

Trocas gasosas ao longo dos ciclos de seleção do milho “Saracura” BRS 4154 tolerante ao encharcamento do solo

Thiago C. Souza¹, Paulo C. Magalhães², Leandro de O. Lino³, Fabrício J. Pereira⁴, Evaristo de M. Castro⁵ e Sidney N. Parentoni⁶

¹Universidade Federal de Lavras - Setor de Fisiologia Vegetal, caixa postal 37, CEP 37200-000 thiagonepre@hotmail.com, ²pcesar@cnpms.embrapa.br, ³leanlino@yahoo.com.br, ⁴fjprock@hotmail.com, ⁵emcastro@ufla.com, ⁶sidney@cnpms.embrapa.br

Palavras-chave: fotossíntese, *Zea mays*, hipoxia, tolerância ao alagamento.

Introdução

O estresse imposto por alagamento do solo constitui um dos maiores obstáculos no crescimento, na distribuição e na produtividade de plantas. O excesso de água no solo leva a conseqüências dramáticas no processo difusivo, pois os gases se difundem mais rápido no ar do que na água e, com isso, há um empobrecimento da disponibilidade de oxigênio (hipoxia) tanto no solo quanto nas partes do vegetal. O declínio do oxigênio se acentua ainda mais com a presença de microrganismos aeróbicos que utilizam este mesmo gás em seus processos na rizosfera, podendo levar à erradicação extrema do oxigênio (anoxia) (Dat et al., 2004). Com isso, o ciclo dos ácidos tricarbóxicos é interrompido pela falta de poder redutor e o metabolismo anaeróbico é ativado (Sairam et al., 2008).

Tentativas positivas na busca de genótipos de milho tolerantes por meio de seleção genética têm sido realizadas resultando no desenvolvimento de plantas com rendimentos altos e estáveis sob o excesso de água (Zaidi et al., 2007). Na literatura alguns trabalhos relatam genótipos de milho tolerantes ao alagamento intermitente e foram constatados que teor de clorofila, peso seco da parte aérea, volume de raiz, porosidade de raiz, rendimento de grãos, área foliar e intervalo entre a floração masculina e feminina (IFMF) são bastante contrastantes em relação às testemunhas (Zaidi et al., 2004).

Preocupados com os danos que o alagamento causa à cultura do milho e procurando inseri-la em áreas ociosas logo após o plantio do arroz nas várzeas, a Embrapa Milho e Sorgo desenvolveu, por meio da seleção recorrente fenotípica estratificada, uma variedade de milho denominada Saracura-BRS-4154, com capacidade de sobreviver, produzir e suportar períodos temporários de alagamento do solo (Ferreira et al., 2007).

Parentoni et al. (1997), estudando os quatro primeiros ciclos de seleção do Saracura, constataram que alguns parâmetros, como transpiração e resistência difusiva, mostraram valores maiores para o Ciclo 4 em relação ao Ciclo 1.

Plantas sob estresse anaeróbico possuem uma limitação nas trocas gasosas pelo fechamento estomático. A baixa disponibilidade de oxigênio pode afetar a condutância estomática, diminuindo a perda de água pela transpiração e também a assimilação de carbono (Fernández, 2006). As plantas sensíveis ao alagamento apresentam uma diminuição na fotossíntese (Chen et al., 2005), devido a fatores não-estomáticos (bioquímicos), tais como redução da atividade da rubisco (Yardanova et al., 2005). Já as plantas tolerantes conseguem manter maior atividade fotossintética, mesmo em ambientes hipóxicos (Li et al., 2004).

Para se esquivar da falta de oxigênio em áreas alagadas, o milho desenvolve aerênquimas lisígenos (Pereira et al., 2008). Estes são tecidos parenquimáticos com grandes espaços intercelulares preenchidos com gases que permitem o transporte do oxigênio do caule



para as raízes que estão em condição de hipoxia (Evans, 2004). O oxigênio move-se longitudinalmente (do caule para a raiz) e radialmente (do córtex para rizosfera) por difusão (Shiono, 2008)

O presente trabalho foi conduzido com o objetivo de avaliar plantas de milho dos diferentes ciclos de seleção recorrentes da variedade (*Zea mays* L.-Saracura-BRS 4154) quanto aos ganhos genéticos, em relação às trocas gasosas, obtidos ao longo dos ciclos de seleção sob alagamento intermitente do solo.

Material e Métodos

O material genético utilizado constituiu-se dos ciclos de seleção do milho cv. Saracura-BRS 4154 intercalados: C1, C3, C5, C7, C9, C11, C13, C15, C17 e C18 e uma variedade BR 107 como testemunha, conhecida pela suscetibilidade ao encharcamento (Magalhães et al., 2007).

O ensaio foi conduzido no mês de janeiro de 2009, em regime de casa de vegetação, na Embrapa Milho e Sorgo, em Sete Lagoas, estado de Minas Gerais, (altitude de 732 m, latitude Sul 19°28', longitude oeste 44°15'). As médias de temperaturas, máxima e mínima, registradas durante o período de avaliação foram de 28,2°C e 24,8°C, respectivamente. A umidade relativa do ar oscilou entre 52% a 78%. Utilizaram-se duas plantas por vaso de 20 litros, preenchidos previamente com solo de várzea classificado como Neossolo Flúvico TB, Eutrófico Típico, textura argilosa, fase relevo plano campos de várzea (Santos et al., 2006). A adubação foi feita de acordo com a recomendação da análise química do solo, aplicando-se no momento do plantio a fórmula 5-20-20+Zn com doses de 23 g. 20 Kg⁻¹ de solo. As plantas foram irrigadas regularmente mantendo uma ótima umidade do solo até a imposição do estresse. Todos os tratamentos fitossanitários necessários a cultura foram aplicados.

O alagamento foi iniciado no estágio de seis folhas, quando o ponto de crescimento das plantas já se encontra acima da superfície do solo (Magalhães et al., 2007), mantido até a maturidade fisiológica, recebendo uma lâmina de 5 cm de água, três vezes por semana. O delineamento experimental foi de blocos ao acaso em esquema fatorial com 11 tratamentos (ciclos de seleção alternados + testemunha) e duas condições (irrigado diariamente e alagado) e 4 repetições.

No florescimento, fase de maior susceptibilidade ao estresse por excesso de água (Zaidi et al., 2007) parâmetros de trocas gasosas foram medidos através de um sistema portátil de fotossíntese (IRGA, Modelo LI-6400, Li-Cor, Lincoln, Nebraska, USA). Todas as medidas foram realizadas no período da manhã entre 9:00 e 11:00 hs em uma folha totalmente expandida (folha da espiga). Os parâmetros avaliados foram taxa de fotossíntese foliar (P_n), condutância estomática (g_s), taxa de transpiração (E), concentração intercelular de CO₂ (C_i). As medidas foram feitas em uma área foliar de 6 cm², fluxo de ar na câmara com uma concentração de CO₂ de 380 $\mu\text{mol mol}^{-1}$. O ar foi coletado de fora da casa de vegetação e transportado para dentro de um galão de proteção e então bombeado para a câmara. Foi utilizada uma densidade de fluxo de fótons (PPFD) de 1500 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ de uma fonte de luz red-blue LED. Outros fatores ambientais, tais como umidade do ar e temperatura não foram controlados permitindo uma variação natural.

Para a comparação das características de trocas gasosas entre plantas alagadas e não alagadas foram utilizados o teste F.

Resultado e Discussão



Quanto à taxa de fotossíntese foliar (P_n) houve uma apreciável diferença significativa entre as plantas de milho alagadas e não alagadas (Fig. 1A). Os ciclos de seleção e a variedade BR 107 tiveram uma variação de 18,8-27,9 na condição alagada e 37,8-42,8 na condição não-alagada. Entre os ciclos de seleção na condição não-alagada a testemunha (BR 107) resultou em valores semelhantes ao último ciclo de seleção (C18). Já na condição alagada houve um aumento da taxa de fotossíntese foliar (P_n) ao longo dos ciclos de seleção (Fig. 1A). A maior taxa fotossintética foi do ciclo 18 (27,9) sendo 33,33% maior que a variedade BR 107 e 31,22% maior que o C1.

Para a condutância estomática (g_s), todos os ciclos e a variedade BR 107 também foram significativamente diferentes considerando a condição alagada e não alagada (Fig. 1B). Houve uma variação de 0,46-0,66 na condição não alagada e 0,11-0,21 na condição alagada. Nos ciclos, na condição não alagada, a variedade BR107 apresentou uma média (0,66) maior que todos os ciclos (Fig. 1B). Diferentemente nos ciclos alagados, a condutância estomática (g_s) aumentou ao longo dos ciclos de seleção tendo o C18 a maior média (0,21) e o C1 a menor (0,11) seguido da variedade BR 107 (0,12). O ciclo 18 teve um aumento de 47,62% da condutância estomática (g_s) em relação ao C1 e 41,43% em relação a BR107.

Observa-se na Figura 1C, que a concentração intercelular de CO_2 (C_i) foi apenas significativa entre as condições alagado e não alagado nos ciclos 1, 3, 9 e 18 e na variedade BR 107. As plantas irrigadas normalmente apresentaram médias maiores do que as alagadas. Entre os ciclos sujeitos ao alagamento, a mesma tendência da taxa de fotossíntese foliar (P_n) e condutância estomática (g_s) foi apresentada para os valores de concentração intercelular de CO_2 (C_i) tendo um aumento ao longo dos ciclos de seleção do milho 'Saracura' (Fig. 1C). A menor concentração intercelular de CO_2 (C_i) foi exibida pelo ciclo 1 (73,63) seguido da BR 107 (99,97). O ciclo 18 apresentou a maior média de C_i sendo 52,02% e 34,86% maior que o ciclo 1 e a variedade BR 107 respectivamente.

O ciclo 11 foi o único não significativo entre as condições alagado e não alagado para a taxa de transpiração (E) (Fig. 1D). A transpiração das plantas alagadas tiveram uma variação de 3,4-6,6 e as plantas não alagadas de 7,7-10,2. Entre os ciclos, na condição não alagada, a taxa de transpiração (E) da testemunha (BR 107) exibiu uma média de 10,00 e o ciclo 18 uma média próxima (9,9) da BR 107. Na condição alagada a tendência de aumento ao longo dos ciclos de seleção também ocorreu (Fig. 1D). O ciclo 1 apresentou a menor média (3,4) seguido da testemunha (4,3) e a maior taxa de transpiração (E) foi do ciclo 18 (6,6) sendo 34,80% maior que a variedade BR 107 e 48,5% maior que o C1.



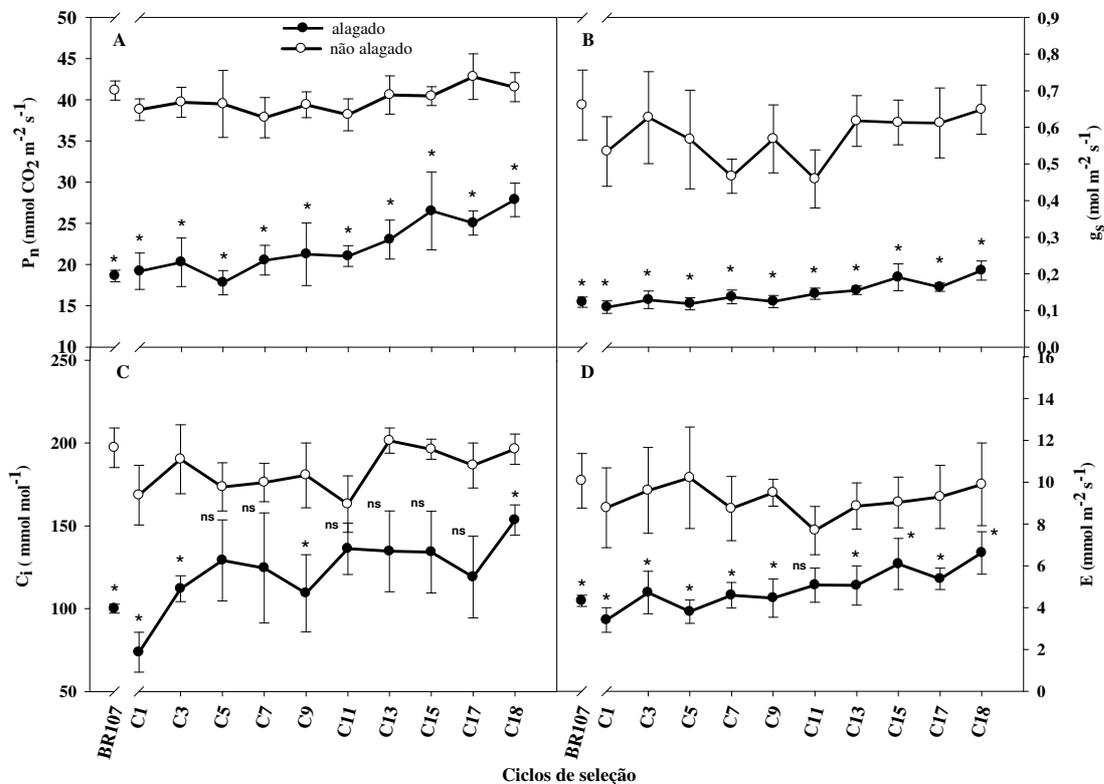


Figura. 1 Características de trocas gasosas ao longo dos ciclos de seleção do milho “Saracura” em duas condições hídricas. (A) taxa de fotossíntese foliar (P_n), (B) condutância estomática (g_s), (C) concentração intercelular de CO_2 (C_i), (D) taxa de transpiração (E).

Médias \pm SD, n = 4. * Indica significância estatística a $P \leq 0,01$.

O alagamento significativamente afetou todos os processos de trocas gasosas avaliados neste trabalho. Foi observado que a condição alagada diminui a taxa de fotossíntese foliar (P_n), condutância estomática (g_s), taxa de transpiração (E) e concentração intercelular de CO_2 (C_i). Esses resultados também foram observados em outras culturas como em cevada (Yordanova et al., 2005). Em milho Yordanova e Popova (2007) também observaram decréscimo na fotossíntese, condutância estomática e na transpiração porém a concentração interna de CO_2 não decresceu indicando um efeito não estomático no processo fotossintético. No caso do milho ‘Saracura’ e da variedade BR 107 a limitação estomática no processo fotossintético parece prevalecer, pois o alagamento conduziu a um fechamento estomático restringindo o conteúdo interno de CO_2 . A seleção recorrente fenotípica estratificada utilizada no melhoramento do milho ‘Saracura’ tem levado a uma menor limitação estomática no processo fotossintético indicado pela maior taxa de fotossíntese e das outras características de trocas gasosas avaliadas (Figura 1) ao longo dos ciclos de seleção. Em estudos anatômicos com a mesma testemunha e os mesmos ciclos de seleção de milho, foram evidenciadas também modificações morfométricas estomáticas (número e tamanho de estômatos) ao longo dos ciclos de seleção (Souza et al., 2010). Essas modificações também podem estar melhorando as trocas gasosas ao longo dos ciclos de seleção do milho ‘Saracura’ evidenciados neste trabalho.



Conclusão

A seleção ao longo do tempo no milho 'Saracura' foi eficiente para algumas características de trocas gasosas os quais favorecem a sua sobrevivência em ambientes alagados.

Literatura Citada

CHEN, H.; QUALLS, R.G.; BALK, R.R. Effect of soil flooding on photosynthesis, carbohydrate partitioning and nutrient uptake in the invasive exotic *Lepidium latifolium*. **Aquatic Botany**, Amsterdam, v.82, p.250-268, June 2005.

DAT, J.F.; CAPELLI, N.; FLOZER, H.; BOURGEADE, P.; BADOT, M. Sensing and signaling during plant flooding. **Plant Physiology and Biochemistry**, Paris, v.42, n.4, p.273-282, Apr. 2004.

EVANS, D.E. Aerenchyma formation. **New Physiologist**, Cambridge, v.161, n.1, p.35-39, Jan. 2004.

FERNÁNDES, M.D. Changes in photosynthesis and fluorescence in response to flooding in emerged and submerged leaves of *Pouteria orinocoensis*. **Photosyntetica**, Prague, v.44, n.1, p.32-38, Mar. 2006.

FERREIRA, J.L.; COELHO, C.H.M.; MAGALHÃES, P.C.; GAMA, E.E.G.; BOREM, A. Genetic variability and morphological modifications in flooding tolerance in maize, variety BRS-4154. **Crop Breed Appl Biotechnol**, v. 7, p. 314-320, 2007

JACKSON, M.B. Ethylene promoted elongation: na adaptation to submergence stress. **Annals of Botany**, London, v.101, n.2, p.229-248, Jan. 2008.

LI, S.W.; PEZESHKI, S.R.; GOODWIN, S. Effects of soil moisture regimes on photosynthesis and growth in cattail (*Typha latifolia*). **Acta Oecologica**, Berlin, v.25, n.1-2, p.17-22, Mar. 2004.

LIAO, C.T.; LIN C.H. Physiological adaptation of crop plants to flooding stress. **Proceedings of National Science Council**, Beijing, v.25, n.3, p.148-157, Apr. 2001.

MAGALHÃES, P.C.; FERRER, J.L.R.; ALVES, J.D.; VASCONSELLOS, C.A.; CANTÃO, F.R.O. Influência do cálcio na tolerância do milho 'saracura' BRS- 4154 ao encharcamento do solo. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v.6, n.1, p.40-49, 2007.

PARENTONI, S.N.; GAMA, E.E.; LOPES, M.A.; SANTOS, M.X.; GUIMARÃES P.E.O.; PACHECO, C.A.; SOUZA, I.R.O.; MEIRELES, W.; CORREA, L.A. Seleção pata tolerância ao encharcamento na variedade de milho CMS54-Saracura. In: REUNION LATINOAMERICANA, 4.; REUNION DELA ZONA ANDINA DE INVESTIGADORES EM MAIZE, 17., 1997, Cerete Y Cartagena de Ludias. **Memória...** Cerete Y Cartagena de Ludias, Colômbia: CORPOICA/CIMMYT, 1997. p.368-373.



PEREIRA, F.J. **Caracterização das modificações morfo-anatômicas e bioquímicas em ciclos de seleção do milho Saracura, para tolerância ao encharcamento do solo**, dez. 2008. 78p. Dissertação (Mestrado em Fisiologia Vegetal)–Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

SAIRAM, R.K.; KUMUTHA, D.; EZHILMATHI, K.; DESHMUKH, P.S.; SRIVASTAVA, G.C. Physiology and biochemistry of waterlogging tolerance in plants. **Biologia Plantarum**, Prague, v.52, n.3, p.401-412, 2008

SANTOS, H.G.; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C.; OLIVEIRA, V.A.; OLIVEIRA, J.B.; COELHO, M.R.; LUMBRERAS, J.F.; CUNHA, T.J.F.; **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Embrapa Solos, Rio de Janeiro, Brasil, 2006.

SHIONO, K.I.I.; COLMER, T.D.; NAKAZONO, M. Role of ethylene in acclimations to promote oxygen transport in roots of plants in waterlogged soils. **Plant Science**, Ottawa, v.175, n.1-2, p.52-58, 2008.

SOUZA, T.C; MAGALHÃES, P.C; PEREIRA, F.P; CASTRO, E.M; SILVA JUNIOR, J.M; PARENTONI, S.N. Leaf plasticity in successive selection cycles of 'Saracura' maize in response to periodic soil flooding. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.45, n.16-24, 2010.

YORDANOVA, R.Y.; UZUNOVA, A.; POPOVA, L.P. Effects of short-term soil flooding on stomata behaviour and leaf gas exchange in barley plants. **Biologia Plantarum**, Prague, v.49, n.2, p.317-319, June 2005.

YORDANOVA, R.Y.; POPOVA, L.P.; Flooding-induced changes in photosynthesis and oxidative status in maize plants. **Acta Phisiol Plant**, v. 29, p. 535-541, 2007.

ZAIDI, P.H.; RAFIQUE, S.; SINGH, N.N.; SRINIVASAN, G. Tolerance to excess moisture in maize (*Zea mays* L.): susceptible crop stages and identification of tolerant genotypes. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.90, n.2-3, p.189-202, Dec. 2004.

ZAIDI, P.H.; SELVAN, P.M.; SULTANA, R.; SRIVASTAVA, A.; SINGH, A.K.; SRINAVASAN, G.; SINGH, R.P.; SINGH, P.P. Association between line *per se* and hybrid performance under excessive soil moisture stress in tropical maize (*Zea mays* L.). **Field Crops Research**, Amsterdam, v.101, n.1, p.117-126, Feb. 2007.

