*Silva Lusitana* ***11****(2): 153 - 163, 2003*
*© EFN, Lisboa. Portugal*


# Efeito de Vários Nutrientes no Crescimento *in vitro* de Raízes de *Eucalyptus globulus*

**Filomena Gomes*, Joana M. Santos** e Jorge M. Canhoto*****
*Eq. Professora Adjunta
**Bolseira
CERNAS. Departamento Florestal. Escola Superior Agrária de Coimbra. Bencanta, 3040-316 COIMBRA
***Professor Auxiliar
IAV. Departamento de Botânica. FCT Universidade de Coimbra. Calçada Martim de Freitas, 3001-455 COIMBRA

**Sumário:** O padrão de desenvolvimento de raízes de plântulas de *Eucalyptus globulus* germinadas *in vitro* (caixas de Petri) foi estudado em função da concentração de vários sais no meio de cultura. Num primeiro ensaio testaram-se 3 sais ($NH_4NO_3$, $KH_2PO_4$ e $KNO_3$) e 6 concentrações (0,01; 0,1; 1; 10; 50 e 100 mM), tendo-se analisado os seguintes parâmetros: (1) germinação, (2) número e (3) comprimento de raízes (primárias e laterais) e (4) biomassa/peso fresco radicular. Num ensaio ulterior, as caixas de Petri foram divididas em 3 zonas (superior, intermédia e inferior) testando-se 6 sais ($KNO_3$, KCl, $KH_2PO_4$, $NH_4NO_3$, $Ca(NO_3)_2$ e $CaCl_2$) na posição intermédia (a 1 mM). Foram analisados os parâmetros: número e comprimento das raízes laterais em função do composto testado. No primeiro ensaio, verificou-se que concentrações de 100 mM foram inibidoras da germinação. O maior comprimento das raízes laterais e o maior peso fresco radicular foram observados na presença de $KNO_3$ a 1 mM. O maior número de raízes primárias registou-se com $KH_2PO_4$. No 2º ensaio, o maior número e comprimento de raízes laterais, na posição intermédia, foi observado com $KNO_3$ a 1 mM. Estes resultados preliminares pretendem avaliar o papel e a interacção de vários nutrientes no crescimento e na arquitectura do sistema radicular, de *Eucalyptus globulus*, podendo contribuir, no futuro, para uma gestão sustentável da água e do solo.
**Palavras-chave**: eucalipto; sais minerais; sistema radicular; plântulas

**Abstratct**: Root growth and architecture of *in vitro* (in Petri dishes) growing seedlings of *Eucalyptus globulus* was studied in the presence of several nutrients ($NH_4NO_3$, $KH_2PO_4$ and $KNO_3$) and nutrient concentration (0.01; 0.1; 1; 10; 50 and 100 mM). In a first set of experiments seeds were germinated in the presence of the above-mentioned nutrients and the effect of several nutrient concentration determined. The following parameters were evaluated: 1) seed germination, 2) number of primary and lateral roots, 3) root length and 4) root biomass. In a second experiment Petri dishes were divided in three zones (top, middle, bottom) and the role of six salts ($KNO_3$, KCl, $KH_2PO_4$, $NH_4NO_3$, $Ca(NO_3)_2$ and $CaCl_2$) on the middle position was analysed. The parameters studied in this case were the number and length of lateral roots. The results showed that, for all salts, concentrations of 100 mM were inhibitory of seed germination. Best results for biomass and lateral root length were achieved when 1 mM $KNO_3$ was used. When primary root number was the factor analysed $KH_2PO_4$ gave the best results. In the

1º Autor E-mail: fgomes@mail.esac.pt

second group of experiments it was found that the presence of 1 mM of $KNO_3$ at the middle position induced the best results concerning both lateral root number and root length. These preliminary results represent a first attempt to evaluate the role and interactions of several major nutrients on *Eucalyptus globulus* root growth and root architecture and can, in the future, give new insights about soil management and sustainability.
**Key words:** eucalypts; nutrients; root system; seedlings

**Résumé**: La distribution des racines de plantules d'*Eucalyptus globulus in vitro* (boîtes de Petri) a été étudiée en fonction de la concentration des sels au milieu de culture. Dans un premier essai ont été testés 3 sels ($NH_4NO_3$, $KH_2PO_4$ et $KNO_3$) et 6 concentrations (0.01; 0.1; 1; 10; 50 et 100 mM). Les paramètres analysés ont été les suivants: taux de germination, biomasse, nombre et longueur des racines (primaires et latérales). Dans un essai ultérieur, les boîtes de Petri ont été divisées en 3 zones (supérieure, moyenne et inférieure), 6 sels ont été testés ($KNO_3$, KCl, $KH_2PO_4$, $NH_4NO_3$, $Ca(NO_3)_2$ et $CaCl_2$) à la position moyenne (1 mM). Les paramètres analysés ont été les suivants: nombre et longueur des racines latérales en fonction du traitement à la position moyenne. Comme résultats du 1er essai on a vérifié que les concentrations de 100 mM ont été inhibitrices à la germination. Les meilleurs résultats, en ce qui concerne la longueur des racines latérales et la biomasse radiculaire, ont étés observés avec $KNO_3$ à 1 mM. Le plus grand nombre de racines primaires a été vérifié quand on a utilisé $KH_2PO_4$. Dans le 2ème essai, le plus grand nombre et longueur des racines latérales a été observé quand on a testé le traitement $KNO_3$ (1 mM) à la position moyenne. Avec ces résultats on crée de nouvelles perspectives pour la production forestière en fonction d'une meilleure conservation des ressources eau et sol.
**Mots clés**: eucalyptus, sels minéraux, système radiculaire, plantules

## Introdução

O padrão de crescimento e a arquitectura do sistema radicular das plantas, em condições normais de cultura e em ambientes competitivos e/ou pobres, é determinante na eficiência de absorção de água e nutrientes (DIEM e SKENE, 2001; McCULLY, 1995). FITTER (1994) refere que as espécies cultivadas apresentam uma maior proliferação de raízes em zonas do solo enriquecidas em nutrientes, relativamente a espécies selvagens. Estas são distintas ecologicamente, com crescimento mais lento e/ou menor resposta em ambientes enriquecidos. Segundo LYNCH (1995), o stress devido à existência de níveis não adequados de água e de nutrientes é limitante ao crescimento em geral, afectando menos os ecossistemas naturais. A proliferação das raízes parece ser uma resposta adaptativa que apresenta custos metabólicos directamente relacionados com o diâmetro destas (FITTER, 1994). As raízes finas, importantes para a absorção de água e nutrientes, representam uma percentagem significativa da biomassa do solo. No entanto, apresentam um período de vida curto e um crescimento sensível a condições de stress ambiental (KOZLOWSKI *et al.*, 1991). FITTER (1994) refere que o estudo da arquitectura do sistema radicular é relevante para uma melhor compreensão das respostas das raízes a estímulos exteriores. Vários ensaios têm demonstrado que, entre outros factores, o desenvolvimento de raízes laterais é sensível ao teor de $NO_3^-$, que induz efeitos opostos (estimuladores ou inibidores) no alongamento de raízes laterais (ZHANG e FORDE, 1998). O efeito de estimulação é localizado e requer a expressão de um gene (ANR1), dependente do teor exterior de $NO_3^-$ na região meristemática lateral. O efeito inibidor resulta do nível total de N no rebento,

que é função da quantidade de $NO_3^-$ absorvido pelo sistema radicular. Quando o $NO_3^-$ é fornecido em excesso, o efeito estimulador no alongamento de raízes laterais é bloqueado, ao contrário do efeito inibidor (LEYSER e FITTER, 1998). Outros iões com um papel importante no desenvolvimento do sistema radicular são o cálcio, o potássio e o fosfato. O primeiro é particularmente importante na detecção da resposta gravitrópica e no mecanismo de transporte polar das auxinas na raiz, um mecanismo que condiciona a iniciação de meristemas radiculares laterais (LEYSER e FITTER, 1998). Por sua vez, os aniões $NO_3^-$ e o $PO_4^{2-}$, quando disponíveis, apresentam um efeito positivo no crescimento de raízes laterais, sendo no entanto rapidamente metabolizados após a assimilação, o que não se verifica com $K^+$ (LEYSER e FITTER, 1998).

O estudo dos níveis óptimos de nutrientes é relevante para uma gestão florestal sustentável, em particular na avaliação periódica de indicadores, tais como: armazenamento de carbono, produtividade em termos de produção principal e fertilidade do solo, associados aos critérios números 1, 3 e 5 adoptados por PÁSCOA e SALAZAR (2001), num exercício de aplicação das resoluções da III Conferência Ministerial para a Protecção das Florestas na Europa (1998).

No presente trabalho estudou-se o padrão de desenvolvimento de raízes de plântulas de *Eucalyptus globulus* germinadas *in vitro* em função da presença de diferentes concentrações de sais minerais no meio de cultura, tendo como principal objectivo determinar o efeito destes nutrientes no crescimento e arquitectura radicular de uma espécie florestal de reconhecida importância económica para o nosso país.

## Material e métodos

O padrão de desenvolvimento de raízes de plântulas de *E. globulus* germinadas *in vitro* (caixas de Petri) foi estudado em função de diversas concentrações de sais, em condições controladas. Neste trabalho adoptou-se o critério de LYNCH (1995) para o estudo da distribuição das raízes, segundo o qual o efeito de factores externos deve ser analisado em função da biomassa e comprimento das raízes.

Num primeiro ensaio testaram-se 3 sais minerais ($NH_4NO_3$, $KH_2PO_4$ e $KNO_3$) e 6 concentrações (0,01; 0,1; 1; 10; 50 e 100 mM), utilizando-se, para os 18 tratamentos, 270 sementes (3 blocos x 5 sementes). Num ensaio posterior, segundo a metodologia adoptada por ZHANG e FORDE (1998), as caixas de Petri, colocadas inclinadas a 40º, foram divididas em 3 zonas (superior, média/intermédia e inferior, Figura 1 – posições 1, 2 e 3). Testaram-se 6 sais minerais ($KNO_3$, KCl, $KH_2PO_4$, $NH_4NO_3$, $Ca(NO_3)_2$ e $CaCl_2$) na posição intermédia (a 1 mM), enquanto as partes superior e inferior das caixas continham $NH_4NO_3$ na concentração de 0,01 mM (Figura 1). Efectuaram-se 315 observações (4 blocos). As observações realizaram-se após 4 semanas de cultura.

Os dados foram analisados em função do sal testado, concentração e respectiva interacção (análise de variância). Sempre que se verificaram valores de F significativos, foi efectuado um teste de comparação múltipla de médias (teste de Duncan). Para um nível de significância de 5%, letras diferentes (a, b, c, d, e, f) correspondem à existência de diferentes significativas entre tratamentos.

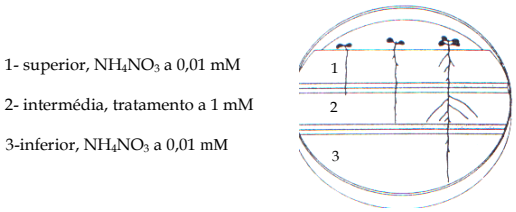


**Figura 1** – Estudo do desenvolvimento das raízes laterais em função da aplicação localizada de sais a 1mM (Adaptado de ZHANG e FORDE, 1998)

No 1º ensaio foram estudados os seguintes parâmetros:

(1) taxa de germinação;

(2) valores médios por semente de: i) número de raízes (primárias e laterais), ii) comprimento de raízes laterais e iii) biomassa/peso fresco radicular.

No 2º ensaio foi avaliado o valor médio do número e comprimento das raízes laterais por semente, em função do composto testado na posição intermédia (posição 2). Os valores obtidos foram estudados de acordo com a análise estatística referida anteriormente.

## Resultados e discussão

Todos os parâmetros analisados apresentaram diferenças significativas (Teste de Duncan, 0,05). No que diz respeito à taxa de germinação das sementes verificou-se que as concentrações de 100 mM revelaram efeito inibidor, independentemente do sal testado (Figuras 2 e 3). ZHANG e FORDE (1998) e LEYSER e FITTER (1998) também observaram um efeito inibidor no alongamento de raízes laterais em concentrações superiores a 10 mM, particularmente se superiores a 50 mM de $NO_3^-$. Com $KH_2PO_4$ registou-se um maior número de raízes primárias por semente para concentrações iguais ou inferiores a 50 mM (Figura 2; Quadro 1) .

O número e comprimento de raízes laterais por semente e respectivo peso fresco apresentaram uma variação na resposta próxima do que seria de esperar em função de quantidades crescentes das concentrações testadas (Figuras 3 – 5; Quadro 2). Um efeito semelhante foi observado por ZHANG e FORDE (1998) em *Arabidopsis*. Segundo estes autores, o alongamento das raízes laterais ocorre, especificamente, em solos enriquecidos com $NO_3^-$ que estimulam a expressão do gene ANR1. Plantas transgénicas de *Arabidopsis*, em que este gene foi desregulado, não apresentaram resposta à aplicação localizada de $NO_3^-$, não se observando o alongamento das raízes laterais. Independentemente do tipo de sal testado verificou-se que concentrações superiores ou iguais a 50 mM foram inibidoras para a expressão de raízes laterais (Figura 3). Os valores óptimos para o número de raízes laterais por semente foram registados com 0,1 mM de $NH_4NO_3$ ou $KH_2PO_4$ e 1-10 mM de $KNO_3$ (Figura 3). É de referir que as concentrações de 1-10 mM, mais favoráveis ao número de raízes laterais com $KNO_3$, mostraram um efeito inibidor no desenvolvimento de raízes laterais quando se testou $NH_4NO_3$ ou $KH_2PO_4$ (Figura 3).

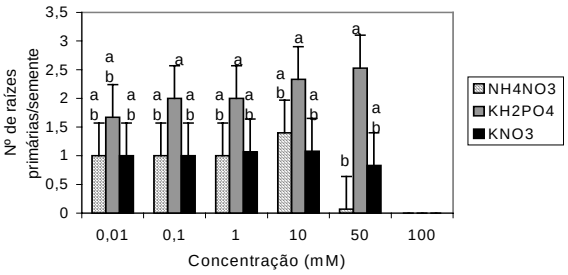


**Figura 2** - Número de raízes primárias por semente, em função do sal e da respectiva concentração (média ± erro padrão)

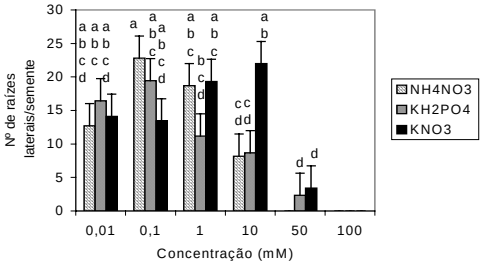


**Figura 3** - Número de raízes laterais por semente, em função do sal e da respectiva concentração (média ± erro padrão)

**Quadro 1** - Análise de variância para estudo do efeito do sal e respectiva concentração no número de raízes primárias por semente

| Origem da variação | G. L. | S. Q. | S. Q. M. | F. calc. | $P_R > F$ |
|---|---|---|---|---|---|
| Factores principais | | | | | |
| *A: sal* | 2 | 11,312315 | 5,6561574 | 5,742 | 0,0068 |
| *B: concentração* | 5 | 14,414676 | 2,8829352 | 2,927 | 0,0256 |
| Interacção: AB | 10 | 5,5482407 | 0,5548241 | 0,563 | 0,8324 |
| Resíduo | 36 | 35,46167 | 0,9850463 | | |
| Total (corrigido) | 53 | 66,736898 | | | |

**Quadro 2** - Análise de variância para estudo do efeito do sal e respectiva concentração no número de raízes laterais por semente

| Origem da variação | G. L. | S. Q. | S. Q. M. | F. calc. | $P_R > F$ |
|---|---|---|---|---|---|
| Factores principais | | | | | |
| *A: sal* | 2 | 53,5604 | 26,78019 | 0,817 | 0,4499 |
| *B: concentração* | 5 | 2743,0359 | 548,60719 | 16,729 | 0,0000 |
| Interacção: AB | 10 | 613,32574 | 61,332574 | 1,870 | 0,0828 |
| Resíduo | 36 | 1180,5933 | 32,794259 | | |
| Total (corrigido) | 53 | 4590,5154 | | | |

O valor do comprimento médio das raízes laterais por semente apresentou resultados superiores quando se utilizou $KNO_3$ a 1 mM (Figura 4; Quadro 3). Nesta concentração (1 mM), o $NH_4NO_3$ ou $KH_2PO_4$ demonstraram, novamente, um efeito inibidor no comprimento médio das raízes laterais (Figura 4). No entanto, em menor concentração (0,1 mM) o $NH_4NO_3$ apresentou resultados inferiores, mas que não eram significativamente diferentes dos obtidos com 1 mM $KNO_3$ (Figura 4).

Para o cálculo da biomassa radicular avaliou-se o seu peso fresco (g). O valor da biomassa radicular por semente apresentou resultados superiores quando se utilizou $KNO_3$ a 1 mM (Figura 5; Quadro 4). Quando se testou $NH_4NO_3$ ou $KH_2PO_4$ observaram-se valores de biomassa radicular significativamente inferiores, independentemente da concentração do sal testado (Figura 5; Quadro 4). Globalmente verificou-se que os melhores resultados foram obtidos quando se utilizou $KNO_3$ a 1 mM. Nestas condições, observou-se um maior comprimento médio das raízes laterais e uma maior biomassa do sistema radicular (Figuras 4 e 5; Quadros 3 e 4). Nesta concentração (1 mM), o $NH_4NO_3$ afectou negativamente o número de raízes laterais por semente (Figura 3) ao mesmo tempo que teve um efeito inibidor no comprimento médio dessas mesmas raízes (Figuras 4 e 5). No entanto, com 0,1 mM de $NH_4NO_3$ registou-se o maior número de raízes laterais por semente, correspondendo esta concentração ao valor óptimo para a aplicação exterior deste sal (Figuras 3 e 4).

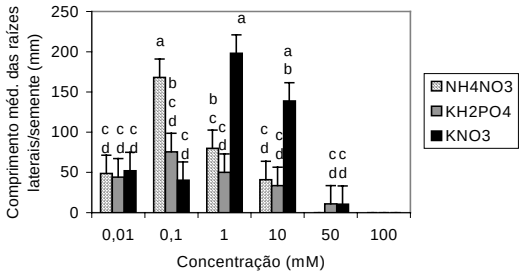


**Figura 4** - Comprimento das raízes laterais por semente em função do sal e da respectiva concentração (média ± erro padrão)

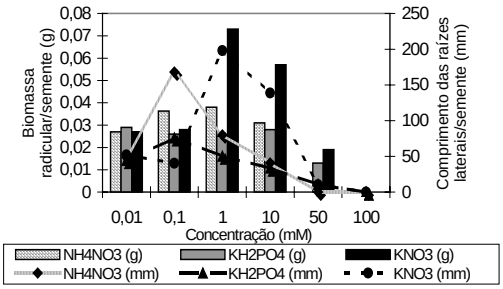


**Figura 5** – Biomassa radicular por semente e comprimento das raízes laterais, em função do sal e da respectiva concentração

**Quadro 3** - Análise de variância para estudo do efeito do sal e respectiva concentração no comprimento médio das raízes laterais por semente

| Origem da variação | G. L. | S. Q. | S. Q. M. | F. calc. | $P_R > F$ |
|---|---|---|---|---|---|
| Factores principais | | | | | |
| *A: sal* | 2 | 12729,485 | 6364,743 | 4,080 | 0,0253 |
| *B: concentração* | 5 | 91535,476 | 18307,095 | 11,736 | 0,0000 |
| *Interacção: AB* | 10 | 71140,614 | 7114,0614 | 4,561 | 0,0003 |
| Resíduo | 36 | 56154,808 | 1559,8558 | | |
| Total (corrigido) | 53 | 231560,38 | | | |

**Quadro 4** - Análise de variância para estudo do efeito do sal e respectiva concentração no peso fresco radicular por semente

| Origem da variação | G. L. | S. Q. | S. Q. M. | F. calc. | $P_R > F$ |
|---|---|---|---|---|---|
| Factores principais | | | | | |
| *A: sal* | 2 | 0,0020265 | 0,0010132 | 10,757 | 0,0002 |
| *B: concentração* | 5 | 0,0131777 | 0,0026355 | 27,980 | 0,0000 |
| *Interacção: AB* | 10 | 0,0039247 | $3{,}92468E^{-0.04}$ | 4,167 | 0,0007 |
| Resíduo | 36 | 0,0033910 | $9{,}41931E^{-0.05}$ | | |
| Total (corrigido) | 53 | 0,0225198 | | | |

ZHANG e FORDE (1998) referem que, nas suas experiências, não encontraram diferenças significativas no número de raízes laterais emergidas entre as concentrações de 1 a 50 mM de $KNO_3$ e que, para concentrações superiores a 10 mM, apenas verificaram um efeito inibidor no alongamento e não na iniciação radicular. Estes resultados, reflectindo-se no valor da biomassa, estão de acordo com os obtidos para biomassa/peso fresco radicular por semente (Figura 5). Por outro lado, LEYSER e FITTER (1998) referem que o alongamento das raízes laterais é inibido por um sinal proveniente dos rebentos, devido ao facto do teor de N total na planta não constituir, a partir desse momento (concentrações de $NO_3^-$ superiores a 10 mM), um factor limitante para o crescimento.

No 2º ensaio verificou-se que, na posição intermédia, o maior número e comprimento de raízes laterais foi obtido com $KNO_3$ a 1 mM (Figuras 6 - 8). Resultados semelhantes foram relatados por ZHANG e FORDE (1998) em *Arabidopsis* quando aplicaram $KNO_3$, na posição intermédia, em condições controladas.

1 - superior, $NH_4NO_3$ a 0,01mM

2 - intermédia, tratamento a 1mM

3 - inferior, $NH_4NO_3$ a 0,01mM

**Figura 6 –** Desenvolvimento das raízes laterais, com $KNO_3$ a 1 mM

Quando se testou $KNO_3$ a 1 mM, na posição intermédia, observou-se o maior número de raízes laterais por semente, valor significativamente superior (Figura 7; Quadro 5), não sendo no entanto aquele valor significativamente diferente do registado na posição 3 (com 0,01 mM de $NH_4NO_3$), quando a posição intermédia continha 1 mM de $KNO_3$. Estes resultados estão de acordo com os resultados por CORTEZ (1996) que refere o azoto como um elemento móvel e de fácil translocação interna em plantas de *Eucalyptus globulus* e *Pinus pinaster*.

Os valores obtidos (número e comprimento médio das raízes laterais, Figuras 7 e 8), no 2º ensaio, com $NH_4NO_3$ ou $KH_2PO_4$, na posição intermédia a 1 mM, confirmam as observações realizadas no 1º ensaio (Figuras 3 - 5), em que nesta concentração foi observado um efeito inibidor para os parâmetros acima citados. No entanto, na posição 3, nas mesmas condições (com $NH_4NO_3$ ou $KH_2PO_4$ a 1 mM, na posição intermédia) observaram-se valores superiores para o número de raízes laterais por semente, relativamente ao valor observado na posição 2 (Figura 7; $NH_4NO_3$: posição 2: *b - f vs* posição 3: *b - d*; $KH_2PO_4$: posição 2: *b - c vs* posição 3: *b*). CORTEZ (1996) refere o azoto e fósforo como os elementos que apresentam maior mobilidade e consequentemente translocação interna em plantas de *Eucalyptus globulus* e *Pinus pinaster*. O azoto e o fósforo e, em menor proporção o potássio apresentam mobilidade na planta o que permite a sua transplantações das folhas e das agulhas senescentes para as folhas verdes (CORTEZ, 1996) e/ou para as regiões mais activas em crescimento tais como as zonas meristemáticas (LARCHER, 1995).

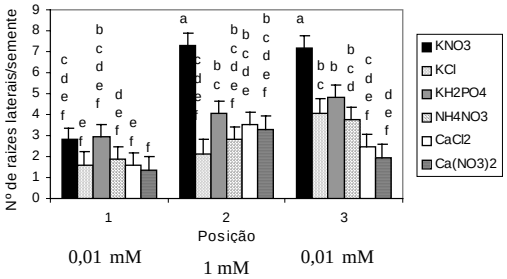


**Figura 7** - Número de raízes laterais por semente, em função do tratamento testado na posição intermédia (média ± erro padrão)

**Quadro 5** - Análise de variância para estudo do efeito do sal a 1 mM testado na posição intermédia no número de raízes laterais por semente

| Origem da variação | G. L. | S. Q. | S. Q. M. | F. calc. | $P_R > F$ |
|---|---|---|---|---|---|
| Factores principais | | | | | |
| *A: sal* | 5 | 507,74386 | 101,54877 | 15,468 | 0,0000 |
| *B: posição (1; 2; 3)* | 2 | 258,81232 | 129,40616 | 19,711 | 0,0000 |
| Interacção: AB | 10 | 161,50259 | 16,150259 | 2,460 | 0,0077 |
| Resíduo | 297 | 1949,8393 | 6,5651154 | | |
| Total (corrigido) | 314 | 2901,7968 | | | |

Quando se testou $KNO_3$ a 1 mM, na posição intermédia, observou-se o maior comprimento médio das raízes laterais por semente, valor significativamente superior (Figura 8; Quadro 6). Dado que o $KNO_3$ é um elemento móvel na plântula, o seu efeito repercutiu-se ainda na posição 3.

Como referido anteriormente, verificou-se que a posição 3 apresentou um valor superior de comprimento médio de raízes relativamente à posição 2, quando se testou $NH_4NO_3$ a 1 mM nesta última posição. Isto deve-se à presença de um elemento com facilidade de translocação interna na planta mas que, na concentração de 1 mM, mostrou um efeito inibidor no número e no comprimento médio das raízes (Figuras 3 e 4).

CORTEZ (1996) refere o cálcio como um dos elementos que apresenta menor mobilidade e consequentemente menor translocação interna em plantas de *Eucalyptus globulus* e *Pinus pinaster*. Estes resultados estão de acordo com os valores observados quando se testou $CaCl_2$ ou $Ca(NO_3)_2$ a 1 mM na posição intermédia (Figuras 7 e 8) dado que não exercem o seu efeito na posição 3.

Segundo LYNCH (1995), a disponibilidade do azoto e do fósforo nos solos é em geral baixa, sendo no entanto crucial para o desenvolvimento das raízes e para uma boa produtividade vegetal. Daí a importância que revestem os estudos sobre a aplicação destes nutrientes.

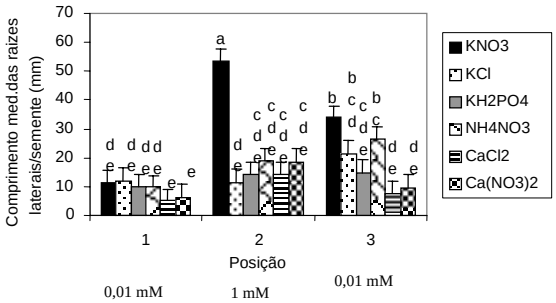


**Figura 8** - Comprimento das raízes laterais por semente, em função do tratamento testado na posição intermédia (média ± erro padrão)

**Quadro** 6 - Análise de variância para estudo do efeito do sal a 1 mM testado na posição intermédia no comprimento médio das raízes laterais por semente

| Origem da variação | G. L. | S. Q. | S. Q. M. | F. calc. | $P_R > F$ |
|---|---|---|---|---|---|
| Factores principais | | | | | |
| *A: tratamento* | 5 | 21652,260 | 4330,4519 | 13,068 | 0,0000 |
| B: posição (1; 2; 3) | 2 | 9194,216 | 4597,1079 | 13,872 | 0,0000 |
| *Interacção: AB* | 10 | 12799,656 | 1279,9656 | 3,862 | 0,0001 |
| Resíduo | 297 | 98422,313 | 331,38826 | | |
| Total (corrigido) | 314 | 143603,68 | | | |

FITTER (1994) e McCULLY (1995) referem que plantas, em condições normais de cultura, apresentam características de crescimento diferentes relativamente àquelas que crescem em condições controladas, uma vez que a distribuição de nutrientes no solo nunca é uniforme, o que se reflecte no crescimento das raízes. No entanto e apesar de se tratar de um sistema artificial, pensamos que este tipo de ensaios realizado com espécies florestais de grandes dimensões e de crescimento rápido pode dar um contributo importante para o esclarecimento das interacções entre os diferentes tipos de nutrientes que condicionam o desenvolvimento radicular.

## Conclusões e perspectivas

Os resultados obtidos nos 2 ensaios permitem concluir que $KNO_3$ na concentração de 1 mM conduziu aos melhores resultados, quer no que diz respeito ao comprimento das raízes laterais, quer relativamente aos valores de peso fresco do sistema radicular. Em igual concentração (1 mM), o $NH_4NO_3$ mostrou um efeito inibidor no alongamento das raízes, tornando assim aconselhável a sua utilização em concentrações inferiores tal como, por exemplo, 0,1 mM. O $KH_2PO_4$ manifestou um efeito promotor no número de raízes primárias em concentrações até 50 mM. No entanto, apresentou um efeito inibidor no alongamento das raízes laterais em concentrações iguais ou superiores a 1 mM. Importa ainda salientar que, na concentração de 0,1 mM, já se observava um efeito positivo no número de raízes primárias por semente, sendo por isso aconselhável a sua utilização na concentração de 0,1 mM.

Estes resultados são uma primeira abordagem ao estudo, em condições controladas, do efeito de vários nutrientes no desenvolvimento do sistema radicular de *Eucalyptus globulus*. Outros ensaios, relativos ao impacto de vários tipos de stress (hídrico, salino e/ou metais pesados) que possam afectar o crescimento das plantas e, mais particularmente, o sistema radicular estão perspectivados e permitirão uma melhor compreensão dos factores que determinam o desenvolvimento radicular. O estudo do efeito de sais minerais no crescimento do sistema radicular deve ser perspectivado de forma a avaliar o seu efeito isoladamente e de uma forma combinada e em função da sua interacção com o meio ambiente. Estas análises permitem aumentar o conhecimento e a informação que adequadamente extrapolados para os ecossistemas naturais podem contribuir para uma gestão sustentada do solo e dos recursos hídricos.

## Agradecimentos

Agradece-se a colaboração prestada pelos Doutores Nuno Borralho (RAIZ/IIFP) e Fernando Páscoa (CERNAS, ESAC/IPC).

## Bibliografia

CORTEZ, N.R.S., 1996. *Compartimentos e ciclos de nutrientes em plantações de Eucalyptus globulus Labill. ssp. globulus e Pinus pinaster Aiton*. Dissertação apresentada ao ISA para obtenção de grau de Doutor em Engenharia Agronómica. ISA, UTL, Lisboa.

DIEM, H.G., SKENE, K.R., 2001. Racines très spéciales pour sols carencés. *La Recherche* 343: 40-42.

FITTER, A. H., 1994. Architecture and biomass allocation as components of the plastic response of root systems to soil heterogeneity. In *Exploitation of environmental heterogeneity by plants*. Cadwell, M.M. e Pearcy, R.W. (ed.), Academic Press, pp. 305-323.

KOZLOWSKI, T.T.; KRAMER, P.J.; PALLARDY, S.G., 1991. *The physiological ecology of woody plants*. Academic Press. 657 pp.

LARCHER, W., 1995. *Physiological Plant Ecology*. (3rd Edition). Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg New York. 506 pp.

LEYSER O., FITTER, A., 1998. Roots are branching out in patches. In Trends in plant science. *Elsevier Science* **3**(6) : 203-204.

LYNCH, J., 1995. Root architecture and plant productivity. *Plant Physiology* **109**(1) : 7-13.

McCULLY, M., 1995. How do real roots work? *Plant Physiol.* **109**(1) : 1-6.

PÁSCOA F., SALAZAR, P., 2001. *Manual de procedimentos para a aplicação de indicadores de gestão florestal sustentável*. Fed. dos Prod. Florestais de Portugal. 69 pp.

TERCEIRA CONFERÊNCIA MINISTERIAL PARA A PROTECÇÃO DAS FLORESTAS NA EUROPA, 1998. *Declaração geral e resoluções adoptadas*. Unidade de Ligação em Lisboa.

ZHANG, H., FORDE, B.G., 1998. An Arabidopsis MADS box gene that controls nutrient-induced changes in root architecture. *Science* **279**(5349) : 407-409.

*Submetido para publicação em Julho de 2002*
*Aceite para publicação em Maio de 2003*