule e folhas de *E. pellita* e aumentou para *E. cloeziana*. *Eucalyptus grandis* mostrou-se como a de maior 'plasticidade' frente às formas de N. Considerando as características de solo e clima, onde as espécies ocorrem naturalmente na Austrália, o comportamento de *E. pellita* é, de certa maneira, esperado. De acordo com Barros et al. (1990) os solos onde essa espécie ocorre naturalmente são, de modo geral, bem desenvolvidos, sob condições de temperatura e pluviosidade relativamente elevadas, causando remoção de bases e maior presença de alumínio trocável, ou seja, um ambiente predominantemente ácido desfavorável à nitrificação.

Em meio amoniacoal e misto, a biomassa foliar de *E. pellita* foi significativamente maior que a de *E. grandis*, ao passo que, para raízes, essa diferença

Quadro 3. Médias e índices⁽¹⁾ para altura e produção de matéria seca de caule (C), folhas (F) e raízes (R) em *E. pellita*, *E. grandis* e *E. cloeziana*, aos 105 dias de crescimento, em três relações amônio/nitrato em solução nutritiva com concentração de 5,95 mmol L⁻¹

	<i>E. pellita</i>			<i>E. grandis</i>			<i>E. cloeziana</i>		
	NH_4^+	N-50%	NO_3^-	NH_4^+	N-50%	NO_3^-	NH_4^+	N-50%	NO_3^-
Biomassa (g/vaso)									
C	14,0	14,0	10,7	11,8	14,0	13,2	-	1,6	2,5
F	11,0	11,8	10,0	8,9	9,2	10,0	-	1,7	2,5
R	3,9	4,6	4,5	3,4	4,0	4,6	-	0,6	0,8
Altura (cm)									
	64,8	64,2	56,9	71,0	75,3	68,5	-	38,7	42,8
Índices									
PA/R	6,43	5,57	4,57	6,03	5,84	5,10	-	5,72	6,28
F/R	2,82	2,54	2,20	2,60	2,31	2,20	-	2,98	3,15
C/R	3,60	3,03	2,37	3,43	3,53	2,89	-	3,00	3,12
C/F	1,27	1,19	1,07	1,32	1,53	1,31	-	0,92	0,99

⁽¹⁾ PA/R = (biomassa da parte aérea/biomassa de raízes). F/R = (biomassa de folhas/biomassa de raízes). C/R = (biomassa de caule/biomassa de raízes). C/F = (biomassa de caule/biomassa de folhas).

Quadro 4. Contrastes para altura de plantas de *E. grandis*, *E. pellita* e *E. cloeziana* em duas relações amônio/nitrato em solução nutritiva

Contraste	F
NO ₃ ⁻ vs N-50% d/ <i>E. pellita</i>	2,8 ^o
(<i>E. pellita</i> + <i>E. grandis</i>) vs <i>E. cloeziana</i>	92,7**
<i>E. pellita</i> vs <i>E. grandis</i> d/NO ₃ ⁻	7,2*
<i>E. pellita</i> vs <i>E. grandis</i> d/N-50%	6,6*

** , * , ^o Significativos a 1, 5 e 10%, respectivamente, pelo teste F.

não foi significativa. Em termos de produção de biomassa de caule, houve redução significativa quando *E. pellita* foi submetida ao meio nítrico, não havendo diferença entre os dois outros meios. Já para *E. grandis*, a maior produção foi verificada para o meio misto (Quadro 3).

Para *E. pellita* e *E. grandis*, observou-se que com o aumento da proporção de nitrato, houve redução no índice biomassa de folhas/biomassa de raízes, indicando que as plantas investiram mais reservas na produção de raízes do que de folhas, talvez para atender à maior necessidade de redução do nitrato e de assimilação do amônio na raiz do que nas folhas (Quadro 3). Para *E. pellita*, aumentando-se a proporção de nitrato, ocorreu menor conversão de biomassa total em caule, resultando na redução das relações. Por sua vez, para *E. grandis*, a maior relação entre as biomassas de caule/raízes e caule/folhas ocorreu para o meio N-50%, o que pode indicar condição mais favorável ao crescimento dessa espécie (Quadro 3).

Comparando as cinco espécies testadas, *E. cloeziana*, além de apresentar a menor produção de biomassa, foi a única que apresentou aumento na relação PA/R com o aumento na concentração de nitrato da solução. Assim, para as demais espécies, parece existir um mecanismo que provoca a menor formação de caule e folhas, quando este é exposto a maiores concentrações de nitrato na solução.

Cinética de absorção de amônio e de nitrato

A partir das análises de regressão, ajustaram-se equações que modelaram a cinética de absorção com elevada capacidade preditiva. Para *E. grandis* e *E. cloeziana*, a presença de P durante a etapa de exaustão de N reduziu os valores de K_m tanto para amônio como para nitrato (Quadros 5 e 6). Os menores valores de K_m foram obtidos para nitrato na presença de P e em meio nítrico, onde *E. pellita* e *E. grandis* apresentaram eficiência muito próxima quanto à absorção dessa forma de N, diferentemente do observado para *E. cloeziana* (Quadro 5). Esse resultado vem confirmar o observado em termos de matéria seca produzida, indicando claramente a

maior eficiência de absorção de nitrato por essa espécie, comparativamente às demais.

A ausência de P aumentou o K_m-NO₃⁻, em meio nítrico, em cerca de 4 vezes para *E. pellita* e de 8 vezes para *E. grandis*. Em meio amoniacal, os valores de K_m-NH₄⁺ foram menores para *E. grandis*, e a remoção de P alterou pouco seus valores, sendo *E. pellita* a espécie menos sensível a esta variação nutricional, apesar de se observar uma significativa redução no valor V_{max}-NH₄⁺, indicando, possivelmente, a existência de um mecanismo de compensação, em que, apesar da redução da velocidade máxima de absorção, a afinidade pelo cátion não foi alterada (Quadro 5). Já em meio nítrico, tanto *E. pellita* como *E. grandis* apresentaram pequeno acréscimo no valor de V_{max}-NO₃⁻, seguindo a mesma tendência observada para K_m-NO₃⁻. Em meio nítrico, a ausência de P da solução aumentou sensivelmente os valores de C_{min} para nitrato, sendo este aumento mais drástico para *E. cloeziana*, indicando que, para essa espécie, a ausência de P afetaria mais o influxo de nitrogênio (Quadro 5). Assim, a concentração mínima de nitrato no meio, para que haja influxo líquido, passa a ser maior na ausência de P.

O fato de *E. pellita* ter-se mostrado mais eficiente quanto à absorção de nitrato que *E. grandis* e apresentar menor produção de biomassa nessa condição pode indicar que a limitação de crescimento para a primeira espécie não ocorreria na absorção, mas, sim, na redução do nitrato e na assimilação do amônio pelas raízes. Desse modo, *E. grandis* seria mais eficiente nos processos seguintes à absorção do nitrato, o que explicaria seu bom desempenho nessa condição. A atividade da redutase de nitrato

Quadro 5. Valores de K_m, V_{max} e C_{min} para três espécies de eucalipto, submetidas a duas relações de formas de N, 100%-NH₄⁺ (NH₄⁺) e 100%-NO₃⁻ (NO₃⁻), na presença (+P) e na ausência (-P) de P

Treatamento	K _m μmol L ⁻¹	V _{max} μmol g ⁻¹ h ⁻¹	C _{min} μmol
<i>E. pellita</i>			
NH ₄ ⁺ / +P	194,6	13,4	167,5
NH ₄ ⁺ / -P	196,6	8,8	160,4
NO ₃ ⁻ / +P	20,3	3,7	13,8
NO ₃ ⁻ / -P	82,4	4,9	56,1
<i>E. grandis</i>			
NH ₄ ⁺ / +P	106,4	11,8	85,8
NH ₄ ⁺ / -P	132,6	10,9	107,4
NO ₃ ⁻ / +P	34,9	2,7	20,6
NO ₃ ⁻ / -P	279,9	5,7	89,3
<i>E. cloeziana</i>			
NO ₃ ⁻ / +P	89,8	9,8	59,9
NO ₃ ⁻ / -P	99,6	5,8	221,8

parece ser maior nas folhas do que nas raízes, fato evidenciado em eucalipto cultivado em meio com nitrato, sendo o teor de nitrato três vezes superior nas raízes e estando 33% do N translocado via xilema na forma nítrica (Costa, 1986).

A presença conjunta de amônio e nitrato na solução pareceu contribuir para a redução dos valores de K_m - NH_4^+ e de $C_{\text{mín}}$ - NH_4^+ para *E. pellita* (Quadro 6), enquanto aumentou os valores de K_m - NO_3^- , sendo isto mais evidente quando tais valores são confrontados com os obtidos para os meios nítrico e amoniacal (Quadro 5). Tal fato pareceu justificar o maior crescimento desta espécie com o aumento de N-NH_4^+ na solução (Quadro 4).

No caso de *E. grandis* no meio misto (N-50%), observou-se aumento do K_m - NO_3^- na presença de P (Quadro 6), quando comparado ao meio nítrico (Quadro 5). Havendo amônio e nitrato juntos, percebeu-se preferência do *E. grandis* para o amônio, embora esta espécie tenha apresentado maior crescimento em meio 100% nítrico, quando comparado com o meio 100% amoniacal (Quadro 4). Por outro lado, a ausência de P do meio misto (N-50%) alterou em menor intensidade os valores de K_m para nitrato e amônio, quando comparado com o meio exclusivamente nítrico ou amoniacal, tendo sido os valores de K_m - NH_4^+ sempre menores no meio misto (Quadro 6) que no amoniacal (Quadro 5). Esse fato pode contribuir para explicar seu melhor crescimento na primeira situação (Quadro 4).

Para *E. cloeziana*, o K_m - NO_3^- apresentou valores superiores em meio misto (Quadro 6), comparativamente ao meio nítrico (Quadro 5). Para ambas as

situações, a ausência de P na solução provocou pequeno aumento no valor daquele parâmetro. Contrariamente ao observado para $C_{\text{mín}}\text{-NO}_3^-$, em que a ausência de P em meio nítrico provocou significativo acréscimo nessa variável, em meio misto, praticamente o valor pouco se alterou (Quadro 6).

CONCLUSÕES

1. *Eucalyptus urophylla* apresentou maior produção de biomassa em meio amoniacal e misto (amônio + nitrato), enquanto *E. camaldulensis*, *E. pellita* e *E. grandis* em meio que continha as duas formas de N. Além de apresentar maior produção de biomassa em meio essencialmente nítrico, *E. cloeziana* foi a espécie que apresentou menor variação nos valores de K_m - NO_3^- , quando da presença ou da ausência de fósforo na solução.

2. Excetuando *E. cloeziana*, maiores proporções de nitrato no meio contribuíram para diminuir o índice 'biomassa de parte aérea/biomassa de raízes', indicando ter havido maior produção relativa de raízes com o aumento da concentração desse ânion na solução.

3. Em meio nítrico, a ausência de P diminuiu drasticamente a eficiência de absorção de nitrato para *E. grandis* e *E. pellita* e pouco modificou para o NH_4^+ . Passando de um meio puramente nítrico ou amoniacal para um meio misto houve redução nos valores de K_m - NH_4^+ e aumento para K_m - NO_3^- .

Quadro 6. Valores de K_m , $V_{\text{máx}}$ e $C_{\text{mín}}$ para três espécies de eucalipto, submetidas à solução nutritiva com 50% de N-NO_3^- e 50% de N-NH_4^+ , na ausência (-P) e na presença de P (+P)

Descrição	K_m $\mu\text{mol L}^{-1}$	$V_{\text{máx}}$ $\mu\text{mol g}^{-1} \text{h}^{-1}$	$C_{\text{mín}}$ μmol
<i>E. pellita</i>			
$\text{NH}_4^+ / +\text{P}$	158,9	9,0	133,5
$\text{NH}_4^+ / -\text{P}$	129,4	5,8	85,9
$\text{NO}_3^- / +\text{P}$	89,1	11,9	73,7
$\text{NO}_3^- / -\text{P}$	158,3	2,2	92,8
<i>E. grandis</i>			
$\text{NH}_4^+ / +\text{P}$	80,1	4,8	45,3
$\text{NH}_4^+ / -\text{P}$	101,3	8,8	69,0
$\text{NO}_3^- / +\text{P}$	95,6	18,0	84,7
$\text{NO}_3^- / -\text{P}$	143,3	5,5	91,5
<i>E. cloeziana</i>			
$\text{NH}_4^+ / +\text{P}$	93,8	36,9	77,6
$\text{NH}_4^+ / -\text{P}$	261,7	30,2	224,3
$\text{NO}_3^- / +\text{P}$	302,3	14,4	261,3
$\text{NO}_3^- / -\text{P}$	312,3	4,5	264,9

LITERATURA CITADA

- 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, Universidade Federal de Viçosa, 1994. 106p. (Tese de Doutorado)
- BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F.; CARDOSOS, J.R. & MACEDO, P.R.O.A. Algumas relações solo-espécies de eucalipto em suas condições naturais. In: BARROS, N.F. & NOVAIS, R.F., eds. Relação solo-eucalipto. Viçosa, Folha de Viçosa, 1990. p.1-24.
- CATALDO, D.S.; HAROON, M.; SCHRADER, L.E. & YOUNGS, V.L. Rapid colorimetric determination of nitrate in plant tissue by nitration of salicylic acid. Comm. Soil Sci. Plant Anal., 72:248-253, 1975.
- COSTA, E.M. Efeitos do alumínio, nitrato e amônio sobre a nutrição nitrogenada em *Eucalyptus grandis* Hill (Maiden). Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1986. 50p. (Tese de Mestrado)
- CLARK, R.B. Nutrient solution growth of sorghum and corn in mineral nutrition studies. J. Plant Nutr., 5:1039-1057, 1982.

- FERREIRA, F.A.S. A interação nitrato, fosfato e sulfato na absorção de fosfato e de sulfato, no crescimento de eucalipto e no seu metabolismo de nitrato e sulfato. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1986. 95p. (Tese de Mestrado)
- LEE, J.A. & STEWART, G.R. Ecological aspects of nitrogen assimilation. *Adv. Bot. Res.*, 6:1-43, 1978.
- LEE, R.B.; PURVES, J.B.; RATCLIFFE, R.G. & SAKER, L.R. Nitrogen assimilation and the control of ammonium and nitrate absorption by maize roots. *J. Exp. Bot.*, 256:1385-1396, 1992.
- LEWIS, O.A.M.; JAMES, D.M. & HEWITT, E.J. Nitrogen assimilation in barley (*Hordeum vulgare* L. cv. Mazurka) in response to nitrate and ammonium nutrition. *Ann. Bot.*, 49:39-49, 1982.
- LOCATELLI, M.; BARROS, N.F.; NEVES, J.C.L. & NOVAIS, R.F. Efeito de formas de nitrogênio sobre o crescimento e composição mineral de mudas de eucalipto. *R. Árvore*, 8:53-69, 1984.
- MENGEL, K. & KIRKBY, E.A. Principles of plant nutrition. Bern, International Potash Institute. 1978, 593p.
- MOLICA, S.G. Produção de biomassa e eficiência nutricional de híbridos interespecíficos de eucalipto em duas regiões bioclimáticas de Minas Gerais. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1992. 84p. (Tese de Mestrado)
- MOORE, C.W.E. & KERAITIS, K. Effect of nitrogen source on growth of eucalyptus in sand culture. *Aust. J. Bot.*, 19:125-141, 1971.
- MORAIS, E.J. Crescimento e eficiência nutricional de espécies de eucalipto em duas regiões bioclimáticas de Minas Gerais. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1988. 56p. (Tese de Mestrado)
- PRITCHETT, W.L. Properties and management of forest soils. New York, John Wiley & Sons, 1979. 500p.
- 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, Folha de Viçosa, 1990. p.265-301.
- RUFTY Jr., T.W.; MACKOWN, C.T. & ISRAEL, D.W. Phosphorus stress effects on assimilation of nitrate. *Plant Physiol.*, 94:328-333, 1990.
- RUIZ, H. Estimativa dos parâmetros cinéticos K_m e V_{max} por uma aproximação gráfico-matemática. *R. Ceres*, 32:79-84, 1985.
- RUIZ, H. & FERNANDES, E. I. F. Cinética: Software para estimar as constantes V_{max} e K_m da equação de Michaelis-Menten. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 20, Piracicaba, 1992. Anais. Piracicaba, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1992. p.124-125.
- SANTANA, R.C. Crescimento e eficiência nutricional de procedências de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* em sítios do estado de São Paulo. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1994. 73p. (Tese de Mestrado)