

**AURÉLIO VAZ DE MELO**

**SELEÇÃO PRECOCE E FENOTIPAGEM DO SISTEMA RADICULAR DE  
LINHAGENS DE MILHO EM FUNÇÃO DE NITROGÊNIO E FÓSFORO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de “*Doctor Scientiae*”.

**VIÇOSA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2008**

**AURÉLIO VAZ DE MELO**

**SELEÇÃO PRECOCE E FENOTIPAGEM DO SISTEMA RADICULAR DE  
LINHAGENS DE MILHO EM FUNÇÃO DE NITROGÊNIO E FÓSFORO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de “*Doctor Scientiae*”.

**APROVADA:** 18 abril de 2008

---

**Prof. João Carlos Cardoso Galvão  
(Co-Orientador)**

---

**Pesq. Paulo César Magalhães**

---

**Pesq. Leandro Vagno de Souza**

---

**Pesq. Rogério Faria Vieira**

---

**Prof. Glauco Vieira Miranda  
(Orientador)**

## AGRADECIMENTOS

À Deus, pela oportunidade de aprender a viver e agradecer àqueles que proporcionam à alegria da vida.

À Universidade Federal de Viçosa, em especial ao Departamento de Fitotecnia, pela oportunidade de realização deste curso.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de estudo.

Aos meus pais e amigos Antônio Aurélio Barbosa e Elizabeth Gomes Barbosa pelo apoio, amizade, carinho e por nunca terem medido esforços para tornar meus sonhos realidade.

Aos meus irmãos Ariadna, M<sup>a</sup> Isabel e Marcos pelo carinho, amizade e por nunca medir esforços para proporcionar à minha felicidade.

A minha noiva Cíntia, pela amizade, carinho, contribuição e apoio em todos os momentos e situações.

Ao professor Glauco Vieira Miranda, pela orientação, paciência e pelos valiosos ensinamentos.

Ao professor João Carlos Cardoso Galvão, pela amizade, confiança e, principalmente, pela oportunidade do crescimento acadêmico e profissional.

Ao professor Paulo Cezar Resende Fontes, pela amizade, conselhos e, principalmente, pela oportunidade do crescimento científico e profissional.

Aos pesquisadores Rogério Faria Vieira e Ronaldo Rodrigues Coimbra.

Ao primo e amigo Kleiber José Vaz de Melo Barbosa, por toda a ajuda, amizade e pelo companheirismo.

Aos meus primos e amigos Leandro (Lé braw), Izabela, Klinger, Klívia pelo apoio e amizade.

À minha madrinha Graça e a tia Terezinha pelo carinho que só as mães sabem doar e por estar sempre prontas com seus ombros amigos e com suas palavras de incentivo.

Às minhas adoráveis tias Titita, Esther, Carla, Mariza pela amizade, apoio e confiança.

Aos meus tios e amigos Ladinho, Joel, João, Anderson, pela confiança e apoio.

Ao tio Aluízio pela agradável amizade e conselhos científicos.

Os meus cunhados Allan e Anderson pelo apoio e confiança.

Em especial, aos amigos e irmãos Leandro Vagno; Manoel e Clarice; Léo Tuffi e Helena; André Gonelli; Helio e Anacély; Ronaldo Coimbra; Rubens e Michelli; Heder Braun; Rony; Rosy; Willian e família por nunca medir esforços para tornar meu sonho de felicidade real.

Aos amigos que ficaram pelas estradas por onde passei e que sempre levo comigo, em especial, ao Gilson, prof. Egídio (*In memoriam*), Charlão, Ambrosio Júnior, Pedrão, Lelis, Tatiana, Leandro, Marinaldo, Murilo, Amauron, Vandinho, Gláucius, Cláudia, Adriana, Toninho Vaz de Melo, Dona Vera, Maria, Magela, Sebastião, Marquinhos, Dona Lena, Karina, Juninho, Max, Alegria e professora Peña.

Ao Sebastião Canário e família pela amizade e carinho.

Os colegas de república Ferdando, Ronaldo, Willian, Sidna, Manoel, Gleidson, Chicão, Heder, Leandro, Reinaldo, Bia, Flávio pela amizade e agradável companhia.

Aos colegas do Programa Milho, de todas as gerações, Cleyton, Lauro, Leandro, Marony, Fernanda, Ronaldo, Helber, Felipe, Anderson (Birigui), Marcasso, Fidelis, Lucimar, Marília, Robert, Rodrigo Fidelis, Raimundo, José Roberto, Fernando, Marcelo, Joyce, Guta, Júlien, Bárbara, Flávia, Heraldo, Adilson, Ciro, Eder, Willian, Rodrigo, Tiago, Manoel, Hélio, Anastácia, Alessandro, Marcell, Rodrigo Cabral, Jorge, Orismário (Ari), Marcelo, Helder, Jefferson, Gustavo, Priscila, Michelle e Pedro, por todos os momentos compartilhados e, principalmente, pela oportunidade ímpar de conviver com todos.

Aos funcionários do Departamento de Fitotecnia, em especial, a amiga de todos os momentos Mara Rodrigues e o Vicente Madaleno, pela competência, amizade e sinceridade de sempre.

Aos funcionários do laboratório de nutrição mineral Domingos e Itamar, pela ajuda e amizade.

Aos funcionários e amigos das Estações Experimentais da UFV, pela grande ajuda prestada para a realização deste trabalho e pela agradável companhia.

Às estrelas que passaram em minha vida e por algum motivo hoje brilham no céu. Saudades!

Enfim, a todos aqueles que, de alguma forma, auxiliaram na realização deste trabalho, o meu reconhecimento e a minha gratidão.

## **BIOGRAFIA**

AURÉLIO VAZ DE MELO, filho de Antônio Aurélio Barbosa e Elizabeth Gomes Barbosa, nasceu em Rio Casca, Minas Gerais, em 12 de agosto de 1977.

Em 2003, graduou-se em Agronomia pela Universidade Federal de Viçosa, Viçosa - MG.

Em 2003, iniciou o curso de Mestrado em Fitotecnia, da Universidade Federal de Viçosa, sob a orientação do professor João Carlos Cardoso Galvão, defendendo dissertação em agosto de 2004.

Em agosto de 2004, iniciou o curso de Doutorado em Fitotecnia, da Universidade Federal de Viçosa, sob a orientação do professor Glauco Vieira Miranda, defendendo tese em abril de 2008.

## SUMÁRIO

RESUMO.....	vi
ABSTRACT .....	vii
INTRODUÇÃO GERAL.....	1
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	3
<b>Seleção precoce e divergência genética de linhagens de milho em diferentes doses de nitrogênio e fósforo</b>	<b>5</b>
Resumo .....	5
Abstract.....	6
Introdução .....	7
Material e métodos.....	8
Resultados e discussão .....	9
Conclusões.....	12
Referências bibliográficas.....	13
<b>Comportamento de linhagens de milho em função das doses de nitrogênio e fósforo</b>	<b>20</b>
Resumo .....	20
Abstract.....	21
Introdução .....	22
Material e métodos.....	23
Resultados e discussão .....	24
Conclusões.....	27
Referências bibliográficas.....	28
<b>Seleção precoce e fenotipagem de linhagens de milho quanto à arquitetura das raízes seminais</b>	<b>32</b>
Resumo .....	32
Abstract.....	33
Introdução .....	34
Material e métodos.....	35
Resultados e discussão .....	36
Conclusões.....	38
Referências bibliográficas.....	39
<b>Métodos não destrutivos na seleção precoce de linhagens de milho quanto ao sistema radicular</b>	<b>44</b>
Resumo .....	44
Abstract.....	45
Introdução .....	46
Material e métodos.....	47
Resultados e discussão .....	49
Conclusões.....	52
Referências bibliográficas.....	53
Anexos .....	58
Identificações das linhagens .....	58
Conclusões Gerais .....	59

## RESUMO

VAZ DE MELO, Aurélio, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, abril de 2008.

**Seleção precoce e fenotipagem do sistema radicular de linhagens de milho em função de nitrogênio e fósforo.** Orientador: Glauco Vieira Miranda; Co-orientadores: João Carlos Cardoso Galvão e Paulo Cezar Rezende Fontes.

Objetivou-se com esta tese: 1 - selecionar e avaliar a divergência genética de linhagens de milho no estágio de quatro folhas completamente desenvolvidas quanto ao sistema radicular e eficiência de uso de nitrogênio e fósforo; 2 - avaliar o comportamento de linhagens de milho em função das doses de nitrogênio e fósforo; 3 - selecionar e fenotipar linhagens de milho quanto à arquitetura das raízes seminais em relação a raiz primária da planta e; 4 - avaliar a viabilidade dos métodos da capacitância elétrica da planta, leitura do índice SPAD e de notas de sintomas de deficiências e arquitetura foliar na seleção precoce de linhagens de milho quanto ao uso de nitrogênio em baixa disponibilidade de fósforo. Para atingir os objetivos 1 e 2 foram conduzidos dois experimentos em vasos, com solo, em casa de vegetação. Em cada experimento, um com 10 mg dm<sup>-3</sup> e outro com 60 mg dm<sup>-3</sup> de N, foram avaliadas cinco doses de fósforo (160, 320, 480, 640 e 800 mg dm<sup>-3</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>). No objetivo 1, foram avaliadas 10 linhagens e no objetivo 2 foram selecionadas seis linhagens, sendo três eficientes e três ineficientes. No objetivo 3 foram avaliadas outras 20 linhagens de milho em solução nutritiva em caixas de vidro revestidas com papel alumínio em temperatura e umidade ambientes. No objetivo 4 foi conduzido um experimento em casa de vegetação, para avaliar outras 30 linhagens de milho quanto aos efeitos das doses de 10 e 60 mg dm<sup>-3</sup> de N combinadas com a dose de 320 mg dm<sup>-3</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Conclui-se que existe divergência genética entre as linhagens de milho quanto ao sistema radicular e a eficiência de uso de nitrogênio e fósforo; a área do sistema radicular é a característica que mais contribui para a variabilidade genética; a seleção de linhagens de milho para eficiência de nitrogênio em alto N depende da dose de fósforo e em baixo N não depende da dose de fósforo; a Linhagem 1 foi selecionada como ineficiente e não responsivas; as Linhagens 9 e 10 foram selecionadas como eficientes e responsivas; a dose 320 mg de P dm<sup>-3</sup> de solo proporcionou melhores condições para estudo da divergência genética; a linhagem selecionada em alto N com base na EUN e outras características é diferente da linhagem selecionada em baixo N. as linhagens de milho apresentam diferentes respostas quanto a EUN e EUP de acordo com as doses de nitrogênio e fósforo. em baixo N a linhagem L9 é eficiente no uso de N e a linhagem L10 é responsiva a este nutriente em alto N; as linhagens de milho L11 e L14 têm os maiores ângulos das raízes seminais; as linhagens L15 e L17 têm as maiores densidade de pêlos radiculares; a linhagem L11 foi a que sobressaiu com maior número de raízes seminais; as linhagens com maior área do sistema radicular em baixo N são a L11, L41 e L39 e; o uso da capacitância, índice SPAD e notas visuais são metodologias adequadas para a seleção precoce e fenotipagem de linhagens de milho quanto ao sistema radicular e o uso de nitrogênio e fósforo.

## ABSTRACT

VAZ DE MELO, Aurélio, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, April of 2008.  
**Precocious selection and phenotyping of the root system of corn line in function of nitrogen and phosphorus.** Advisor: Glauco Vieira Miranda. Co-advisors: João Carlos Cardoso Galvão and Paulo Cezar Resende Fontes.

This work aimed: 1 - select and evaluate the genetic divergence of corn line in the stadium of four leaves completely developed as for the root system and efficiency of use of nitrogen and phosphorus; 2- evaluate the behaviour of corn line in function of the doses of nitrogen and phosphorus; 3 - select and phenotyping corn line as for the architecture of the seminal roots in relation to primary root of the plant and; 4 - to evaluate the viability of the methods of the electric capacitância of the plant, reading of the index SPAD and of notes of symptoms of deficiencies and foliar architecture in the precocious selection of corn line as for the use of nitrogen in low phosphorus readiness. To reach the objectives 1 and 2 they experiments they were accomplished in vases, with soil, vegetation home. In each experiment, one with  $10 \text{ mg dm}^{-3}$  and other with  $60 \text{ mg dm}^{-3}$  of N, they were appraised five phosphorus doses (160, 320, 480, 640 and  $800 \text{ mg dm}^{-3}$  of  $\text{P}_2\text{O}_5$ ). In the objective 1, they were appraised 10 lines and in the objective 2, six lines were selected, being three efficient and three inefficient. In the objective 3 they were appraised other 20 corn lines in nutritious solution in glass boxes covered with aluminum foil in temperature and ambient humidity. In the objective 4 an experiment was accomplished vegetation home, to evaluate other 30 corn lines as for the effects of the doses of 10 and  $60 \text{ mg dm}^{-3}$  of combined N with the dose of  $320 \text{ mg dm}^{-3}$  of  $\text{P}_2\text{O}_5$ . Was ended that genetic divergence exists among the corn line as for the root system and the efficiency of use of nitrogen and phosphorus; the area of the root system is the characteristic that more contributed to the genetic variability; the selection of corn line for efficiency of nitrogen in high N depends on the phosphorus dose and in low N it doesn't depend on the phosphorus dose; the line 1 was selected as inefficient and no responsive; the lines 9 and 10 were selected as efficient and responsive; the dose  $320 \text{ mg dm}^{-3}$  of P soil provided better conditions for study of the genetic divergence; the line selected in high N with base in EUN and other characteristics is different from the line selected in low N. the corn line present different answers as EUN and EUP in agreement with the doses of nitrogen and phosphorus. in low N the line L9 is efficient in the use of N and the line L10 is responsive to this nutritious one in high N; the corn lines L11 and L14 have the largest angles of the seminal roots; the lines L15 and L17 have them largest density of hair roots; the line L11 was the one that stood out with larger number of seminal roots; the line with larger area of the system root in low N are L11, L41 and L39 and; the use of the capacitância, index SPAD and notes looks are appropriate methodology for the precocious selection and phenotyping of corn line as for the root system and the use of nitrogen and phosphorus.



## INTRODUÇÃO GERAL

O nitrogênio (N) e o fósforo (P) estão entre os principais nutrientes responsáveis pelo aumento da produtividade do milho e de outros cereais (Shapiro et al. 2003; Coque & Gallais, 2006; Scharf et al., 2006). Com isso, para elevar a produtividade de milho há necessidade de maior uso de insumos, principalmente corretivos e fertilizantes, o que implica no aumento dos custos de produção e, consecutivamente, há difícil adoção por parte dos pequenos e médios produtores.

A eficiência nutricional é importante fator para a adaptação das plantas à baixa fertilidade. Ela indica uma tendência para o máximo de economia, via complexo de absorção, assimilação e utilização dos nutrientes pelas plantas. A seleção de cultivares com base nesses mecanismos de eficiência nutricional possui progressiva adaptação das plantas a solo com baixa fertilidade. Essa seleção é possível, visto que existe ampla variabilidade genética de milho decorrente de mecanismos fisiológicos, morfológicos e bioquímicos, quando as plantas são cultivadas em baixa fertilidade do solo (Bertin e Gallais, 2000; Hirel et al., 2001; Presterl et al., 2002; Svecnjak & Rengel, 2006). O bom desempenho de alguns cultivares em áreas com baixa ou alta fertilidade indica a existência de variabilidade genética quanto a eficiência nutricional com possibilidade de desenvolver cultivares superiores e adaptados aos estresses nutricionais.

Nos últimos anos, o interesse pela agricultura sustentável com menor consumo energético e ecologicamente aceitável tem estimulado os programas de melhoramento de plantas a desenvolver e ou selecionar cultivares que possuam maior eficiência de uso, produtividade acima da média nacional sob estresse nutricional e compatível com baixo custo de produção. A seleção desses cultivares pode ser direcionada para regiões de baixa fertilidade como é o caso dos solos de cerrado.

A deficiência de P limita a produção de grãos no cerrado. Os cultivares e linhagens de milho diferem quanto à adaptação a baixa disponibilidade de P nesses solos. Os mecanismos responsáveis pelo aumento da absorção de P no solo são a mobilização por exsudatos de raízes (como fosfatases, ácidos orgânicos, e prótons), atividade simbiótica com micorrizas e outros microrganismos do solo, aumento do crescimento de ângulos e pêlos e desenvolvimento radicular (Lynch, 1995), entre outros.

Nos programas de melhoramento de milho a avaliação e seleção de cultivares e ou linhagens são realizadas, em sua grande maioria, em solo com alto teor de N. Dessa forma, é questionável se seria possível a identificação de linhagens tolerantes ao

estresse de N nessas condições (Ceccarelli, 1996; Banziger et al., 1997). A seleção de cultivares de milho pelos programas de melhoramento em solo com alta fertilidade pode excluir os genes favoráveis à planta quando cultivadas em solo com pouco N.

Existe variabilidade genética significativa para crescimento e ramificações na arquitetura do sistema radicular do feijão. Essa variabilidade está associada com características relacionadas a eficiência na absorção e uso de P (Lynch e Van Beem, 1993). As plantas que possuem maior ativação do alongamento das raízes laterais em baixa disponibilidade de P são eficientes nutricionalmente (Williamson et al. 2001). Em milho, quanto maior a zona de alongamento das raízes maior são as taxas de absorção dos nutrientes (Zonta et al., 2006). Isso por que as células completaram seu alongamento, mas não iniciaram seu crescimento secundário, e tem grande superfície de contato com o solo, aumentando a superfície de absorção (Taiz & Zeiger, 2004).

Os pêlos radiculares e as raízes laterais são características fundamentais na aquisição de P, por explorar maior volume do solo e aumentar a absorção. Além disso, a capacidade das raízes de feijão em explorar diferentes camadas do solo estão relacionadas ao ângulo de crescimento das raízes basais, que se correlaciona significativamente com a eficiência de absorção de P (Lynch, 1995). Esse autor observou que os genótipos de feijão que têm raízes basais mais superficiais são mais eficientes na absorção de P. Essa exploração de camadas específicas do solo contribui para aumentar a eficiência de absorção de P nos atuais sistemas de produção, considerando que a maioria das adubações fosfatadas são localizadas próximas a superfície do solo.

Para o milho há poucos trabalhos que buscam entender a base fisiológica correlacionada com as características radiculares e a eficiência nutricional. Sendo necessárias pesquisas com relação à arquitetura radicular e adaptação a estresses edáficos importantes para o desenvolvimento e seleção de cultivares de milho ligados a agricultura economicamente viável, ecologicamente correta e com menor uso de insumos. Desta forma objetivou-se com esta tese selecionar e avaliar a divergência genética de linhagens de milho no estágio de quatro folhas completamente desenvolvidas quanto ao sistema radicular e eficiência de uso de nitrogênio e fósforo; avaliar o comportamento de linhagens de milho em função das doses de nitrogênio e fósforo; selecionar e fenotipar linhagens de milho quanto à arquitetura das raízes seminais em relação a raiz primária da planta; avaliar a viabilidade dos métodos da capacitância elétrica da planta, leitura do índice SPAD e de notas de sintomas de

deficiências e arquitetura foliar na seleção precoce de linhagens de milho quanto ao uso de nitrogênio em baixa disponibilidade de fósforo

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BANZIGER, M. et al. Efficiency of high-nitrogen selection environments for improving maize for low-nitrogen target environments. **Crop Science**, Madison, v.37, n.4, p.1103-1109, 1997.
- BERTIN, P.; GALLAIS, A. Genetic variation for nitrogen use efficiency in a set of recombinant maize inbred lines I. Agrophysiological results. **Maydica** v. 45, p. 53–66, 2000.
- CECCARELLI, S. Adaptation to low/high input cultivation. **Euphytica**, v.92, p.203-214, 1996.
- COQUE, M. & GALLAIS, A. Genomic regions involved in response to grain yield selection at high and low nitrogen fertilization in maize. **Theor Appl Genet.** v.112, p.1205–1220, 2006.
- HIREL B, BERTIN P, QUILLERÉ I, BOURDONCLE W, ATTAGNANT C, DELLAY C, GOUY A, CADIOU S, FALQUE M. Towards a better understanding of the genetic and physiological basis for nitrogen use efficiency in maize. **Plant Physiology**, v.125, p.1258–1270, 2001.
- LYNCH J, VAN BEEM J. Growth and architecture of seedling roots of common bean genotypes. **Crop Science**, v.33, p.1253-1257, 1993.
- LYNCH, J. Root architecture and plant productivity. **Plant Physiology**, 109:7-13, 1995.
- PRESTERL, T.; SEITZ, G.; SCHMIDT, W.; GEIGER, H.H. Improving nitrogen use efficiency in European maize comparison between line per se and testcross performance under high and low soil nitrogen. **Maydica**, v.47, p.83–91, 2002.
- SCHARF, P.C.; BROUDER, S. M. & HOEFT, R.G. Chlorophyll meter readings can predict nitrogen need and yield response of corn in the North-Central USA. **Agronomy Journal**, v.98, p.655–665, 2006.
- SHAPIRO, C.A., FERGUSON, R.B., HERGERT, G.W., DOBERMANN, A.R., AND WORTMANN, C.S. (2003) **Fertilizer Suggestions for Corn**. Cooperative Extension Service, University of Nebraska: Lincoln, Nebraska.
- SVECNIJAK, Z. & RENGEL, Z. Nitrogen utilization efficiency in canola cultivars at grain harvest. **Plant and Soil**, v.283, p.299–307, 2006.
- TAIZ, L. & ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3 ed. Porto Alegre, Artmed, 2004. 719p.

- WILLIAMSON, L.C.; RIBRIOUX, S. P.C.P.; FITTER, A.H. & LEYSER, H.M.O. Phosphate Availability Regulates Root System Architecture in Arabidopsis **Plant Physiology**, 26: 875–882, 2001.
- ZONTA, E.; BRASIL, F. C.; GOI, S. E. & ROSA, M. M. T. Sistema radicular e suas interações com o ambiente edáfico. In: **Nutrição Mineral de Plantas**, Viçosa, MG, SBCS, 2006. 432p.

# SELEÇÃO PRECOCE E DIVERGÊNCIA GENÉTICA DE LINHAGENS DE MILHO EM DFERENTES DOSES DE NITROGÊNIO E FÓSFORO

## RESUMO

Objetivou-se, com este trabalho selecionar e avaliar a divergência genética de linhagens de milho no estágio de quatro folhas completamente desenvolvidas quanto ao sistema radicular e eficiência nutricional de nitrogênio e fósforo. Foram avaliadas dez linhagens de milho em dois experimentos conduzidos em vasos, com solo, em casa de vegetação. Em cada experimento, um com 10 mg dm<sup>-3</sup> e outro com 60 mg dm<sup>-3</sup> de N, foram avaliadas cinco doses de fósforo (160, 320, 480, 640 e 800 mg dm<sup>-3</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>). As eficiências de absorção, transporte e utilização nutricional foram determinadas com base nas relações entre conteúdo total do nutriente, massa do sistema radicular, conteúdo do nutriente na parte aérea e a massa total da planta. A dose de 320 mg dm<sup>-3</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, permitiu, independentemente da dose de N, a identificação de linhagens eficientes quanto à absorção, transporte, utilização e com as maiores médias das características. As médias de produção de massa do sistema radicular seco apresentaram menor variação entre as doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> com 10 mg dm<sup>-3</sup> de N em relação a 60 mg dm<sup>-3</sup> de N. Em 10 mg dm<sup>-3</sup> de N, a linhagem L9 destacou-se com a maior média de massa da parte aérea fresca (20,43 g). Com 60 mg dm<sup>-3</sup> de N, a linhagem L1 apresentou a menor média (2,99 g) com 160 mg dm<sup>-3</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. As linhagens L9 e L10 foram classificadas como eficientes e a linhagem L1 como não eficiente. Com 60 mg dm<sup>-3</sup> de N, a dose de 320 mg dm<sup>-3</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> proporcionou a formação de três grupos de similaridade, que classificou as linhagens, previamente avaliadas como eficientes e ineficientes em P e N, em grupos geneticamente divergentes. Com 10 mg dm<sup>-3</sup> de N, as doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> não interferiram na classificação das linhagens quanto a eficiência nutricional. A área do sistema radicular contribuiu muito para a divergência genética das linhagens, independentemente das doses de N e P. Conclui-se que existe divergência genética entre as linhagens de milho quanto ao sistema radicular e a eficiência de uso de nitrogênio e fósforo; a massa do sistema radicular seca é a característica que mais contribui para a variabilidade genética; a seleção de linhagens de milho para eficiência de nitrogênio em alto N depende da dose de fósforo e em baixo N não depende da dose de fósforo; a Linhagem 1 foi selecionada como ineficiente e não responsivas; as Linhagens 9 e 10 foram selecionadas como eficientes e responsivas e; a dose 320 mg de P dm<sup>-3</sup> de solo proporcionou melhores condições para estudo da divergência genética.

**Palavras chaves:** Zea mays L., melhoramento, sistema radicular, genética, eficiência de uso, estresse abiótico.

## PRECOCIOUS SELECTION AND GENETIC DIVERGENCE OF LINE OF CORN IN DFERENTES DOSES OF NITROGEN AND PHOSPHRUS

### ABSTRACT

This work aimed to select and to evaluate the genetic divergence of corn line in the stadium of four leaves completely developed as for the root system and nutritional efficiency of nitrogen and phosphrus. They were appraised ten corn line in two experiments driven in vases, with soil, vegetation home. In each experiment, one in low and other in N, they were appraised five phosphrus doses (160, 320, 480, 640 and 800 mg dm<sup>-3</sup> of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>). The absorption efficiencies, transport and nutritional use were certain with base in the relationships among total content of the nutrient, mass of the root system, content of the nutrient in the aerial part and the total mass of the plant. The dose of 320 mg dm<sup>-3</sup> of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, allowed, independently of the dose of N, the identification of efficient line as for the absorption, transport, use and with the largest averages of the characteristics. The averages of production of mass of the root system dry presented smaller variation among the doses of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> in low N in relation to high N. In low N, the line L9 stood out with the largest average of mass of the fresh aerial part (20.43 g). In high N, the line L1 introduced to medium smallest (2.99 g) with 160 mg dm<sup>-3</sup> of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. The lines L9 and L10 were classified as efficient and the line L1 as no efficient. In high N, the dose of 320 mg dm<sup>-3</sup> of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> provided the formation of three similarity groups, that classified the line, previously appraised as efficient and inefficient in P and N, in groups genetically divergent. In low N, the doses of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> didn't interfere in the classification of the line as the nutritional efficiency. The area of the root system contributed a lot to the genetic divergence of the line, independently of the doses of N and P. Was ended that genetic divergence exists among the corn line as for the root system and the efficiency of use of nitrogen and phosphrus; the area of the root system is the characteristic that more contributed to the genetic variability; the selection of corn line for efficiency of nitrogen in high N depends on the phosphrus dose and in low N it doesn't depend on the phosphrus dose; the Line 1 was selected as inefficient and no responsive; the lines 9 and 10 were selected as efficient and responsive and; the dose 320 mg dm<sup>-3</sup> of P soil provided better conditions for study of the genetic divergence.

**Key words:** *Zea mays* L., improvement, root system, genetics, use efficiency, abiotic stress.

## INTRODUÇÃO

Os cultivares de milho diferem na resposta adaptativa às adubações nitrogenadas (Chun et al., 2005) e fosfatadas (Zhu et al., 2006). O desenvolvimento de cultivares de milho adaptados a baixo teor de N e fósforo (P) é de importância econômica e ambiental. Em baixa disponibilidade de N e P no solo, linhagens e cultivares de milho adaptados e eficientes no uso desses nutrientes apresentam maior produtividade (Gallais & Coque, 2005; Hirel et al., 2007). A seleção das cultivares eficientes é possível com o melhor conhecimento das bases fisiológicas e genéticas de eficiência do uso de nitrogênio (EUN) (Hirel et al., 2007).

Existe diversidade genética entre as plantas decorrente da adaptação de mecanismos fisiológicos, morfológicos e bioquímicos quando submetidas a diferentes condições de fertilidade do solo (Hirel et al., 2001). Há variabilidade genética para eficiência de utilização de nitrogênio (EUN) (Bertin e Gallais, 2000; Presterl et al., 2002; Svecnjak & Rengel, 2006).

Quando alguns nutrientes, particularmente N e P, limitam o crescimento vegetal as raízes transformam-se em fortes drenos de carboidratos, o que reduz o crescimento da parte aérea e aumenta a razão entre massa de raiz e massa da parte aérea seca (Araújo & Machado, 2006). O crescimento e desenvolvimento do sistema radicular é altamente responsivo ao aumento da disponibilidade de nutriente e sua distribuição no solo, sendo N e P os nutrientes que mais limitam o crescimento das plantas em ambientes naturais (Linkohr et al., 2002).

Estudos relativos à arquitetura do sistema radicular são úteis no estudo da eficiência fisiológica de sistemas radiculares, fornecendo ferramentas para investigação de mecanismos específicos para a obtenção de cultivares eficientes no uso de nutrientes (Nielsen et al., 1999). Taiz e Zeiger (2004) relataram que a habilidade das plantas em obter água e nutrientes está relacionada à sua capacidade de desenvolver um extenso sistema radicular. No entanto, há resultados contraditórios sendo uns afirmando o aumento (Eghball and Maranville, 1993) e outros a diminuição (Wang et al., 2004) do crescimento do sistema radicular em solo com baixo teor de N.

Objetivou-se com este trabalho selecionar e avaliar a divergência genética de linhagens de milho no estágio de quatro folhas completamente desenvolvidas quanto ao sistema radicular e eficiência de uso de nitrogênio e fósforo.

## MATERIAL E MÉTODOS

Os dois experimentos foram conduzidos em casa de vegetação na Universidade Federal de Viçosa, MG, (20° 45' 20" S, 42° 52' 40" W, altitude de 640 m), no Campo Experimental Diogo Alves de Melo, pertencente ao Departamento de Fitotecnia.

O plantio foi realizado em novembro de 2006 em solo com baixo teor de P. As principais características químicas desse solo foram: pH em água = 4,4; P = 1,0 mg dm<sup>-3</sup>; K = 10 mg dm<sup>-3</sup>; Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup> = 0,0 cmolc dm<sup>-3</sup>; Al<sup>3+</sup> = 0,7 cmolc dm<sup>-3</sup>; H+Al = 6,77 cmolc dm<sup>-3</sup>; SB = 0,03 cmolc dm<sup>-3</sup>; CTC<sub>(t)</sub> = 0,73 cmolc dm<sup>-3</sup>; CTC<sub>(T)</sub> = 6,8 cmolc dm<sup>-3</sup>; V = 0,0%; m = 96 %; MO = 1,94 dag kg<sup>-1</sup>; P-rem = 4,3 mg L<sup>-1</sup>; Zn = 0,1 mg dm<sup>-3</sup>; Fe = 337,2 mg dm<sup>-3</sup>; Mn = 6,4 mg dm<sup>-3</sup>; Cu = 0,8 mg dm<sup>-3</sup>; e B = 0,57 mg dm<sup>-3</sup>.

Os experimentos foram divididos em baixo e alto N (10 e 60 mg dm<sup>-3</sup> de N, respectivamente). Os tratamentos (fatorial 10 x 5) constituíram-se de 10 linhagens endogâmicas de milho em geração S<sub>6</sub> do Programa Milho<sup>®</sup> (oriundas do mesmo campo de autofecundações) avaliadas nas doses de 160, 320, 480, 640 e 800 mg dm<sup>-3</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Os nutrientes foram aplicados nos vasos cilíndricos de PVC, de 50 cm de comprimento e 10 cm de diâmetro, no plantio, utilizando-se a uréia e superfosfato triplo. A correção da acidez do solo e a adubação com os demais nutrientes foram realizadas com base na 5<sup>a</sup> aproximação de adubação do Estado de Minas Gerais (Alves et al., 1999). Foram realizadas irrigações por gotejamento duas vezes ao dia com água deionizada, mantendo-se o teor de água no solo em torno de 80% da capacidade de campo. Quando as plantas apresentaram duas folhas completamente desenvolvidas foi realizado o desbaste, deixando-se uma planta por vaso.

O experimento foi instalado no delineamento de blocos casualizados com duas repetições.

As avaliações foram realizadas quando as plantas de milho apresentaram quatro folhas completamente desenvolvidas. Em seguida, as raízes foram separadas da parte aérea e lavadas sobre duas peneiras sobrepostas (0,25 e 0,50 mm), com a de maior malha por cima, com o auxílio de jato de água dirigido para separá-las do solo e evitar perda de raízes.

O sistema radicular foi separado em raízes finas ( $\leq 0,50$  mm) grossas ( $> 0,50$  mm). A massa das raízes grossas e finas frescas foram pesadas e a mediram-se-lhes o comprimento de 20 segmentos de raízes, escolhidas ao acaso, de cada grupo de raízes. Posteriormente realizou-se a medida dos diâmetros.



A área das raízes grossas e finas foi obtida com a seguinte fórmula  $A=2\pi R(R+h)$ , sendo A a área, R o raio e h o comprimento da raiz.

A massa do sistema radicular seca (somatório das massas das raízes grossas e finas) foi determinada após a secagem em estufa.

A parte aérea fresca da planta foi pesada para obter a massa. Em seguida, elas foram acondicionada em sacos de papel e secas a 70 °C em estufa com circulação forçada de ar, até massa constante. Posteriormente, determinou-se a massa da parte aérea seca.

Para determinações dos teores de N e P na parte aérea e no sistema radicular, estas foram secas em moinho tipo Wiley, com peneira nº 20 e homogeneizados. Amostras de 0,5 g dessas partes das plantas foram submetidas à digestão nítrico-perclórica (Johnson & Ulrich, 1959) para determinação do teor de fósforo (P) por espectrofotometria de absorção atômica. Outra sub-amostra de 0,1 g da massa da parte aérea e do sistema radicular foram submetidas à digestão sulfúrica para determinação do nitrogênio total utilizando-se o método Kjeldahl (Bremner & Mulvaney, 1982).

O conteúdo de N e de P na parte aérea e no sistema radicular foi obtido pela multiplicação do teor do nutriente pela massa da parte aérea e do sistema radicular secas, respectivamente. Uma vez obtido esses dados, estimaram-se os seguintes índices de eficiência, baseado na proposta de Siddiqi & Glass, (1981):

$$\text{Eficiência de uso} = \frac{(\text{massa total da planta seca})^2}{\text{conteúdo total do nutriente}}$$

Os dados foram submetidos à análise de variância e posteriormente foram realizadas análises multivariadas para cada dose de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> combinada com baixo e alto N. Para estudo de diversidade genética das linhagens foi utilizada a análise de agrupamento, pelo método de otimização de Tocher, baseada na distância generalizada de Mahalanobis, cujo princípio básico é manter a homogeneidade dentro e heterogeneidade entre os grupos formados (Cruz et al., 2004). A contribuição relativa de cada característica avaliada para a diversidade entre as linhagens foi obtida pela metodologia proposta por Singh (1981).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Quando os genótipos de milho são submetidos a deficiência de N há redução na massa total e da parte aérea de todos os genótipos, porém, ocorreu aumento da massa radicular na maioria das linhagens e híbridos (Chun et al., 2005). No entanto, para algumas linhagens não houve aumento da massa radicular em estresse de N e para

outras ocorreu diminuição significativa. O presente trabalho corrobora com os resultados dos autores citados anteriormente. Resultados controversos foram observados em arroz, milho e feijão, por diferentes autores (Rossiello, 1995; Barber, 1984; Vilela e Anghinoni, 1984). Esses autores relataram maior crescimento radicular de milho e soja, tanto em massa e comprimento, quanto maior a disponibilidade de P para as plantas. Além disso, a baixa concentração de P no solo provoca engrossamento das raízes de soja (Vilela e Anghinoni, 1984), entretanto, esse efeito é dependente dos cultivares (Shenk e Barber, 1980). Essa diferente resposta entre as linhagens no mesmo ambiente é devido à variabilidade genética existente. Sendo assim, a seleção de linhagens adaptadas às condições de estresse nutricional é possível e as características normalmente avaliadas nos estudos relacionados a este estresse são adequadas e importantes para a discriminação das linhagens com relação às eficiências.

A parte aérea das linhagens de milho decresceram com baixo N. No entanto, houve menor amplitude de variação das médias de massa do sistema radicular seca entre as doses de P nessa dose de N, além de maior média para essa característica em 160 e 320 mg dm<sup>-3</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (Tabelas 1 e 2). Isso confirma os resultados obtidos por Marschner (1995) e Mollier & Pellerin, (1999) que em estresses minerais há aumento do sistema radicular da planta no intuito de sobreviver e ou manter o crescimento da parte aérea.

A relação raiz: parte aérea da planta de milho aumenta quando existe deficiência de P. A redução no crescimento, por efeito da deficiência de P, geralmente é maior na parte aérea em relação ao sistema radicular da planta, permitindo desta forma manter o crescimento radicular para encontrar e extrair P do solo (Horst et al., 2006). O acréscimo nessa relação está relacionado à elevada partição de carboidratos alocados para as raízes em plantas deficientes em P, indicado pelo aumento na quantidade de sacarose nas raízes (Marschner, 1995).

A L10 obteve a maior média de área da raiz fina do sistema radicular (ARF) com 3598,85 cm<sup>2</sup> com a dose de 800 mg dm<sup>-3</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> combinada com alto N (Tabela 2). A média da área da raiz fina do sistema radicular nessa dose de P foi 83,35 % maior que a média observada com a dose de 160 mg dm<sup>-3</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (Tabela 2).

Com relação às características do sistema radicular, pode-se afirmar que quanto maior o volume do solo explorado pelo sistema radicular, maior é a absorção dos nutrientes pela planta (Teo et al., 1995). Isso devido ao contato íon (P) raiz que se dá principalmente por difusão, se movimentado pouco e ou vagorosamente no solo, proporcionando um crescimento constante do sistema radicular (Rosolem, 1995). Shenk e Barber (1977) verificaram redução no raio médio da raiz de milho com a diminuição

do teor de fósforo no solo. As linhagens com maior área de raízes finas apresentam maior massa da parte aérea seca e acúmulo dos nutrientes, principalmente os nutrientes de menor mobilidade nas condições de estresse.

Houve aumento proporcional das principais características relacionadas à eficiência de uso com o acréscimo de N e P. A linhagem L10 obteve valores acima da média para eficiência de uso de N e P. O contrário foi observado para L1 e L5, obtendo os menores valores para a maioria das características (Tabelas 1 e 2).

As doses de 160, 320 e 800 mg dm<sup>-3</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> proporcionaram a formação de quatro grupos no ambiente de alto N, no entanto, com base nas características relatadas, as linhagens eficientes (L9 e L10) e ineficientes (L1) estão no mesmo grupo formado com 160 mg dm<sup>-3</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (Tabela 3). A dose de 640 mg dm<sup>-3</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> combinada com baixo N proporcionou a formação de cinco grupos. No entanto, nessa dose a L5 não obteve crescimento nas duas repetições, sendo os grupos formados nessa dose descartados. Pois nas demais doses a L5 obteve um crescimento satisfatório. Em 480 mg dm<sup>-3</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> combinada com alto N proporcionou a formação de apenas três grupos e agrupou linhagens eficientes (L9 e L10) e ineficientes (L1) com isso, essa dose foi descartada. A dose de 320 mg dm<sup>-3</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> combinada com baixo N foi a única que proporcionou a formação de três grupos e separou as principais linhagens eficientes e ineficientes em grupos diferentes (Tabela 3).

As características relacionadas ao sistema radicular, independentemente das doses de N e P, foram as que mais contribuíram para a divergência genética. A característica de maior importância foi a massa da parte aérea seca (MPAS – 61,53%) em 800 mg dm<sup>-3</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> combinada com baixo N, seguida pela Massa do sistema radicular seca (MSRS - 56,52%) com 480 mg dm<sup>-3</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e da Massa da parte aérea seca (MPAS – 54,30%) com 480 mg dm<sup>-3</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (Tabela 4). Por outro lado, as características relacionadas ao índice de eficiência uso, tanto de N quanto de P, foram as que obtiveram as menores contribuições relativas. No entanto, essas características são de fundamental importância para a seleção *per se* das linhagens, pois estão ligadas diretamente na habilidade da planta em desenvolver em baixa disponibilidade nutricional (Tabela 4).

## CONCLUSÕES

Existe divergência genética entre as linhagens de milho quanto ao sistema radicular e a eficiência de uso de nitrogênio e fósforo;

A área do sistema radicular é a característica que mais contribui para a variabilidade genética;

A seleção de linhagens de milho para eficiência de nitrogênio em alto N depende da dose de fósforo e em baixo N não depende da dose de fósforo;

A Linhagem 1 foi selecionada como ineficiente e não responsivas;

As Linhagens 9 e 10 foram selecionadas como eficientes e responsivas;

A dose 320 mg de P dm<sup>-3</sup> de solo proporcionou melhores condições para estudo da divergência genética.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa e a CAPES e FAPEMIG pelo recurso do projeto.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, V.M.C.; VASCONCELLOS, C.A.; FREIRE, F.M.; PITTA, G.V.E.; FRANÇA, G.E.; RODRIGUES FILHO, A.; ARAÚJO, J.M.; VIEIRA, J.R. and LOUREIRO, J.E. Milho. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. (Ed.). **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª Aproximação**. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, p.314-322, 1999.
- ARAÚJO, A. P.; MACHADO, Cynthia Torres de Toledo. Fósforo. In: Fernandes, M.S. (Org.). **Nutrição Mineral de Plantas**. 1 ed. Viçosa: SBCS, v.1, p.253-280, 2006.
- BARBER, S. A. **Soil Nutrient Bioavailability**. John Wiley and Sons, New York. 1984.
- BERTIN, P.; GALLAIS, A. Genetic variation for nitrogen use efficiency in a set of recombinant maize inbred lines I. Agrophysiological results. **Maydica** v. 45, p. 53–66, 2000.
- BREMNER, J.M.; MULVANEY, C.S. Nitrogen total In: PAGE, A.L.; MILLER, L.H.; KEENEY, D.R. (Ed.) **Methods of soil analysis: chemical and microbiological properties**. v.2, p. 595-624, 1982.
- CHUN, L.; MI, G.; LI, J.; CHEN, F.; & ZHANG, F. Genetic analysis of maize root characteristics in response to low nitrogen Stress. **Plant and Soil**, v. 276, p. 369–382, 2005.
- CRUZ, C. D. **Programa GENES: aplicativo computacional em genética e estatística** versão Windows. Viçosa - MG. UFV, 2004. 442 p.
- EGHBALL, G., MARANVILLE, J.W. Root development and nitrogen influx of corn genotypes grown under combined drought and nitrogen stresses. **Agronomy Journal**, v. 85, p. 147-152, 1993.
- GALLAIS, A. & COQUE, M. Genetic variation and selection for nitrogen use efficiency in maize: A synthesis. **Maydica**, v.50, n.3-4, p.531-547, 2005.
- HIREL B, BERTIN P, QUILLERÉ I, BOURDONCLE W, ATTAGNANT C, DELLAY C, GOUY A, CADIOU S, FALQUE M. Towards a better understanding of the

- genetic and physiological basis for nitrogen use efficiency in maize. **Plant Physiology**, v.125, p.1258–1270, 2001.
- HIREL, B., LE GOUIS, J., NEY, B., AND GALLAIS, A.: The challenge of improving nitrogen use efficiency in crop plants: towards a more central role for genetic variability and quantitative genetics within integrated approaches. **Journal of Experimental Botany**, v.58, p.2369-2387, 2007.
- HORST, W. J.; ABDOU, M. and WIESLER, F. Genotypic differences in phosphorous efficiency of wheat. **Plant and Soil**, V.155/156, p. 293-296, 1993.
- JOHNSON, C.M. & ULRICH, A. Analytical methods for use in plants analyses. Los Angeles, University of California, 1959. p.32-33. (**Bulletin**, 766)
- LINKOHR, B. I.; WILLIAMSON, L.C.; FITTER, A. H. LEYSER, H.M.O. Nitrate and phosphate availability and distribution have different effects on root system architecture of Arabidopsis. **The Plant Journal**, v.29, n.6, p.751-760, 2002.
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. London, Academic Press, 1995. 889p.
- MOLLIER, A. & PELLERIN, S. Maize root system growth and development as influenced by phosphorus deficiency. **Journal of Experimental Botany**, v.50, p.487-497, 1999.
- NIELSEN, K.L.; MILLER, C.R.; BECK, D & LYNCH, J.P. Fractal geometry of root systems: Field observations of contrasting genotypes of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) grown under different phosphorus regimes. **Plant Soil**, v.206, p.181-190, 1999.
- PRESTERL, T.; SEITZ, G.; SCHMIDT, W.; GEIGER, H.H. Improving nitrogen use efficiency in European maize comparison between line per se and testcross performance under high and low soil nitrogen. **Maydica**, v.47, p.83–91. 2002.
- ROSOLEM, C.A. **Relações solo-planta na cultura do milho**. Jaboticabal: Funep, 1995, 53p.
- ROSSIELLO, R.O.P.; ARAÚJO, A.P.; MANZATTO, C.V. & FERNANDES, M.S. Comparação dos métodos fotoelétricos e da interação na determinação de área,

- comprimento e raio médio radicular. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 30, p. 633-638, 1995.
- SHENK, N.K.; BARBER, S.A. Root characteristics of corn genotypes as related to P uptake. **Agronomy Journal, Madison**, v.71, p.921-924, 1977.
- SIDDIQI, M.Y.; GLASS, A.D.M. Utilization index: a modified approach to the estimation and comparison of nutrient utilization efficiency in plants. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v.4, n.3, p.289-302, 1981.
- SINGH, D. The relative importance of characters affecting genetic divergence. **The Indian Journal of Genetics and Plant Breeding**, New York, v.41, n.2, p.237-245, July 1981.
- SVECNJAK, Z. & RENGEL, Z. Nitrogen utilization efficiency in canola cultivars at grain harvest. **Plant and Soil**, v.283, p.299–307, 2006.
- TAIZ, L. & ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3 ed. Porto Alegre, Artmed, 2004. 719p.
- TEO, Y.H.; BEYROUTY, C.A.; NORMAN, R.J.; GBUR, E.E. Nutrition uptake relationship to root characteristics of rice. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.171, p.297-302, 1995.
- VILELA, L.; ANGHINONI, I. Morfologia do sistema radicular e cinética de absorção de fósforo em cultivares de soja afetadas pela interação alumínio fósforo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.8, n. 1, p.91-96, 1984.
- WANG, Y.; MI, G.; CHEN, F.; ZHANG, J. AND ZHANG, F. Response of root morphology to nitrate supply and its contribution to nitrogen accumulation in maize. **Journal Plant Nutrition**, v.27, p.2189-2202, 2004.
- ZHU, J.; MICKELSON, S.M.; KAEPLER, S.M.; LYNCH, J. P. Detection of quantitative trait loci for seminal root traits in maize (*Zea mays* L.) seedlings grown under differential phosphorus levels. **Theor Appl Genet**, v.113, p.1-10, 2006.

**Tabela 1** – Média das características de dez linhagens de milho em cinco doses de P combinadas com 10 mg dm<sup>-3</sup> de N aplicados no solo

Linhagens	MSRS (g planta <sup>-1</sup> )					MPAS (g planta <sup>-1</sup> )					ARF (cm <sup>2</sup> planta <sup>-1</sup> )				
	160	320	480	640	800	160	320	480	640	800	160	320	480	640	800
	mg dm <sup>-3</sup> de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>														
L1	0,48	1,69	1,08	1,26	0,95	0,55	1,48	0,78	1,31	1,04	1,98	14,00	2,34	12,61	4,45
L2	0,87	1,09	1,49	1,06	0,88	1,06	1,09	0,85	1,23	0,98	1,70	5,35	13,78	17,52	5,59
L3	0,41	0,98	1,12	1,07	0,89	0,40	1,16	1,50	0,83	0,88	1,68	3,93	8,86	2,81	3,96
L4	0,79	1,07	1,10	1,28	1,05	0,62	1,30	1,07	1,24	1,70	0,67	16,35	8,40	6,39	10,09
L5	0,31	1,43	1,32	-	1,30	0,45	1,06	0,34	-	1,78	3,01	4,99	1,34	-	7,37
L6	0,43	1,82	1,24	1,57	1,59	0,61	2,20	1,81	1,95	2,03	3,85	16,26	14,18	6,89	5,81
L7	0,48	1,03	0,91	1,05	0,78	0,54	1,02	1,03	1,08	0,80	2,60	4,75	7,87	5,61	1,77
L8	0,67	1,32	1,44	1,26	1,37	0,81	1,53	2,32	1,31	1,46	3,14	8,24	4,18	4,20	7,25
L9	1,12	1,37	1,19	1,98	2,17	1,14	1,44	1,24	2,52	1,98	7,51	14,98	6,28	8,03	17,53
L10	0,93	2,02	1,35	1,86	1,33	1,01	1,61	1,30	2,09	1,47	10,37	9,24	8,13	12,62	18,86
Média	0,65	1,38	1,22	1,38	1,23	0,72	1,38	1,22	1,50	1,41	3,64	9,80	7,53	8,52	8,27
DMS (5%)	0,28	0,80	0,49	0,64	0,67	0,43	0,39	0,53	0,77	0,33	4,06	4,91	6,04	13,75	10,25
Linhagens	ARG (cm <sup>2</sup> planta <sup>-1</sup> )					EUP					EUN				
	160	320	480	640	800	160	320	480	640	800	160	320	480	640	800
	mg dm <sup>-3</sup> de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>														
L1	145,87	153,32	160,75	228,88	183,78	1,62	3,66	1,40	1,80	1,20	0,08	0,35	0,18	0,26	0,19
L2	144,04	107,66	123,06	140,10	157,54	2,59	1,91	1,95	0,93	0,87	0,11	0,19	0,24	0,24	0,22
L3	83,35	157,31	271,08	123,38	156,52	1,19	1,92	2,16	1,54	1,07	0,04	0,21	0,28	0,17	0,19
L4	220,40	191,12	128,76	423,39	222,89	2,30	2,19	1,62	2,11	1,29	0,12	0,23	0,20	0,22	0,28
L5	37,77	158,87	96,16	-	172,91	0,64	2,96	1,64	-	1,05	0,05	0,26	0,16	-	0,30
L6	54,00	150,42	160,05	65,38	169,23	1,26	4,64	2,84	2,62	1,90	0,07	0,36	0,32	0,39	0,33
L7	203,82	292,59	188,10	142,81	152,89	1,19	2,04	1,77	1,53	1,09	0,07	0,18	0,23	0,22	0,18
L8	237,36	161,54	304,99	395,48	178,83	2,31	3,41	3,64	1,94	1,16	0,10	0,28	0,46	0,26	0,24
L9	151,30	165,49	119,25	229,63	219,72	2,97	2,95	1,86	2,82	1,50	0,17	0,28	0,29	0,54	0,51
L10	167,01	287,68	133,59	202,53	209,79	2,30	4,01	2,27	2,53	1,38	0,14	0,33	0,30	0,39	0,30
Média	144,49	182,60	168,58	216,84	182,41	1,84	2,97	2,11	1,98	1,25	0,10	0,27	0,27	0,3	0,27
DMS (5%)	166,82	146,27	149,54	181,58	157,62	0,78	2,39	1,41	2,28	1,59	0,09	0,22	0,32	0,24	0,15

MSRS: massa do sistema radicular seca e MPAS: massa da parte aérea seca, ARF: área das raízes finas, ARG: área das raízes grossas; EUP: eficiência de utilização de P; EUN: eficiência de utilização de N.



**Tabela 2** – Média das características de dez linhagens de milho em cinco doses de P combinadas com alto N

Linhagens	MSRS (g planta <sup>-1</sup> )					MPAS (g planta <sup>-1</sup> )					ARF (cm <sup>2</sup> planta <sup>-1</sup> )				
	160	320	480	640	800	160	320	480	640	800	160	320	480	640	800
	mg dm <sup>-3</sup> de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>														
L1	0,22	0,49	1,03	1,25	1,04	0,26	0,53	1,11	2,19	1,58	40,58	258,2	648,7	1090,9	602,9
L2	0,36	0,92	1,11	1,49	1,70	0,40	1,15	1,34	2,55	2,51	515,29	625,5	1032,3	895,7	2338,6
L3	0,38	0,89	1,76	1,65	1,62	0,58	1,56	2,12	2,75	2,32	81,22	945,9	1751,1	1124,6	829,7
L4	0,46	0,78	1,41	1,74	1,56	0,44	0,82	2,34	3,22	2,25	196,37	26,1	1220,0	1301,5	1128,9
L5	0,34	1,01	1,70	1,57	2,08	0,48	1,40	2,48	2,58	3,34	131,93	119,9	1695,0	483,8	1121,6
L6	0,29	0,71	1,08	2,27	1,65	0,53	1,03	1,66	3,11	3,04	367,86	1993,0	767,5	3009,8	2981,9
L7	0,49	0,60	0,65	0,82	1,49	0,55	0,64	0,92	1,80	1,93	109,63	365,6	338,9	476,0	936,3
L8	0,34	0,85	1,38	1,32	1,13	0,80	1,00	1,80	3,67	2,01	259,31	1110,0	984,6	712,8	868,8
L9	0,50	1,25	1,50	2,10	2,41	0,53	1,64	2,56	3,83	3,49	92,16	948,8	1347,6	1060,2	1766,5
L10	0,60	1,18	1,65	3,08	2,17	0,74	1,86	2,60	4,76	3,30	199,05	939,8	939,1	1815,2	3598,9
Média	0,397	0,87	1,33	1,68	1,73	0,53	1,16	1,89	2,57	3,05	199,33	733,3	1072,5	1617,4	1197,0
DMS (5%)	0,14	0,46	0,56	0,88	0,78	0,24	1,13	1,00	1,30	1,92	147,00	1014,8	908,43	1588,5	1829,7
Linhagens	ARG (cm <sup>2</sup> planta <sup>-1</sup> )					EUP					EUN				
	160	320	480	640	800	160	320	480	640	800	160	320	480	640	800
	mg dm <sup>-3</sup> de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>														
L1	94,50	229,35	244,64	216,21	250,71	0,61	0,92	1,64	1,88	1,61	0,03	0,04	0,09	0,16	0,11
L2	56,70	70,96	166,56	136,26	301,69	0,91	2,19	1,70	1,38	2,74	0,04	0,12	0,11	0,20	0,24
L3	123,34	155,69	222,43	424,47	221,19	1,20	1,98	2,82	2,30	2,43	0,06	0,12	0,22	0,22	0,23
L4	190,31	113,72	122,75	456,16	122,38	1,15	1,91	3,67	2,59	2,88	0,04	0,10	0,22	0,26	0,26
L5	138,03	111,72	173,04	267,15	506,87	0,77	2,72	4,29	2,12	4,28	0,04	0,14	0,33	0,18	0,32
L6	131,78	109,61	121,23	107,76	305,93	0,83	1,54	2,57	4,84	3,89	0,04	0,12	0,13	0,50	0,31
L7	106,18	120,24	132,03	175,33	150,21	1,56	1,30	1,52	0,90	2,62	0,05	0,06	0,08	0,18	0,17
L8	170,62	266,02	253,89	191,42	232,46	1,13	1,70	2,53	3,07	1,62	0,06	0,09	0,15	0,29	0,13
L9	154,34	129,72	145,95	318,83	360,42	1,41	2,30	2,46	3,74	3,60	0,06	0,14	0,17	0,39	0,30
L10	127,63	196,35	222,08	418,92	247,59	1,42	2,79	3,18	3,61	2,95	0,15	0,12	0,20	0,47	0,31
Média	129,34	150,33	180,46	269,94	271,25	1,10	1,93	2,64	2,86	2,64	0,05	0,10	0,17	0,237	0,28
DMS (5%)	106,55	117,57	162,41	422,39	178,77	0,59	1,37	2,22	2,03	3,03	0,47	0,75	0,16	0,14	0,44

MSRS: massa do sistema radicular seca e MPAS: massa da parte aérea seca, ARF: área das raízes finas, ARG: área das raízes grossas; EUP: eficiência de utilização de P; EUN: eficiência de utilização de N.

**Tabela 3** – Grupos de linhagens considerando as seguintes características: massa da parte aérea fresca; massa da raiz fina fresca; massa da raiz grossa fresca; massa do sistema radicular seco; massa da parte aérea seca; comprimento total de raízes finas; comprimento total de raízes grossas; área total das raízes finas; área total de raízes grossas; área total do sistema radicular; teor de P na parte aérea; teor de P nas raízes, teor de N na parte aérea; teor de N nas raízes; conteúdo de P na parte aérea; conteúdo de P nas raízes; conteúdo de N na parte aérea; conteúdo de N nas raízes; eficiência de absorção de P; eficiência de translocação de P; eficiência de utilização de P; eficiência de absorção de N; eficiência de translocação de N e eficiência de utilização de N, avaliadas em cinco doses de P combinadas com duas doses de N

Doses de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg dm <sup>-3</sup> de )	Grupo	Baixo N (10 mg dm <sup>-3</sup> de N)						Alto N (60 mg dm <sup>-3</sup> de N)						
		Linhagens						Linhagens						
160	I	1	7	3	8	5	6	7	10	9	4	1		
	II	2	10	9	3	5								
	III	4	2	6										
	IV	8												
	V													
320	I	2	3	7	8	10	9	4	7	5	1			
	II	1	4	6	2	3	9	10						
	III	5	8											
	IV	6												
	V													
480	I	4	9	2	10	2	3	8	1	9	10			
	II	1	3	7	5	6	4							
	III	6	8	7										
	IV	5												
	V													
640	I	6	10	2	9	9	10	1	4	6				
	II	4	8	2	3	5								
	III	1	7	8										
	IV	3												
	V	7												
800	I	1	8	7	3	9	2	10	3	5	4	8	7	1
	II	5	6	9	10									
	III	4	2											
	IV	6												
	V													

L1 (05-5844-1); L2 (05-5851-2); L3 (05-5857-2); L4 (05-5854-1); L5 (05-5868-2); L6 (05-5869-1); L7 (05-5842-2); L8 (05-5841-1); L9 (05-5846-4); L10 (05-5834-2),

**Tabela 4** - Contribuição relativa em % das características de dez linhagens de milho, nas cinco doses de P em baixo e alto N

Características	-----mg dm <sup>-3</sup> de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -----									
	160		320		480		640		800	
	Baixo	Alto	Baixo	Alto	Baixo	Alto	Baixo	Alto	Baixo	Alto
	%		%		%		%		%	
<b>MSRS</b>	1,51	24,10	15,61	14,42	0,40	56,52	13,35	7,32	7,24	24,55
<b>MPAS</b>	33,73	15,03	38,47	20,15	54,30	6,85	37,48	1,32	61,53	10,82
<b>ARF</b>	39,22	33,44	11,21	22,06	9,98	12,54	4,51	30,18	20,12	13,62
<b>ARG</b>	10,24	2,68	28,22	20,97	10,75	1,50	40,66	9,21	4,25	11,45
<b>EUP</b>	9,38	13,29	2,28	2,43	20,70	1,78	2,04	23,77	1,76	18,23
<b>EUN</b>	5,90	11,45	4,21	14,97	3,87	20,80	1,95	28,19	5,10	21,33

MSRS: massa do sistema radicular seca (g planta<sup>-1</sup>); MPAS: massa da parte aérea seca (g planta<sup>-1</sup>); ARF: área das raízes finas (cm<sup>2</sup> planta<sup>-1</sup>), ARG: área das raízes grossas (cm<sup>2</sup> planta<sup>-1</sup>); EUP: eficiência de uso de P e EUN: eficiência de uso de N.

# COMPORTAMENTO DE LINHAGENS DE MILHO EM FUNÇÃO DAS DOSES DE NITROGÊNIO E FÓSFORO

## RESUMO

Objetivou-se com este trabalho avaliar o comportamento de linhagens de milho em função das doses de nitrogênio e fósforo. Foram conduzidos dois experimentos em vaso, com solo, em casa de vegetação para avaliar seis linhagens de milho quanto ao efeito de 10 e 60 mg dm<sup>-3</sup> de N (baixo e alto N) combinadas com 160, 320, 480, 640 e 800 mg dm<sup>-3</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> aplicados no solo. As avaliações foram realizadas quando as plantas de milho atingiram o estágio fenológico de quatro folhas completamente desenvolvidas. A eficiência de uso de N e P foram determinadas com base nas relações entre conteúdo total do nutriente, a massa do sistema radicular, conteúdo do nutriente na parte aérea e a massa total da planta. Para eficiência de uso de nitrogênio (EUN), houve efeito de doses de P para as linhagens no experimento associado com baixo e alto N. A Linhagem 1 não apresentou aumento da EUN com o aumento das doses de P em baixo N. Em baixo N, a linhagem L1 (não eficiente em N) e L9 e L10 (eficientes em N) não mostraram aumento para eficiência de uso de fósforo (EUP). Em alto N, as linhagens, com exceção da L2, aumentaram a EUP. As linhagens mais eficientes no uso de N e P foram as L9 e L10. Conclui-se que a linhagem selecionada em alto N com base na EUN e outras características é diferente da linhagem selecionada em baixo N. as linhagens de milho apresentam diferentes respostas quanto a EUN e EUP de acordo com as doses de nitrogênio e fósforo. em baixo N a linhagem L9 é eficiente no uso de N e a linhagem L10 é responsiva a este nutriente em alto N.

**Palavras chaves:** zea mays, eficiência de uso, sistema radicular, estresse nutricional.

## BEHAVIOUR OF LINE OF CORN IN FUNCTION OF THE DOSES OF NITROGEN AND PHOSPHRUS

### ABSTRACT

This work aimed to evaluate the behaviour of corn line in function of the doses of nitrogen and phosphrus. Two experiments were driven in vase, with soil, in vegetation house to evaluate six corn lines as for the effect of 10 and 60 mg dm<sup>-3</sup> of N (low and high N) combined with 160, 320, 480, 640 and 800 mg dm<sup>-3</sup> of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. The evaluations were accomplished when the corn plants reached the stadium phenologic of four leaves completely developed. The efficiency of use of N and P were certain with base in the relationships among total content of the nutrient, the mass of the root system, content of the nutrient in the aerial part and the total mass of the plant. For efficiency of use of nitrogen (EUN), there was effect of doses of P for the line in the experiment associated with low and high N. The line 1 didn't present increase of EUN with the increase of the doses of P in low N. In low N, the line L1 (no efficient in N) and L9 and L10 (efficient in N) they didn't show increase for efficiency of phosphrus use (EUP). In high N, the line, except for L2, increased EUP. The most efficient line in the use of N and P were L9 and L10. Was ended that the line selected in high N with base in EUN and other characteristics is different from the line selected in low N. the corn line present different answers as EUN and EUP in agreement with the doses of nitrogen and phosphrus. in low N the line L9 is efficient in the use of N and the line L10 is responsive to this nutritious one in high N.

**Key words:** *zea mays* L., use efficiency, root system, nutritional stress.

## INTRODUÇÃO

O nitrogênio (N) e o fósforo (P) estão entre os principais nutrientes responsáveis pelo aumento da produtividade de milho e de outros cereais (Coque & Gallais, 2006). A adição de fertilizante nitrogenado promove o aumento da absorção de P mesmo em solos com alta disponibilidade deste último, em que a adubação com P tem pouco efeito (Kamprath, 1987). Em estudos realizados com solução nutritiva, Alves et al. (1999) observaram que a separação espacial do N e P pode resultar em menor acúmulo de ambos na parte aérea.

Inúmeros conceitos de eficiência nutricional têm sido relatados na literatura, os quais variam de acordo com o nutriente e a espécie de planta (Bailian et al., 1991). A eficiência de uso é definida como a capacidade de determinado genótipo em adquirir o nutriente para incorporá-lo e utilizá-lo na produção de massa da parte vegetal seca de valor econômico (Blair, 1993), no caso específico dos cereais, os grãos. Consideram-se plantas eficientes no uso aquelas que acumulam maiores concentrações de P quando cultivadas em baixas doses deste elemento (Clark & Brown, 1974), ou que atingem maiores produções por unidade de tempo, área e nutriente (Fox, 1978). Para Clark & Brown (1974) plantas eficientes no uso de P são aquelas que acumulam maiores concentrações de P quando são cultivadas em certa concentração deste nutriente.

Existem diversos caminhos possíveis para aumentar a EUN. Um dos mais simples é a diminuição nas doses de adubos para níveis que sejam produtivos e seguros (Fernández et al. 1998). Outra possibilidade é o melhoramento genético, onde são desenvolvidos cultivares de milho produtivo para solos com baixas fertilidade de N (Santos et al. 1998). Segundo Ceccarelli (1996), o desenvolvimento de programas de melhoramento direcionado para condições específicas seria a solução mais viável para o aumento de produção em sistemas agrícolas diminuindo assim a interação genótipo ambiente.

A capacidade da planta de se desenvolver em solos com baixo teor de P disponível tem sido atribuída a diversos fatores, como diferenças na morfologia do sistema radicular e densidade dos pêlos radiculares (Lynch & Ho, 2004). O sistema radicular da planta de milho é altamente responsivo a disponibilidade de nutriente e sua distribuição no solo (Beebe, et al., 2006). Isto é particularmente verdade com relação à disponibilidade de N e P que são os nutrientes que mais limitam o crescimento em ambientes naturais (Linkohr et al., 2002). Outra característica importante é a

inicialização do alongamento das raízes laterais sob baixa fertilidade de P, em que pode ser interpretado como exploração acelerada do solo (Williamson et al. 2001).

O sistema radicular das plantas com relação a adaptação aos estresses nutricionais de N e P e processos fisiológicos específicos é importante para uma agricultura economicamente viável, com menor necessidade de uso de insumos e possíveis impactos ambientais negativos com o uso de N e P. Assim, objetivou-se com o presente trabalho avaliar o comportamento de linhagens de milho em função das doses de nitrogênio e fósforo.

## MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram conduzidos em casa de vegetação na Universidade Federal de Viçosa, MG, (20° 45' 20" S, 42° 52' 40" W, altitude de 640 m), no Campo Experimental Diogo Alves de Melo, pertencente ao Departamento de Fitotecnia.

O plantio foi realizado em novembro de 2006 em solo com baixo teor de fósforo, retirado de horizonte B, do Município de Viçosa-MG. A amostra do solo foi coletada, seca ao ar, destorroada, passada em peneira com abertura de 4 mm e homogeneizada. Sub amostras foram utilizadas para caracterização química. As principais características químicas do solo foram: pH em água = 4,4; P = 1,0 mg dm<sup>-3</sup>; K = 10 mg dm<sup>-3</sup>; Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup> = 0,0 cmolc dm<sup>-3</sup>; Al<sup>3+</sup> = 0,7 cmolc dm<sup>-3</sup>; H+Al = 6,77 cmolc dm<sup>-3</sup>; SB = 0,03 cmolc dm<sup>-3</sup>; CTC<sub>(t)</sub> = 0,73 cmolc dm<sup>-3</sup>; CTC<sub>(T)</sub> = 6,8 cmolc dm<sup>-3</sup>; V = 0,0%; m = 96 %; MO = 1,94 dag kg<sup>-1</sup>; P-rem = 4,3 mg L<sup>-1</sup>; Zn = 0,1 mg dm<sup>-3</sup>; Fe = 337,2 mg dm<sup>-3</sup>; Mn = 6,4 mg dm<sup>-3</sup>; Cu = 0,8 mg dm<sup>-3</sup>; e B = 0,57 mg dm<sup>-3</sup>.

Foram conduzidos dois experimentos um com 10 (baixo N) e o outro com 60 (alto N) mg dm<sup>-3</sup> de N aplicados em solo, em vasos para avaliar seis linhagens endogâmicas de milho em geração S<sub>6</sub> do Programa Milho<sup>®</sup>: L1 (05-5844-1); L2 (05-5851-2); L3 (05-5857-2); L8 (05-5841-1); L9 (05-5846-4) e L10 (05-5834-2) em 160, 320, 480, 640 e 800 mg dm<sup>-3</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> no solo. Os nutrientes foram aplicados nos vasos cilíndricos de PVC, de 50 cm de comprimento e 10 cm de diâmetro, no plantio, utilizando-se a uréia e superfosfato triplo. A correção da acidez do solo e a adubação para os demais nutrientes foram feitas com base na 5<sup>a</sup> aproximação de adubação do Estado de Minas Gerais (Alves et al., 1999). O plantio foi realizado com cinco sementes por vaso. Durante a condução dos experimentos as plantas foram irrigadas por gotejamento, duas vezes ao dia, com água deionizada, mantendo-se o teor de água em

torno de 80 % da capacidade de campo. Quando as plantas apresentaram duas folhas completamente desenvolvida foi realizado o desbaste, deixando uma planta por vaso.

O experimento foi arranjado no delineamento de blocos casualizado, com duas repetições.

As avaliações foram realizadas quando as plantas de milho tinham quatro folhas completamente desenvolvidas. Quando as plantas foram retiradas dos vasos, as suas raízes foram separadas da parte aérea e colocados sobre duas peneiras sobrepostas (0,25 e 0,50 mm), sendo a de maior malha por cima. Com o auxílio de jato de água dirigido as raízes foram separadas do solo, evitando-se a perda das mesmas.

As características avaliadas foram: massa da parte aérea seca (MPAS) e do sistema radicular (MSRS) e conteúdo de N e de P na parte aérea e no sistema radicular (obtido pela multiplicação do teor do nutriente pela massa da parte aérea e do sistema radicular secas, respectivamente) para estimar os seguintes índices de eficiência de nitrogênio e fósforo, baseado na proposta de Sidiqui & Glass, (1981):

$$\text{Eficiência de uso} = \frac{(\text{massa total da planta seca})^2}{\text{conteúdo total do nutriente}}$$

Os dados foram submetidos às análises de variância e regressão. Os modelos de regressão foram escolhidos baseados: na significância dos coeficientes de regressão, utilizando-se o teste t e adotando-se 1 e 5 % de probabilidade e no coeficiente de determinação.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em alto N houve efeito linear de doses de P sobre a eficiência de uso de N (EUN) para as linhagens L1, L2, L8 e L9 e quadrático para as linhagens L3 e L10 (Figura 1 e Tabela 1). A linhagem L10 obteve maior EUN em 160 e 800 mg dm<sup>-3</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> aplicados no solo com relação as demais linhagens em alto N. Obtendo o maior valor de EUN em 800 mg dm<sup>-3</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> aplicados no solo. Isso pode ser explicado pela diferença da disponibilidade de P no solo, que por sua vez, influencia a absorção de N. Com relação ao milho, a absorção de N são limitadas nas menores doses de P (Alves et al., 1998).

Em baixo N não houve efeito de doses de P para EUN na linhagem L1 (Figura 1b, Tabela 2). Nessa dose de N a linhagem L10 não obteve valores de EUN tão altos quanto os obtidos em alto N. A linhagem L9 obteve maior valor de EUN em baixo N em comparação com ao alto N. Essa diferença das linhagens deve-se ao fato da



linhagem L10 ser responsiva a maior disponibilidade de N no solo, ao passo que a linhagens L9 é mais eficiente no uso de N.

Ao comparar os coeficientes de regressão de cada linhagem em baixo e alto N percebe-se que as estimativas desses parâmetros para as linhagens em baixo N foram maiores em comparação ao alto N. O que indica maiores respostas para EUN em baixo N. Quando se compara os coeficientes de regressão do termo do 1º grau das equações quadráticas de cada linhagem em baixo N observa-se maior valor desse coeficiente na equação da linhagem L8, ou seja, maiores respostas de EUN com o aumento das doses de P. A linhagem L9 apresentou resposta linear, com alto valor de coeficiente de inclinação da reta, com a adição de P. Nas maiores doses de P ocorreram maior absorção e assimilação de N por essa linhagem (Tabelas 1 e 2).

Geralmente, a EUN é avaliada em dois níveis de disponibilidade de N, baixo e alto. Gallais & Hirel (2004) verificaram que os efeitos genéticos responsáveis pelo controle da EUN em milho foram expressos de acordo com o suprimento de N. Portanto, os genes favoráveis para baixo N podem não ser os mesmos para alto N. Isso foi confirmado no presente experimento, visto que as linhagens apresentaram diferentes comportamentos nas duas doses de N. Além da falta de resposta ao P em baixo N indicar uma limitação imposta pelo N ao crescimento e desenvolvimento das plantas.

Segundo Santos e Fageria (2007), a melhoria da eficiência de uso do N é desejável para aumentar a produtividade, reduzir os custos de produção e manter a qualidade ambiental. No entanto, selecionar cultivares e linhagens simplesmente com base na alta EUN podem proporcionar baixa média de produtividade. Isso porque o estresse de N proporciona baixo crescimento radicular, além de maior gasto de fotoassimilados para manutenção do seu crescimento e adaptação ao estresse. Essa relação de alta eficiência e baixas médias de massa da planta seca pode ser verificada em baixo N. Com isso, a seleção deve ser com relação às características de eficiência e componentes de produtividade.

Houve efeito linear positivo para as linhagens L1, L8, L9, L10 na eficiência de uso de fósforo (EUP), e quadrático para a linhagem L3 em alto N, sobre EUP (Figura 1c e Tabela 1). Não houve efeito de dose de P para a linhagem L2 (Tabela 1c). Em baixo N não houve efeito de P para as linhagens L1, L9 e L10 sobre EUP (Figura 1d, Tabela 2). A linhagem L2 apresentou resposta linear decrescente, e as L3 e L8 foram quadráticos sobre EUP (Figura 1d). As linhagens L9 e L10 apresentaram altos valores de EUP em alto N. Apesar dessas linhagens não terem apresentado efeito de P sobre EUP, essas obtiveram altas médias para EUP em baixo N. Além de altos valores de EUN, o que

comprova a existência de interação entre N e P para EUN e EUP. Com isso a seleção direta de EUN proporciona a seleção indireta de EUP.

O aumento de doses de P proporcionou aumento de EUP para as linhagens L3 e L8 até próximo à 480 mg de P  $\text{dm}^{-3}$  aplicados no solo, sendo EUP variável com a linhagem. As doses de 640 e 800 mg  $\text{dm}^{-3}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$  só proporcionaram efeito sobre EUP para as linhagens em alto N. Os resultados apresentados nas figuras 1c e 1d estão de acordo com os resultados encontrados por Fageria (1992), onde as linhagens avaliadas nas menores doses de N e P apresentam maiores EUP do que quando avaliadas em alto N e baixo P. Os valores de eficiência de uso de P geralmente diminuem com aumento desse nutriente no solo.

As linhagens mais eficientes no uso de N e P foram as L9 e L10. Em alto N as linhagens L1, L2, L3 e L8 obtiveram os menores valores de EUN e as linhagens L1, L3 e L8 os menores valores de EUP. Em baixo N, as linhagens L1, L2, L3 foram as que obtiveram os menores valores de EUN e as L2 e L3 os menores valores de EUP.

Em alto N, houve efeito de dose de P sobre massa da parte aérea seca (MPAS) e sistema radicular (MSRS) para as linhagens (Figuras 2a e 2c). Por outro lado, houve efeito de dose de P apenas para L3 sobre MPAS (Figura 2b) e sobre MSRS para L2, L3 e L9 (Figura 2d) em baixo N. Nas duas doses de N, as linhagens L9 e L10 apresentaram os maiores valores de MPAS em relação às demais linhagens, com exceção da 160 mg  $\text{dm}^{-3}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$  combinada com alto de N a linhagem L8 obteve maior valor de MPAS (Figura 3a). A disponibilidade de P no solo, no estágio inicial de desenvolvimento das plantas de milho é um fator determinante no crescimento, por afetar características morfológicas do sistema radicular, importante para a absorção do nutriente e, conseqüentemente, a produção da parte aérea.

Entre as linhagens, houve resposta diferenciada na mesma dose de P, indicando que as plantas com maior capacidade de desenvolvimento do sistema radicular obtiveram melhores ganhos de MPAS (Figura 2). Desse modo, conhecer tais exigências, na fase inicial de desenvolvimento da planta e associá-la à aplicação de quantidades adequadas de fertilizantes é uma das estratégias para estabelecer-se um programa racional e eficiente de nutrição para a cultura do milho.

Em baixo N houve menor crescimento do sistema radicular, com isso, menor índice de formação de raízes novas para auxiliar na absorção de N. Nas regiões de crescimento de raízes do sistema radicular ocorre maiores taxas de absorção de N no milho (Zonta et al., 2006).

Nas duas doses de N as linhagens que obtiveram os maiores valores para eficiência de uso de N e P foram as que obtiveram as maiores MPAS e MSRS (Figura 2a a 2d). No entanto, com relação à EUN, MPAS e MSRS houve uma troca de posições entre as linhagens, tendo a linhagem L10 melhores resultados a adição de P em alto N em comparação a L9. O contrário foi observado em baixo N, onde a L9 obteve melhor resposta ao aumento da dose de P. Com isso, pode-se afirmar que a L10 é mais responsiva a melhoria do ambiente e L9 é mais eficiente em condições de estresse de N em resposta a P.

## **CONCLUSÕES**

A eficiência de uso de nitrogênio pelas linhagens depende da dose de P e a eficiência de uso de P depende da dose de N.

A linhagem selecionada em alto N com base na EUN e outras características é diferente da linhagem selecionada em baixo N.

As linhagens de milho apresentam diferentes respostas quanto a EUN e EUP de acordo com as doses de nitrogênio e fósforo.

Em baixo a linhagem L9 é eficiente no uso de N e a linhagem L10 é responsiva a este nutriente em alto N.

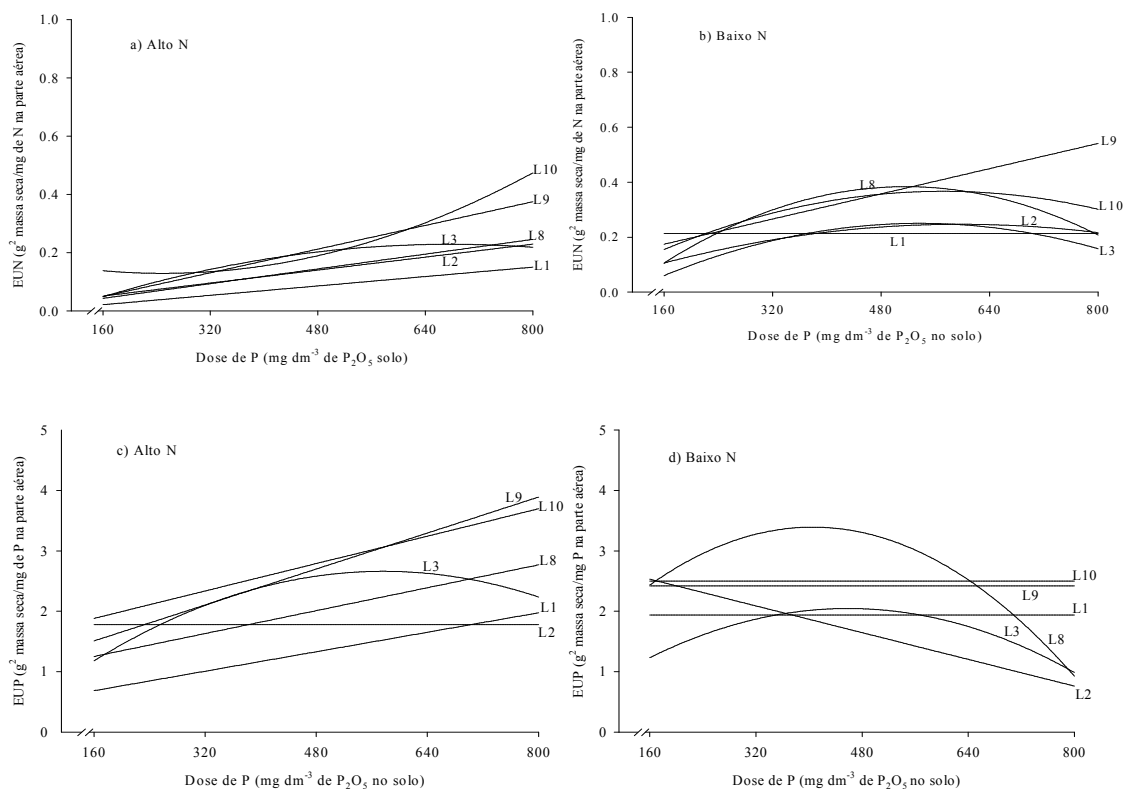
## **AGRADECIMENTOS**

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa e a CAPES e FAPEMIG pelo recurso do projeto.

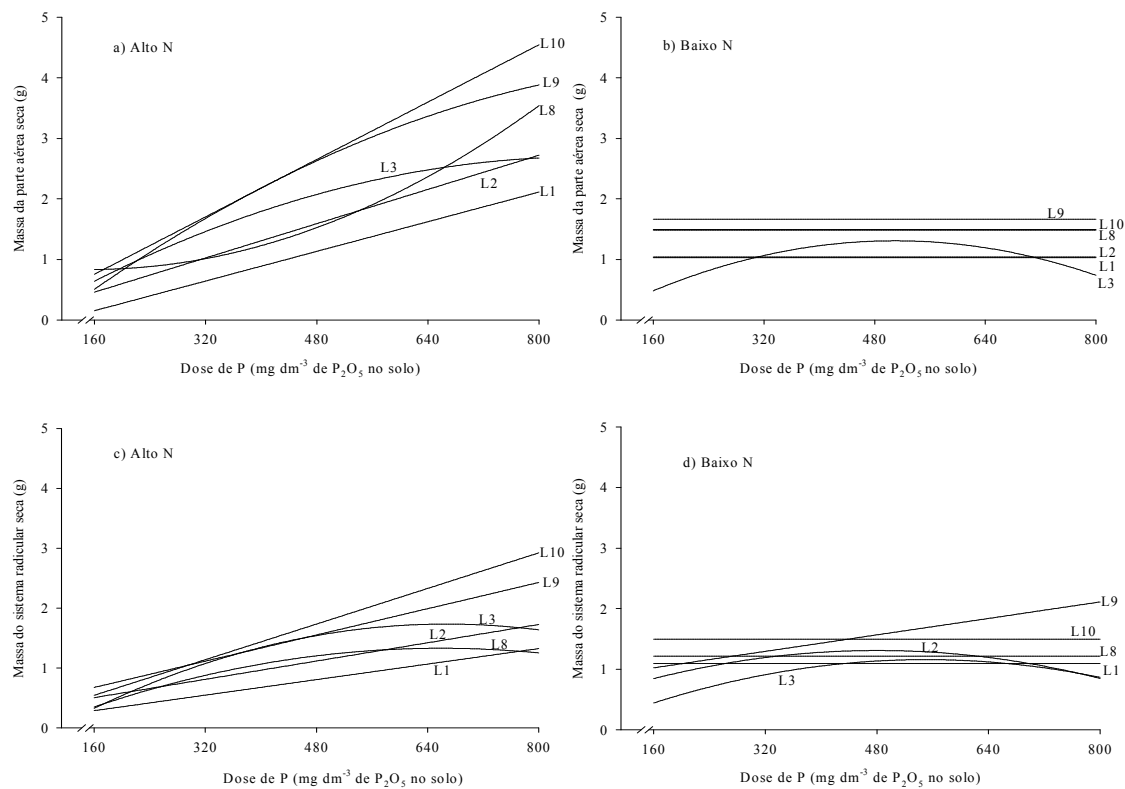
## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, V.M.C.; VASCONCELLOS, C.A.; FREIRE, F.M.; PITTA, G.V.E.; FRANÇA, G.E.; RODRIGUES FILHO, A.; ARAÚJO, J.M.; VIEIRA, J.R. and LOUREIRO, J.E. Milho. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. (Ed.). **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª Aproximação**. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, p.314-322, 1999.
- ALVES, V.M.C.; MAGALHÃES, J.V.; VASCONCELLOS, C.A.; NOVAIS, R.F.; BAHIA FILHO, A.F.C.; FRANÇA, G.E.; OLIVEIRA, C.A. & FRANÇA, C.C.M. Acúmulo de nitrogênio e de fósforo em plantas de milho afetadas pelo suprimento parcial de fósforo às raízes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, p.299-305, 1999.
- ALVES, V.M.C.; NOVAIS, R.F.; OLIVEIRA, M.F.G. & SANT'ANNA, R. Cinética e translocação de fósforo em híbridos de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 33, p. 1047-1052, 1998.
- BAILIAN, L.; McKEAND, S.E.; ALLEN, H.L. Genetic variation in nitrogen use efficiency of lobeolly pine seedlings. **Forest Science**, v. 37, n. 2, p. 613-626, 1991.
- BEEBE, S.E.; ROJAS-PIERCE, M.; YAN, X.; BLAIR, M.W.; PEDRAZA, F.; MUÑOZ, F.; TOHME, J.; LYNCH, J. P. Quantitative Trait Loci for Root Architecture Traits Correlated with Phosphorus Acquisition in Common Bean. **Crop Science**, v.46, p.13–423, 2006.
- BLAIR, G. Nutrient efficiency what do we really mean? In: RANDALL, P.J.; DELHAITZE, E.; RICHARDS, R.A.; MUNNS, R. (Eds.). **Genetic Aspects of Plant Mineral Nutrition**. Dordrecht: Kluwer Academic, 1993. p.205–213, (Developments in Plant and Soil Sciences, 50).
- CECCARELLI, S. Adaptation to low/high input cultivation. **Euphytica**, v.92, p.203-214, 1996.
- CLARK, R.B.; BROWN, J.C. Differential phosphorus uptake by phosphorus-stressed can inbreds. **Crop Science**, v.14, p.505-508, 1974.
- COQUE, M. & GALLAIS, A. Genomic regions involved in response to grain yield selection at high and low nitrogen fertilization in maize. **Theor Appl Genet**. v.112, p.1205–1220, 2006.
- FAGERIA, N.K. **Maximizing crop yields**. New York: Marcel Dekker, 1992. 274p.

- FERNANDES, L. A.; FURTINI NETO, A. E.; VASCONCELOS, C. A.; GUEDES, G. A. A. Preparo do solo e adubação nitrogenada na produtividade de milho em latossolo sob vegetação de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência de Solo**, Viçosa, v. 22, p. 247-254, 1998.
- FOX, R.H. Selection for phosphorus efficiency in corn. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 9, p. 13-37, 1978
- Gallais A. & Hirel, B. An approach to the genetics of nitrogen use efficiency in maize. **Journal of Experimental Botany**, V. 55, 396:295-306, 2004
- KAMPRATH, E.J. Enhanced phosphorus status of maize resulting from nitrogen fertilization of high phosphorus soils. **Soil Science American Journal**, V.52, p.522-526, 1987.
- LINKOHR, B.I.; WILLIAMSON, L.C.; FITTER, A.H.; LEYSER, H.M.O. Nitrate and phosphate availability and distribution have different effects on root system architecture of Arabidopsis. **The Plant Journal**, v.29, n.6, p.751-760, 2002.
- LYNCH, J.P. & HO, M. Rhizoeconomics: Carbon costs of phosphorus acquisition. **Plant and Soil**, v.269, p.45–56, 2004.
- SANTOS, A.B. & FAGERIA, N.K. Manejo do nitrogênio para eficiência de uso por cultivares de feijoeiro em várzea tropical. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 9, p.1237-1248, 2007.
- SANTOS, M.X., GUIMARÃES, P.E.O., PACHECO, C.A.P., FRANÇA, G.E., PARENTONI, S.N., GOMES-E-GAMA, E.E. & LOPES, M.A. Melhoramento intrapopulacional no Sintético Elite NT para solos pobres em nitrogênio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 33, p. 55-61, 1998.
- SIDDIQI, M.Y.; GLASS, A.D.M. Utilization index: a modified approach to the estimation and comparison of nutrient utilization efficiency in plants. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v.4, n.3, p.289-302, 1981.
- WILLIAMSON, L.C.; RIBRIOUX, S. P.C.P.; FITTER, A.H. & LEYSER, H.M.O. Phosphate Availability Regulates Root System Architecture in Arabidopsis **Plant Physiology**, v. 26, p. 875–882, 2001.
- ZONTA, E.; BRASIL, F. C.; GOI, S. E. & ROSA, M. M. T. Sistema radicular e suas interações com o ambiente edáfico. In: **Nutrição Mineral de Plantas**, Viçosa, MG, SBCS, 2006. 432p.



**Figura 1:** Eficiência de uso de nitrogênio (EUN), eficiência de uso de fósforo (EUP), conteúdo de N no sistema radicular em função da dose de fósforo (P) em baixo e alto N.



**Figura 2:** Massa da parte aérea seca, massa seca do sistema radicular e área total de raiz, em função da dose de fósforo (P) em baixo e alto N.

**Tabela 1:** Equações ajustadas para os parâmetros: eficiência de uso de nitrogênio (EUN), eficiência de uso de fósforo (EUP), massa da parte aérea seca (MPAS) e massa do sistema radicular seca (MSRS) em função da dose de fósforo (P) em alto N

Características	Linhagens	Equações ajustadas	R <sup>2</sup> /r <sup>2</sup>
EUN (g <sup>2</sup> massa seca/mg de N na parte aérea)	L1	$\hat{Y} = - 1,06817000 + 0,000201350**P$	0,96
	L2	$\hat{Y} = 0,00684370 + 0,0002781010*P$	0,78
	L3	$\hat{Y} = - 0,08041300 + 0,0009135880*P - 0,000000674645*P^2$	0,97
	L8	$\hat{Y} = - 0,00735298 + 0,0003162460*P$	0,78
	L9	$\hat{Y} = - 0,03150200 + 0,000507904**P$	0,96
	L10	$\hat{Y} = 0,19973800 - 0,0005665260*P + 0,00000113655**P^2$	0,99
EUP (g <sup>2</sup> massa seca/mg de P na parte aérea)	L1	$\hat{Y} = 0,36439600 + 0,002014410**P$	0,89
	L2	$\hat{Y} = 1,7817$	-
	L3	$\hat{Y} = - 0,17576600 + 0,0098370900*P - 0,00000852563*P^2$	0,92
	L8	$\hat{Y} = 0,87379000 + 0,0023694000*P$	0,59
	L9	$\hat{Y} = 0,91489800 + 0,003719480**P$	0,94
	L10	$\hat{Y} = 1,43014000 + 0,0028331300*P$	0,75
MPAS (g)	L1	$\hat{Y} = - 0,33642300 + 0,003062900**P$	0,98
	L2	$\hat{Y} = - 0,10606500 + 0,003536160**P$	0,93
	L3	$\hat{Y} = - 0,38620800 + 0,0070718600*P - 0,00000405409*P^2$	0,98
	L8	$\hat{Y} = 0,98680000 - 0,0019895800^{ns}P + 0,00000648027**P^2$	0,95
	L9	$\hat{Y} = - 0,88092000 + 0,009352270**P - 0,00000424637*P^2$	0,99
	L10	$\hat{Y} = - 0,19165000 + 0,005923850**P$	0,98
MSRS (g)	L1	$\hat{Y} = - 0,02879200 + 0,001620930**P$	0,91
	L2	$\hat{Y} = 0,20072600 + 0,0019083200*P$	0,84
	L3	$\hat{Y} = - 0,70099900 + 0,0072989000*P - 0,00000546917*P^2$	0,93
	L8	$\hat{Y} = - 0,37947800 + 0,005187220**P - 0,00000393379**P^2$	0,89
	L9	$\hat{Y} = 0,23798500 + 0,0027388400*P$	0,85
	L10	$\hat{Y} = - 0,05047750 + 0,003717690**P$	0,98

**Tabela 2:** Equações ajustadas para os parâmetros: eficiência de uso de nitrogênio (EUN), eficiência de uso de fósforo (EUP), massa da parte aérea seca (MPAS) e massa do sistema radicular seca (MSRS) em função da dose de fósforo (P) em baixo N

Características	Linhagens	Equações ajustadas	R <sup>2</sup> /r <sup>2</sup>
EUN (g <sup>2</sup> massa seca/mg de N na parte aérea)	L1	$\hat{Y} = 0,2134$	-
	L2	$\hat{Y} = - 0,01655320 + 0,000883271**P - 0,000000740249**P^2$	0,99
	L3	$\hat{Y} = - 0,13544600 + 0,0014338000*P - 0,00000133744*P^2$	0,75
	L8	$\hat{Y} = - 0,19962400 + 0,0022586700*P - 0,00000218712*P^2$	0,76
	L9	$\hat{Y} = 0,08256250 + 0,0005730150*P$	0,86
	L10	$\hat{Y} = - 0,04227540 + 0,001431540**P - 0,00000125248**P^2$	0,81
EUP (g <sup>2</sup> massa seca/mg de P na parte aérea)	L1	$\hat{Y} = 1,9365$	-
	L2	$\hat{Y} = 0,29744400 - 0,002764340**P$	0,90
	L3	$\hat{Y} = 0,12968600 + 0,0083513400*P - 0,00000909689*P^2$	0,91
	L8	$\hat{Y} = 0,78219900 + 0,012865900**P - 0,0000158548**P^2$	0,87
	L9	$\hat{Y} = 2,4212$	-
	L10	$\hat{Y} = 2,4998$	-
MPAS (g)	L1	$\hat{Y} = 1,0321$	-
	L2	$\hat{Y} = 1,0421$	-
	L3	$\hat{Y} = - 0,44692200 + 0,00688992**P - 0,00000676064**P^2$	0,69
	L8	$\hat{Y} = 1,4843$	-
	L9	$\hat{Y} = 1,6627$	-
	L10	$\hat{Y} = 1,4972$	-
MSRS (g)	L1	$\hat{Y} = 1,0918$	-
	L2	$\hat{Y} = 0,26434400 + 0,004348140*P - 0,00000452521*P^2$	0,75
	L3	$\hat{Y} = - 0,26590100 + 0,00517734**P - 0,00000470568*P^2$	0,96
	L8	$\hat{Y} = 1,2129$	-
	L9	$\hat{Y} = 0,75080200 + 0,00169971*P$	0,80
	L10	$\hat{Y} = 1,4982$	-

## SELEÇÃO PRECOCE E FENOTIPAGEM DE LINHAGENS DE MILHO QUANTO À ARQUITETURA DAS RAÍZES SEMINAIS

### RESUMO

A importância da arquitetura radicular da planta no aumento da produtividade é devido à necessidade na exploração espacial do solo em ambientes com diferentes disponibilidades de água, nutrientes ou toxidez mineral e distribuição heterogênea dos nutrientes no solo. Objetivou-se selecionar e fenotipar linhagens de milho quanto à arquitetura das raízes seminais em relação a raiz primária da planta. Foram avaliadas 20 linhagens de milho em solução nutritiva em caixas de vidro revestidas com papel alumínio em temperatura e umidade ambientes. Foi selecionada uma plântula com radícula de aproximadamente 2 a 3 cm de comprimento para ser avaliada na excicata de crescimento. Por capilaridade a solução umedeceu totalmente a excicata de crescimento, proporcionando condições de desenvolvimento radicular das plântulas de milho. As raízes seminais das linhagens variaram de 52 a 160,67 cm quanto ao crescimento total. Os ângulos das raízes seminais variaram de 16,30 a 46,14 graus. As notas de densidade de pêlos radiculares variaram de 3 a 8. O número final de raízes seminais variaram de 1 a 5. As linhagens apresentaram-se diferentes para quase todas as características, exceto para número de raízes seminais avaliadas ao quarto dia. A linhagem de milho L11 foi a que maior apresentou densidade de pêlos radiculares, ângulos e crescimentos das raízes seminais. A estimativa do coeficiente de regressão da reta referente a taxa de crescimento das raízes seminais dessa linhagem foi cinco vezes maior em relação a linhagem de menor crescimento. O coeficiente de regressão referente a taxa de emissão das raízes seminais variou em até 45 vezes. Conclui-se que as linhagens de milho L11 e L14 têm os maiores ângulos das raízes seminais; as linhagens L15 e L17 têm as maiores densidade de pêlos radiculares; a linhagem L11 foi a que sobressaiu com maior número de raízes seminais.

**Palavras-chaves:** *Zea mays* (L.), melhoramento, fósforo, ângulo, raízes e pêlos.



## PRECOCIOUS SELECTION AND PHENOTYPING OF LINE OF CORN AS FOR THE ARCHITECTURE OF THE SEMINAL ROOTS

### ABSTRACT

The importance of the root architecture of the plant in the increase of the productivity is due to the need in the space exploration of the soil in atmospheres with different readiness of water, nutritious or mineral toxidez and heterogeneous distribution of the nutrients in the soil. It was aimed select and phenotyping corn line as for the architecture of the seminal roots in relation to primary root of the plant. They were appraised 20 corn lines in nutritious solution in glass boxes covered with aluminum foil in temperature and ambient humidity. A plantule was selected with radícula of approximately 2 to 3 cm of length to be evaluated in the growth excicata. For capillarity the solution totally moistened the growth excicata, providing conditions of development root of the corn plantules. The seminal roots of the line varied from 52 to 160.67 cm as for the total growth. The angles of the seminal roots varied from 16.30 to 46.14 degrees. The notes of density of hair roots varied from 3 to 8. The final number of seminal roots varied from 1 to 5. The line came different for almost all the characteristics, except for number of appraised seminal roots to the fourth day. The corn line L11 was what adult presented density of hair roots, angles and growths of the seminal roots. The estimate of the determination coefficient of the straight line regarding growth rate of the seminal roots of that line was five times larger in relation to line of smaller growth. The determination coefficient regarding tax of emission of the seminal roots varied in up to 45 times. Was ended that the corn lines L11 and L14 have the largest angles of the seminal roots; the lines L15 and L17 have them largest density of hair roots; the line L11 was the one that stood out with larger number of seminal roots.

**Word-key:** *Zea mays* (L.), improvement, phosphrus, angle, roots and hair.

## INTRODUÇÃO

A importância da arquitetura radicular da no aumento da produtividade é devido à necessidade na exploração espacial do solo em ambientes com diferentes disponibilidades de água, nutrientes ou toxidez mineral e distribuição heterogênea dos nutrientes no solo, bem como o desenvolvimento radicular para aquisição de fósforo em solos com menor custo metabólico (Lynch, 1995; Lynch & Brown, 2001; Fan et al., 2003). Dorlodot et al. (2007) relataram que estudos da extensão e natureza da variação da arquitetura radicular têm profunda implicação na melhoria da eficiência do uso de nutrientes e água nas culturas, sendo diretamente ligada ao aumento da produtividade em estresse abiótico.

O crescimento mais superficial das raízes basais de feijão em baixo fósforo (P) foi correlacionado com a eficiência na absorção de P e alocação de carbono (Lynch, 1995). Esse autor relatou que o P está envolvido nas mudanças rápidas de gravitropismo, ramificação radicular lateral, taxa de crescimento e alongamento de pêlos radiculares que resultam em maior exploração superficial do solo pelo sistema radicular. Entre as características radiculares da planta, o diâmetro radicular ( $r = 0,960^{**}$ ) e massa da parte aérea ( $r = 0,754^{**}$ ) estão correlacionados com o crescimento dos ângulos das raízes seminais (Kato et al., 2006).

O desafio para a seleção de plantas de milho com base nas características radiculares está na dificuldade em avaliar a raiz. Essas características são fenotipicamente flexíveis a condições ambientais e difíceis de avaliação *in situ*. Além dessas mudanças das características radiculares, há perdas de raízes e deformação da arquitetura (Beebe et al., 2006).

Para solucionar as dificuldades de avaliação do sistema radicular em campo, técnicas alternativas foram desenvolvidas, como o uso de rizotrons (Devienne-Barret et al., 2006; Laperche et al., 2007), areia (Wang et al., 2004), e sistemas hidropônicos (Tuberosa et al., 2003). Mas há poucos trabalhos que quantificam e descrevem a morfologia radicular do milho em câmara de crescimento.

Estudos com várias espécies mostram correlação positiva entre raio, densidade, comprimento de pêlos radiculares e conteúdo de P na planta (Hoffmann and Jungk, 1995). Os pêlos radiculares de milho são importantes para aquisição eficiente de fósforo no solo (Zhu & Lynch, 2004; López-Bucio et al., 2002). Variação genética da densidade e comprimento de pêlos radiculares está associada à adaptação do milho e feijão a baixa

disponibilidade de N e P no solo (Bates & Lynch, 2000; Zhu, et al., 2005, Yan et al., 2004).

Com isso, objetivou-se selecionar e fenotipar linhagens de milho quanto à arquitetura das raízes seminais em relação a raiz primária da planta.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

O experimento foi conduzido na Universidade Federal de Viçosa, no Campo Experimental Diogo Alves de Melo, pertencente ao Departamento de Fitotecnia, no Laboratório do Programa Milho<sup>®</sup> UFV. Foram avaliadas 20 linhagens endogâmicas de milho em geração S6 do Programa Milho<sup>®</sup> UFV, essas apresentam a mesma descendência, são oriundas de população de polinização aberta e obtida no mesmo campo de multiplicação. O experimento foi disposto no delineamento em blocos casualizados, com três repetições.

A solução utilizada nesse experimento continha as concentrações (em mg L<sup>-1</sup>): 1180 Ca (NO<sub>3</sub>). 4H<sub>2</sub>O; 505 KNO<sub>3</sub>; 136 KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>; 492 MgSO<sub>4</sub>; 24,1 FeSO<sub>4</sub>. 7H<sub>2</sub>O; 25,1 Fe-EDTA; 2,04 H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>; 2,34 MnCl<sub>2</sub>. 4H<sub>2</sub>O; 0,88 ZnSO<sub>4</sub>. 7H<sub>2</sub>O; 0,20 CuSO<sub>4</sub>. 5H<sub>2</sub>O e 0,26 Na<sub>2</sub> MO O<sub>4</sub>. 2H<sub>2</sub>O (Machado et al., 2001)

As sementes das linhagens de milho foram colocadas em papel germitex no germinador com umidade de 80% e temperatura de 30° C por 72 horas. Foi selecionada uma plântula por linhagem com radícula de aproximadamente 2 a 3 cm de comprimento para ser fixada na excicata de crescimento. As excicatas de crescimento constituíram-se de uma folha germitex dobrada ao meio, envolvida por um plástico de polietileno perfurada uniformemente com furos de dois centímetros de diâmetro para melhor aeração. As excicatas de crescimento foram colocadas verticalmente em uma caixa de vidro retangular, com 30 cm de largura x 30 cm de altura x 50 cm de comprimento, contendo solução nutritiva até a altura de 10 cm. A parte superior da excicata de crescimento ficou apoiada nas laterais do aquário por um suporte, portanto a parte inferior foi imersa na solução nutritiva até a altura de 5 cm. Por capilaridade a solução umedeceu totalmente a excicata de crescimento, o que proporcionou o desenvolvimento do sistema radicular. Foram realizadas medições de crescimento das raízes primária e seminal e a contagem do número de raízes seminais no quarto, oitavo e décimo segundo dia após fixação das plântulas nas excicatas. Os ângulos das raízes seminais foram avaliados após o décimo segundo dia. Estes ângulos das raízes seminais são os formados entre o eixo horizontal de crescimento da raiz primária da plântula com as

raízes seminais que tinham mais de dois cm de comprimento. Os pêlos radiculares foram avaliados visualmente, de acordo com Vieira et al. (2007), após ter sido colorido com o corante Azul de Tripán a 0,05%. Foi utilizada a escala de 1, sem pêlos radiculares; 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 com 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 e 90% de todo o sistema radicular com pêlos radiculares, respectivamente e a nota 10, com 100% das raízes do sistema radicular com pêlos radiculares.

Foram realizadas à análise de variância, teste de Skott e Knott a 5% de probabilidade e posteriormente foram realizadas análises multivariadas. Foi utilizada a análise de agrupamento para discriminação genotípica entre as linhagens, pelo método de otimização de Tocher, baseada na distância generalizada de Mahalanobis, utilizando o programa estatístico GENES (Cruz et al., 2001).

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

As linhagens apresentaram diferenças significativas ( $P < 0,05$ ) para características. Essas diferenças entre as linhagens favorecem o estudo em virtude da existência de variabilidade genética entre as linhagens de milho e alta herdabilidade ( $h^2 > 92,86\%$ ) das características com valor de CV  $< 12\%$ , o que facilita a discriminação e seleção das linhagens (Tabela 2).

Com relação à média de crescimento da raiz primária avaliada no quarto dia após a fixação da semente na excicata (CRESC4), as maiores médias variaram entre 18 cm (L30) a 23,33 cm (L13), não diferindo significativamente das linhagens que obtiveram valores entre este intervalo. As linhagens L24 (7,00 cm) e L25 (8,67 cm) obtiveram as menores médias, não diferindo significativamente entre si (Tabela 2). No entanto, a linhagem L30 foi a que obteve as maiores médias de crescimento das raízes seminais no oitavo (CRSC8 = 94,67 cm) e no décimo segundo dia (CRESC12 = 160,33 cm), não diferindo da linhagem L11 (160,67 cm) no CRESC12 ( $p < 0,001$ ) (Tabela 2).

O número de raízes seminais no quarto dia depois da fixação plântulas nas excicatas (NR4) não diferiu entre si ( $p = 0,482$ ), apresentando valor médio de 1,03. Houve diferença  $P < 0,039$  e  $P < 0,037$ , respectivamente para número de raízes no oitavo dia (NR8) e no décimo segundo dia (NR12). As linhagens L11 e a L30 apresentaram médias de 4,33 para NR8. Essas linhagens apresentaram médias de 4,67 e 4,33, respectivamente para NR12, diferindo das demais linhagens que apresentaram médias de NR8 e NR12 igual e inferior a 2,67 e 2,00, respectivamente (Tabela 2). Os números de raízes seminais variaram de 0 a 5 no período compreendido da primeira a última

avaliação. Zhu et al. (2006) observaram a variação de 0 a 8 raízes seminais em plântulas de milho. Existe correlação positiva entre número e comprimento de raízes seminais com a massa da planta seca (Zhu et al., 2006). Sendo uma adaptação benéfica do crescimento das raízes seminais com a absorção de nutrientes pouco móveis no solo. Por exemplo, o P, na sua maior exploração do solo. Sendo assim, espera-se que as linhagens de maior número e comprimento de raízes seminais possam apresentar resultados satisfatórios na absorção e exploração de P no solo e conseqüentemente realizarem seleção precoce dessas linhagens.

As maiores médias de ângulo de raízes seminais foram obtidas pela linhagem L11 (46,14°), não diferindo ( $P < 0,001$ ) das linhagens L16 (45,57°) e L14 (43,63°). Por outro lado, as menores médias de ângulo das raízes seminais foram observadas nas linhagens L12 (16,30°), L29 (17,69°) e L25 (19,98°), não diferindo ( $P < 0,001$ ) entre si (Tabela 2). A vantagem de medir o ângulo das raízes seminais na câmara de crescimento, em relação ao método utilizado por Ito et al. (2004), é a simplicidade e rapidez de avaliação, além de poder acompanhar o desenvolvimento diário do sistema radicular.

A maior nota de pêlos radiculares foi dada às linhagens 15 e L17 (ambas com nota 8), diferindo ( $P < 0,001$ ) das demais linhagens. Para esta característica foram formados sete grupos, com notas variando de 3 a 8 (Tabela 2). Esse método é de rápida avaliação, permite a visualização de todo o sistema radicular, apresenta baixo erro padrão da média e discrimina genótipos com diferentes densidades e comprimentos de pêlo radicular. Yan et al. (2004) mostraram que genótipos de feijão eficientes na absorção de P têm maior densidade e comprimento de pêlos radiculares.

O coeficiente de inclinação da reta variou de -1,5 (L16) a 8,33 (L30) para taxa de emissão de raízes seminais e de 12,17 (L19) a 62,33 (L30) para taxa de crescimento das raízes (Tabela 3). Isso significa que quanto maior este coeficiente maior o número e crescimento das raízes seminais ao longo do tempo. Os sistemas radiculares das linhagens que apresentam maior taxa de emissão e crescimento das raízes entram em contato com os nutrientes mais rápido do que as de menores taxas. As de maiores taxas exploram maior volume do solo num menor intervalo de tempo, melhorando assim à aquisição de nutrientes e água. De acordo com Barber (1995) a maior taxa de crescimento radicular promove maior absorção e exploração do solo num menor espaço de tempo, sendo muito importante na eficiência de absorção de fósforo.

As linhagens foram classificadas satisfatoriamente em sete grupos. Sendo as linhagens de maiores médias para as características estão separadas nos grupos VI (L30)

e VII (L11). Por outro lado, as linhagens com menores médias de ângulo das raízes seminais e pêlos radiculares estão parcialmente reunidas no grupo II (L18; L19; L23; L27; L21; L20 e L24) (Tabela 4).

## **CONCLUSÕES**

As linhagens de milho L11 e L14 têm os maiores ângulos das raízes seminais;

As linhagens L15 e L17 têm as maiores densidade de pêlos radiculares e;

A linhagem L11 foi a que sobressaiu com maior número de raízes seminais.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa e a CAPES e FAPEMIG pelo recurso do projeto.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARBER, S. A. **Soil Nutrient Bioavailability: a Mechanistic Approach**. Wiley-Interscience. New York. 1995.
- BATES, T. R. & LYNCH J. P. Plant growth and phosphorus accumulation of wild type and two root hair mutants of *Arabidopsis thaliana* (*Brassicaceae*). **American Journal Botany**, v.87, p.958–963, 2000.
- BEEBE, S.E.; ROJAS-PIERCE, M.; YAN, X.; BLAIR, M.W.; PEDRAZA, F.; MUÑOZ, F.; TOHME, J. & LYNCH, J. P. Quantitative Trait Loci for Root Architecture Traits Correlated with Phosphorus Acquisition in Common Bean. **Crop Science**, v.46, p.413–423, 2006.
- CRUZ, C. D. **Programa GENES: aplicativo computacional em genética e estatística versão Windows**. Viçosa - MG. UFV, 2001. 442 p.
- DEVIENNE-BARRET, F.; RICHARD-MOLARD, S.; CHELLE, M.; MAURY, O.; NEY, B. Ara-rhizotron: an effective culture system to study simultaneously root and shoot development. **Plant Soil**, v.280, p. 253–266, 2006.
- DORLODOT, S.; FORSTER, B.; PAGÈS, L.; PRICE, A.; TUBEROSA, R. & DRAYE, X. Root system architecture: opportunities and constraints for genetic improvement of crops. **TRENDS in Plant Science**, v.12, n.10, p. 1360 - 1385, 2007.
- FAN, M. S.; ZHU, J. M.; RICHARDS, C.; BROWN, K. M. & LYNCH, J. P. Physiological roles for aerenchyma in phosphorus-stressed roots. **Functional Plant Biology**, v.30, p.493–506, 2003.
- HOFFMANN, C.; JUNGK, A. Growth and phosphorus supply of sugar beet as affected by soil compaction and water tension. **Plant and Soil**, v. 176, n. 1, p. 15-25, 1995.
- ITO, K.; MORITA, S.; ABE, J. and INANAGA, S. Growth direction of nodal roots with reference to root cap development in field grown maize (*Zea mays*). **Biologia** 59, supplement, v.13, p.41-47, 2004.
- KATO, Y.; ABE, J.; KAMOSHITA, A. & YAMAGISHI, J. Genotypic variation in root growth angle in rice (*Oryza sativa* L.) and its association with deep root

- development in upland fields with different water regimes. **Plant and Soil**, v.287, p.117–129, 2006.
- LAPERCHE, A.; DEVIENNE-BARRET, F.; MAURY, O.; GOUIS, J.L. & NEY, B. A simplified conceptual model of carbon/nitrogen functioning for QTL analysis of winter wheat adaptation to nitrogen deficiency. **Theoretical and Applied Genetics**, v.113, p.1131-1146, 2006.
- LÓPEZ-BUCIO, J.; HERNÁNDEZ-ABREU, E.; SÁNCHEZ-CALDERÓN, L.; NIETO-JACOBO, M.F.; SIMPSON, J.; & HERRERA-ESTRELLA, L. Phosphate Availability Alters Architecture and Causes Changes in Hormone Sensitivity in the Arabidopsis Root System. **Plant Physiology**, v.129, p.244–256, 2002.
- LYNCH, J. 1995. Root architecture and plant productivity. *Plant Physiology*, v. 109, p.7-13,
- LYNCH, J.P. & BROWN, K.M. Topsoil foraging - An architectural adaptation of plants to low phosphorus availability. **Plant and Soil**, v.237, p.225-237, 2001.
- MACHADO, C.T. de T.; FURLANI, A.M.C.; MACHADO, A.T. Índices de eficiência de variedades locais e melhoradas de milho ao fósforo. **Bragantia**, v.60, p.225-238, 2001.
- TUBEROSA, R.; SALVI, S.; SANGUINETI, M.C.; MACCAFERRI, M.; GIULIANI, S, LANDI P Searching for quantitative trait loci controlling root traits in maize: a critical appraisal. **Plant and Soil**, v.255, p.35-54, 2003.
- VIEIRA, R.F. JOCHUA, C.N. and LYNCH, J.P. Method for evaluation of root hairs of common bean genotypes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília. v.42, n.9, p.1365-1368, 2007.
- WANG, R.; TISCHNER, R.; GUTIÉRREZ, R.A.; HOFFMAN, M.; XING, X.; CHEN, M.; CORUZZI, G.; CRAWFORD, N.M. Genomic analysis of the nitrate response using a nitrate reductase-null mutant of Arabidopsis. **Plant Physiology**, v.136, n.1, p.2512-2522, 2004.
- YAN, X.; LIAO, H.; BEEBE, S.E.; BLAIR, M.W.; LYNCH, J.P. QTL mapping of root hair and acid exudation traits and their relationship to phosphorus uptake in common bean. **Plant and Soil**, v.265, p.17-29, 2004.



ZHU, J.; KAEPLER, S.M.; LYNCH, J.P. Mapping of QTL for lateral root branching and length in maize (*Zea mays* L.) under differential phosphorus supply. **Theor Application Genetic**, v.111, p.688–695, 2005.

ZHU, J.; LYNCH, J.P . The contribution of lateral rooting to phosphorus acquisition efficiency in maize (*Zea mays* L.) seedlings. **Functional Plant Biology**, v.31, p.949-958, 2004.

ZHU, J.; MICKELSON, S.M.; KAEPLER, S.M.; LYNCH, J. P. Detection of quantitative trait loci for seminal root traits in maize (*Zea mays* L.) seedlings grown under differential phosphorus levels. **Theor Application Genetic**, v.113, p.1-10, 2006.

**Tabela 1:** Resumo da análise de variância, coeficiente de variação (CV%) e herdabilidade ( $h^2$ ) das características: crescimento das raízes seminais no quarto dia (CRESC4 - cm), oitavo dia (CRESC8 - cm), décimo segundo dia (CRESC12 - cm); ângulo médio entre o eixo horizontal de crescimento da plântula com as raízes seminais com mais de dois cm de comprimento (graus); escala de pêlos radiculares (PÊLO, 1, sem pêlos radiculares; 3, entre 1 e 5 na escala de classificação; 5, densidade e comprimento de pêlos radiculares intermediários; 7, entre 5 e 9 na escala de classificação e 9, com pêlos radiculares abundantes); número de raízes seminais no quarto dia (NR4), oitavo dia (NR8) e décimo segundo dia (NR12). Viçosa - MG, 2007

FV	GL	Quadrado Médio							
		CRESC4	CRESC8	CRESC12	ÂNGULO	PÊLO	NR4	NR8	NR12
Bloco	2	9,62	26,11	27,98	0,04214	0,616	0,07	2,60	1,52
Linhagem	19	47,96**	765,54**	4006,02**	244,258**	8,52**	0,07 <sup>ns</sup>	2,72*	3,02*
Resíduo	38	3,42	42,50	43,63	7,53	0,14	0,07	1,39	1,53
CV (%)		11,16	11,59	7,068	8,32	7,438	24,99	42,10	44,77
$h^2$		92,86	94,45	98,91	96,92	98,32	0	48,83	49,21

\*\* , \* significativo pelo teste de F a 1 e 5%, respectivamente; <sup>ns</sup> – não significativo pelo teste de F a 5%.

**Tabela 2:** Médias de crescimento das raízes seminais no quarto dia (CRESC4 - cm), oitavo dia (CRESC8 - cm), décimo segundo dia (CRESC12 - cm); ângulo médio entre o eixo horizontal de crescimento da plântula com as raízes seminais com mais de dois cm de comprimento (graus); escala de pêlos radiculares (PÊLO, 1, sem pêlos radiculares; 3, entre 1 e 5 na escala de classificação; 5, densidade e comprimento de pêlos radiculares intermediários; 7, entre 5 e 9 na escala de classificação e 9, com pêlos radiculares abundantes); número de raízes seminais no oitavo dia (NR8) e décimo segundo dia (NR12). Viçosa - MG, 2007

Linhagens	Características													
	CREC4	CRESC8	CRESC12	ÂNGULO	PÊLO	NR8	NR12							
L11	19,00	a	73,33	c	160,67	a	46,14	a	7,00	b	4,33	a	4,67	a
L16	18,67	a	39,33	e	52,00	f	45,57	a	7,00	b	1,00	b	1,00	b
L14	19,33	a	64,33	c	124,88	c	43,63	a	6,00	c	2,67	b	2,67	a
L13	23,33	a	58,33	c	117,00	c	40,47	b	5,00	d	3,00	a	3,00	a
L30	18,00	a	94,67	a	160,33	a	40,22	b	4,00	f	4,33	a	4,33	a
L21	19,00	a	58,33	c	68,33	e	39,37	b	3,00	g	3,33	a	3,33	a
L28	15,33	b	62,33	c	90,33	d	38,28	c	6,00	c	3,67	a	3,67	a
L15	20,33	a	49,00	d	73,12	e	37,88	c	8,00	a	2,33	b	2,67	a
L20	14,67	b	36,33	e	59,00	f	36,84	c	3,00	g	1,67	b	1,67	b
L24	7,00	d	37,33	e	67,67	e	35,36	c	3,33	g	3,00	a	3,33	a
L27	17,00	b	69,33	c	64,00	e	34,17	d	4,33	e	2,00	b	2,00	b
L17	16,00	b	36,33	e	58,00	f	32,11	d	8,00	a	2,33	b	1,67	b
L22	20,00	a	78,00	b	101,41	d	31,41	d	3,00	g	4,00	a	3,67	a
L18	20,33	a	44,00	d	68,33	e	26,84	e	4,33	e	2,00	b	1,67	b
L26	15,00	b	64,00	c	127,67	c	26,35	e	7,33	b	4,00	a	3,00	a
L23	11,33	c	45,00	d	59,33	f	25,82	e	5,33	d	2,00	b	1,33	b
L19	15,33	b	38,00	e	56,67	f	25,15	e	3,67	f	2,00	b	2,00	b
L25	8,67	d	65,67	c	147,00	b	19,98	f	4,00	f	2,00	b	3,33	a
L29	17,33	b	61,67	c	91,00	d	17,69	f	5,33	d	3,33	a	3,33	a
L12	16,00	b	49,33	d	122,33	c	16,30	f	4,00	f	3,00	a	3,00	a
<b>Média</b>	<b>16,58</b>		<b>56,23</b>		<b>93,45</b>		<b>32,98</b>		<b>5,08</b>		<b>2,80</b>		<b>2,76</b>	

Médias seguidas das mesmas letras nas colunas, pertencem ao mesmo grupo estatístico, pelo teste Scott e Knott, a 5% de probabilidade.

**Tabela 3:** Equações ajustadas para taxa de emissão e crescimento das raízes seminais no período de 4 a 12 dias após a fixação das plântulas nas excicatas de crescimento

Linhagens	Taxa de emissão das raízes seminais		Taxa de crescimento das raízes seminais	
	Equações ajustadas	R <sup>2</sup>	Equações ajustadas	r <sup>2</sup>
L11	$\hat{Y} = - 5,33 + 7,83NR - 1,50NR^2$	0,99	$\hat{Y} = - 39,00 + 59,67 CR$	0,99
L12	$\hat{Y} = - 2,00 + 3,50 NR - 0,50 NR^2$	0,99	$\hat{Y} = - 25,56 + 40,33 CR$	0,99
L13	$\hat{Y} = - 2,33 + 4,00 NR - 0,67 NR^2$	0,99	$\hat{Y} = - 14,11 + 35,17 CR$	0,99
L14	$\hat{Y} = - 2,33 + 4,17 NR - 0,83 NR^2$	0,99	$\hat{Y} = - 26,33 + 42,17 CR$	1,00
L15	$\hat{Y} = - 1,33 + 2,83 NR - 0,50 NR^2$	0,99	$\hat{Y} = - 15,22 + 34,67 CR$	0,99
L16	$\hat{Y} = 2,00 - 1,50 NR - 0,50 NR^2$	0,99	$\hat{Y} = - 27,11 + 38,67 CR$	0,90
L17	$\hat{Y} = - 1,67 + 3,33 NR - 0,67 NR^2$	0,99	$\hat{Y} = - 7,44 + 24,33 CR$	0,99
L18	$\hat{Y} = - 1,00 + 2,50 NR - 0,50 NR^2$	0,99	$\hat{Y} = - 3,78 + 24,00 CR$	0,99
L19	$\hat{Y} = - 1,00 + 2,50 NR - 0,50 NR^2$	0,99	$\hat{Y} = - 3,56 + 12,17 CR$	0,94
L20	$\hat{Y} = 0,67 + 0,17 NR + 0,17 NR^2$	0,99	$\hat{Y} = - 27,89 + 39,00 CR$	0,97
L21	$\hat{Y} = - 3,67 + 5,83 NR - 1,17 NR^2$	0,99	$\hat{Y} = - 21,89 + 39,67 CR$	0,99
L22	$\hat{Y} = - 5,00 + 7,50 NR - 1,50 NR^2$	0,99	$\hat{Y} = - 4,55 + 34,50 CR$	0,80
L23	$\hat{Y} = - 1,00 + 2,50 NR - 0,50 NR^2$	0,99	$\hat{Y} = - 3,67 + 22,00 CR$	0,83
L24	$\hat{Y} = - 2,67 + 4,50 NR - 0,83 NR^2$	0,99	$\hat{Y} = - 36,67 + 39,33 CR$	0,97
L25	$\hat{Y} = - 0,33 + 0,50 NR + 0,17 NR^2$	0,99	$\hat{Y} = - 42,33 + 50,50 CR$	0,99
L26	$\hat{Y} = - 5,00 + 7,50 NR + 1,50 NR^2$	0,99	$\hat{Y} = - 40,00 + 52,33 CR$	0,98
L27	$\hat{Y} = - 1,00 + 2,50 NR - 0,50 NR^2$	0,99	$\hat{Y} = - 5,33 + 20,17 CR$	0,65
L28	$\hat{Y} = - 4,33 + 6,67 NR - 1,33 NR^2$	0,99	$\hat{Y} = - 28,56 + 43,17 CR$	0,98
L29	$\hat{Y} = - 3,67 + 5,83 NR - 1,17 NR^2$	0,99	$\hat{Y} = - 21,11 + 41,50 CR$	0,98
L30	$\hat{Y} = - 5,67 + 8,33 NR - 1,67 NR^2$	0,99	$\hat{Y} = - 42,22 + 62,33 CR$	0,99

**Tabela 4:** Grupos de linhagens estabelecidos pelo método de Tocher, com base na dissimilaridade expressa pela distância generalizada de Mahalanobis, considerando o crescimento das raízes seminais no quarto dia (CRESC4 - cm), oitavo dia (CRESC8 - cm), décimo segundo dia (CRESC12 - cm); ângulo médio entre o eixo horizontal de crescimento da plântula com as raízes seminais com mais de dois cm de comprimento (graus); escala de pêlos radiculares (PÊLO, 1, sem pêlos radiculares; 3, entre 1 e 5 na escala de classificação; 5, densidade e comprimento de pêlos radiculares intermediários; 7, entre 5 e 9 na escala de classificação e 9, com pêlos radiculares abundantes); número de raízes seminais no quarto dia (NR4), oitavo dia (NR8) e decimo segundo dia (NR12). Viçosa - MG, 2007

Grupos	Linhagens						
<b>I</b>	L13	L14	L28	L26			
<b>II</b>	L18	L19	L23	L27	L21	L20	L24
<b>III</b>	L15	L17	L16				
<b>IV</b>	L12	L25					
<b>V</b>	L22	L29					
<b>VI</b>	L30						
<b>VII</b>	L11						

## MÉTODOS NÃO DESTRUTIVOS NA SELEÇÃO PRECOCE DE LINHAGENS DE MILHO QUANTO AO SISTEMA RADICULAR

### RESUMO

Objetivou-se com este trabalho avaliar a viabilidade dos métodos da capacitância elétrica da planta, leitura do índice SPAD e de notas de sintomas de deficiências e arquitetura foliar na seleção precoce de linhagens de milho quanto ao uso de nitrogênio em baixa disponibilidade de fósforo. Foi conduzido um experimento em vaso, com solo, em casa de vegetação, para avaliar 30 linhagens de milho baixo e alto N combinada com  $320 \text{ mg dm}^{-3}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$ . As leituras e classificações das plantas quanto ao sintoma de deficiência de fósforo e arquitetura foliar foram realizadas em uma planta de milho por parcela no estádio de quatro folhas completamente desenvolvidas. Com relação ao índice SPAD, as linhagens foram classificadas em dois grupos estatísticos, de 23,17 (L29) a 13,20 (L32) em baixo N e de 26,70 (L23) a 10,10 (L24) em alto N. A linhagem com maior nota de sintoma de deficiência de P, independentemente da dose de N, foi a L17. A linhagem com menor nota da arquitetura foliar, independentemente da dose de N, foi a L19 com o valor de 1,00. As médias da capacitância elétrica da planta foram de 26,11 e 16,3 nF em 10 em baixo e alto N, respectivamente. Os coeficientes de determinação de MSRF e MPAF com a capacitância elétrica foram superiores a 0,85. Conclui-se que as linhagens com maior área do sistema radicular em baixo N são a L11, L41 e L39. o uso da capacitância, índice SPAD e notas visuais são metodologias adequadas para a seleção precoce e fenotipagem de linhagens de milho quanto ao uso de nitrogênio e fósforo.

**Palavras chaves:** *Zea mays* L., capacitância elétrica, índice SPAD, nitrogênio e fósforo.

## METHODS NO DESTRUCTIVE IN THE PRECOCIOUS SELECTION OF LINE OF CORN AS FOR THE ROOT SYSTEM

### ABSTRACT

This work aimed to evaluate the viability of the methods of the electric capacitance of the plant, reading of the index SPAD and of notes of symptoms of deficiencies and foliar architecture in the precocious selection of corn line as for the use of nitrogen in low phosphorus readiness. An experiment was driven in vase, with soil, vegetation home, to evaluate 30 lines of low corn and high combined N with  $320 \text{ mg dm}^{-3}$  of  $\text{P}_2\text{O}_5$ . The readings and classifications of the plants as for the symptom of phosphorus deficiency and foliar architecture they were accomplished in a corn plant by portion in the stadium of four leaves completely developed. Regarding the index SPAD, the line were classified in two statistical groups, of 23.17 (L29) to 13.20 (L32) in low N and of 26.70 (L23) to 10.10 (L24) in high N. The line with larger note of symptom of deficiency of P, independently of the dose of N, it was L17. The line with smaller note of the foliar architecture, independently of the dose of N, it was L19 with the value of 1.00. The averages of the electric capacitance of the plant were of 26.11 and 16.3 nF in 10 in low and high N, respectively. The coefficients of determination of MSRF and MPAF with the electric capacitância were superior to 0.85. Was ended that the line with larger area of the root system in low N are L11, L41 and L39. The use of the capacitance, index SPAD and notes looks are appropriate methodology for the precocious selection and phenotyping of corn line as for the root system and use of nitrogen and phosphorus.

**Key words:** *Zea mays* L., electric capacitance, index SPAD, nitrogen and phosphorus.

## INTRODUÇÃO

O estresse abiótico contribui para diminuição da produtividade dos cereais, tendo como principais fatores, a escassez de água e nutrientes. A obtenção da melhor arquitetura do sistema radicular pode minimizar o impacto negativo do estresse abiótico, podendo ter maior distribuição das raízes no solo para melhor absorção de água e nutrientes (Dorlodot et al., 2007).

As maiores limitações da fenotipagem e análise genética do sistema radicular e sua melhoria na exploração nutricional do solo relacionam-se à complexidade estrutural e dinâmica do sistema radicular (Zhu et al., 2006). A avaliação da eficiência de absorção, utilização de nutrientes e quantificação do sistema radicular exige métodos que combinem rapidez, menor custos financeiros com a preparação do sistema radicular, facilidade na coleta dos dados e precisão diante da necessidade de estimar número relativamente grande de linhagens (Rajkai et al., 2005).

Os métodos utilizados para estimar as características do sistema radicular podem ser divididos em destrutivos e não-destrutivos. Os destrutivos são aqueles que inviabilizam a continuidade do crescimento e desenvolvimento das plantas após a avaliação, como os métodos que usam o software Delta T-Scan (Beebe et al., 2006), método da interseção (Tennant, 1975), método do curvímetro em fotocópias das raízes (Lynch & Been, 1993) e medições diretas (Ahlrichs et al., 1990) e diversos softwares com imagens bi ou tridimensionais (Ozier-Lafontaine & Bajazet, 2005). Os métodos não-destrutivos são espectroscopias da impedância elétrica (Ozier-Lafontaine & Bajazet, 2005), radar com penetração no solo (Hruska, et al., 1999) e o método da capacitância elétrica (Rajkai et al., 2005). A mensuração da massa e volume do sistema radicular com relação à capacitância elétrica é rápida em comparação com outros métodos destrutivos. Além de possibilitar a fenotipagem do sistema radicular de milho em várias fases do seu estágio de desenvolvimento (Rajkai et al., 2005).

O método da capacitância elétrica está baseado na polarização das membranas biológicas das células do sistema radicular e é dependente de sua geometria e propriedade dielétrica. As células do sistema radicular e seus conteúdos externos promovem considerável resistência elétrica do sistema radicular com o solo (Rajkai et al., 2005). Esse método associado com condução rápida de experimentos para obtenção da capacitância elétrica, pode se tornar rotineiramente empregado na seleção de linhagens de milho para o desenvolvimento radicular em programas de melhoramento. Esse método apresenta a vantagem de poder avaliar a funcionalidade do sistema

radicular efetivamente ativo, tendo em vista que não considera tecidos lignificados (Van Beem et al., 1998). Porém, há poucos estudos a respeito da capacitância elétrica na fenotipagem e seleção precoce de linhagens de milho quanto à profundidade, densidade, distribuição e atividade do sistema radicular, bem como massa da parte aérea em várias fases do desenvolvimento da planta em baixo e alto N.

As concentrações de clorofilas têm correlação positiva com o conteúdo de nitrogênio foliar (Argenta et al., 2001; Godoy et al., 2007). Portanto, o medidor portátil de clorofila (clorofilômetro) apresenta grande potencial para ser utilizado em programas de melhoramento na seleção de plantas eficientes na utilização de N. A leitura realizada com clorofilômetro apresenta precisão com o teor de clorofila na folha de milho, tendo como vantagens, maior rapidez, menor custo e de não implicar em destruição de folhas (Chapman e Barreto, 1997; Rambo et al., 2004).

Objetivou-se com este trabalho avaliar a viabilidade dos métodos da capacitância elétrica da planta, leitura do índice SPAD e de notas de sintomas de deficiências e arquitetura foliar na seleção precoce de linhagens de milho quanto ao uso de nitrogênio em baixa disponibilidade de fósforo.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

O estudo foi conduzido em casa de vegetação na Universidade Federal de Viçosa, MG, (20° 45' 20" S, 42° 52' 40" W, altitude de 640 m), no Campo Experimental Diogo Alves de Melo, pertencente ao Departamento de Fitotecnia.

Foi conduzido um experimento para avaliar 30 linhagens endogâmicas de milho em geração S6 do Programa Milho<sup>®</sup>. Elas têm a mesma descendência, são oriundas de população de polinização aberta e obtida no mesmo campo de multiplicação de sementes. Foi utilizado 320 mg dm<sup>-3</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> para discriminar as linhagens em baixo e alto N quanto à eficiência de uso de P. Sendo essas doses de N e P supridas com uréia e o superfosfato triplo, aplicadas no solo, em vasos de PVC de 50 cm de comprimento e 10 cm de diâmetro, no plantio.

O solo utilizado no experimento foi retirado do horizonte B no município de Viçosa-MG, destorroado, homogeneizado e passado em peneira com malha de 4 mm. Foram retiradas amostras de solo para a determinação do teor de P, apresentado 1 mg dm<sup>-3</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> no solo. A correção da acidez do solo e a adubação com os demais nutrientes foram feitas com base na 5<sup>a</sup> aproximação de adubação do Estado de Minas Gerais (Alves et al., 1999).

O plantio foi realizado em setembro de 2007, com cinco sementes por vaso. Foram realizadas irrigações por gotejamento duas vezes ao dia com água deionizada, mantendo-se o teor de água em torno de 80% da capacidade de campo. Quando as plantas apresentaram duas folhas completamente desenvolvida foi realizado o desbaste, deixando três plantas por vaso.

O experimento foi instalado no delineamento de blocos casualizado com três repetições.

Foram realizadas leituras com o clorofilômetro marca Minolta (modelo SPAD-502) no estágio de quatro folhas completamente desenvolvidas. As leituras foram realizadas entre nove e dez horas da manhã em três locais da quarta folha na parte proximal, mediana e distal. A média das três leituras representou o valor da parcela.

Para classificar as linhagens por severidade do sintoma de deficiência de fósforo na folha da planta foram atribuídas notas 1 (0 a 20%); 2 (0 a 20%); 3 (20 a 40%); 4 (40 a 60%) e 5 (80 a 100%). Para a arquitetura foliar foram atribuídas notas de acordo com a inclinação do limbo foliar: 1 = limbo foliar ereto; 2 = limbo foliar levemente ereto; 3 = limbo foliar com inclinação intermediária; 4 = limbo foliar levemente prostrado e 5 = limbo foliar prostrado.

A medida da capacitância elétrica das plantas de milho foi realizada com auxílio do capacitômetro digital - Modelo MC-152 da marca Mimipa, com frequência de teste de 800 Hz. Antes das realizações das leituras o solo foi irrigado até atingir a capacidade de campo. Foi introduzido, dentro do vaso, um eletrodo de cobre, com dimensão de 0,3 cm de diâmetro e 42,5 cm de comprimento, e deixado 8 cm acima do nível do solo. O eletrodo positivo do capacitômetro foi fixado por uma braçadeira tipo jacaré ao bastão de cobre a 8 cm acima do solo. O eletrodo negativo foi fixado por uma braçadeira, tipo jacaré, a um fio de cobre de 0,5 mm de diâmetro por 4 cm de comprimento introduzido no caule da planta de milho a 5 cm da superfície do solo. A leitura da capacitância elétrica foi realizada em uma planta de milho por parcela no estágio fenológico de quatro folhas completamente desenvolvidas, na faixa de 200 nF. Após um minuto, com os valores de capacitância estabilizados, realizou-se a leitura. Após as leituras, as plantas de milho foram retiradas dos vasos. Em seguida, o sistema radicular foi separado da parte aérea e lavado sobre peneiras de 4 mm, com o auxílio de jato de água dirigido para separá-las do solo e evitar perda de raízes. A parte aérea e o sistema radicular da planta fresca foram pesados separadamente para obter a massa.

Foram realizadas análises de variâncias, teste de Skott-Knott e regressão para as características, utilizando o programa estatístico SAEG.



## RESULTADOS E DISCUSSÃO

As linhagens apresentaram efeitos significativos pelo teste F ( $P < 0,01$ ) para todas as características nas duas doses de nitrogênio (N) no solo (Tabela 1). O que é bastante favorável para a seleção, em virtude da existência de variabilidade genética entre as linhagens de milho nas doses de N.

Em  $10 \text{ mg dm}^{-3}$  de N foram observados os maiores coeficiente de variação para nota visual de deficiência de P (25,76%) e para nota da arquitetura foliar (26,08%), no entanto, para o índice SPAD (11,75%) nesta mesma dose foi menor que o observado em  $60 \text{ mg dm}^{-3}$  de N (Tabela 1). O coeficiente de variação das características, nas duas doses de N, foi coerente com o tipo de experimentação, mostrando boa precisão experimental, com valores menores de 30% para todas as características.

Com relação ao índice SPAD as linhagens foram classificadas em dois grupos estatísticos pelo teste de Skott-Knott ( $p < 0,05$ ), onde variaram de 13,20 (L32) a 23,17 (L29) em  $10 \text{ mg dm}^{-3}$  de N. Em alto N a variação entre as médias foram de 10,10 (L24) a 26,70 (L23) (Tabela 1). Godoy et al. (2007) relataram valores de índice SPAD na quarta folha de milho de 33,05 (em baixo N) e de 43,24 (em alto N). Estes valores foram superiores ao encontrados no presente trabalho, isso se deve a deficiência de P observada em quase todas as linhagens de milho. Pois a absorção de N esta diretamente relacionada à disponibilidade de P. No entanto, as linhagens comportaram de forma diferente, independentemente das doses de N. Este comportamento diferencial dos genótipos, em baixa e alta disponibilidade de N, indica diferentes mecanismos relacionados à eficiência de uso de N, expressando diferentes genes em cada disponibilidade de N (Durães et al., 2004).

Nas Em baixo N foram formados dois grupos estatísticos diferentes ( $P < 0,05$ ) entre as linhagens com relação à nota visual de deficiência de fósforo e em alto N foram formados três grupos. A linhagem com maior sintoma de deficiência visual de P, independentemente da dose de N foi a L25, sendo seus valores de nota visual de deficiência de 4,33 e 4,67 em baixo e alto N, respectivamente. Essas médias de nota visual de deficiência de P diferiram ( $P < 0,05$ ) do grupo da linhagem L19 que não apresentou deficiência visual de P nas duas doses de N, tendo seu valor de nota de deficiência visual de P de 1,33 e 1,00 em baixo e alto N, respectivamente.

As notas de arquitetura foliar das linhagens ficaram distribuídas em três grupos estatísticos ( $P < 0,05$ ), independentemente da dose de N. A linhagem com menor nota de arquitetura foliar foi a L19 com o valor de 1,00 nas duas doses de N, sendo as folhas

dessa linhagem mais eretas e finas. Por outro lado, as linhagens com maiores notas de arquitetura foliar foram L17 (4,00) em baixo N e a L21 e L39 (3,67) em alto N. Tendo essas linhagens folhas prostradas e largas.

Em baixo N o coeficiente de determinação entre capacitância elétrica e a massa do sistema radicular e parte aérea fresca apresentaram comportamentos quadráticos com  $r^2 = 0,93$  e  $0,87$ , respectivamente (Figura 1). As médias das 30 linhagens referentes à massa do sistema radicular e parte aérea da planta fresca e da capacitância elétrica foram  $6,50 \text{ g planta}^{-1}$ ,  $4,73 \text{ g planta}^{-1}$  e  $26,11 \text{ nF}$ , respectivamente (Tabela 1).

Houve resposta linear positiva entre a capacitância elétrica com a massa do sistema radicular e a parte aérea da planta fresca ( $r^2 = 0,85$  e  $0,91$ , respectivamente), em alto N (Figura 2). No alto N as médias da massa do sistema radicular e parte aérea da planta fresca e a capacitância elétrica das 30 linhagens foram  $4,28$  e  $3,40 \text{ g planta}^{-1}$  e  $16,13 \text{ nF}$ , respectivamente (Tabela 1). Os coeficientes de determinação observados entre a massa do sistema radicular e parte aérea da planta fresca em função da capacitância elétrica foram significativas para as duas doses de N (Figura 1 e 2). No entanto, os valores de determinação em baixo N foram maiores em comparação com alto N para a massa do sistema radicular e menor para a parte aérea da planta fresca. Dalton (1995) verificou alto coeficiente de determinação ( $r^2 = 0,87$ ) entre valores de capacitância elétrica e a massa fresca do sistema radicular do tomateiro (*Lycopersicon esculentum* Mill.). Os valores do coeficiente de determinação deste trabalho são semelhantes com os de Preston et al. (2004), cujo coeficiente encontrado entre a massa do sistema radicular de híbridos de álamo (*Populus deltoides* x *P. nigra*) com a capacitância elétrica foi de  $r^2 = 0,86$ . Moreira (2004) trabalhando com feijão em hidroponia obtiveram coeficiente de determinação de  $r^2 = 0,51$ , sendo inferior ao encontrada neste trabalho. Rajkai et al.(2005) obtiveram coeficiente de determinação de  $r^2 = 0,83$  entre a massa do sistema radicular da planta fresca de girassol em função da capacitância elétrica. A técnica empregada neste trabalho foi à mesma utilizada por Rajkai et al.(2005). Esse método proporciona maior coeficiente de determinação, repetibilidade e menor variância nos valores das mensurações (Rajkai et al., 2005).

A diferença de produção de massa do sistema radicular e parte aérea da planta fresca entre nas doses de N pode ser explicada pelo melhor desenvolvimento do sistema radicular das linhagens de milho induzida em baixo N. Espera-se maior desenvolvimento do sistema radicular nessa dose de N, visto que a maior massa do sistema radicular é uma adaptação morfológica da planta a condições de estresse nutricional (Hirel et al., 2007).

As células das raízes conferem resistência à passagem de corrente elétrica pelo sistema radicular, onde a capacitância elétrica é dependente tanto da área superficial, como do conteúdo celular (Choupek, 1977). Com isso, as maiores médias da capacitância elétrica em baixo N foi devido a maior produção de massa do sistema radicular da planta fresca. De acordo com Moreira (2004) é alta a correlação entre massa com a área superficial do sistema radicular da planta fresca. Espera-se que em plantas com maior massa do sistema radicular e parte aérea da planta fresca possuam maior conteúdo de nutrientes, o que proporciona aumento do valor da capacitância em relação a plantas com menor conteúdo.

O baixo teor de P no solo e a dose de P fornecida pela adubação discriminaram as linhagens quanto à eficiência de utilização de P, sendo observados sintomas de deficiência de P em quase todas as plantas de milho. O que explica a baixa produção de massa do sistema radicular e da parte aérea nas duas doses de N. Em milho quando o P é limitante induz redução na absorção de N (Magalhães et al., 1995; Alves et al., 1999). O aumento da absorção de P em estresse desse nutriente resulta em acréscimo da produção de massa do sistema radicular seca em comparação as plantas cultivadas com alta disponibilidade de P (Lambers et al., 2006). Portanto, as linhagens do presente experimento, por serem originadas de população de polinização aberta não são eficientes quanto às linhagens de origem de população melhorada. Machado & Furlani (2004) relataram maior eficiência de uso de P por populações melhoradas em comparação as não melhoradas. Vale salientar que as linhagens avaliadas são oriundas da mesma população, o que supostamente favorece a semelhança de propriedade dielétrica radicular e o sintoma de deficiência generalizado em todo o experimento (Dalton, 1995).

Os altos coeficientes de determinação tanto para massa do sistema radicular e da parte aérea da planta fresca em função da capacitância elétrica nas duas doses de N sugerem que esta metodologia alternativa para seleção precoce e fenotipagem de linhagens de milho é promissora para estas características (Figura 1 e 2). A possibilidade de distinguir a parte funcional do sistema radicular, em uma escala macroscópica, pode vir a ser muito útil em estudos de eficiência do sistema radicular em diferentes fertilidades de nitrogênio e fósforo (Dalton, 1995).

Foi utilizado por Omoigui et al. (2007) o índice de 10% na seleção recorrente em milho em estresse de N. Utilizando esse índice podemos selecionar com o método da capacitância elétrica as linhagens: L11, L41 e L39 tanto para massa do sistema radicular e da parte aérea da planta fresca em baixo N. No entanto, o índice de seleção de 10% em

alto N com base na capacitância elétrica não foi possível. Isso se deve ao baixo desenvolvimento do sistema radicular e parte aérea. Visto que, a capacitância é diretamente proporcional ao aumento da área do sistema radicular e não é preciso quando essa avaliação é realizada em plantas com baixa massa do sistema radicular (Rajkai et al., 2005).

## **CONCLUSÕES**

As linhagens com maior área do sistema radicular em baixo N são a L11, L41 e L39.

O uso da capacitância, índice SPAD e notas visuais são metodologias adequadas para a seleção precoce e fenotipagem de linhagens de milho quanto ao sistema radicular e o uso de nitrogênio e fósforo.

## **AGRADECIMENTOS**

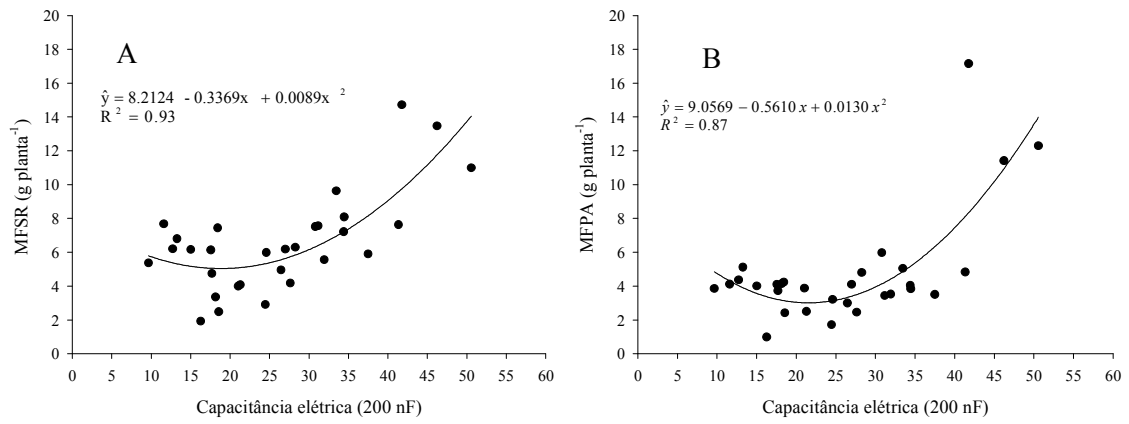
Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa e a CAPES e FAPEMIG pelo recurso do projeto.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

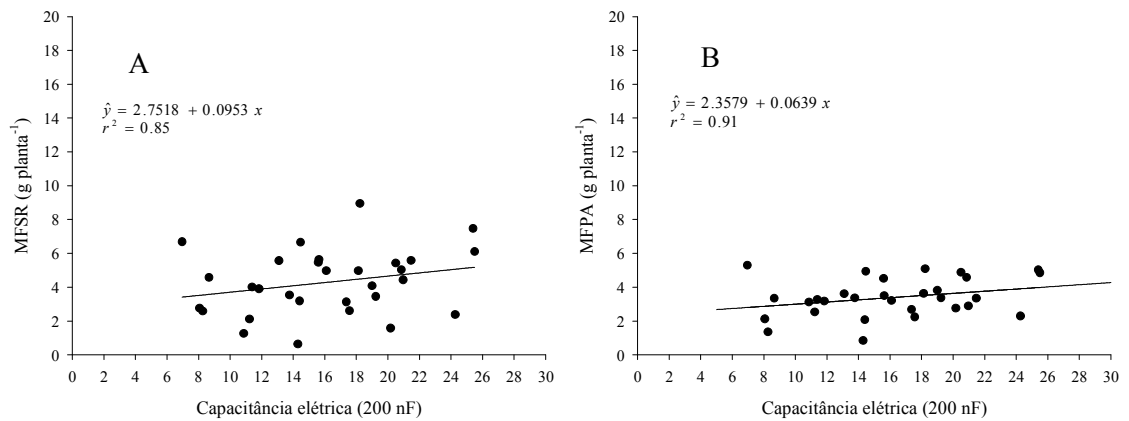
- AHLRICH, J.L.; KARR, M.M.; BALIGAR, V.C.; WRIGHT, R.J. Rapid bioassay of aluminum toxicity in soil. **Plant soil**, v. 122, p. 279-285, 1990.
- ALVES, V.M.C.; VASCONCELLOS, C.A.; FREIRE, F.M.; PITTA, G.V.E.; FRANÇA, G.E.; RODRIGUES FILHO, A.; ARAÚJO, J.M.; VIEIRA, J.R. and LOUREIRO, J.E. Milho. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. (Ed.). **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5<sup>a</sup>. Aproximação**. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, p.314-322, 1999. ALVES, V.M.C.; NOVAIS, R. F.; OLIVEIRA, M.F.G. & SANT'ANNA, R. Cinética e translocação de fósforo em híbridos de milho. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.33, p.1047-1052, 1999.
- ARGENTA, G.; SILVA, P.R.F.; BORTOLINI, G.C.; FORSTHOFER, E.L.; STRIEDER, M.L. Relação da leitura do clorofilômetro com teores de clorofila extraível e de nitrogênio na folha de milho. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v.13, n.2, p.158-167, 2001.
- BEEBE, S.E. et al. Quantitative trait loci for root architecture traits correlated with phosphorus acquisition in common bean. **Crop Science**, v.46, p.413-423, 2006.
- CHAPMAN, S.C. & BARRETO, H.J. Using a Chlorophyll Meter to Estimate Specific Leaf Nitrogen of Tropical Maize during Vegetative Growth. **Agronomy Journal**, v.89, p.557-562, 1997.
- CHOUPEK, O. Evaluation of the size of a plants root system using its electrical capacitance. **Plant and Soil**, v.48, p.525-532, 1977.
- DALTON, F.N. In-situ root extent measurements by electrical capacitance methods. **Plant and Soil**, v.173, p.157-165, 1995.
- DORLODOT, S.; FORSTER, B.; PAGÈS L.; PRICE, A.; TUBEROSA, R. AND DRAYE, X. Root system architecture: opportunities and constraints for genetic improvement of crops. **Plant Science**, v.12, n.10, p.474-481, 2007.

- DURÃES, F.O. M.; MAGALHÃES, P.C.; MARRIEL, I.E.; GAMA, E.G.; CASELA, C.R.; OLIVEIRA, A.C.; CANTÃO, F.R.O. Caracterização de genótipos para uso e eficiência de nitrogênio em milho e influência da adubação nitrogenada sobre a incidência e severidade da mancha foliar de *phaeosphaeria maydis*. **Circular Técnico**, **53**. Sete Lagoas, MG. Dezembro, 2004.
- GODOY, L.J.G.; SOUTO, L.S.; FERNANDES, D.M.; BÔAS, R.L.V. Uso do clorofilômetro no manejo da adubação nitrogenada para milho em sucessão a pastagem de *Brachiaria decumbens*. **Ciência Rural**, v.37, n.1, p.38-44, 2007.
- HIREL, B.; GOUIS, J.L.; NEY, B. & GALLAIS, A. The challenge of improving nitrogen use efficiency in crop plants: towards a more central role for genetic variability and quantitative genetics within integrated approaches. **Journal of Experimental Botany**, v.58, n.9, p.2369-2387, 2007.
- HRUSKA, J., VERMAK, J. & SUSTEK, S. Mapping of tree root systems with ground-penetrating radar. **Tree Physiology**, v.19, p.125–130, 1999.
- LAMBERS, H.; SHANEI, M. W.; CRAMER, M. D.; PEARSE, S. J. and VENEKLAAS, E. J. Root Structure and Functioning for Efficient Acquisition of Phosphorus: Phosphorus Morphological and Physiological Traits. **Annals of Botany**, v. 98, p. 693–713, 2006.
- LYNCH, J., AND VAN BEEM, J.J. Growth and architecture of seedling roots of common bean genotypes. **Crop Science**, v.33, p.1253–1257, 1993.
- MACHADO. C.T.T. & FURLANI, A.M.C. kinetics of phosphorus uptake and root morphology of local and improved varieties of maize. **Science Agricola**, v. 61, n.1, p. 69-76, 2004.
- MAGALHÃES, J.R.; HUBER, D.M. & TSAI, C.Y. Influence of the form of nitrogen on ammonium, amino acids and N-assimilating enzyme activity in maize genotypes. **Journal Plant Nutrition**, v.18, p.747-763, 1995.
- MOREIRA, M. F. **Desenvolvimento do sistema radicular e da parte aérea do feijoeiro comum em função da distribuição e do teor de fósforo no solo**. 135p. Tese (Doutorado). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2004.

- OMOIGUI, L.O.; ALABI, S.O. and KAMARA, A.Y. Response of low-N pool maize population to nitrogen uptake and use efficiency after three cycles of full-sib recurrent selection. **Journal of Agricultural Science**, v.145, p.481–490, 2007.
- OZIER-LAFONTAINE, H. & BAJAZET, T. Analysis of root growth by impedance spectroscopy (EIS). **Plant and Soil**, v.277, p.299–313, 2005.
- PRESTON, G. M., MCBRIDE, R. A., BRYAN, J., CANDIDO, M. Estimating root mass in young hybrid poplar trees using the electrical capacitance method. **Agroforestry Systems**, v.60, p.305–309, 2004.
- RAJKAI, K.; VÉGH, K. R. and NACSA, T. Electrical capacitance of roots in relation to plant electrodes, measuring frequency and root media. **Acta Agronomica Hungarica**, v.53, n.2, p.197–210, 2005.
- RAMBO, L.; SILVA, P.R.F.; ARGENTA, G.; SANGO, L. Parâmetros de planta para aprimorar o manejo da adubação nitrogenada de cobertura em milho. **Ciência Rural**, v.34, n.5, p.1637-1645, 2004.
- TENNANT, D. A test of a modified line intersect method of estimating root length. **Journal of Ecology**, v.63, p.955-1001, 1975.
- VAN BEEM, J., SMITH, M.E. & ZOBEL, R.W. Estimating root mass in maize using a portable capacitance meter. **Agronomic Journal**, v. 90, p. 566–570, 1998.
- ZHU, J.; MICKELSON, S.M.; KAEPLER, S.M.; LYNCH, J. P. Detection of quantitative trait loci for seminal root traits in maize (*Zea mays* L.) seedlings grown under differential phosphorus levels. **Theor Application Genetic**, v.113, p.1-10, 2006.



**Figura 1:** Massa do sistema radicular (MSRF) e da parte aérea fresca (MPAF) em função da capacitância elétrica em 10 mg dm<sup>-3</sup> de N aplicada no solo.



**Figura 2:** Massa do sistema radicular (MSRF) e da parte aérea fresca (MPAF) em função da capacitância elétrica em 60 mg dm<sup>-3</sup> de N aplicada no solo.



**Tabela 1** – Média da leitura do SPAD, nota visual do sintoma de deficiência de P (NV) e nota da arquitetura foliar (NAF) das plantas de milho avaliadas no estágio de quatro folhas completamente desenvolvidas, em duas doses de nitrogênio aplicadas no solo

Linhasgens	Características					
	10 mg dm <sup>-3</sup> de N			60 mg dm <sup>-3</sup> de N		
	SPAD	NV	NAF	SPAD	NV	NAF
L11	20,77 a	2,67 b	2,67 b	21,67 a	3,33 a	2,67 a
L31	16,50 b	3,67 a	3,33 a	20,37 a	3,67 a	2,33 b
L32	13,20 b	2,33 b	3,33 a	16,43 b	3,33 a	3,00 a
L12	20,17 a	3,00 b	3,33 a	14,13 b	3,33 a	3,00 a
L13	18,67 a	2,67 b	3,00 a	14,07 b	3,00 a	2,00 b
L33	14,70 b	3,00 b	2,67 b	18,53 a	3,33 a	2,67 a
L34	17,10 b	2,67 b	2,67 b	20,63 a	3,33 a	3,00 a
L14	19,73 a	2,67 b	2,33 b	18,73 a	2,33 b	3,00 a
L15	17,30 b	2,00 b	2,67 b	19,03 a	3,33 a	3,00 a
L35	17,63 b	2,33 b	2,33 b	16,37 b	2,67 b	2,00 b
L36	17,23 b	3,33 a	2,67 b	14,30 b	3,33 a	3,00 a
L16	16,17 b	3,67 a	1,33 c	14,43 b	3,00 a	1,33 c
L37	16,73 b	1,67 b	1,67 c	15,40 b	1,67 c	1,00 c
L17	14,73 b	2,67 b	4,00 a	18,30 a	2,67 b	3,33 a
L18	18,23 b	3,00 b	3,33 a	18,43 a	3,67 a	3,33 a
L19	15,53 b	1,33 b	1,00 c	16,60 b	1,00 c	1,00 c
L20	19,83 a	2,67 b	3,67 a	20,23 a	3,33 a	3,33 a
L21	15,13 b	2,67 b	2,67 b	19,50 a	3,33 a	3,67 a
L38	16,97 b	3,67 a	2,67 b	18,80 a	3,00 a	3,33 a
L23	21,87 a	4,00 a	2,33 b	26,70 a	4,33 a	2,67 a
L24	13,83 b	3,00 b	3,33 a	10,10 b	2,67 b	3,67 a
L25	21,90 a	4,33 a	2,00 b	20,77 a	4,67 a	2,00 b
L26	16,60 b	3,00 b	2,67 b	12,13 b	2,67 b	3,67 a
L27	20,33 a	3,67 a	3,33 a	16,17 b	3,67 a	3,33 a
L28	17,70 b	2,67 b	2,67 b	15,20 b	3,33 a	3,00 a
L39	18,90 a	2,33 b	3,67 a	23,30 a	2,00 c	3,67 a
L40	16,70 b	3,67 a	3,00 a	18,57 a	3,00 a	3,33 a
L29	23,17 a	2,00 b	3,00 a	13,87 b	3,33 a	3,00 a
L41	17,90 b	2,33 b	3,33 a	13,93 b	3,33 a	2,33 b
L42	21,07 a	3,00 b	2,33 b	16,13 b	4,67 a	2,33 b
<b>Média</b>	<b>17,88</b>	<b>2,85</b>	<b>2,77</b>	<b>17,43</b>	<b>3,14</b>	<b>2,77</b>
<b>QMLinhasgens</b>	<b>18,78**</b>	<b>1,42**</b>	<b>1,38**</b>	<b>36,60**</b>	<b>1,76**</b>	<b>1,68**</b>
<b>CV(%)</b>	<b>11,75</b>	<b>25,76</b>	<b>26,08</b>	<b>23,06</b>	<b>22,58</b>	<b>19,26</b>

\*\* Significativos a 1% pelo teste F, CV (%): coeficiente de variação, QMLinhasgens: quadrado médio das linhasgens, Médias seguidas das mesmas letras nas colunas, pertencem ao mesmo grupo estatístico, pelo teste Scott-Knott, a 5% de probabilidade,

**ANEXO – Relação das linhagens utilizadas na tese com seus respectivos códigos**

<b>Linhagens</b>	<b>Códigos das linhagens</b>
L1	05-5844-1
L2	05-5851-2
L3	05-5857-2
L4	05-5854-1
L5	05-5868-2
L6	05-5869-1
L7	05-5842-2
L8	05-5841-1
L9	05-5846-4
L10	05-5834-2
L11	05-3708-2
L12	05-3692-1
L13	05-3689-3
L14	05-3730
L15	05-3740-2
L16	05-3759-3
L17	05-3727-1
L18	05-3745-5
L19	05-3722-2
L20	05-3720-1
L21	05-3719-2
L22	05-3710-1
L23	05-3712-3
L24	05-3709-2
L25	05-3713-1
L26	05-3728-3
L27	05-3721-3
L28	05-3719-1
L29	05-3690-1
L30	05-3705-2
L31	05-3884-3
L32	05-3686-1
L33	05-3682-1
L34	05-3681-3
L35	05-3883-3
L36	05-3693-3
L37	05-3713-4
L38	05-3875-6
L39	05-3886-1
L40	05-3877-3
L41	05-3698-2
L42	05-3717-2

## CONCLUSÕES GERAIS

Existe divergência genética entre as linhagens de milho quanto ao sistema radicular e a eficiência no uso de nitrogênio e fósforo;

A área do sistema radicular é a característica que mais contribui para a variabilidade genética;

A seleção de linhagens de milho para eficiência de nitrogênio em alto N depende da dose de fósforo e em baixo N não depende da dose de fósforo;

A Linhagem 1 foi selecionada como ineficiente e não responsivas;

As Linhagens 9 e 10 foram selecionadas como eficientes e responsivas;

A dose 320 mg de P dm<sup>-3</sup> de solo proporcionou melhores condições para estudo da divergência genética;

A linhagem selecionada em alto N com base na EUN e outras características é diferente da linhagem selecionada em baixo N;

As linhagens de milho apresentam diferentes respostas quanto a EUN e EUP de acordo com as doses de nitrogênio e fósforo;

Em baixo a linhagem L9 é eficiente no uso de N e a linhagem L10 é responsiva a este nutriente em alto N;

As linhagens de milho L11 e L14 têm os maiores ângulos das raízes seminais;

As linhagens L15 e L17 têm as maiores densidade de pêlos radiculares;

A linhagem L11 foi a que sobressaiu com maior número de raízes seminais;

As linhagens com maior área do sistema radicular em baixo N são a L11, L41 e L39 e;

O uso da capacitância, índice SPAD e notas visuais são metodologias adequadas para a seleção precoce e fenotipagem de linhagens de milho quanto ao uso de nitrogênio e fósforo.