



Crescimento de plantas jovens de *Eucalyptus urophylla* em meio hidropônico com diferentes proporções de nitrato e amônio

MAYCON MURILO CASTRO GUIMARÃES

2012

MAYCON MURILO CASTRO GUIMARÃES

Crescimento de plantas jovens de *Eucalyptus urophylla* em meio hidropônico com diferentes proporções de nitrato e amônio

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração em Fitotecnia, para a obtenção do título de Mestre.

Orientador:
Prof. D.Sc. Paulo Araquém Ramos
Cairo

Co-orientador
Prof. D.Sc. Orlando Sílvio Caires
Neves

VITÓRIA DA CONQUISTA
BAHIA – BRASIL
2012

G979c Guimarães, Maycon Murilo Castro.
 Crescimento de plantas jovens de *Eucalyptus*
urophylla em meio hidropônico com diferentes proporções de
nitrato e amônio / Maycon Murilo Castro Guimarães, 2012.
 68f: il.

 Orientador (a): Paulo Araquém Ramos Cairo.
 Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual do
Sudoeste da Bahia, Programa de Pós-Graduação de Mestrado em
Agronomia,
 Vitória da Conquista, 2012.
 Referências: f. 46-56.

 1. Eucalipto - Desenvolvimento. 2. Eucalipto –
Composição 3. Nitrogênio. 4. Fitotecnia I. Cairo, Paulo
Araquém. II. Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia,
Programa de Pós-Graduação de Mestrado em Agronomia. III. T.

CDD: 634.97342

Catálogo na fonte: Cristiane Cardoso Sousa – Cientista da Informação
UESB – Campus Vitória da Conquista - BA

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA- UESB

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

Área de Concentração em Fitotecnia

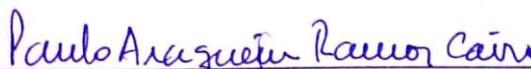
Campus de Vitória da Conquista- BA

DECLARAÇÃO DE APROVAÇÃO

Título: “Crescimento de plantas jovens de *Eucalyptus urophylla* em meio hidropônico com diferentes proporções de nitrato e amônio”

Autor: Maycon Murilo Castro Guimarães

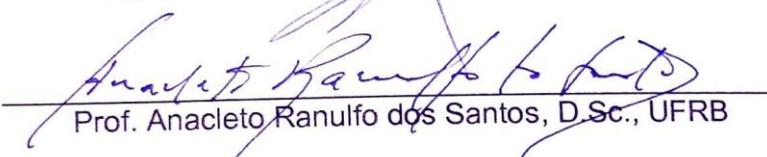
Aprovado como parte das exigências para obtenção do título do Título de MESTRE EM AGRONOMIA, ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM FITOTECNIA, pela Banca Examinadora:



Prof. Paulo Araquém Ramos Cairo, D.Sc., UESB
Presidente



Prof. Adalberto Brito de Novaes, D.Sc., UESB



Prof. Anacleto Ranulfo dos Santos, D.Sc., UFRB

Data de Realização: 31 de agosto de 2012.

Entrada do Bem Querer, Km 4 - Caixa Postal 95- Telefone: (77) 3424-8731 - Fax: (77) 3424-1059 - Vitória da Conquista - BA - CEP: 45083-900 - e-mail: mestrado.agronomia@uesb.br

Dedico

À minha querida esposa, Luciane Gomes, pelo incentivo, pelo carinho, pela paciência e pelo amor no transcorrer de nossa vida de união e, principalmente, durante a realização deste curso.

Ofereço

Aos meus pais, Marcondes Teixeira e Luzia do Socorro Castro, e às minhas avós, Marieta e Lita, pelos valores transmitidos.

AGRADECIMENTOS

Como forma de expressar minha gratidão pela alegria imensurável dessa conquista, quero registrar meus sinceros agradecimentos:

Em primeiro lugar a Deus, pelo cuidado, inspiração e os meios necessários para a realização de meus sonhos;

À minha esposa, Luciane Gomes, que não mediu esforço para abraçar este trabalho e pelo incansável incentivo;

À minha família, pelo acolhimento e amor dedicado, principalmente à minha mãe Socorro, ao meu pai Marconde, aos meus irmãos Bruno Vinícius e Gabryella, às minhas tias Marly e Marliete pelo apoio emocional, atenção e todo o carinho prestado;

Ao professor Paulo Araquém Ramos Cairo, meu orientador, meu agradecimento todo especial, por seu profissionalismo, humildade, calma, amizade, e pela oportunidade de me deixar compartilhar de seus conhecimentos. Também, ao meu co-orientador, professor Orlando Sílvio Caires Neves, pela orientação, dedicação e pelas sugestões feitas para enriquecimento deste trabalho;

À Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia – UESB, pela oportunidade concedida para minha formação;

Ao senhor Newton Monks Irigoyen, pela atenção e colaboração em nos atender e doar as plantas usadas neste experimento;

À professora Sylvana Naomi Matsumoto, pela qual tenho profunda consideração e respeito, pela grande contribuição à minha formação e apoio à realização deste experimento;

Ao professor Quelmo Silva de Novaes, pela gentileza em permitir o uso de equipamentos do Laboratório de Fitopatologia, indispensáveis ao nosso trabalho e também por sua educação e simplicidade em conversar;

À professora Maria Aparecida Castellani, pela paciência, apoio e dedicação no desenvolvimento deste trabalho;

Ao professor Anselmo Eloy Silveira Viana, pelos conhecimentos transmitidos e por disponibilizar a casa-de-vegetação e o laboratório para a realização deste trabalho;

Aos membros da banca examinadora de dissertação, professores Anacleto Ranulfo dos Santos e Adalberto Brito de Novaes, pelas contribuições que enriqueceram este trabalho;

À professora Luciana Gomes Castro, por estar sempre receptiva em nos auxiliar a solucionar problemas;

À colega Suzy Mary Soares Pereira, pela ajuda no início da execução do experimento e todo o trabalho prestado;

Ao grande parceiro Luan Oliveira, que foi de importância crucial na execução do experimento, abdicando de outros trabalhos para nos ajudar e sem medir esforços;

Ao meu cunhado Samuel Gomes, pela ajuda durante a realização do experimento;

Aos estagiários do Laboratório de Fisiologia Vegetal, Jeffrson, Perla, Virgiane e Lucialdo, pela ajuda na execução do experimento;

Ao Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, por oferecer toda a oportunidade para a realização desta capacitação;

À FAPESB, pela concessão da bolsa de estudo;

Aos professores do Departamento de Fitotecnia e Zootecnia, pela contribuição profissional;

Aos amigos de turma, Euzivan, Gilmara, Flávio, Gisele, Izaulto, Thiago, Jacqueline, Greice, Glauce, Eduardo, Joelma, Douglas, Ivana, Rener, Taciana, Ione, Maurício, Rafael, Thaisi, Gleice, Felipe, Afonso, Augusto, Tânia e Aline, pelo companheirismo e pela cumplicidade;

À DICAP, na pessoa de Maurício Robério Silva, por grande ajuda no transporte de água e tantos outros serviços prestados;

A(o)s secretário(a)s do mestrado, Joyce, Lidia e Heber, pela colaboração durante o curso;

Ao Setor de Transporte, na pessoa de Alcestes Silva Bonfim, pela disponibilidade e atenção em nos atender;

Ao Laboratório de Química do Solo, na pessoa da professora Célia Maria de Araújo, que, com muita boa vontade, nos serviu no momento de necessidade;

Aos funcionários da casa-de-vegetação do Laboratório de Melhoramento e Produção Vegetal, pela ajuda, pelos ensinamentos, principalmente, pela amizade durante todo o tempo do experimento.

Saudações a todos vocês!!!

RESUMO

GUIMARÃES, M. M. C. **Crescimento de plantas jovens de *Eucalyptus urophylla* em meio hidropônico com diferentes proporções de nitrato e amônio.** Vitória da Conquista - BA: UESB, 2012. 65p. (Dissertação - Mestrado em Agronomia: Área de Concentração em Fitotecnia)*.

Os íons nitrato (NO_3^-) e amônio (NH_4^+) são as principais formas iônicas de nitrogênio absorvidas pelas plantas em condições naturais. A adubação nitrogenada, quando aplicada em diferentes proporções desses íons, pode causar alterações fisiológicas à planta, com reflexos no seu crescimento e desenvolvimento. Este experimento, realizado em casa de vegetação, propôs-se a avaliar respostas fisiológicas e características associadas ao crescimento de plantas jovens (mudas) de *Eucalyptus urophylla*, clone AEC0144, submetidas a diferentes proporções de nitrato e amônio em soluções hidropônicas. Adotou-se o delineamento inteiramente casualizado, em que os tratamentos se caracterizaram pela adubação nitrogenada em cinco proporções de nitrato e amônio (0/100, 25/75, 50/50, 75/25 e 100/0; base molar) e quatro repetições. Para adaptação ao meio hidropônico, as mudas foram transferidas dos tubetes para uma solução de Clark, com 33%, 50% e 100% da sua força iônica, onde permaneceram por 21 dias, sendo sete dias em cada nível de força iônica. Após esse período, as plantas foram conduzidas por 70 dias em vasos contendo os cinco tratamentos. A troca das soluções foi feita a cada 10 dias. Os resultados foram submetidos à análise de variância e, posteriormente, foi aplicado o teste de Tukey a 5%. As diferentes proporções de nitrato e amônio afetaram o crescimento inicial, alterando o acúmulo de biomassa, o índice de qualidade de Dickson, a atividade da redutase do nitrato nas folhas, o índice SPAD e os teores de macronutrientes foliares. A proporção 75/25 de nitrato e amônio foi a que mais favoreceu o crescimento das plantas, com base na expansão dos tecidos e órgãos e no acúmulo de biomassa. Contudo, algumas características fisiológicas, associadas ao crescimento, tais como fotossíntese líquida, estado hídrico e metabolismo de assimilação do nitrogênio, não chegaram a ser significativamente afetadas por variações nessas proporções. As proporções de nitrato e amônio causaram alterações no estado nutricional das plantas, mas essas alterações não causaram sintomas visíveis de carência ou excesso de macronutrientes nos tecidos foliares. O pH das soluções hidropônicas sofreu alterações significativas, em função das proporções de nitrato e amônio, sobretudo, quando se utiliza somente uma das fontes nitrogenadas.

Palavras-chave: Eucalipto, nitrogênio, produtividade.

* Orientador: Paulo Araquém Ramos Cairo, *D.Sc.* - UESB, Co-orientador: Orlando Sílvio Caires Neves, *D.Sc.* - UFBA.

ABSTRACT

GUIMARÃES, M. M. C. **Growth of *Eucalyptus urophylla* young plants in hydroponic medium containing different nitrate and ammonium ratios.** Vitória da Conquista – BA: UESB, 2012. 65p. (Dissertation – Master's in Agronomy: Phytotechnology Concentration Area)*.

The ammonium and nitrate ions are the main ionic forms of nitrogen uptake by plants in soils. Different proportions of these ions in nitrogen fertilization can cause physiological changes to the plant, reflected on their growth and development. This experiment was carried out in a greenhouse, and it was aimed to evaluate physiological responses and characteristics associated to the growth of *Eucalyptus urophylla* clone AEC0144 seedlings, under different proportions of nitrate and ammonium in hydroponic solutions. It was adopted the completely randomized design, in which treatments were five nitrate/ammonium ratio in nitrogen fertilization (0/100, 25/75, 50/50, 75/25 and 100/0), with four repetitions. For adaptation to the hydroponic medium, the seedlings were transferred from little tubes of original cultivation to Clark hydroponic solution, previously prepared by 33%, 50% and 100% of ionic strength, where they remained for 21 days, seven days at each level of ionic strength. After this period, the plants were grown for 70 days in pots containing the nitrate/ammonium ratios. The hydroponic solutions were renewed every 10 days. The results were submitted to statistical analysis and Tukey test 5%. The nitrate/ammonium ratios caused the following effects on the initial growth: changing in the biomass accumulation, Dickson quality index, nitrate reductase activity, chlorophyll content (SPAD index) and leaf macronutrient content. Based on the expansion of tissues and organs and biomass accumulation, the plant growth was particularly favored the 75/25 nitrate/ammonium ratio. However, the nitrate/ammonium ratios didn't cause significance changing in some physiological aspects, like net photosynthesis, water status and nitrogen assimilation. The plant nutritional status was affected by the nitrate/ammonium ratios, but there weren't visible symptoms of macronutrients deficiency or excess in leaves. The pH of hydroponic solutions was also changed for the nitrate/ammonium ratios, particularly in solutions containing only one N source.

Keywords: Eucalyptus, nitrogen, productivity.

* Adviser: Paulo Araújo Ramos Cairo, *D.Sc.* - UESB, Co-adviser: Orlando Sílvio Caires Neves, *D.Sc.* – UFBA

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1** - Volume e composição química das soluções-estoque empregadas no preparo de um litro das soluções nutritivas utilizadas em cada tratamento. 26
- Tabela 2** - Diâmetro do colo (D), relação biomassa de parte aérea/raiz (RPAR) e número de folhas (NF) em plantas jovens do clone AEC0144, aos 121 dias de idade, cultivadas em soluções hidropônicas com nitrogênio em diferentes proporções de nitrato e amônio..... 37
- Tabela 3** - Características fisiológicas em plantas jovens do clone AEC0144, aos 121 dias de idade, cultivadas em soluções hidropônicas com diferentes proporções de nitrato e amônio..... 50
- Tabela 4** - Concentrações médias de macronutrientes na matéria seca de folhas em plantas jovens do clone AEC0144, aos 121 dias de idade, cultivadas em diferentes proporções de nitrato e amônio..... 51
- Tabela 5** - Resumo da análise de variância para altura de plantas (H), diâmetro de colo (D), biomassa de raiz (MSR), biomassa da parte aérea (MSPA) e biomassa total (MST) em plantas jovens do clone AEC0144, aos 121 dias de idade, cultivadas em soluções hidropônicas com diferentes proporções de nitrato e amônio..... 67
- Tabela 6** - Resumo da análise de variância para relação biomassa da parte aérea/raiz (RPAR), Índice de Qualidade de Dickson (IQD), relação altura/diâmetro (RAD), número de folhas (NF) e área foliar (AF) em plantas jovens do clone AEC0144, aos 121 dias de idade, cultivadas em soluções hidropônicas com diferentes proporções de nitrato e amônio..... 67
- Tabela 7** - Resumo da análise de variância para potencial hídrico (Ψ_w), teor relativo de água (TRA), índice SPAD e atividade da redutase do nitrato (ARN) em plantas jovens do clone AEC0144, aos 121 dias de idade, cultivadas em soluções hidropônicas com diferentes proporções de nitrato e amônio..... 67
- Tabela 8** - Resumo da análise de variância para taxa fotossintética (A), condutância estomática (*gs*), transpiração (*E*), concentração interna de CO₂ (*C_i*) e eficiência fotossintética do uso da água (EFUA) em plantas jovens do clone AEC0144, aos 121 dias de idade, cultivadas em soluções hidropônicas com diferentes proporções de nitrato e amônio. 68
- Tabela 9** - Resumo da análise de variância para os teores de macronutrientes: nitrogênio (N), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) em plantas jovens do clone AEC0144, aos 121 dias de idade, cultivadas em soluções hidropônicas com diferentes proporções de nitrato e amônio. 68

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1** - Variação do pH da solução hidropônica, em função das proporções de NO_3^- e NH_4^+ no tempo. Os valores de pH representam médias de quatro repetições. As barras verticais representam o erro padrão das médias. 32
- Figura 2** - Biomassa da parte aérea em plantas jovens do clone AEC0144, em função de variações nas proporções de nitrato e amônio. Em cada coluna, as barras representam o erro padrão da média. Letras diferentes acima das barras indicam diferenças entre médias, pelo teste de Tukey ($P < 0,05$) 34
- Figura 3** - Biomassa de raiz em plantas jovens do clone AEC0144, em função de variações nas proporções de nitrato e amônio. Em cada coluna, as barras representam o erro padrão da média. Letras diferentes acima das barras indicam diferenças entre médias, pelo teste de Tukey ($P < 0,05$) 36
- Figura 4** - Biomassa total em plantas jovens do clone AEC0144, em função de variações nas proporções de nitrato e amônio. Em cada coluna, as barras representam o erro padrão da média. Letras diferentes acima das barras indicam diferenças entre médias, pelo teste de Tukey ($P < 0,05$)..... 38
- Figura 5** - Relação altura da parte aérea/diâmetro do colo em plantas jovens do clone AEC0144, em função de variações nas proporções de nitrato e amônio. Em cada coluna, as barras representam o erro padrão da média. Letras diferentes acima das barras indicam diferenças entre médias, pelo teste de Tukey ($P < 0,05$)..... 40
- Figura 6** - Índice de Qualidade de Dickson em plantas jovens do clone AEC0144, em função de variações nas proporções de nitrato e amônio. Em cada coluna, as barras representam o erro padrão da média. Letras diferentes acima das barras indicam diferenças entre médias, pelo teste de Tukey ($P < 0,05$)..... 41
- Figura 7** - Área foliar em plantas jovens do clone AEC0144, em função de variações nas proporções de nitrato e amônio. Em cada coluna, as barras representam o erro padrão da média. Letras diferentes acima das barras indicam diferenças entre médias, pelo teste de Tukey ($P < 0,05$)..... 43
- Figura 8** - Altura em plantas jovens do clone AEC0144, em função de variações nas proporções de nitrato e amônio. Em cada coluna, as barras representam o erro padrão da média. Letras diferentes acima das barras indicam diferenças entre médias, pelo teste de Tukey ($P < 0,05$)..... 44

Figura 9 - Atividade da redutase do nitrato em plantas jovens do clone AEC0144, em função de variações nas proporções de nitrato e amônio. Em cada coluna, as barras representam o erro padrão da média. Letras diferentes acima das barras indicam diferenças entre médias, pelo teste de Tukey ($P < 0,05$)..... 46

Figura 10 - Índice SPAD em folhas de plantas jovens do clone AEC0144, em função de variações nas proporções de nitrato e amônio. Em cada coluna, as barras representam o erro padrão da média. Letras diferentes acima das barras indicam diferenças entre médias, pelo teste de Tukey ($P < 0,05$) 47

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

| | |
|------------------------------|---|
| mM | Milimolar |
| N | Nitrogênio |
| NO ₃ ⁻ | Nitrato |
| NH ₄ ⁺ | Amônio |
| RN | Redutase do nitrato |
| RNi | Redutase do nitrito |
| GS | Glutamina sintetase |
| GOGAT | Glutamina oxoglutarato aminotransferase |
| GDH | Glutamato desidrogenase |
| ATP | Adenosina trifosfato |
| NADPH | Nicotinamida adenina dinucleotídeo (fosfato) reduzido |
| EDTA | Ácido etilenodiaminotetracético |
| A | Fotossíntese líquida ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) |
| Ci | Concentração interna de CO ₂ ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$) |
| E | Transpiração ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) |
| gs | Condutância estomática ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) |
| EFUA | Eficiência fotossintética do uso da água ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ mmol H}_2\text{O}^{-1}$) |
| IRGA | Analizador de gases por infra-vermelho |
| AF | Área foliar (cm^2) |
| g | Gramas |
| D | Diâmetro do colo (cm) |
| MSPA | Biomassa da parte aérea (g) |
| MSR | Biomassa de raiz (g) |
| MST | Biomassa total (g) |
| RAD | Relação altura de planta / diâmetro de colo |
| RPAR | Relação biomassa da parte aérea e a biomassa de raízes |
| IQD | Índice de Qualidade de Dickson |
| SPAD | Teor de clorofila (Soil Plant Analysis Development) |
| TRA | Teor relativo de água (%) |
| Ψ _w | Potencial hídrico (MPa) |
| Log | logaritmo base 10 |

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| 1 INTRODUÇÃO | 14 |
| 2 REFERENCIAL TEÓRICO..... | 16 |
| 2.1 A espécie <i>Eucalyptus urophylla</i> | 16 |
| 2.2 Metabolismo do nitrogênio: absorção e assimilação | 17 |
| 3 MATERIAL E MÉTODOS | 24 |
| 3.1 Condições de cultivo | 24 |
| 3.2 Caracterização dos tratamentos e delineamento experimental..... | 25 |
| 3.3 Controle fitossanitário | 26 |
| 3.4 Características avaliadas | 26 |
| 3.5 Análise estatística..... | 31 |
| 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO | 32 |
| 4.1 pH da solução hidropônica | 32 |
| 4.2 Influência das proporções de NO_3^- e NH_4^+ sobre a produção e a partição de biomassa | 33 |
| 4.3 Influência das proporções de NO_3^- e NH_4^+ sobre as características fisiológicas..... | 45 |
| 5 CONCLUSÕES | 54 |
| REFERÊNCIAS..... | 55 |
| APÊNDICE | 66 |

1 INTRODUÇÃO

A devastação das florestas naturais brasileiras, aliada à crescente demanda por madeira e seus derivados, tem exigido dos programas de melhoramento a introdução de genótipos florestais de alta produtividade e adaptados às condições edafoclimáticas de cada região. Essas ações contribuem para a preservação de áreas florestais nativas e o suprimento das necessidades de demanda florestal.

A implantação de florestas plantadas de eucalipto tem se destacado por oferecer alternativa econômica sustentável de madeira proveniente de plantios florestais. No Brasil, no ano de 2011, a área de plantios de eucaliptos totalizou aproximadamente 4,87 milhões de ha, representando crescimento de 2,5% (119.617 ha) com relação ao ano de 2010. O estado da Bahia acumula um aumento de 15,17% em áreas plantadas com eucalipto nos últimos sete anos (ABRAF, 2012).

O clone AEC0144 de (*Eucalyptus urophylla*) tem se revelado como promissor para cultivo na região Sudoeste da Bahia, principalmente devido à sua tolerância ao estresse hídrico, que comumente ocorre nessa região (FERNANDES, 2012). Tendo em vista a crescente demanda do clone AEC0144 nessa região, tornam-se necessários estudos direcionados à otimização das condições de cultivo, com vistas à obtenção de maiores taxas de crescimento e ao aumento da sua produtividade. O êxito na formação de florestas de alta produção está aliado, em grande parte, à qualidade nutricional das mudas plantadas. Dentre os diversos aspectos que conferem qualidade às mudas, destaca-se o seu estado nutricional. A adubação nitrogenada adequada proporciona uma oportunidade para incrementar a produtividade de espécies arbóreas, especialmente para povoamentos jovens. Entre os principais fatores que limitam o crescimento de plantas, estão a quantidade e as formas iônicas de absorção do nitrogênio (N). Assim, é importante o conhecimento de aspectos fisiológicos relacionados à assimilação de N.

Nitrato (NO_3^-) e amônio (NH_4^+) são as principais formas iônicas abundantes e acessíveis ao N para nutrição das plantas. O N, quando absorvido sob a forma de NO_3^- , requer a redução desse íon a NH_4^+ , para sua posterior incorporação a compostos orgânicos, cujo processo consome grandes quantidades de equivalentes redutores (HACHIYA e outros, 2007). Em contraste, o NH_4^+ , ao ser absorvido pela planta, já se apresenta como forma iônica prontamente disponível para ser incorporada a compostos orgânicos, constituindo-se, assim, a fonte de N preferida em termos de custo de energia para a sua assimilação pelas plantas (HACHIYA e outros, 2012). Entretanto, o NH_4^+ é considerado tóxico a muitas espécies de plantas, quando fornecido em altas concentrações, causando redução do crescimento (BRITTO; KRONZUCKER, 2002).

As fontes de N (NO_3^- e NH_4^+) se diferem substancialmente, tanto em sua absorção pelas plantas, quanto nos metabolismos de assimilação e incorporação em compostos orgânicos. O desenvolvimento de estudos acerca dos efeitos relacionados à absorção e utilização das diferentes fontes de N em eucalipto, sobretudo em genótipos com grande potencial de cultivo, pode contribuir para a otimização de características associadas ao crescimento e à produtividade das plantas.

O objetivo do presente trabalho foi testar diferentes proporções de nitrato e amônio na composição da fração nitrogenada de uma solução nutritiva e avaliar os seus principais efeitos sobre características fisiológicas, nutricionais e metabólicas, associadas ao crescimento de plantas jovens de *Eucalyptus urophylla*, clone AEC0144, em cultivo hidropônico.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 A espécie *Eucalyptus urophylla*

No Brasil, a espécie *Eucalyptus urophylla* tem sido plantada intensivamente em programas de melhoramento genético, principalmente de hibridação (REMADE, 2001). Essa espécie tem apresentado desempenho promissor em ensaios de campo (COUTINHO e outros, 2004) e tem pouca restrição ao plantio em áreas da bacia hidrográfica do Rio Itapemirim – Espírito Santo (PAIVA e outros, 2007). A sua madeira é utilizada em laminação, componentes estruturais para construção, caixotaria, mourões, escoras, celulose e papel, chapas duras, painéis, lenha e carvão (REMADE, 2001).

O gênero *Eucalyptus* apresenta-se como matéria-prima de uso múltiplo, pois, além da utilização para a celulose e papel (GOMIDE e outros, 2010), outras aplicações foram agregadas, como o seu uso nas formas de madeira sólida serrada e chapas (MESQUITA e outros, 2006), energia (ARAÚJO e outros, 2010), além da produção de óleos essenciais (VIVAN e outros, 2011).

O *Eucalyptus urophylla*, pertencente à família Myrtaceae, ordem Myrtales das Angiospermas, é uma espécie tropical nativa da Indonésia, do Arquipélago de Sonda. Distribui-se geograficamente entre 7° 30' a 10° de latitude e 122° a 127° E de longitude, a partir dos 300 a quase 3000 m de altitude (MARTIN; COSSALTER, 1975).

Estudos recentes, conduzidos por Fernandes (2012), sobre o desempenho de genótipos de plantas jovens de eucalipto, sob restrições hídricas, apontam o clone AEC0144 como promissor para plantio no planalto de Vitória da Conquista, região Sudoeste da Bahia, devido ao seu bom potencial de crescimento, sob condições climáticas locais, que costumam registrar longos períodos de estiagem.

2.2 Metabolismo do nitrogênio: absorção e assimilação

O nitrogênio (N) é um dos nutrientes requeridos em maiores quantidades no metabolismo das plantas (MARSCHNER, 1995), por ser constituinte de importantes biomoléculas, como proteínas, núcleo-proteínas, coenzimas, citocromos, clorofilas, amidas, aminoácidos, ácidos nucleicos, polipeptídios. Sua deficiência resulta em clorose gradual das folhas mais velhas e é um dos principais fatores limitantes para o crescimento e desenvolvimento das plantas (TAIZ; ZEIGER, 2009). A sua disponibilidade passa por grandes flutuações na rizosfera (MIFLIN; HABASH, 2002).

O suprimento de N para as raízes é, muitas vezes, uma limitação importante para o crescimento e desenvolvimento das plantas, e frequentemente limita a produção primária nos ecossistemas, exceto quando as raízes desenvolvem uma relação simbiótica com microrganismos fixadores de N (VITOUSEK; HOWARTH, 1991; MILLER; CRAMER, 2004), especialmente para povoamentos jovens. A forma iônica de N exerce grandes efeitos sobre o crescimento e metabolismo da planta (FORDE, 2002), pois os vegetais necessitam de N durante o seu desenvolvimento e este nutriente representa cerca de 2% da biomassa total da planta (MILLER; CRAMER, 2004). Variações na quantidade de N afetam primeiramente os tecidos mitoticamente ativos e, conseqüentemente, têm impacto no desenvolvimento de tecidos meristemáticos (HIGASHI e outros, 1996).

Amônio (NH_4^+) e nitrato (NO_3^-) são as mais importantes fontes de N inorgânico no solo, prontamente disponíveis às plantas. A eficiência na utilização dessas formas iônicas varia amplamente entre as espécies arbóreas (KOYAMA; TOKUCHI, 2003; WALECKA-HUTCHISON; WALWOTH, 2007). Além da quantidade de N presente no solo, a proporção de $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ é um fator que pode influir no crescimento e desenvolvimento das plantas (BRITTO; KRONZUCKER, 2002), inclusive em relação à qualidade de mudas e seu desempenho no campo (KRONZUCKER e outros, 1997).

Alguns estudos realizados em diferentes ambientes constataram que várias espécies do gênero *Eucalyptus* assimilam N mais intensamente quando este nutriente se apresenta sob a forma de NH_4^+ . Garnett e Smethurst (1999) verificaram que *Eucalyptus nitens* apresenta taxas mais elevadas de absorção de NH_4^+ do que de NO_3^- , e esses resultados foram ainda mais expressivos, na medida em que diminui o pH e a temperatura. Nos resultados obtidos por Pfautsch e outros (2009), com *Eucalyptus regnans* em consórcio com árvores leguminosas (*Acacia melanoxylon* ou *Acacia dealbata*), o amônio foi a fonte de N mais absorvida pelo eucalipto. Dados obtidos por Shedley e outros (1995), com mudas de *Eucalyptus diversicolor* e *Eucalyptus globulus*, em casa de vegetação, corroboram com esses resultados, cujo crescimento das plantas nutridas com NO_3^- foi menos favorecido, quando comparado com o crescimento de plantas nutridas com NH_4^+ .

Em geral, as respostas às diferentes formas iônicas de N refletem adaptação das plantas à forma iônica mais abundante em seu habitat natural (KRONZUCKER e outros, 1997). A dinâmica das concentrações de amônio e nitrato na solução do solo é um importante determinante da composição de espécies da vegetação natural (BIJLSMA e outros, 2000). Entretanto, mesmo dentro dos habitats, as espécies variam, em sua preferência, por formas de N (WARREN, 2006). Segundo Havlin e outros (2005), a ocorrência de maiores taxas de absorção de NH_4^+ ou de NO_3^- pelas plantas depende do estágio fenológico, do ambiente e de outros fatores. Entretanto, os mecanismos que levam a maiores taxas de absorção de NH_4^+ em relação a NO_3^- ainda não estão suficientemente esclarecidos na nutrição das plantas (GERENDÁS e outros, 1997). Apesar do nitrogênio ser amplamente reconhecido como um importante "fator ecológico", por razões fisiológicas e ecológicas, compreender as diferentes respostas às formas de N só é possível quando se consideram NO_3^- e NH_4^+ como nutrientes separados. No entanto, estes nutrientes interagem direta e indiretamente durante a absorção, assimilação,

e translocação, de modo que ambas as formas de N devem ser estudadas em conjunto (BIJLSMA e outros, 2000).

Há diferenças na absorção e assimilação de N nas formas de NO_3^- e NH_4^+ . Estudos realizados por Zerihun e outros (1998) e Pfautsch e outros (2009) apontam evidências de maiores custos energéticos para assimilação de NO_3^- do que para o NH_4^+ . A assimilação de NO_3^- requer duas sequências de reações até a produção de NH_4^+ , por meio das enzimas redutase de nitrato (RN), que catalisa a redução de nitrato a nitrito, com ação no citosol, e redutase de nitrito (RNi), que tem ação nos cloroplastos, nas folhas, e em plastídios, nas raízes (ROSALES e outros, 2011). Esta sequência de reações envolve a transferência de 10 prótons e 8 elétrons (BRITTO; KRONZUCKER, 2002), além do custo da regulação do pH (ZERIHUN e outros, 1998).

Alguns estudos apontam para um melhor crescimento das plantas quando o NH_4^+ é a fonte de N, em termos de custo de energia (ZERIHUN e outros, 1998; HACHIYA e outros, 2012). Contudo, embora o NH_4^+ seja um intermediário onipresente em muitas reações metabólicas (MARSCHNER, 1995), a sua absorção pode resultar em sintomas de toxidez em muitas espécies de plantas, sobretudo, quando esse íon está presente como fonte exclusiva de N (FANGMEIER e outros, 1994, ZHANG; RENGEL, 2003). Por isso, ao ser absorvido, o amônio deve ser imediatamente incorporado a compostos orgânicos (MARENCO; LOPES, 2009).

O amônio, em concentrações milimolares na solução do solo ou em cultivo hidropônico, pode causar efeitos variáveis nas plantas, os quais, frequentemente, incluem supressão no crescimento e no desenvolvimento, além de clorose em algumas plantas, comparado com o nitrato na mesma concentração (WALCH-LIU e outros, 2001; BRITTO; KRONZUCKER, 2002; MILLER; CRAMER, 2004). Várias hipóteses têm sido propostas para explicar o efeito negativo do amônio, tais como: acúmulo do NH_4^+ nas células, acidificação do meio rizosférico, deficiência de cátions inorgânicos induzido pelo NH_4^+ , desequilíbrio na absorção de cátions e ânions,

desequilíbrio de fitormônios, depleção de ácidos orgânicos que são necessários para a assimilação de amônio e síntese de aminoácidos (GERENDÁS e outros, 1997; ZHANG; RENGEL, 1999; BRITTO; KRONZUCKER, 2002; ROOSTA; SCHJOERRING, 2007; HACHIYA e outros, 2012). Britto e outros (2001) sugerem que a toxicidade do NH_4^+ em plantas pode ocorrer porque as plantas gastam uma grande quantidade de energia para manter o efluxo de NH_4^+ em baixa concentração no citoplasma. A assimilação de NH_4^+ requer quantidades substanciais de 2-oxoglutarato obtido a partir de carboidratos e, por este motivo, tem-se proposto que a tolerância das plantas à nutrição com NH_4^+ está associada à disponibilidade adequada de carboidratos (SCHORTEMAYER e outros, 1997).

Alguns estudos apontam que a combinação de nitrato e amônio pode diminuir a toxidez desse último íon em muitas espécies (BRITTO; KRONZUCKER, 2002; GARNICA e outros, 2009; HACHIYA e outros 2012). Estudos conduzidos por Hachiya e outros (2012), em *Arabidopsis thaliana* crescidas em meio com nitrato e amônio, fornecem evidências de que o nitrato atua como uma molécula sinalizadora, capaz de minimizar a toxidez do amônio, por induzir a síntese de enzimas para a produção de citocininas (TAKEI e outros, 2004), que, por sua vez, mediam alguns modos de sinalização do nitrato (SAKAKIBARA e outros, 2006). Resultados obtidos Rahayu e outros (2005) constataram que a concentração de citocininas ativa é menor em folhas e xilema das plantas cultivadas com amônio como única fonte de N, comparado com as que foram cultivadas apenas em nitrato. Isso sugere que o nitrato pode contribuir para mais um mecanismo que atenua a toxicidade do excesso de amônio (HACHIYA e outros, 2012).

O nitrato absorvido da solução do solo pode ser reduzido a amônio nas raízes, na parte aérea e em ambos os órgãos. O predomínio da ocorrência desse processo em cada órgão é uma característica que varia com a espécie (PATE, 1983). Quando a assimilação do nitrato ocorre predominantemente na raiz, há uma forte dependência da importação de fotoassimilados,

produzidos nas folhas, a fim de gerar energia e fornecer esqueletos de carbono provenientes da rota das pentoses-fosfato para o processo de incorporação do nitrogênio em compostos orgânicos (OAKS, 1992). Portanto, normalmente, as plantas que assimilam nitrogênio na raiz, além de serem capazes de importar eficientemente fotoassimilados das folhas são, também, altamente eficientes em exportar os fotossintatos da raiz para atender aos órgãos de demanda (OAKS, 1994). Nas folhas, o excesso de NADPH e ATP produzido na fase fotoquímica da fotossíntese pode ser utilizado para redução do nitrato. Estima-se que até 25% do poder redutor produzido na fotossíntese podem ser consumidos na assimilação de nitrato (CHAPIN e outros, 1987). No entanto, Raab e Terry (1994) comprovaram que não há evidências de que o consumo de energia fotoquímica para a redução do nitrato limita a fixação de CO₂ na fotossíntese em plantas de *Beta vulgaris* L. O nível da atividade da RN, bem como a distribuição dessa atividade entre os diferentes órgãos das plantas, varia entre as espécies, aparentemente devido ao seu habitat natural (LEE; STEWART, 1978), a depender do estágio de desenvolvimento da planta (PATE, 1980) e também da disponibilidade de N exógeno (DRUART e outros, 2000).

A planta assimila o amônio proveniente da solução do solo ou produzido pela assimilação do nitrato, mas também de outras vias metabólicas, tais como o ciclo fotorrespiratório nas folhas, além da liberação catabólica do amônio durante a senescência (LASA e outros, 2002).

Independentemente da sua origem, o NH₄⁺ é incorporado a esqueletos de carbono pela ação predominante de duas reações que operam em sucessão: a enzima chave, sintetase da glutamina (GS), que catalisa uma conversão do glutamato a glutamina, dependente de ATP, que utiliza o amônio (LOTHIER e outros, 2010); e, em sequência, a enzima sintase do glutamato (GOGAT), que catalisa a transferência de um grupo amida da glutamina a 2-oxoglutarato, para produzir duas moléculas de glutamato (ESPOSITO e outros, 2005). Embora a via metabólica GS/GOGAT seja a principal rota de assimilação de N (SHAN e outros, 2012), o uso de rota

alternativa também é possível pela ação da enzima desidrogenase do glutamato (GDH), que catalisa uma reação reversível de 2-oxoglutarato para produzir glutamato (FRECHILLA e outros, 2002).

A enzima GS é representada por várias isoenzimas, localizadas no citosol (GS1) ou no cloroplasto (GS2), sugerindo que a biossíntese de glutamina é separada em duas vias independentes (LOTHIER e outros, 2010). Acredita-se que a glutamina é formada principalmente dentro do cloroplasto de folhas jovens, por meio da GS (LEEGOOD e outros, 1995), e que o acúmulo de glutamina estimula a atividade da GOGAT, que transfere o grupo amida da glutamina, formando duas moléculas de glutamato (MARENCO; LOPES, 2009).

As diferentes formas iônicas de N podem afetar o crescimento das plantas, como consequência de distúrbios causados à fotossíntese e devido a alterações no pH da solução externa (CLAUSSEN; LENZ, 1995, 1999; BRITTO; KRONZUCKER, 2002; GUO e outros, 2012). Os danos causados à fotossíntese podem ser atribuídos, em parte, ao fechamento estomático, que reduz a taxa fotossintética (GUO e outros, 2007). O nitrato e o amônio também podem alterar os teores de clorofila, causando distúrbios à fotossíntese, como observaram Ruan e outros (2007), em *Camellia sinensis*. Entretanto, Guo e outros (2012) verificaram que as fontes de N não alteraram os teores de clorofila em *Catharanthus roseus*. Por outro lado, Raab e Terry (1994) verificaram que diferentes proporções de NO_3^- e NH_4^+ não causaram quaisquer diferenças no crescimento, relacionadas à fotossíntese, em *Beta vulgaris* L.

Em cultura de tecidos vegetais, há indícios de que o aumento da concentração de NH_4^+ no meio de cultivo pode induzir os tecidos a um estado de hiperhidricidade (BRAND, 1993). Nesse estado, a planta apresenta desordens morfológicas e fisiológicas decorrentes do elevado teor de água no interior das células e tecidos, podendo atingir 60% dos brotos micropropagados (PARK e outros, 2004). Ivanova e Staden (2009), estudando o comportamento de *Aloe polyphylla* em cultivo *in vitro*,

observaram que o aumento da proporção nitrato/amônio diminuiu a incidência de hiperhidricidade, ao ponto de este estado ser eliminado completamente, quando o nitrato foi usado como única fonte de N. Em cultivos hidropônicos, contudo, o conhecimento acerca dos efeitos da proporção nitrato/amônio sobre o estado hídrico das plantas ainda é obscuro.

A resposta sinérgica de plantas ao fornecimento combinado de NO_3^- e NH_4^+ exerce efeitos mais complexos em soluções hidropônicas (BRITTO; KRONZUCKER, 2002). O crescimento de muitas espécies de plantas é claramente afetado pela forma de N na nutrição (BRITTO; KRONZUCKER, 2002; GUO e outros, 2007; GUO e outros, 2012; HACHIYA e outros, 2012). De acordo com Ivanova e Staden (2009), o uso de diferentes fontes de N resulta em meios com diferentes molaridades e, conseqüentemente, em meios com diferentes níveis de potencial hídrico, o que pode interferir no crescimento de plantas. A redução do crescimento, em resposta à aplicação de NH_4^+ como única fonte de N, pode estar relacionado à toxidez do NH_4^+ , associada ao comprometimento hídrico (WALCH-LIU e outros, 2000).

O acúmulo de biomassa pode ser importante para avaliar as respostas de crescimento de plantas às mudanças de aplicação de N. O Índice de Qualidade de Dickson (IQD) é considerado um bom indicador do desempenho geral do crescimento das plantas (LIU e outros, 2009). De acordo com Bayala e outros (2009), o IQD é a fórmula mais complexa para avaliar a qualidade das mudas e um útil preditor do desempenho de plantas jovens em campo, porque incorpora várias medidas dimensionais, tais como a relação altura/diâmetro (RAD), que é considerada como indicador do quociente de robustez; a relação entre as biomassas da parte aérea e da raiz (RPAR); e, por fim, a biomassa total. O IQD é considerado um atributo completo para avaliar a distribuição espacial de biomassa, pois a considera nos diferentes compartimentos da planta, além dos atributos altura da parte aérea e diâmetro do colo (FERRAZ; ENGEL, 2011).

3 MATERIAL E MÉTODOS

Este experimento foi realizado em casa de vegetação, na Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB), *campus* de Vitória da Conquista, no período de outubro de 2011 a fevereiro de 2012.

Foram utilizadas mudas provenientes de miniestacas de *Eucalyptus urophylla*, clone AEC0144, fornecidas pela empresa Tecnoverde, sediada no município de Vitória da Conquista – BA.

Em um jardim clonal, foram retiradas miniestacas com comprimento médio de 5 a 7 cm, contendo dois pares de folhas. As folhas das miniestacas foram seccionadas ao meio e estaqueadas em substrato de enraizamento em tubetes de modelo cônico, com secção circular contendo seis frisos internos longitudinais e equidistantes, dimensões de 12,5 cm de altura, 3,0 cm de diâmetro na parte interna superior e apresentando o fundo aberto de aproximadamente 1 cm de diâmetro, com 54 cm³ de capacidade volumétrica. O substrato usado constituiu-se de vermiculita e composto orgânico à base de casca de coco, na proporção de 1:1 (v/v), enriquecido com adubação à base de macro e micronutrientes, conforme Oliveira Júnior e outros (2011). Após essa etapa, as miniestacas foram transferidas para casa de enraizamento com irrigação intermitente.

3.1 Condições de cultivo

Quando as mudas completaram 30 dias de idade, as raízes foram lavadas, removendo-se todo o substrato e, em seguida, foram transferidas para um recipiente de cultivo hidropônico, inicialmente, constituído de uma bandeja coletiva, com capacidade para 30 litros, contendo solução nutritiva (CLARK, 1975) a 33%, 50% e 100% da sua força iônica. Para efeito de adaptação ao ambiente hidropônico, as mudas permaneceram nessas bandejas por um período de 21 dias, sendo sete dias em cada nível de força iônica.

Após o período de adaptação ao ambiente hidropônico, foram selecionadas mudas padronizadas, com altura média de 17 cm e raiz principal com aproximadamente 9 cm de comprimento. Em seguida, as mudas foram transplantadas para vasos com capacidade para 5 litros de solução nutritiva, sendo que esse volume foi sempre mantido por meio de complementação diária com água deionizada.

A renovação das soluções nutritivas foi feita a cada 10 dias, e esse intervalo foi mantido durante os 70 dias em que as plantas permaneceram nos respectivos tratamentos. O pH foi ajustado a cada troca de soluções para valores entre 5,0 e 5,5 por meio da adição de NaOH ou HCl, ambos a 0,1N. As soluções nutritivas foram mantidas sob aeração durante todo o período experimental, mediante o uso de compressor, regulado por um “timer”, para funcionamento por períodos de 30 minutos, a cada duas horas.

3.2 Caracterização dos tratamentos e delineamento experimental

O delineamento experimental adotado foi o inteiramente casualizado, com cinco tratamentos e quatro repetições. Cada parcela foi constituída por uma planta em cada vaso. O nitrogênio foi fornecido em doses iguais ($N= 7,8 \text{ mol m}^{-3}$), conforme Clark (1975), sendo que os tratamentos se caracterizaram por proporções de nitrato e amônio (0/100, 25/75, 50/50, 75/25 e 100/0). Seguindo a solução completa de Clark (1975), os demais nutrientes foram fornecidos nas seguintes concentrações: $P= 0,07 \text{ mol m}^{-3}$; $K= 1,8 \text{ mol m}^{-3}$; $Ca= 2,6 \text{ mol m}^{-3}$; $Mg= 0,6 \text{ mol m}^{-3}$; $S= 0,5 \text{ mol m}^{-3}$; $Mn= 7 \text{ mmol m}^{-3}$; $B= 19 \text{ mmol m}^{-3}$; $Zn= 2 \text{ mmol m}^{-3}$; $Mo= 0,6 \text{ mmol m}^{-3}$; $Cu= 5 \text{ mmol m}^{-3}$ e $Fe \text{ (Fe-EDTA)}= 38 \text{ mmol m}^{-3}$. A Tabela 1 apresenta um resumo da composição das soluções hidropônicas, em função das proporções de nitrato e amônio, que constituíram a fração nitrogenada de cada solução.

Tabela 1 - Volumes e composições químicas das soluções-estoque empregadas no preparo de um litro das soluções hidropônicas utilizadas em cada tratamento.

| Solução estoque | Concentração | Proporções de NO ₃ ⁻ /NH ₄ ⁺ | | | | | |
|--|--------------|--|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | Clark (1975) | 0/100 | 25/75 | 50/50 | 75/25 | 100/0 |
| ----Volume para as soluções hidropônicas-ml L ⁻¹ ---- | | | | | | | |
| KH ₂ PO ₄ | 0,1 M | - | 0,7 | - | - | - | - |
| KNO ₃ | 1 M | 1,8 | 1,73 | 0,65 | - | - | - |
| KCl | 1 M | - | - | 1,15 | 1,8 | 1,8 | 1,8 |
| Ca(NO ₃) ₂ | 1 M | 2,6 | 2,6 | 2,6 | 1,95 | 0,975 | |
| CaCl ₂ | 1 M | - | - | - | 0,65 | 1,625 | 2,6 |
| MgSO ₄ | 1 M | 0,085 | 0,5 | - | - | - | - |
| MgCl ₂ | 1 M | 0,515 | 0,1 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 |
| NH ₄ Cl | 1 M | - | - | 0,88 | 2,83 | 4,78 | 6,73 |
| NH ₄ H ₂ PO ₄ | 0,1 M | 0,7 | - | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 |
| (NH ₄) ₂ SO ₄ | 1 M | 0,415 | - | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 |
| NaNO ₃ | 1 M | - | 0,87 | - | - | - | - |
| NaCl | 1 M | - | - | 0,87 | 0,87 | 0,87 | 0,87 |
| Micro-Fe* | * | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Fe-EDTA** | ** | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 |

*A solução de micronutrientes teve a seguinte composição (g L⁻¹): MnSO₄.1H₂O= 1,183; H₃BO₃= 1,175; ZnSO₄.7H₂O= 0,575; Na₂MoO₄.2H₂O= 0,145; CuSO₄.5H₂O= 0,125.

**Dissolveram-se 33,3 g de Na₂-EDTA em 500 ml de água contendo 100,4 ml de NaOH 1M, misturando-se com 24,9 g de FeSO₄.7H₂O, arejando-se por 12 h e completando-se a 1 L com água deionizada.

3.3 Controle fitossanitário

As mudas foram permanentemente monitoradas em relação ao aspecto fitossanitário e, sempre que necessário, foram tomadas medidas de controle. Durante o período experimental, foram realizadas duas aplicações com o produto comercial Vertimec 18 CE, na concentração de 70 ml 100L⁻¹ de calda, para controle de ácaros.

3.4 Características avaliadas

▪ pH da solução hidropônica

Após a troca da solução hidropônica dos vasos, o seu pH foi registrado diariamente, por meio de um pHmetro Portátil de ORP - Modelo HI 8424, sendo apresentados os valores médios do período experimental.

- **Altura da planta**

A altura das plantas, expressa em cm, foi determinada com uma régua graduada, colocada paralelamente à haste da planta, medindo-se o comprimento a partir do colo até a gema apical do ramo ortotrópico.

- **Diâmetro de colo**

O diâmetro do colo, expresso em cm, foi medido utilizando-se um paquímetro.

- **Número de folhas**

O número de folhas por planta foi obtido por meio de contagem de todas as folhas que apresentavam comprimento mínimo de 5 cm.

- **Área foliar**

Foram coletadas todas as folhas de cada planta e acondicionadas em sacos plásticos, previamente identificados. A área foliar total foi determinada por meio de um integrador de área foliar de marca LI-COR (modelo 3100).

- **Teor de clorofila - Índice SPAD**

O teor de clorofila foi avaliado com auxílio de um medidor portátil, (SPAD-502, Tóquio, Minolta, Japão) em quatro folhas saudáveis e completamente expandidas, localizadas na parte mediana da copa. Para cada planta, o índice SPAD foi admitido como resultante da média aritmética dessas quatro folhas.

- **Potencial hídrico foliar**

O potencial hídrico foliar (Ψ_w) foi medido às 5:00h, coletando-se duas folhas saudáveis e completamente expandidas, e o seu valor foi determinado com o uso de uma câmara de pressão (Modelo 1000, PMS),

conforme metodologia descrita por Scholander e outros (1965). Para cada planta, o Ψ_w foi resultante da média aritmética dessas duas folhas.

▪ Teor relativo de água

Com o uso de um vazador circular, foram retirados, em cada planta, 10 discos de folhas saudáveis e completamente expandidas, registrando-se a sua massa fresca (MF). Em seguida, os discos foliares foram submersos, durante 48 horas, em recipientes contendo água deionizada, para obtenção da sua massa túrgida (MT). Posteriormente, os discos foram secos em estufa de circulação forçada de ar, à temperatura de $65^\circ \pm 5^\circ\text{C}$, por 48 horas, para obtenção da massa seca (MS). O teor relativo de água (TRA), expresso em %, foi determinado conforme fórmula a seguir:

$$\text{TRA} = \frac{(\text{MF} - \text{MS})}{(\text{MT} - \text{MS})} \times 100$$

▪ Trocas gasosas

As trocas gasosas foram avaliadas com base nas seguintes características: taxa de fotossíntese líquida (A), expressa em $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$; concentração interna de CO_2 (C_i), expressa em $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$; condutância estomática ao vapor de água (g_s), expressa em $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$; e taxa transpiratória (E) expressa em $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. A eficiência fotossintética do uso da água (EFUA), expressa em $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mmol H}_2\text{O}^{-1}$, foi estimada conforme fórmula a seguir:

$$\text{EFUA} = \frac{A}{E}$$

As medições foram realizadas entre 9:00h e 10:30h, em folhas saudáveis e completamente expandidas, localizadas no terço médio da planta, utilizando-se um sistema portátil para medições de trocas gasosas (IRGA - LI-6400, LI-COR®, Nebraska/USA). Foi utilizado como fonte de

radiação fotossinteticamente ativa $1000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, temperatura ambiente, U_{set} 201 e área foliar analisada de $6,25 \text{ cm}^2$ (câmara para folha estreita).

▪ **Atividade da redutase do nitrato**

A determinação enzimática da atividade da redutase do nitrato foi feita empregando-se o método do ensaio "in vivo", conforme descrição de Cairo e outros (1994).

Folhas da porção mediana da planta foram coletadas e imediatamente acondicionadas em envelopes plásticos, em caixa de isopor com gelo, e transportadas até o laboratório.

No laboratório, os tecidos foliares foram subdivididos em fragmentos de aproximadamente 3 mm, com auxílio de um estilete. Amostras de 0,5 g do material vegetal foram adicionadas a tubos de ensaio contendo 5 ml do meio de incubação, constituído de solução tampão KH_2PO_4 0,1 M, pH 7,5, n-propanol 3% (v/v) e KNO_3 0,1 M.

Após a imersão, as amostras foram transferidas para um dessecador e submetidas à infiltração a vácuo (650 mmHg), por 2 minutos, com a finalidade de aumentar o influxo da solução nos tecidos. Em seguida, as amostras foram incubadas em banho-maria, a 30°C , com agitação, no escuro. Após 10 minutos, foram colhidas alíquotas de 1 ml dos ensaios enzimáticos, para determinação dos teores de nitrito produzidos. Cada alíquota foi adicionada a um tubo de ensaio constituído de 1,0 ml de sulfanilamida 1% (p/v) em HCL 1,5 M, 1,0 ml de dicloridrato de N-1-naftiletilediamina 0,02% (p/v) e 1,0 ml de água destilada. As leituras espectrofotométricas foram realizadas a 540 nm. A atividade enzimática foi verificada novamente aos 70 minutos, com intuito de registrar os teores de nitrito produzidos no intervalo de 1 hora. Os valores obtidos foram comparados aos de uma curva padrão, previamente estabelecida para esse íon, a fim de expressar os resultados em $\mu\text{mol NO}_2^- \text{g}^{-1}$ matéria fresca h^{-1} .

▪ **Produção de biomassa e Índice de Qualidade de Dickson**

Os valores correspondentes à biomassa da parte aérea (MSPA), da raiz (MSR) e total (MST) foram obtidos após secagem do material vegetal em estufa com ventilação forçada, a $65^{\circ} \pm 5^{\circ}\text{C}$, por 48 horas, até a obtenção de massa constante, expressa em g planta^{-1} . A MST foi obtida pelo somatório da MSPA e MSR.

Os resultados obtidos com as verificações de biomassa permitiram calcular os seguintes parâmetros de desempenho: quociente de robustez (RAD), que representa a razão entre a altura da parte aérea e o diâmetro do colo; razão entre a biomassa da parte aérea e a biomassa de raízes (RPAR); e o Índice de Qualidade de Dickson (DICKSON e outros, 1960), obtido conforme fórmula a seguir:

$$\text{IQD} = \frac{\text{MST (g)}}{\text{RAD} + \text{RPAR}}$$

▪ **Teor de nutrientes**

Após a determinação da biomassa, as folhas foram trituradas em moinho tipo Willey, com peneira de 20 mesh, e as amostras armazenadas em sacos de polietileno e em seguida, encaminhadas para análise no Laboratório de Análise Foliar da Universidade Federal de Lavras. Foram determinados os teores de nitrogênio total, enxofre, fósforo, potássio, cálcio e magnésio. Os teores de nitrogênio total foram determinados pelo método semi-micro Kjeldahl, após a digestão sulfúrica (H_2SO_4 e H_2O_2) do tecido foliar (MALAVOLTA e outros, 1997). Em extrato da digestão nitroperclórica (HNO_3 e HClO_4), foram determinados: os teores de P, colorimetricamente, pelo método de redução do fosfomolibdato pela vitamina C; K^+ , por fotometria de chama; S, por turbidimetria; Ca^{2+} e Mg^{2+} , por espectrofotometria de absorção atômica (MALAVOLTA e outros, 1997).

3.5 Análise estatística

Os dados coletados foram submetidos à análise de variância e, como ocorreram diferenças significativas pelo teste F ($P < 0,05$), aplicou-se o teste de Tukey ($P < 0,05$), utilizando o programa estatístico ASSISTAT 7.6 beta. Os testes de Cochran e Bartlett foram aplicados para verificar a homogeneidade das variâncias, e o teste de Lilliefors, para verificação da normalidade da distribuição dos erros. Quando necessário, os dados originais foram transformados, aplicando-se $\text{Log}(x)$. Para efeito de comparação entre os tratamentos, calculou-se, para cada média, seu respectivo erro-padrão.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 pH da solução hidropônica

No período experimental, o pH da solução, que continha apenas nitrato, aumentou com o tempo, inversamente aos demais tratamentos, em que o pH sofreu declínio no mesmo período (Figura 1). Essas variações indicam que o balanço de cargas iônicas, decorrente das proporções estabelecidas entre as concentrações de nitrato e amônio, é um fator que interfere no pH da solução hidropônica. Dentre os parâmetros que afetam o crescimento da planta destaca-se o pH do meio radicular, que influencia um grande número de processos de suma importância, como a disponibilidade de nutrientes e a sua taxa de absorção (MARSCHNER, 1995).

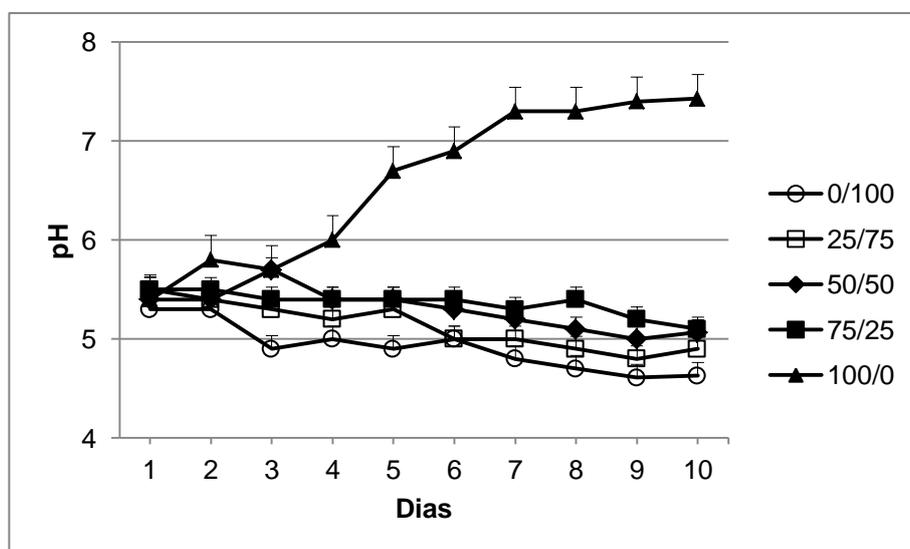


Figura 1- Variação do pH da solução hidropônica, em função das proporções de NO_3^- e NH_4^+ no tempo. Os valores de pH representam médias de quatro repetições. As barras verticais representam o erro padrão das médias.

A influência da forma iônica de N sobre o pH rizosférico é consequência de diferenças na relação de absorção cátion-ânion

(CLAUSSEN; LENZ, 1999). Alterações de pH do meio rizosférico, causadas por elevadas concentrações de amônio e nitrato, têm sido relatadas por alguns autores (SKIRVIN e outros, 1994; BENNETT e outros, 2003; WOODWARD e outros, 2006; YAO e outros, 2011). No presente trabalho, as variações mais expressivas do pH, na solução hidropônica, foram registradas nos tratamentos em que a nutrição nitrogenada foi baseada exclusivamente em amônio ou nitrato.

Há uma estreita relação entre os fluxos de NH_4^+ e H^+ , cujo transporte ativo de prótons, promovido pelo influxo de NH_4^+ , é balanceado por um efluxo de H^+ , necessário para manter o equilíbrio de cargas (GARNETT e outros, 2001; GARNETT e outros, 2003), levando à acidificação do meio externo. A diminuição do pH a um nível relativamente baixo na rizosfera pode causar efeito prejudicial sobre a absorção de nutrientes e o crescimento da planta (RUAN e outros, 2007).

No tratamento em que a nutrição nitrogenada baseou-se exclusivamente em nitrato, o aumento do pH da solução externa pode ser justificado porque a absorção desse ânion se dá por meio de co-transporte, em que o influxo de nitrato para o interior da célula é acoplado a pelo menos duas cargas positivas (H^+), que também se movem para o citosol, reduzindo a acidez da solução externa (MEHARG; BLATT, 1995).

4.2 Influência das proporções de NO_3^- e NH_4^+ sobre a produção e a partição de biomassa

Nas Tabelas 5 e 6, localizadas no apêndice, estão apresentados os resumos da análise de variância com os valores do coeficiente de variação, referentes às características morfológicas das plantas, em função das proporções de NO_3^- e NH_4^+ .

As proporções de NO_3^- e NH_4^+ na solução hidropônica influenciaram as variáveis de biomassa avaliadas no experimento. Essas características apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos pelo teste de

Tukey ($P < 0,05$). As medidas de biomassa servem como um índice descritivo que pode ser usado para avaliar a capacidade de síntese de carboidratos e matéria orgânica (LIU e outros, 2009).

No que se refere à MSPA (Figura 2), verificou-se que, nas proporções de nitrato e amônio 0/100 e 50/50, a produção de biomassa foi de 55,38 g e 54,89 g, respectivamente. Esses valores são inferiores aos dos demais tratamentos, apesar de diferirem estatisticamente apenas em relação ao tratamento com a proporção 75/25, que, por sua vez, mostrou maior acúmulo de biomassa da parte aérea (70,79 g).

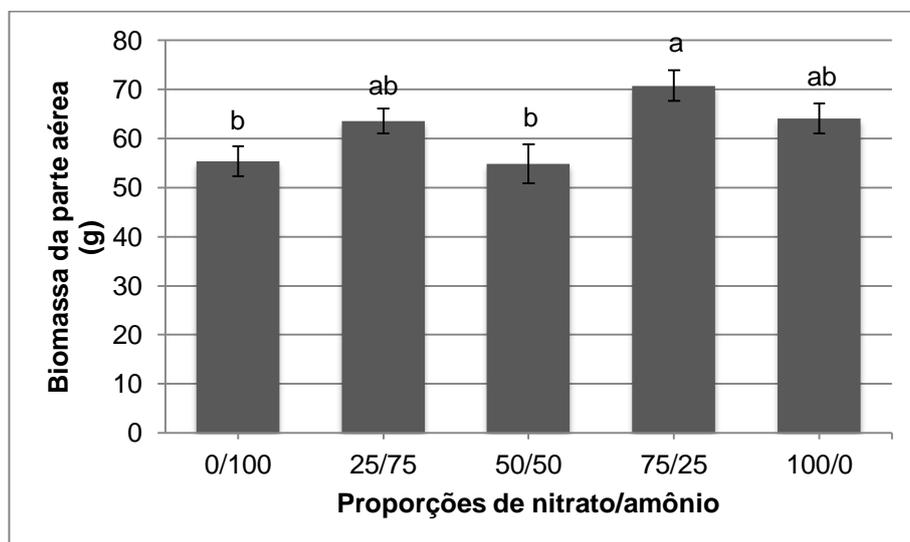


Figura 2- Biomassa da parte aérea em plantas jovens do clone AEC0144, em função de variações nas proporções de nitrato e amônio. Em cada coluna, as barras representam o erro padrão da média. Letras diferentes acima das barras indicam diferenças entre médias, pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

Grespan e outros (1998) encontraram maior produção de biomassa em *Eucalyptus urophylla* no meio amoniacal e misto com NO_3^- e NH_4^+ , em igual proporção, sendo que essa produção mostrou-se menor, quando o NO_3^- foi fornecido com exclusiva fonte de N. Dados obtidos por Shedley e outros (1995) apontam resultados de maior produção de biomassa da parte aérea em mudas de *Eucalyptus globulus*, nutridas com amônio, como única fonte de N,

e diminuição na produção de biomassa quando o nitrato é combinado com o amônio ou, principalmente, quando esse ânion é fonte exclusiva de N. Em vários outros estudos, das espécies do gênero *Eucalyptus*, tem-se verificado taxas mais elevadas de absorção de N, quando o amônio é a principal fonte desse nutriente (SHEDLEY e outros, 1995; GARNETT; SMETHURST, 1999; GARNETT e outros, 2003; PFAUTSCH e outros, 2009).

No presente trabalho, contudo, os resultados indicam relação inversa: tendência de maior acúmulo de biomassa, associado à diminuição da concentração de amônio na solução. Estes resultados se assemelham aos de outros trabalhos (WARREN; ADAMS, 2002; ROTHSTEIN; CREGG, 2005 e HACHIYA e outros, 2012), os quais revelaram melhor crescimento das plantas em misturas de nitrato e amônio. Segundo Bijlsma e outros (2000), a assimilação simultânea de NO_3^- e NH_4^+ pelas raízes tem uma melhor relação custo/benefício do que a assimilação de uma única fonte de N, ou seja, maior assimilação de N a um menor custo de carbono por mol de N absorvido. A combinação de nitrato e amônio atenua a toxicidade de amônio em muitas espécies (BRITTO; KRONZUCKER, 2002).

Rothstein e Cregg (2005), avaliando proporções de nitrato e amônio em *Abies fraseri*, suspeitavam que essa espécie apresentasse melhor produção de biomassa com a utilização de amônio como fonte predominante de N, mas encontraram resultados diferentes do esperado, indicando que o NO_3^- , como fonte exclusiva de N, proporciona melhor desempenho das mudas. As plantas cultivadas em meio com alta relação $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$, podem exibir consumo de “luxo de N” e apresentar menor produção de biomassa (BOWN e outros, 2010).

No presente trabalho, a maior produção de biomassa nas raízes (28,12 g) se manifestou com maior evidência na proporção 75/25, apesar de esta não ter diferido estatisticamente da produção obtida com a proporção 25/75 (Figura 3). De acordo com Liu e outros (2009), a maior capacidade de produção de biomassa serve como um indicador para avaliar a capacidade de

síntese de carboidratos. As soluções que continham apenas nitrato ou amônio mostraram menor eficácia para a produção de biomassa de raiz.

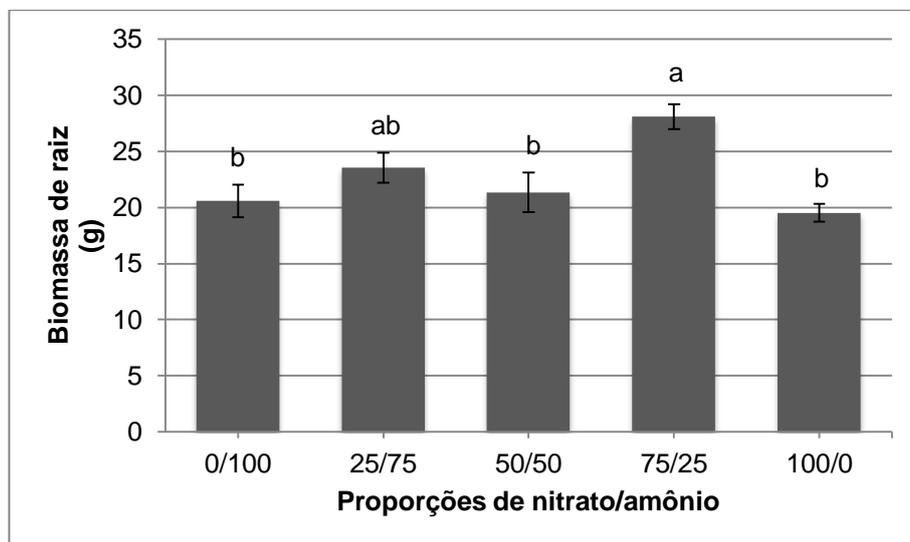


Figura 3- Biomassa de raiz em plantas jovens do clone AEC0144, em função de variações nas proporções de nitrato e amônio. Em cada coluna, as barras representam o erro padrão da média. Letras diferentes acima das barras indicam diferenças entre médias, pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

Estudos que abordem a influência das formas de N sobre a partição de biomassa em espécies florestais são ainda escassos (BOWN e outros, 2010; YAO e outros, 2011). Woodward e outros (2006), avaliando a influência de nitrato e amônio sobre a eficiência de enraizamento de estacas de *Eucalyptus marginata*, encontraram resultado significativamente superior para a proporção 2/1, com o meio externo tamponado, apesar de alguns estudos revelarem maior taxa de absorção para o NH_4^+ como fonte de N em plantas do gênero *Eucalyptus* (GARNETT; SMETHURST, 1999; GARNETT e outros, 2003; PFAUTSCH e outros, 2009).

Um questionamento que desperta atenção é a correlação entre a preferência pela forma de N e a produção de biomassa. Os resultados obtidos por Woodward e outros (2006) mostram maior produção de biomassa de raiz em plantas de *Eucalyptus marginata* quando o nitrato foi fornecido como

única fonte de N, ou em proporções mais elevadas, do que com o amônio como única fonte de N. Os resultados obtidos no presente estudo se assemelham aos de Woodward e outros (2006). Por outro lado, a flexibilidade em poder beneficiar-se de diferentes formas de N, tanto amoniacal quanto nítrica, pode explicar, em parte, a ocorrência do gênero *Eucalyptus* sobre uma ampla gama de condições ecológicas distintas.

Os padrões de acúmulo de biomassa e sua distribuição entre parte aérea e raiz podem ser influenciados pela fonte predominante de N, quando há variações nas proporções de nitrato e amônio no meio externo (BOWN e outros, 2010; HELALI e outros, 2010; GUO e outros, 2012). Estudos comparativos (GERENDÁS e outros, 1997) indicaram que o nitrato estimula o crescimento de raiz mais do que o crescimento da parte aérea. Em contraste, poucos trabalhos têm investigado sobre como as formas de N podem afetar a partição de biomassa para as raízes.

Tabela 2 - Diâmetro do colo (D), relação biomassa de parte aérea/raiz (RPAR) e número de folhas (NF) em plantas jovens do clone AEC0144, aos 121 dias de idade, cultivadas em soluções hidropônicas com nitrogênio em diferentes proporções de nitrato e amônio.

| Variáveis | Proporções $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ | | | | |
|-----------|--|------------|-------------|-------------|-----------|
| | 0/100 | 25/75 | 50/50 | 75/25 | 100/0 |
| D (cm) | 1,3±0,04a | 1,3±0,05a | 1,2±0,05a | 1,28±0,03a | 1,2±0,05a |
| RPAR | 2,71±0,17a | 2,72±0,21a | 2,58±0,14a | 2,53±0,2a | 3,29±0,2a |
| NF | 152,2±7,1a | 178,5±4,6a | 159,2±12,1a | 177,7±10,6a | 148±10,9a |

Os valores são apresentados como médias ± erro padrão da média. Nas linhas, médias seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05).

No presente trabalho, os resultados para partição de biomassa de parte aérea/raiz (Tabela 2) não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos, durante o período experimental. Zerihun e outros (1998) sugerem que o uso de fotoassimilados em processos associados à assimilação de N, tem pouco impacto sobre o balanço de carbono das plantas e, portanto, na alocação de biomassa parte aérea/raiz. No crescimento da

planta, há uma interdependência entre o funcionamento do sistema radicular e parte aérea (MARENCO; LOPES, 2009). A maior partição de carbono (massa seca) para as raízes (menor relação parte aérea/raiz), quase sempre está associada ao aprofundamento do sistema radicular, cujos recursos, indispensáveis ao crescimento, podem estar mais disponíveis (GONÇALVES; PASSOS, 2000).

A maior elevação do pH, registrada na proporção 100/0 (Figura 1), pode ter interferido na absorção de nutrientes, como pode ser verificado na RPAR dessa proporção (Tabela 2) que, mesmo não apresentando diferenças significativas, sugeriu tendência de inibição do crescimento, sobretudo, nas raízes. Dados obtidos por Grespan e outros (1998) apontam que esse índice foi menor com o aumento da proporção de nitrato no meio, evidenciando maior investimento relativo em produção de raízes do que de parte aérea em *Eucalyptus urophylla*. De acordo com Zhang e outros (2007), uma relação apropriada de $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ melhora a absorção de outros nutrientes e mantém uma proporção adequada de assimilação de N.

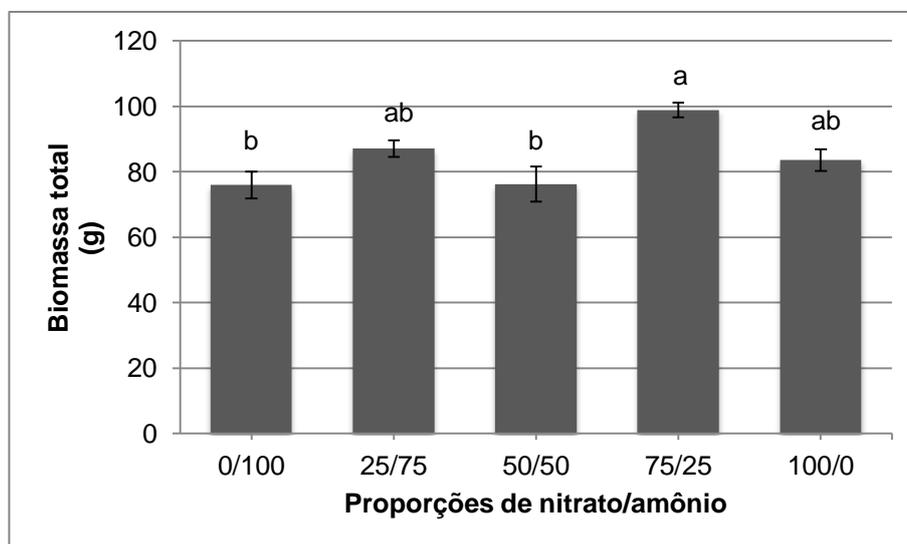


Figura 4- Biomassa total em plantas jovens do clone AEC0144, em função de variações nas proporções de nitrato e amônio. Em cada coluna, as barras representam o erro padrão da média. Letras diferentes acima das barras indicam diferenças entre médias, pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

Neste estudo, as diferentes proporções de nitrato e amônio afetaram significativamente a produção de biomassa total (Figura 4). A tendência de maior acúmulo de biomassa se manifestou mais claramente na proporção 75/25 (98,92 g), apesar de não haver diferença estatística entre esta proporção e as proporções 25/75 e 100/0. Inversamente, a tendência de menor acúmulo de biomassa foi registrada especialmente nas proporções 0/100 e 50/50.

A produção de biomassa total é apontada como a característica que melhor reflete a qualidade na produção de mudas (CRUZ e outros, 2012). Em parte, os efeitos das proporções de nitrato e amônio sobre a produção de biomassa podem ser explicados devido às flutuações de pH. A combinação de NO_3^- e NH_4^+ pode permitir acesso a ambas as fontes de nitrogênio (e possivelmente a outros nutrientes) em vez de um apenas (que seja dependente de pH) (WOODWARD e outros, 2006).

Os resultados obtidos no presente trabalho, que evidenciam o fraco desempenho na produção de biomassa total na proporção 50/50, divergem de outros estudos (VOJTÍŠKOVÁ e outros, 2004; ZHANG e outros, 2007; CHANG e outros, 2010), que avaliaram proporções variáveis de NO_3^- e NH_4^+ , nos quais as plantas mostraram maior produção total de biomassa, quando cultivadas sob proporções iguais dessas fontes de N no meio de crescimento. A inibição do crescimento, em resposta à aplicação de NH_4^+ como exclusiva fonte de N, tem sido atribuída, principalmente, a alterações no pH do meio e aos efeitos tóxicos do amônio livre (GERENDÁS e outros, 1997; BRITTO; KRONZUCKER, 2002). Entretanto, não houve alterações pronunciadas do pH na proporção 50/50 (Figura 1).

A relação entre a altura da parte aérea e o diâmetro do colo (RAD) apresentou valores mais elevados em soluções nutritivas que continham nitrato e amônio, do que em soluções constituídas por apenas uma fonte de N (Figura 5). O valor da RAD exprime o equilíbrio de crescimento, porque relaciona dois importantes parâmetros morfológicos – altura da parte aérea e

o diâmetro do colo (CARNEIRO, 1995). Por esta razão, a RAD é também denominada de coeficiente de robustez das plantas, e tem sido empregada nas avaliações de qualidade de mudas de algumas espécies arbóreas (BAYALA e outros, 2009; YAO e outros, 2011). Dentre as soluções que continham as duas fontes de N, verificou-se que a proporção 75/25 pareceu proporcionar maior coeficiente de robustez nas plantas, devido à tendência de apresentarem os valores mais elevados de RAD.

A necessidade de abordagens integradas, com base em atributos morfológicos e avaliações ecofisiológicas, pode gerar dificuldades para se definir um bom indicador para o vigor de plantas jovens, que possa ser correlacionado com o seu desempenho em campo (DAVIS; JACOBS, 2005). Por esta razão, uma conclusão consistente deve analisar todos os índices de qualidade em conjunto (BAYALA e outros, 2009).

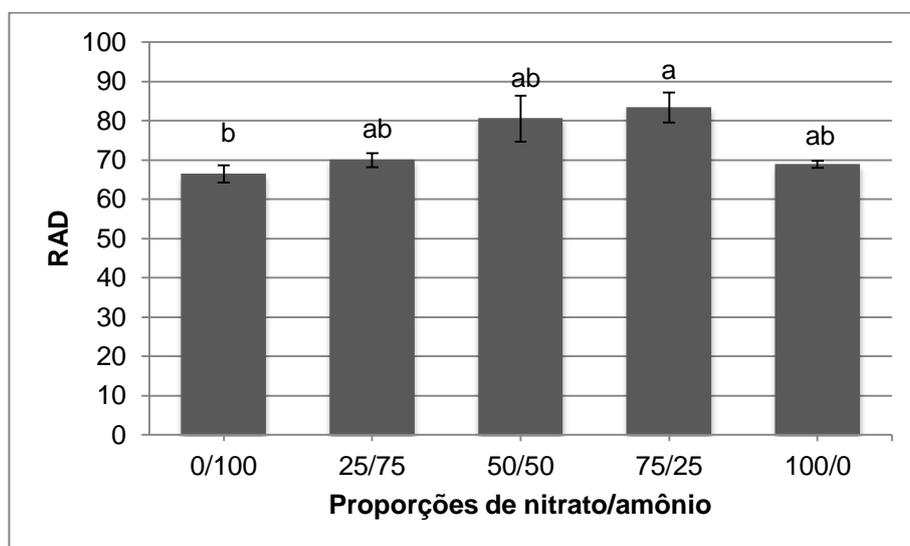


Figura 5- Relação altura da parte aérea/diâmetro do colo em plantas jovens do clone AEC0144, em função de variações nas proporções de nitrato e amônio. Em cada coluna, as barras representam o erro padrão da média. Letras diferentes acima das barras indicam diferenças entre médias, pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

As diferentes proporções de NO_3^- e NH_4^+ causaram pequenas variações no Índice de Qualidade de Dickson (IQD), consideradas não significativas na maioria dos tratamentos (Figura 6). A proporção 50/50 parece ter sido a que mais afetou negativamente o IQD, apesar de não existir diferença estatística quando o NH_4^+ foi fornecido como única fonte de N. Oliveira Júnior e outros (2011), avaliando a qualidade de mudas de *Eucalyptus urophylla*, produzidas em diferentes substratos, afirmam que as mudas com maior IQD são classificadas como de melhor qualidade. De forma geral, o IQD correlacionou-se com o acúmulo de biomassa nos tratamentos avaliados. Os parâmetros de crescimento da planta são, provavelmente, os melhores indicadores de estresse, pois são medidas abrangentes da fisiologia da planta (DOMÍNGUEZ-VALDIVIA e outros, 2008). Bayala e outros (2009) apontaram correlação significativa do IQD com alguns parâmetros morfológicos, tais como diâmetro do colo e produção de biomassa, correlacionada com o desempenho em campo.

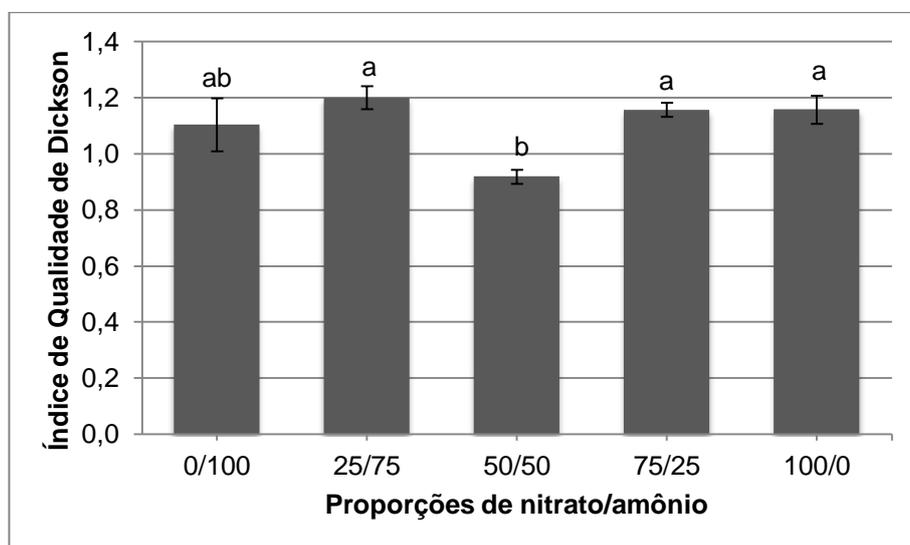


Figura 6- Índice de Qualidade de Dickson em plantas jovens do clone AEC0144, em função de variações nas proporções de nitrato e amônio. Em cada coluna, as barras representam o erro padrão da média. Letras diferentes acima das barras indicam diferenças entre médias, pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

Os resultados referentes ao acúmulo de biomassa, obtidos no presente trabalho, podem ser importantes para avaliar as respostas do clone AEC0144 às mudanças de aplicação de N no meio ambiente. Os atributos morfofisiológicos, em resposta ao efeito de nitrato e amônio, podem refletir a adaptabilidade das condições de solo e estar relacionados com uma importante estratégia de sobrevivência (CLAUSSEN; LENZ, 1999). Apesar das dificuldades de definição de atributos morfológicos, que podem prever o desempenho em campo, estudos sobre a qualidade nutricional das mudas têm uma importante aplicação prática, pois o baixo rendimento em muitos plantios é, principalmente, devido ao plantio de mudas de baixa qualidade (JOSÉ e outros, 2005).

O incremento em área foliar, das plantas cultivadas em diferentes proporções de NO_3^- e NH_4^+ , não apresentou diferenças estatísticas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$) (Figura 7). A redução da área foliar pode ser determinante em plantas nutridas com amônio como única fonte de N, devido à redução do número de células e expansão celular (RAAB; TERRY, 1994; WALCH-LIU e outros, 2000). Entretanto, a semelhança estatística entre os tratamentos, em relação à área foliar e ao número de folhas, demonstra que essas variáveis não foram influenciadas pelas proporções de nitrato e amônio.

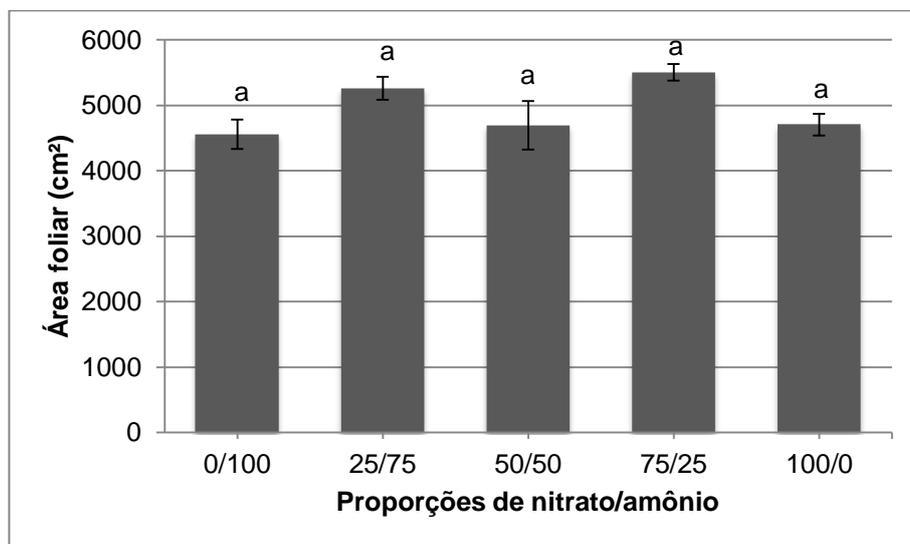


Figura 7- Área foliar em plantas jovens do clone AEC0144, em função de variações nas proporções de nitrato e amônio. Em cada coluna, as barras representam o erro padrão da média. Letras diferentes acima das barras indicam diferenças entre médias, pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

O incremento em altura foi significativamente influenciado pela variação nas proporções de nitrato e amônio (Figura 8). As tendências de maior e menor crescimento em altura foram mais evidentes nas proporções 75/25 (106 cm) e 0/100 (86,25 cm), respectivamente. Os resultados sugerem que, em soluções hidropônicas que contêm exclusivamente nitrato ou amônio, o crescimento em altura é menos favorecido do que em soluções hidropônicas, que contam com ambas as fontes de N, independentemente das suas proporções.

A avaliação de altura de plantas é considerada por Gomes e outros (2002) como um método fácil, rápido e não destrutivo, além de ser um atributo que sempre foi utilizado para avaliar, com eficiência, o padrão de qualidade de mudas. Em estudo avaliando proporções de nitrato e amônio, Hachiya e outros (2012) observaram correlação positiva do crescimento da parte aérea com o teor de nitrato na solução hidropônica.

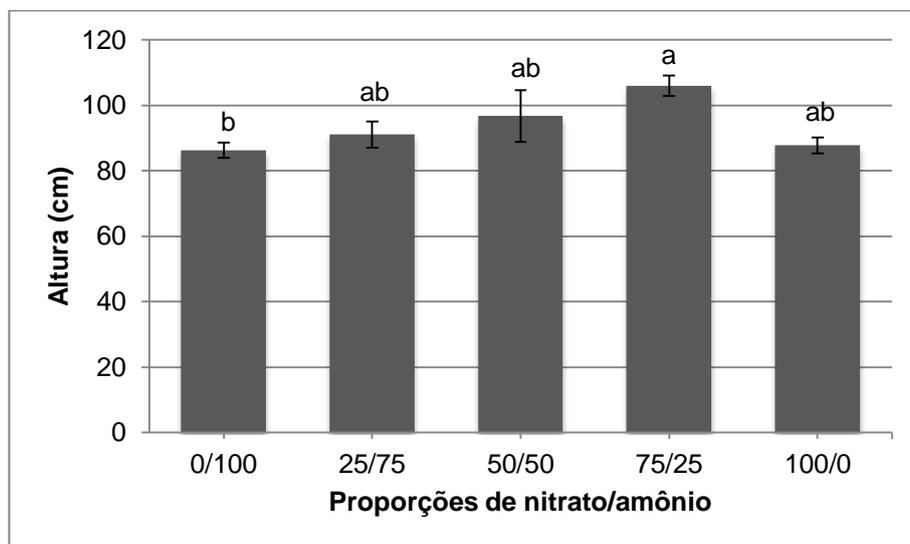


Figura 8- Altura em plantas jovens do clone AEC0144, em função de variações nas proporções de nitrato e amônio. Em cada coluna, as barras representam o erro padrão da média. Letras diferentes acima das barras indicam diferenças entre médias, pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

A inibição do crescimento em resposta à aplicação de NH_4^+ , como exclusiva fonte de N tem sido atribuída principalmente a alterações no pH do meio e aos efeitos tóxicos do amônio livre (IVANOVA; STADEN, 2009). A disponibilidade de nutrientes minerais pode ser afetada pelo baixo pH da solução externa, que limita a absorção da maioria dos nutrientes quando o pH cai abaixo de 5 (WILLIAMS, 1993) e, por conseguinte, restringe o crescimento da planta (IVANOVA; STADEN, 2009). De fato, a nutrição nitrogenada exclusivamente com NH_4^+ direciona a um excesso de absorção de carga catiônica, que deve ser equilibrada por um aumento do efluxo de H^+ (SMITH; RAVEN, 1979; HACHIYA e outros, 2012). Segundo Helali e outros (2010), a inibição ao crescimento da planta em resposta à nutrição com NH_4^+ , pode também estar associada à diminuição do número de folhas e área foliar, o que, todavia, no presente estudo, não apresentou diferença estatística.

No presente trabalho, os resultados sugerem que plantas jovens do clone AEC0144 são bem adaptadas a usar NO_3^- ou NH_4^+ na composição da

fonte de N, sem apresentar, necessariamente, sintomas de deficiência nutricional ou toxidez pelo amônio.

4.3 Influência das proporções de NO_3^- e NH_4^+ sobre as características fisiológicas

A atividade da enzima redutase do nitrato (RN) foi significativamente afetada pelas formas de N na solução hidropônica. A atividade da RN apresentou resultados expressivos somente nos tratamentos em que o nitrato estava presente na fração nitrogenada (Figura 9). No tratamento em que o NH_4^+ foi a única forma de N, registrou-se menor atividade da RN, e o nitrito quantificado pode ser atribuído apenas à eventual presença de nitrato endógeno, em concentrações bastante reduzidas, nos tecidos foliares. Nos tratamentos cujas soluções hidropônicas continham nitrato em sua composição, a atividade da RN não apresentou diferenças estatísticas, independentemente das proporções de nitrato e amônio.

Os valores da atividade da RN foram considerados baixos, se comparados aos de outras espécies (NICODEMUS e outros, 2008; HELALI e outros, 2010; YAO e outros, 2011; GUO e outros, 2012) . Em geral, a baixa atividade da RN nas folhas pode ser decorrente da insensibilidade do método de avaliação adotado (SHAN e outros, 2012).

Resultados obtidos por Helali e outros (2010) para a atividade da RN, corroboram com os resultados do presente estudo, em que uma menor atividade dessa enzima é observada quando a fonte de N é exclusivamente NH_4^+ . No entanto, nos dados obtidos por Nicodemus e outros (2008) não houve diferença estatística para atividade da RN em plantas jovens de *Juglans nigra*, no meio com proporções de NO_3^- e NH_4^+ . A atividade da RN é baixa na maioria das espécies ou não detectável, quando as plantas são cultivadas na ausência de nitrato (ANDREWS e outros, 1990). Arslan e Güleriyüz (2005) observaram correlação positiva da atividade da RN nas folhas e o teor de NO_3^- no meio radicular.

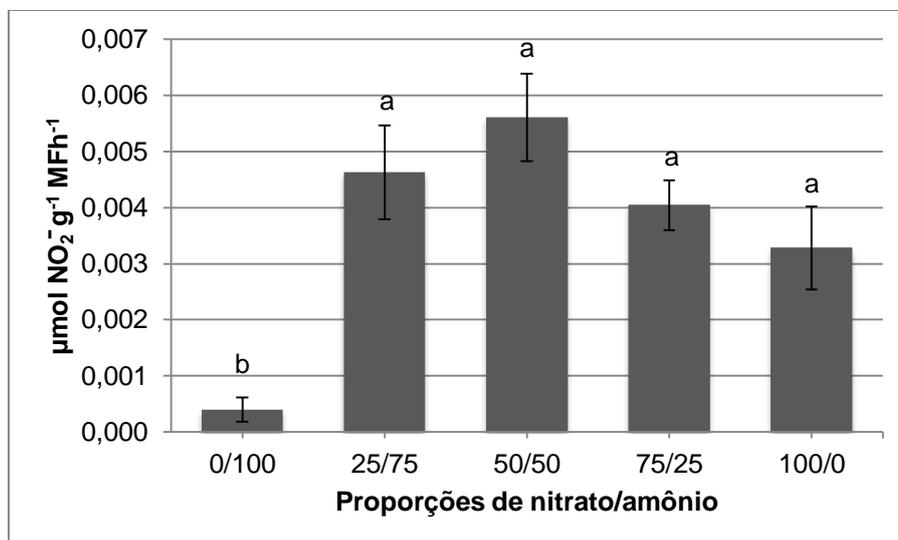


Figura 9- Atividade da redutase do nitrato em plantas jovens do clone AEC0144, em função de variações nas proporções de nitrato e amônio. Em cada coluna, as barras representam o erro padrão da média. Letras diferentes acima das barras indicam diferenças entre médias, pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

O nitrato é considerado uma molécula que regula vários processos metabólicos primários (WANG e outros, 2004). O nitrato, para ser reduzido pela RN, consome grandes quantidades de equivalentes redutores (HACHIYA e outros, 2012), e esse processo tem um papel funcional na manutenção da homeostase redox no citosol, evitando a produção de espécies reativas de oxigênio pelo consumo de equivalentes redutores (ESCOBAR e outros, 2006). A absorção de nitrato alcaliniza o pH apoplástico em raízes e folhas, enquanto a absorção de amônio acidifica-o (MÜHLING; LÄUCHLI, 2001). Portanto, o fornecimento de ambas as formas de N (NO_3^- e NH_4^+) pode ter diminuído as alterações acentuadas no pH apoplástico, reduzindo a toxidez causada por eventual excesso de absorção de amônio. Hachiya e outros (2012) sugerem que o nitrato na solução nutritiva atua na redução da toxicidade causada pelo amônio, tais como o consumo de equivalentes redutores e a homeostase do pH

apoplástico, o que pode explicar parcialmente a maior atividade da RN nas soluções em que as duas formas de N estavam presentes

Durante a condução do experimento, a intensidade da cor verde das folhas não sofreu alterações perceptíveis à simples observação visual. Entretanto, as proporções de nitrato e amônio causaram diferenças no índice SPAD nas folhas, as quais foram detectadas na análise estatística (Figura 10). O aumento da proporção $\text{NO}_3/\text{NH}_4^+$ resultou em leve tendência de queda no índice SPAD, chegando ao ponto de registrar diferença significativa entre os tratamentos caracterizados por uma única fonte de N, nos quais a solução com amônio teve índice SPAD maior que o da solução com nitrato.

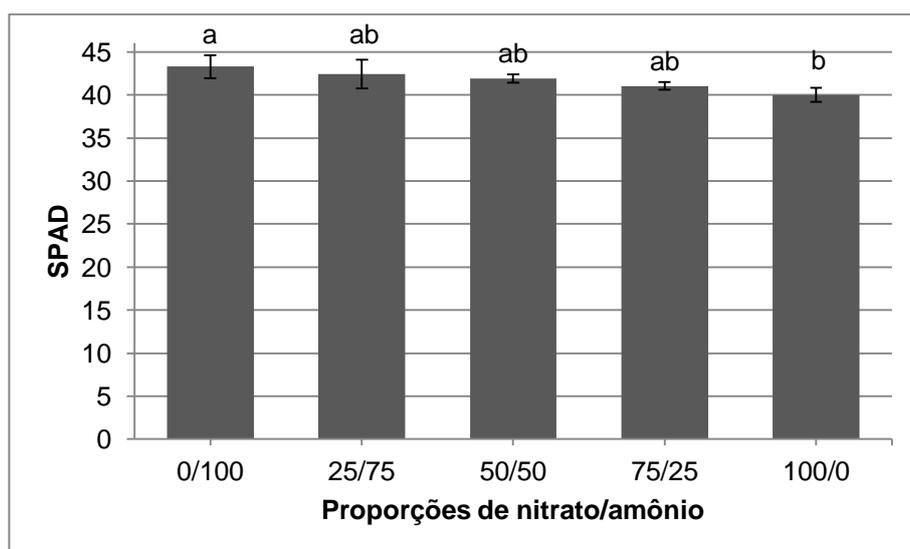


Figura 10- Índice SPAD em folhas de plantas jovens do clone AEC0144, em função de variações nas proporções de nitrato e amônio. Em cada coluna, as barras representam o erro padrão da média. Letras diferentes acima das barras indicam diferenças entre médias, pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

O índice SPAD é considerado um parâmetro importante para avaliar os efeitos de formas de N, em diferentes proporções, sobre o estado nutricional das folhas. Resultados obtidos por Guimarães e outros (2011), trabalhando com capim braquiária cv. Marandú, apontaram correlação

positiva entre o índice SPAD e o teor de N em tecidos foliares. Ruan e outros (2007), trabalhando com *Camellia sinensis*, constataram que os valores do índice SPAD em plantas nutridas com NO_3^- foram menores do que em plantas com NH_4^+ , devido à maior capacidade dessa espécie em assimilar este último íon.

Neste trabalho, os resultados mostraram uma tendência de que os maiores teores de N nas folhas acompanham os maiores índices SPAD (Figura 10). Entretanto, apesar de os índices SPAD apresentarem diferenças significativas entre os tratamentos, não foram constatadas diferenças significativas em parâmetros relacionados à fotossíntese, tais como condutância estomática e fotossíntese líquida.

Durante a condução do experimento, os parâmetros fotossintéticos e trocas gasosas não foram significativamente afetados pelas proporções de nitrato e amônio (Tabela 3). Esses resultados sugerem maior adaptação para usar NO_3^- e NH_4^+ , como fontes de N, na fase jovem de plantas do clone AEC0144, que pode, em parte, explicar a adaptação dessa espécie sob uma ampla faixa de condições ecológicas.

Um dos efeitos adversos do excesso da nutrição com amônio em plantas é o fechamento estomático, que resulta em inibição da taxa fotossintética (GUO e outros, 2012).

Na literatura, verifica-se que há controvérsias acerca dos resultados obtidos em vários trabalhos que avaliam a eventual influência das formas de N sobre a fotossíntese. Efeitos negativos sobre as taxas de fotossíntese líquida e trocas gasosas em plantas, nutridas com maior proporção de amônio no meio de cultivo, foram verificadas em *Abies fraseri* (ROTHSTEIN; CREGG, 2005), *Pinus radiata* (BOWN e outros, 2010), *Helianthus annuus*, híbrido Hélio 360 (SILVA e outros, 2010) e *Catharanthus roseus* (GUO e outros, 2012), provavelmente devido a efeitos tóxicos causados pelo excesso de NH_4^+ (BRITTO; KRONZUCKER, 2002). Entretanto, Guo e outros (2007) observaram maior fotossíntese líquida em plantas de *Oryza sativa* L. nutridas com NH_4^+ , além de maior teor de N foliar

nessas plantas. Segundo esse autor, os resultados demonstram correlação entre as concentrações de amônio e a quantidade de rubisco que, por sua vez, proporciona maiores taxas de fotossíntese líquida, o que sugere maior adaptabilidade da espécie à forma de N estudada. Trabalho realizado por Yao e outros (2011), com espécies arbóreas, revelou que a maior taxa de fotossíntese líquida foi relacionada com a preferência de cada espécie por nitrato ou amônio, além de relacionar também com o pH do meio externo à raiz (RAAB; TERRY, 1994).

O potencial hídrico foliar e o teor relativo de água não foram afetados pelas proporções de nitrato e amônio no meio de cultivo (Tabela 3). Resultados semelhantes foram obtidos em plantas de *Nicotiana tabacum* L. cv. Samsun (WALCH-LIU e outros, 2000) e *Oryza sativa* L. (GUO e outros, 2007), em que as formas de N não alteraram o potencial hídrico, mesmo com o aumento de solutos na seiva de plantas cultivadas com o amônio em solução hidropônica. Guo e outros (2007) comprovaram que diferentes formas de N influenciaram a tolerância de mudas de *Oryza sativa* L. ao estresse hídrico, e que a nutrição exclusivamente com o amônio proporciona maior resistência ao estresse hídrico, já que a produção de biomassa não diferiu entre plantas com e sem estresse hídrico e a relação RPAR diminuiu em plantas estressadas.

Nas Tabelas 7 e 8 (Apêndice), estão apresentados os resumos da análise de variância com os valores do coeficiente de variação, referentes às características fotossintéticas e condições hídricas das plantas, em função de diferentes proporções de nitrato e amônio.

Tabela 3 - Características fisiológicas em plantas jovens do clone AEC0144, aos 121 dias de idade, cultivadas em soluções hidropônicas com diferentes proporções de nitrato e amônio.

| Variáveis | Proporções $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ | | | | |
|---|--|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | 0/100 | 25/75 | 50/50 | 75/25 | 100/0 |
| A ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) | 9,89±0,64a | 10,48±0,93a | 11,64±0,81a | 9,34±0,87a | 10,88±2,1a |
| g_s ($\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) | 0,18±0,01a | 0,21±0,04a | 0,26±0,01a | 0,19±0,04a | 0,22±0,08a |
| E ($\text{mmol mol}^{-1} \text{s}^{-1}$) | 3,01±0,13a | 2,92±0,38a | 3,8±0,35a | 3,0±0,33a | 2,86±0,44a |
| C_i ($\mu\text{mol mol}^{-1}$) | 236,0±12,8a | 241,0±12,7a | 249,5±8,8a | 240,7±13,6a | 233,7±14,4a |
| EFUA ($\mu\text{mol CO}_2$ $\text{mmol H}_2\text{O}^{-1}$) | 1,81±0,21a | 1,91±0,29a | 1,75±0,14a | 1,76±0,17a | 1,93±0,51a |
| Ψ_w | 2,0±0,2a | 2,0±0,29a | 2,17±0,12a | 2,17±0,12a | 2,12±0,24a |
| TRA | 83,69±1,41a | 83,8±1,25a | 88,24±1,78a | 84,75±1,43a | 83,0±3,32a |

Os valores são apresentados como médias, \pm erro padrão da média. Nas linhas, médias seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$). Fotossíntese líquida (A) concentração interna de CO_2 (C_i), taxa transpiração (E), Condutância estomática (g_s), eficiência fotossintética do uso da água (EFUA), potencial hídrico (Ψ_w), teor relativo de água (TRA).

Na tabela 9 (Apêndice), estão apresentados os resumos da análise de variância com os valores do coeficiente de variação, referentes às concentrações dos macronutrientes na matéria seca de plantas jovens do clone AEC0144, em função de diferentes proporções de nitrato e amônio.

Os teores de alguns macronutrientes nas folhas (N, Ca, Mg e K) estão apresentados na Tabela 4. Os valores de P e S não estão apresentados porque estes não se enquadraram nos valores de normalidade (Lilliefors), mesmo após a transformação dos dados. Os dados do Mg foram transformados pelo Log (x).

Os teores médios dos macronutrientes nas folhas, do presente trabalho, foram comparados aos trabalhos de referência para *Eucalyptus* spp descritos por Malavolta (1987) e um clone híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, descrito por Silveira e outros (2002), no intuito de verificar aspectos relacionados à nutrição mineral do clone AEC0144 caracterizando os sintomas de deficiências de macronutrientes, de forma visual, nos tecidos foliares.

Houve efeito dos tratamentos nos teores de macronutrientes foliares durante o período experimental.

Tabela 4 - Concentrações médias de macronutrientes na matéria seca de folhas em plantas jovens do clone AEC0144, aos 121 dias de idade, cultivadas em diferentes proporções de nitrato e amônio.

| Proporções NO ₃ ⁻ /NH ₄ ⁺ | N | K | Ca | Mg |
|--|-----------------------------------|--------------|--------------|--------------|
| | ----- g Kg ⁻¹ MS ----- | | | |
| 0/100 | 21,55 ±0,10a | 11,22 ±0,01a | 5,47 ±0,02c | 2,65 ±0,003b |
| 25/75 | 18,00 ±0,04b | 10,95 ±0,01a | 6,50 ±0,03c | 2,62 ±0,002b |
| 50/50 | 18,52 ±0,18b | 10,67 ±0,02a | 10,50 ±0,05b | 2,60 ±0,004b |
| 75/25 | 16,70 ±0,04b | 9,82 ±0,01b | 13,92 ±0,05a | 3,02 ±0,002a |
| 100/0 | 17,97 ±0,08b | 9,87 ±0,01b | 12,55 ±0,03a | 2,72 ±0,007b |

Os valores são apresentados como médias ± erro padrão da média. Nas colunas, médias seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05).

Os teores médios dos macronutrientes nas folhas foram comparados aos teores de outros trabalhos de referência para *Eucalyptus* spp, descritos por Malavolta (1987), e também aos teores observados em um clone híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, descritos por Silveira e outros (2002). Este comparativo foi feito com o propósito de avaliar aspectos relacionados à nutrição mineral do clone AEC0144, sobretudo, no que se refere à ocorrência de possíveis sintomas de deficiências de macronutrientes, de forma visual, nos tecidos foliares.

As proporções de nitrato e amônio causaram alterações nos teores de macronutrientes foliares durante o período experimental. Em relação aos teores de N e K, verificou-se uma tendência de diminuição dos teores desses nutrientes, com o aumento da relação nitrato/amônio, sendo que no caso do N, isso se mostrou ainda mais evidente, já que o tratamento com NH₄⁺, como única fonte de N, foi superior aos demais.

Em relação aos teores de Ca e Mg, essa tendência se inverteu, ou seja, os teores desses nutrientes aumentaram com o aumento da relação

nitrato/amônio, sendo que no caso do Mg, isso se mostrou ainda mais evidente com a proporção 75/25, que foi superior aos demais tratamentos.

As condições de cultivo e a espécie da planta são os principais elementos que influem sobre quais cátions estarão mais exauridos (WALCH-LIU e outros, 2000; HELALI e outros, 2010). Sob tais condições, a absorção de amônio catiônico (NH_4^+) pode inibir a absorção de outros cátions inorgânicos (BRITTO; KRONZUCKER, 2005).

Os teores de N encontraram-se acima dos valores recomendados por Malavolta (1987), em todos os tratamentos, exceto na proporção 75/25. De acordo com Shedley e outros (1995), para avaliar o teor de referência de N em plantas de eucalipto, é preciso determinar a forma de N fornecido na nutrição nitrogenada. Warren e Adams (2002) mostraram que a concentração de N nas folhas aumentou com a nutrição de amônio, fornecendo evidências adicionais de armazenamento N na espécie *Pinus pinaster*. Plantas cultivadas em meio que contém apenas amônio como fonte de N, frequentemente, exibem consumo de luxo desse nutriente e apresentam baixa eficiência no uso do N (BOWN e outros, 2010).

Os teores de K nas folhas, em todos os tratamentos, se apresentaram em níveis compatíveis com as recomendações convencionais para a cultura do eucalipto (MALAVOLTA, 1987; SILVEIRA e outros, 2002).

Apesar dos teores de Ca e Mg, nas proporções 0/100 e 25/75, estarem abaixo dos valores de referência, esses teores não chegaram a atingir o limite de deficiência para esses nutrientes. As demais proporções apresentaram teores de Ca considerados adequados. Em relação ao Mg, somente a proporção 75/25 apresentou teor considerado adequado. Estes resultados sugerem que o aumento da proporção de amônio na solução hidropônica pode causar menor absorção de Ca e Mg.

Alguns autores (MARSCHNER, 1995; PRADO, 2008) relatam que as taxas de absorção de Ca e Mg pelas plantas podem ser afetadas por variações nas proporções de nitrato e amônio na solução do solo. Noller e Rhykerd (1974), trabalhando com forrageira, ao utilizarem o nitrogênio na

forma de nitrato, observaram aumento no teor de cálcio em tecidos foliares. Van Beusichem e outros (1988), trabalhando com mamona, encontraram teores [em meq (100 g)⁻¹ massa seca] de 85 e 28 para Ca e Mg, respectivamente, em solução contendo apenas nitrato como fonte de N; e de 43 e 22 para Ca e Mg, respectivamente, em solução contendo apenas amônio. Segundo Malavolta (2006), tais efeitos podem ser caracterizados como inibição da absorção de Ca e Mg, causada por elevadas concentrações de amônio na solução nutritiva.

Helali e outros (2010), trabalhando com *Arabidopsis thaliana*, consideraram que os baixos teores de K e Ca, encontrados em tecidos foliares de plantas nutridas apenas com amônio como fonte de N, foram algumas das causas que resultaram em menor crescimento das plantas. Os cátions inorgânicos são frequentemente escassos em tecidos de plantas cultivadas com amônio como única fonte de N, e isso pode estar relacionado a uma das possíveis causas de toxidez ocasionada por esta forma de nutrição nitrogenada (HACHIYA e outros, 2012). Contudo, cabe registrar que, durante o período experimental, apesar das alterações verificadas nos teores de macronutrientes, as plantas não manifestaram quaisquer sintomas visíveis de toxicidade causada pelo excesso de amônio, tais como necrose marginal e clorose nas folhas. Em geral, a proporção 75/25 apresentou níveis considerados como adequados para todos os macronutrientes foliares analisados.

5 CONCLUSÕES

1. A proporção 75/25 de nitrato e amônio foi a que mais favoreceu o crescimento das plantas, com base na expansão dos tecidos e órgãos e no acúmulo de biomassa. Contudo, algumas características fisiológicas, associadas ao crescimento, tais como fotossíntese líquida, estado hídrico e metabolismo de assimilação do nitrogênio, não chegaram a ser significativamente afetadas por variações nas proporções dessas fontes nitrogenadas;
2. As proporções de nitrato e amônio causaram alterações no estado nutricional das plantas, mas essas alterações não chegaram a causar sintomas visíveis de carência ou excesso de macronutrientes nos tecidos foliares;
3. O pH das soluções hidropônicas sofreu alterações significativas em função das proporções de nitrato e amônio, sobretudo, quando se utiliza somente uma das fontes nitrogenadas.

REFERÊNCIAS

ANDREWS, M. et al. Constitutive nitrate reductase activity in the leguminosae. **Phytochemistry**, v. 29, p. 49-54, 1990.

ARAÚJO, A. R. A.; FONSECA, F. S. T.; HENDGES, T. L. Análise de viabilidade econômica da produção de eucalipto na cidade de Balsas-MA para a geração de energia. **Revista Científica Faculdade de Balsas**, n.1, 2010.

ARSLAN, H.; GÜLERYÜZ, G. A study on nitrate reductase activity (NRA) of geophytes from Mediterranean environment. **Flora**, v. 200, p. 434-443, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS. **Anuário Estatístico da ABRAF 2012: ano base 2011** Disponível em: <http://www.abraflor.org.br/> Acesso em: 17 de agosto de 2012.

BAYALA, J. et al. Predicting field performance of five irrigated tree species using seedling quality assessment in Burkina Faso, West Africa. **New Forests**, v. 38, p. 309-322, 2009.

BENNETT, I. J.; MCDAVID, D. A. J.; MCCOMB, J. A. The influence of ammonium nitrate, pH and indol butyric acid on root induction and survival in soil of micropropagated *Eucalyptus globulus*. **Biologia Plantarum**, v. 47, p. 355-360, 2003.

BIJLSMA, R. J.; LAMBERS, H.; KOOIJMAN, S. A. L. M. A dynamic whole-plant model of integrated metabolism of nitrogen and carbon. 1. Comparative ecological implications of ammonium-nitrate interactions. **Plant and Soil**, v. 220 p. 49-69, 2000.

BOWN, H. E. et al. Influence of ammonium and nitrate supply on growth, dry matter partitioning, N uptake and photosynthetic capacity of *Pinus radiata* seedlings. **Trees - Structure and Function**, v. 24, p. 1097-1107, 2010.

BRAND, M. H. Agar and ammonium nitrate influence hyperhydricity, tissue nitrate and total nitrogen content of serviceberry (*Amelanchier arborea*) shoots *in vitro*. **Plant Cell, Tissue and Organ Culture**, v. 35, p. 203-209, 1993.

BRITTO, D. T. et al. Futile transmembrane NH_4^+ cycling: A cellular hypothesis to explain ammonium toxicity in plants. **Plant Biology**, v. 98, p. 4255-4258, 2001.

BRITTO, D. T.; KRONZUCKER, H. J. NH_4^+ toxicity in higher plants: a critical review. **Journal of Plant Physiology**, v. 159, p. 567-584, 2002.

BRITTO, D. T.; KRONZUCKER, H. J. Nitrogen acquisition, PEP carboxylase, and cellular pH homeostasis: new views on old paradigms. **Plant, Cell & Environment**, v. 28, p. 1396-1409, 2005.

CAIRO, P. A. R.; OLIVEIRA, L. E. M.; DÉLU FILHO, N. Determinação das condições ótimas para o ensaio "in vivo" da redutase de nitrato em algumas espécies arbóreas. **Revista Árvore**, v. 18, n.1, p. 79-86, 1994.

CARNEIRO, J. G. A. **Produção e controle de qualidade de mudas florestais**. Curitiba: UFPR/FUPEF, 1995. 451p.

CHANG, J. et al. $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ ratios affect the growth and N removal ability of *Acorus calamus* and *Iris pseudacorus* in a hydroponic system. **Aquatic Botany**, v. 93, p. 216-220, 2010.

CHAPIN, F. S. et al. Plant responses to multiple environmental factors. **Bioscience**, v. 37, p. 49-57, 1987.

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

CLAUSSEN, W.; LENZ, F. Effect of ammonium and nitrate on net photosynthesis, flower formation, growth and yield of eggplants (*Solanum melongena* L.). **Plant and Soil**, v. 171, p. 267-274, 1995.

CLAUSSEN, W.; LENZ, F. Effect of ammonium or nitrate nutrition on net photosynthesis, growth, and activity of the enzymes nitrate reductase and glutamine synthetase in blueberry, raspberry and strawberry. **Plant and Soil**, v. 208, p. 95-102, 1999.

COUTINHO, J. L. B. et al. Avaliação do comportamento de espécies de *Eucalyptus* spp. na zona da mata pernambucana. I: resultados do primeiro ano – 2001. **Revista Árvore**, v. 28, n. 6, p. 771-775, 2004.

CRUZ, C. A. F. et al. Produção de mudas de canafístula cultivadas em latossolo vermelho amarelo álico em resposta a macronutrientes. **Cerne**, v. 18, n.1, p. 87-98, 2012.

DAVIS, A. S.; JACOBS, D. F. Quantifying root system quality of nursery seedlings and relationship to outplanting performance. **New Forests**, v. 30, p. 295-311, 2005.

DICKSON, A.; LEAF, A. L.; HOSNER, J. F. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. **Forest Chronicle**, Mattawa, v. 36, p. 10-13, 1960.

DOMÍNGUEZ-VALDIVIA, M. D. et al. Nitrogen nutrition and antioxidant metabolism in ammonium-tolerant and -sensitive plants. **Physiologia Plantarum**, v. 132, p. 359-369, 2008.

DRUART, N. et al. Nitrate assimilation in chicory roots (*Cichorium intybus* L.) which acquire radial growth. **Journal of Experimental Botany**, v. 51, n. 344, p. 539-546, 2000.

ESCOBAR, M. A.; GEISLER, D. A.; RASMUSSEN, A. G. Reorganization of the alternative pathways of the Arabidopsis respiratory chain by nitrogen supply: opposing effects of ammonium and nitrate. **The Plant Journal**, v. 45, p. 775-788, 2006.

ESPOSITO, S. et al. Glutamate synthase activities and protein changes in relation to nitrogen nutrition in barley: the dependence on different plastidic glucose-6P dehydrogenase isoforms. **Journal of Experimental Botany**, v. 56, p. 55-64, 2005.

FANGMEIER, A. et al. Effects of atmospheric ammonia on vegetation – A review. **Environmental Pollution**, v. 86, p. 43-82, 1994.

FERNANDES, E. T. **Fotossíntese e crescimento inicial de clones de eucalipto sob diferentes regimes hídricos**. 2012. 114p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Vitória da Conquista-BA.

FERRAZ, A. V.; ENGEL, V. L. Efeito do tamanho de tubetes na qualidade de mudas de jatobá (*Hymenaea courbaril* L. VAR. *stilbocarpa* (HAYNE) LEE ET LANG.), ipê-amarelo (*Tabebuia chrysotricha* (MART. EX DC.) SANDL.) e guarucaia (*Parapiptadenia rigida* (BENTH.) BRENNAN). **Revista Árvore**, v. 35, n. 3, p. 413-423, 2011.

FORDE, B. G. Local and long-range signaling pathways regulating plant responses to nitrate. **Annual Reviews of Plant Biology**, v. 53, p. 203-224, 2002.

FRECHILLA, S. et al. Short-term ammonium supply stimulates glutamate dehydrogenase activity and alternative pathway respiration in roots of pea plants. **Journal of Plant Physiology**, v. 159, p. 811-818, 2002.

GARNETT, T. P. et al. Kinetics of ammonium and nitrate uptake by eucalypt roots and associated proton fluxes measured using ion selective microelectrodes. **Functional Plant Biology**, v. 30, p. 1165-1176, 2003.

GARNETT, T. P. et al. Simultaneous measurement of ammonium, nitrate and proton fluxes along the length of eucalypt roots. **Plant and Soil**, v. 236, p. 55-62, 2001.

GARNETT, T. P.; SMETHURST, P. J. Ammonium and nitrate uptake by *Eucalyptus nitens*: the effect of pH and temperature. **Plant and Soil**, v. 214, p. 133-140, 1999.

GARNICA, M. et al. Nitrate modifies urea root uptake and assimilation in wheat seedlings. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 89, p. 55-62, 2009.

GERENDÁS, J. et al. Physiological and biochemical processes related to ammonium toxicity in higher plants. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 160 p. 239-251, 1997.

GOMES, J. M. et al. Parâmetros morfológicos na avaliação da qualidade de mudas de *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, v. 26, n. 6, p. 655-664, 2002.

GOMIDE, J. L.; FANTUZZI NETO, H.; REGAZZI, A. J. Análise de critérios de qualidade da madeira de eucalypto para produção de celulose kraft. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 34, n. 2, p.339-344, 2010.

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

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**, v. 22, p. 667-674, 1998.

GUIMARÃES, M. M. C. et al. Estimativa da composição química do Capim Braquiária cv. Marandú por meio de um clorofilômetro portátil. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada às Ciências Agrárias**, v.4, n.2, p.85-98, 2011.

GUO, S. et al. Ammonium nutrition increases photosynthesis rate under water stress at early development stage of rice (*Oryza sativa* L.). **Plant and Soil**, v. 296, p. 115-124, 2007.

GUO, X. R.; ZU, Y.G.; TANG, Z. H. Physiological responses of *Catharanthus roseus* to different nitrogen forms. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 34, p. 589-598, 2012.

HACHIYA, T. et al. Nitrate addition alleviates ammonium toxicity without lessening ammonium accumulation, organic acid depletion and inorganic

cation depletion in *Arabidopsis thaliana* shoots. **Plant and Cell Physiology**, v. 53, p. 577-591, 2012.

HACHIYA, T.; TERASHIMA, I.; NOGUCHI, K. Increase in respiratory cost at high growth temperature is attributed to high protein turnover cost in *Petunia x hybrida* petals. **Plant, Cell and Environment**, v. 30, p. 1269-1283, 2007.

HAVLIN, J. L. et al. Soil fertility and fertilizers. **An introduction to nutrient management**. 7. ed. New Jersey, Pearson Prentice Hall, 515p. 2005.

HELALI, S. M. et al. Influence of nitrate-ammonium ratio on growth and nutrition of *Arabidopsis thaliana*. **Plant and Soil**, v. 336, p. 65-74, 2010.

HIGASHI, K.; KAMADA, H.; HARADA, H. The effects of reduced nitrogenous compounds suggest that glutamine synthetase activity is involved in the development of somatic embryos in carrot. **Plant Cell, Tissue and Organ Culture**, v. 45, n. 2, p. 109-14, 1996.

IVANOVA, M.; STADEN, J. V. Nitrogen source, concentration, and $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$ ratio influence shoot regeneration and hyperhydricity in tissue cultured *Aloe polyphylla*. **Plant Cell, Tissue and Organ Culture**, v. 99, p. 167-174, 2009.

JOSÉ, A. C.; DAVIDE, A. C.; OLIVEIRA, S. L. Produção de mudas de aroeira (*Schinus terebinthifolius* Raddi) para recuperação de áreas degradadas pela mineração de bauxita. **Cerne**, v. 11, n. 2, p. 187-196, 2005.

KOYAMA, L.; TOKUCHI, N. Effects of NO_3^- availability on NO_3^- use in seedlings of three woody shrub species. **Tree Physiology**, v. 23, p. 281-288, 2003.

KRONZUCKER, H. J.; SIDDIQI, M. Y.; GLASS, A. D. M. Conifer root discrimination against soil nitrate and the ecology of forest succession. **Nature**, v. 385, p. 59-61, 1997.

LASA, B. et al. Role of glutamate dehydrogenase and phosphoenolpyruvate carboxylase activity in ammonium nutrition tolerance in roots. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 40, p. 969-976, 2002.

LEE, J. A.; STEWART, G. R. Ecological aspects of nitrogen assimilation. **Advances in Botanical Research**, v. 6, p. 1-43, 1978.

LEEGOOD, R. et al. The regulation and control of photorespiration. **Journal of Experimental Botany**, v. 46, p. 1397-1414, 1995.

LIU, X.J.; XU, Z. S.; ZHANG, N. N. Effects of different culture media on the growth of Indian sandalwood (*Santalum album* L.) seedlings in Zhanjiang, Guangdong, southern China. **Forestry Studies in China**, v. 11, n. 2, p. 132-138, 2009.

LOTHIER, J. et al. The cytosolic glutamine synthetase GLN1;2 plays a role in the control of plant growth and ammonium homeostasis in *Arabidopsis rosettes* when nitrate supply is not limiting. **Journal of Experimental Botany**, v. 62, n. 4, p. 1375-1390, 2010.

MALAVOLTA, E. **Manual de calagem e adubação das principais culturas**. São Paulo: Editora Ceres, 1987. 495p.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição de plantas**. São Paulo, Ceres, 2006. 638p.

MALAVOLTA, E.; VITII, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba, Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1997. 319p.

MARENCO, R. A.; LOPES, N. F. **Fisiologia vegetal: fotossíntese, respiração, relações hídricas e nutrição mineral**. 3. ed. Viçosa, UFV, 2009. 486p.

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

MARTIN, B.; COSSALTER, C. Les *Eucalyptus* des Iles de la Sonde. **Bois et forêts des tropiques**, v. 163; p. 3-25, 1975.

MATTSSON, A. Predicting field performance using seedling quality assessment. **New Forests**, v. 13, p. 227-252, 1997.

MEHARG, A. A.; BLATT, M, R. NO₃⁻ transport across the plasma membrane of *Arabidopsis thaliana* root hairs: kinetic control by pH and membrane voltage. **Journal of Membrane Biology**, v. 145, p. 49-66, 1995.

MESQUITA, J. B.; LIMA, J. T.; TRUGILHO, P. F. Microbiota associada à madeira serrada de *Eucalyptus grandis* Hill ex maiden durante a secagem ao ar livre. **Ciência Florestal**, v.16, n.1, p. 45-50, 2006.

MIFLIN, B. J.; HABASH, D. Z. The role of glutamine synthetase and glutamate dehydrogenase in nitrogen assimilation and possibilities for improvement in the nitrogen utilization of crops. **Journal of Experimental Botany**, v. 53, p. 979-987, 2002.

MILLER, A. J.; CRAMER, M. D. Root nitrogen acquisition and assimilation. **Plant and Soil**, v. 274, p.1-36, 2004.

- MÜHLING, K. H.; LÄUCHLI, A. Influence of chemical form and concentration of nitrogen on apoplastic pH of leaves. **Journal of Plant Nutrition**, v. 24, p. 399-411, 2001.
- NICODEMUS, M. A.; SALIFU, K. F.; JACOBS, D. F. Nitrate reductase activity and nitrogen compounds in xylem exudate of *Juglans nigra* seedlings: relation to nitrogen source and supply. **Trees-Structure and Function**, v. 22, p. 685-695, 2008.
- NOLLER, C. H.; RHYKERD, C. L. Relationship of nitrogen assimilation and chemical composition of forage to animal health and performance. In: MAYS, D. A. (Ed.) **Forage fertilization**. Madison, American Society of Agronomy, 1974. p. 363-387.
- OAKS, A. A re-evaluation of nitrogen assimilation in roots. **Bioscience**, v. 42, p. 103-111, 1992.
- OAKS, A. Primary nitrogen assimilation in higher plants and its regulation. **Canadian Journal Botany**, v.72, p. 739-750. 1994.
- OLIVEIRA JÚNIOR, O. A.; CAIRO, P. A. R.; NOVAES, A. B. Características morfofisiológicas associadas à qualidade de mudas de *Eucalyptus urophylla* produzidas em diferentes substratos. **Revista Árvore**, v.35, n.6, p.1173-1180, 2011.
- PAIVA, Y. G. et al. Zoneamento agroecológico de pequena escala para *Toona ciliata*, *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla* na Bacia Hidrográfica do Rio Itapemirim – ES, utilizando dados SRTM. **Anais... XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Florianópolis, INPE, p. 1785-1792, 2007.
- PARK, S. W. Effect of sealed and vented gaseous microenvironments on the hyperhydricity of potato shoots *in vitro*. **Scientia Horticulturae**, v. 99, p. 199-205, 2004.
- PATE, J. S. Patterns of nitrogen metabolism in higher plants and their ecological significance. In: LEE, J. A.; McNEIL, S.; RORISON, I. H. **Nitrogen as an ecological factor**. Oxford, Blackwell Scientific Publications, p. 225-255. 1983.
- PATE, J. S. Transport and partitioning of nitrogenous solutes. **Annual Review of Plant Physiology**, v. 31 p. 313-340, 1980.
- PFAUTSCH, S. et al. Nitrogen uptake by *Eucalyptus regnans* and *Acacia* spp. - preferences, resource overlap and energetic costs. **Tree Physiology**, v. 29, p. 389-399, 2009.

- PRADO, R. M. **Nutrição de plantas**. São Paulo, Editora UNESP, 2008. 407p.
- RAAB, T. K.; TERRY, N. Nitrogen source regulation of growth and photosynthesis in *Beta vulgaris* L. **Plant Physiology**, v. 105, p. 1159-1166, 1994.
- RAHAYU, Y. S. et al. Root-derived cytokinins as long-distance signals for NO₃⁻-induced stimulation of leaf growth. **Journal of Experimental Botany**, v. 56, p. 1143-1152. 2005.
- REMADE, **Revista da Madeira**. Ano 11 - n. 59, setembro de 2001. Disponível em: <http://www.remade.com.br>, Acesso em: 11/04/2012.
- ROOSTA, H. R.; SCHJOERRING, J. K. Effects of ammonium toxicity on nitrogen metabolism and elemental profile of cucumber plants. **Journal of Plant Nutrition**, v. 30 p. 1933-1951, 2007.
- ROSALES, E. P. M. F. et al. Nitric oxide inhibits nitrate reductase activity in wheat leaves. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 49, p. 124-130, 2011.
- ROTHSTEIN, D. E.; CREGG, B. M. Effects of nitrogen form on nutrient uptake and physiology of Fraser fir (*Abies fraseri*). **Forest Ecology and Management**, v. 219, p. 69-80, 2005.
- RUAN, J. et al. Effect of nitrogen form and root-zone pH on growth and nitrogen uptake of tea (*Camellia sinensis*) plants. **Annals of Botany**, v. 99, p. 301-310, 2007.
- SAKAKIBARA, H.; TAKEI, K.; HIROSE, N. Interactions between nitrogen and cytokinin in the regulation of metabolism and development. **Trends in Plant Science**, v. 11, p. 440-448, 2006.
- SCHOLANDER, P. F. et al. Hydrostatic pressure and osmotic potentials in leaves of mangroves and some other plants. **Proceedings of National Academy Science**, v. 51, p.119-125, 1965.
- SCHORTEMAYER, M.; STAMP, P.; FEIL, B. Ammonium tolerance and carbohydrate status in maize cultivars. **Annals of Botany**, v. 79, p. 25-30, 1997.
- SHAN, A. Y. K. V. et al. Assimilação metabólica de nitrogênio em plântulas de seringueira cultivadas com nitrato ou amônio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 6, p. 754-762, 2012.
- SHEDLEY, E.; DELL, B.; GROVE, T. Diagnosis of nitrogen deficiency and toxicity of *Eucalyptus globulus* seedlings by foliar analysis. **Plant and Soil**, v. 177, p. 183-189, 1995.

SILVA, P. C. C.; COUTO, J. L.; SANTOS, A. R. Absorção dos íons amônio e nitrato e seus efeitos no desenvolvimento do girassol em solução nutritiva. **Revista da FZVA**, v. 17, n. 1, p. 104-114, 2010.

SILVA, R. F. et al. Crescimento e qualidade de mudas de Timbó e Dedaleiro cultivadas em solo contaminado por cobre. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.8, p. 881-886, 2012.

SILVEIRA, R. L. V. A. et al. Sintomas de deficiência de macronutrientes e de boro em clones híbridos de *Eucalyptus grandis* com *Eucalyptus urophylla*. **Cerne**, v.8, p. 107-116, 2002.

SKIRVIN, R. M.; MCPHEETERS, K. D.; NORTON, M. Sources and frequency of somaclonal variation. **HortScience**, v. 29, p. 1232-1237. 1994.

SMITH, F. A.; RAVEN, J. A. Intracellular pH and its regulation. **Annual Review of Plant Physiology**, v. 30 p. 289-311, 1979.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 4. ed. Trad. de E. R. SANTARÉM et al. Porto Alegre, Artmed, 2009. 848p.

TAKEI, K. et al. AtIPT3 is a key determinant of nitrate-dependent cytokinin biosynthesis in Arabidopsis. **Plant and Cell Physiology**, v. 45, p. 1053-1062, 2004.

VAN BEUSICHEM, M. L.; KIRKBY, E. A.; BAAS, R. Influence of nitrate and ammonium nutrition and the uptake, assimilation, and distribution of nutrients in *Ricinus communis*. **Plant Physiology**, v. 86, p. 914-921, 1988.

VITOUSEK, P. M.; HOWARTH, R. W. Nitrogen limitation on land and in the sea - how can it occur? **Biogeochemistry**, v. 13, p. 87-111, 1991.

VIVAN, G. A. et al. Estudo técnico e econômico de um sistema móvel de extração de óleo essencial de eucalipto. **Cerne**, v.17, n.1, p. 23-31, 2011.

VOJTÍŠKOVÁ, L. et al. Growth and biomass allocation of sweet flag (*Acorus calamus* L.) under different nutrient conditions. **Hydrobiologia**, v. 518, p. 9-22, 2004.

WALCH-LIU, P. et al. Rapid effects of nitrogen form on leaf morphogenesis in tobacco. **Journal of Experimental Botany**, v. 51, n. 343, p. 227-237, 2000.

WALCH-LIU, P.; NEUMANN, G.; ENGELS, C. Response of shoot and root growth to supply of different nitrogen form is not related to carbohydrate and nitrogen status of tobacco plants. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 164, p. 97-103, 2001.

WALECKA-HUTCHISON, C. M.; WALWOTH, J. L. Evaluating the effects of gross nitrogen mineralization, immobilization, and nitrification on nitrogen fertilizer availability in soil experimentally contaminated with diesel. **Biodegradation**, v. 18, n. 2, p. 133-144, 2007.

WANG, R. et al. Genomic analysis of the nitrate response using a nitrate reductase-null mutant of Arabidopsis. **Plant Physiology**, v. 136, p. 2512-2522, 2004.

WARREN, C. R. Potential organic and inorganic N uptake by six eucalyptus species. **Functional Plant Biology**, v. 33, p. 653-660, 2006.

WARREN, C. R.; ADAMS, M. A. Possible causes of slow growth of nitrate-supplied *Pinus pinaster*. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 32, n. 4, p. 569-580, 2002.

WEIGELT, A.; BOL, R.; BARDGETT, R. D. Preferential uptake of soil nitrogen forms by grassland plant species. **Oecologia**, v. 142, n. 4, p. 627-635, 2005.

WILLIAMS, R. R. Mineral nutrition in vitro—a mechanistic approach. **Australian Journal of Botany**, v. 41, p. 237-251, 1993.

WOODWARD, A. J.; BENNETT, I. J.; PUSSWONGE, S. The effect of nitrogen source and concentration, medium pH and buffering on in vitro shoot growth and rooting in *Eucalyptus marginata*. **Scientia Horticulturae**, v. 110, p. 208-213, 2006.

YAO, B. et al. Influence of ammonium and nitrate supply on growth, nitrate reductase activity and N-use efficiency in a natural hybrid pine and its parents. **Journal of Plant Ecology**, v. 4, p. 275-282, 2011.

ZERIHUN, A.; MCKENZIE, B. A.; MORTON, J. D. Photosynthate costs associated with the utilization of different nitrogen forms: influence on the carbon balance of plants and shoot-root biomass partitioning. **New Phytologist**, v. 138, p. 1-11, 1998.

ZHANG, F. C. et al. Growth and major nutrient concentrations in *brassica campestris* supplied with different $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ ratios. **Journal of Integrative Plant Biology**, v. 49, p. 455-462, 2007.

ZHANG, X. K.; RENGEL, Z. Gradients of pH, ammonium, and phosphorus between the fertilizer band and wheat roots. **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 50, n. 3, p. 365-373, 1999.

ZHANG, X. K.; RENGEL, Z. Soil solution composition in association with the toxicity of banded di-ammonium phosphate to wheat and amelioration by

CaCO₃. **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 54, p. 183-191, 2003.

APÊNDICE

Tabela 5 - Resumo da análise de variância para altura de plantas (H), diâmetro de colo (D), biomassa de raiz (MSR), biomassa da parte aérea (MSPA) e biomassa total (MST) em plantas jovens do clone AEC0144, aos 121 dias de idade, cultivadas em soluções hidropônicas com diferentes proporções de nitrato e amônio.

| FV | GL | Quadrados Médios | | | | |
|------------|----|------------------|---------------------|----------|----------|----------|
| | | H | D | MSR | MSPA | MST |
| Tratamento | 4 | 258,675* | 0,675 ^{ns} | 46,571** | 178,118* | 356,232* |
| Resíduo | 15 | 79,6166 | 0,633 | 7,1513 | 40,9894 | 55,8409 |
| CV (%) | | 9,53 | 6,26 | 11,81 | 10,37 | 8,85 |

** e F significativos a 1 e 5% de probabilidade; ^{ns} F não significativo a 5% de probabilidade.

Tabela 6 - Resumo da análise de variância para relação biomassa da parte aérea/raiz (RPAR), Índice de Qualidade de Dickson (IQD), relação altura/diâmetro (RAD), número de folhas (NF) e área foliar (AF) em plantas jovens do clone AEC0144, aos 121 dias de idade, cultivadas em soluções hidropônicas com diferentes proporções de nitrato e amônio.

| FV | GL | Quadrados Médios | | | | |
|------------|----|----------------------|---------|-----------|-----------------------|-----------|
| | | RPAR | IQD | RAD | NF | AF |
| Tratamento | 4 | 0,3724 ^{ns} | 0,494** | 228,895** | 812,325 ^{ns} | 679341,3* |
| Resíduo | 15 | 0,139 | 0,1089 | 46,2958 | 360,6167 | 209154,4 |
| CV (%) | | 13,44 | 9,42 | 9,21 | 11,64 | 9,25 |

** e F significativos a 1 e 5% de probabilidade; ^{ns} F não significativo a 5% de probabilidade.

Tabela 7 - Resumo da análise de variância para potencial hídrico (Ψ_w), teor relativo de água (TRA), índice SPAD e atividade da redutase do nitrato (ARN) em plantas jovens do clone AEC0144, aos 121 dias de idade, cultivadas em soluções hidropônicas com diferentes proporções de nitrato e amônio.

| FV | GL | Quadrados Médios | | | |
|------------|----|----------------------|-----------------------|---------|-----------|
| | | Ψ_w | TRA | SPAD | ARN |
| Tratamento | 4 | 0,0317 ^{ns} | 17,2729 ^{ns} | 6,432* | 0,00002** |
| Resíduo | 15 | 0,1681 | 15,8419 | 1,48516 | 0,000002 |
| CV (%) | | 19,57 | 4,69 | 2,92 | 35,94 |

** e F significativos a 1 e 5% de probabilidade; ^{ns} F não significativo a 5% de probabilidade.

Tabela 8 - Resumo da análise de variância para taxa fotossintética (*A*), condutância estomática (*G_s*), transpiração (*E*), concentração interna de CO₂ (*C_i*) e eficiência fotossintética do uso da água (EFUA) em plantas jovens do clone AEC0144, aos 121 dias de idade, cultivadas em soluções hidropônicas com diferentes proporções de nitrato e amônio.

| FV | GL | Quadrados Médios | | | | |
|------------|----|----------------------|-----------------------|-----------------------|---------------------|----------------------|
| | | A | G _s | E | C _i | EFUA |
| Tratamento | 4 | 1,6544 ^{ns} | 0,08325 ^{ns} | 0,39564 ^{ns} | 96,55 ^{ns} | 0,0268 ^{ns} |
| Resíduo | 15 | 2,0081 | 0,18966 | 0,19539 | 123,40 | 0,0231 |
| CV (%) | | 8,33 | 11,19 | 10,31 | 4,70 | 8,28 |

^{ns} F não significativo a 5% de probabilidade.

Tabela 9 - Resumo da análise de variância para os teores de macronutrientes: nitrogênio (N), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) em plantas jovens do clone AEC0144, aos 121 dias de idade, cultivadas em soluções hidropônicas com diferentes proporções de nitrato e amônio.

| FV | GL | Quadrados Médios | | | |
|------------|----|-----------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|
| | | N | K | Ca | Mg |
| Tratamento | 4 | 0,13056 ^{**} | 0,01605 ^{**} | 0,54663 ^{**} | 0,0018 ^{**} |
| Resíduo | 15 | 0,01782 | 0,00091 | 0,00684 | 0,00012 |
| CV (%) | | 7,2 | 2,86 | 8,45 | 2,45 |

^{**} e ^{*} F significativos a 1 e 5% de probabilidade; ^{ns} F não significativo a 5% de probabilidade.