

TROCAS GASOSAS E AJUSTE DE MODELO PARA ESTIMATIVA DO RENDIMENTO DE GRÃOS DE MILHO IRRIGADO

Franklin Alves dos Anjos¹; Carlos Alberto Vieira de Azevedo²; Rener Luciano de Souza Ferraz³; Otávio Couto Salgado⁴; Patrícia da Silva Costa⁵

¹Professor do Ensino Básico, Técnico e Tecnológico do Instituto Federal de Alagoa, franklin.anjos@ifal.edu.br;

²Professor Titular da Universidade Federal de Campina Grande, cvieiradeazevedo@gmail.com; ³Doutorando em Engenharia Agrícola (Irrigação e Drenagem) pela Universidade Federal de Campina Grande, ferragroestat@gmail.com; ⁴Instrutor do Senar-Serviço Nacional da Aprendizagem Rural, otorcp@hotmail.com;

⁵Mestranda em Zootecnia pela Universidade Federal de Campina Grande, pathy_16costa@hotmail.com

Introdução

A escassez de água atinge cerca de 52% da população mundial que habita regiões áridas e semiáridas, o que tem aumentado a pressão para redução de recursos hídricos utilizados para irrigação, e ao mesmo tempo manter elevadas produções das culturas para atender a demanda alimentar (GHEYSARI et al., 2017).

A região Nordeste do Brasil é caracterizada pelo clima semiárido, com limitação hídrica estacional devida aos baixos índices pluviométricos, propensa a ocorrência de déficit hídrico, o que limita a produção agrícola, notadamente no período de estiagem (CIRILO et al., 2017).

O milho é cultivado em diversos locais do globo terrestre (USDA, 2017). A expressividade de seu cultivo é justificada pelo elevado potencial produtivo, decorrente da alta capacidade de captação e assimilação de CO₂ inerente ao metabolismo fisiológico C₄. Sabe-se que o rendimento de grãos de milho é reduzido sob ocorrência de estresse hídrico (CHILUNDO et al., 2017), sobretudo no período compreendido entre o florescimento e a polinização, indicando desordens fisiológicas nas plantas.

Apesar da expressiva contribuição das plantas C₄ para a segurança alimentar, as respostas das trocas gasosas ao estresse hídrico têm sido pouco estudadas. Evidências indicam que este grupo de plantas é altamente sensível à deficiência hídrica, havendo abrupta redução da condutância ao vapor de água e da taxa de assimilação de CO₂ à medida em que o potencial hídrico foliar é reduzido (GHANNOUM, 2009).

As trocas gasosas são utilizadas como indicadores pontuais do estado hídrico das plantas, possibilitando o diagnóstico instantâneo de desordens fisiológicas causadas pelo estresse hídrico, que podem refletir em reduções expressivas da produção.

Objetivou-se com este trabalho relacionar variáveis fisiológicas instantâneas ao rendimento de grãos do milho híbrido AG 7088 sob níveis de reposição da água evapotranspirada (ET_o) e ajustar

(83) 3322.3222

contato@aguanosemiarido.com.br

www.aguanosemiarido.com.br



um modelo de regressão múltipla para estimativa do rendimento de grãos no período de estiagem no semiárido.

Metodologia

O experimento foi conduzido entre agosto e dezembro de 2015. A área experimental está localizada na Fazenda Tororó III, município de Pão de Açúcar, estado de Alagoas (AL), nas coordenadas de latitude: 09° 45' 20.7'' S, longitude: 37° 25' 12.3'' W e altitude de 18 m. O clima local é classificado como BSh', com predominância de caatinga hipoxerofítica de acordo com a classificação de Köppen (1948). Apresenta temperatura média anual de 27 °C e precipitação média anual de 500 mm (BARROS et al., 2012).

Durante a pesquisa, foi feito monitoramento climático, obtido na estação meteorológica automática do Instituto Nacional de Meteorologia-INMET.

Foram coletadas amostras de solo e encaminhadas ao Laboratório de Irrigação e Salinidade da Universidade Federal de Campina Grande para análise dos atributos físicos e químicos.

A água utilizada no experimento foi proveniente da calha do Rio São Francisco. Uma amostra de água foi encaminhada ao Laboratório Central Analítica em Maceió, AL, para realização de análises químicas e de salinidade.

A semeadura do milho, híbrido AG 7088 da Agrocere, foi realizada em 25 de agosto de 2015. Transcorridos 10 dias após a semeadura (DAS), o desbaste foi realizado adotando-se uma planta por cova. Durante 15 DAS, o solo foi mantido sob irrigação diária com 12,5 mm, considerando este tempo suficiente para o estabelecimento das plântulas no campo.

O experimento foi montado em delineamento de blocos ao acaso, com seis níveis de reposição da ET_0 (50%, 75%, 100%, 125%, 150% e 175%), e quatro repetições. As lâminas totais aplicadas corresponderam a $L_1=229$ mm, $L_2=343$ mm, $L_3=458$ mm, $L_4=572$ mm, $L_5=687$ mm e $L_6=801$ mm.

A aplicação das lâminas de irrigação foi realizada com frequência de dois dias, com base na restituição da ET_0 , calculada somando a ET_0 de dois dias antes do dia da irrigação. Utilizou-se sistema de irrigação localizada por gotejamento, com emissores de vazão $7,5 \text{ L h}^{-1}$ espaçados a cada 0,20 m, operando sob pressão de serviço de 10 mca.

As avaliações das trocas gasosas foram realizadas aos 72 DAS no estágio fenológico R1 (FANCELLI, 1986). Foram mensuradas taxa de assimilação de CO_2 (A), condutância estomática ao vapor de água (gs), transpiração (E), déficit de pressão de vapor (DPV), temperatura da folha (TF), além da estimativa da eficiência instantânea do uso da água (EIUA) calculada a partir da relação A/E (ISLA et al., 2016).



As mensurações foram realizadas na folha +3, no período da manhã (8-10h). Utilizou-se de um sistema portátil de análise de gás por infravermelho (IRGA), modelo e LI-6400XT.

As mensurações de área foliar (AF) foram realizadas aos 60 DAS, no estágio fenológico R1. Foram medidos o comprimento (C) e largura (L) da folha +3 e quantificado o número de folhas verdes (NF) nas cinco plantas da fileira central de cada parcela.

A colheita foi realizada aos 120 DAS, na maturação fisiológica (R6). Foi feita a determinação da massa de grãos e posterior estimativa do rendimento de grãos em toneladas por hectare ($t\ ha^{-1}$).

Para análise estatística, os dados foram padronizados, de modo a tornar a média nula e variância unitária. A estrutura multivariada dos resultados foi avaliada por meio da Análise exploratória de Componentes Principais (ACP) de acordo com Hair et al. (2009).

Os dados originais das variáveis de cada Componente Principal (CP) foram submetidos à análise de variância multivariada (MANOVA) pelo teste de Hotelling (1947) a 5% de probabilidade em função das lâminas de irrigação. As variáveis do CP associado ao rendimento de grãos (RG) foram submetidas à análise de regressão linear múltipla, considerando-se o RG como variável dependente e as demais variáveis contidas no mesmo CP, mais as lâminas de irrigação, como variáveis independentes, com o intuito de ajustar um modelo de previsão do RG. Foi utilizado o modelo de regressão linear múltipla com k variáveis independentes:

$$RG = \alpha + \sum_{i=1}^k \beta_i X_{ij} + \varepsilon_j$$

em que RG=rendimento de grãos, α =coeficiente linear, β_i =coeficiente de regressão das variáveis independentes X_i , X_{ij} =variáveis independentes X_i na observação j e ε_j =erro associado à variável RG na observação j (CARGNELUTTI FILHO et al., 2004).

Resultados

A partir da ACP, foram verificados dois autovalores maiores que a unidade ($\lambda > 1$), indicando a redução do espaço multidimensional das variáveis originais em dois CPs, que juntos respondem por 90,75% da variância total. Dois processos foram identificados, sendo o primeiro (CP1) relacionado às trocas gasosas (A, gs, E e DPV), TF e RG, explicando 65,58% da variância acumulada; e o segundo processo (CP2), respondendo por 25,17% da variância remanescente, está relacionado à AF, índice de área foliar (IAF) e eficiência instantânea do uso da água (EIUA).

Houve efeito significativo das lâminas de irrigação sobre o conjunto de variáveis do CP1 ($p < 0,01$), enquanto que no CP2 as lâminas não diferiram ($p > 0,05$). Foram verificadas correlações fortes entre o CP1 e suas respectivas variáveis, enquanto que no CP2 uma variável (EIUA) teve

correlação forte e duas (AF e IAF) tiveram correlação moderada, conforme classificação de Dancey & Reidy (2013).

A Figura 1 ilustra a projeção bidimensional dos dois CPs (CP₁ x CP₂). No CP₁, observa-se que as lâminas de irrigação L₁ e L₂ diferem das lâminas L₆, L₃ e L₄, respectivamente. Valores mais expressivos de assimilação de CO₂ (22,49 μmol m⁻² s⁻¹), condutância estomática (0,09 mol m⁻² s⁻¹) e transpiração (4,46 mmol de H₂O m⁻² s⁻¹) foram registrados com reposição de 100% da ET₀ (L₃), representando aumentos de 51, 55 e 49%, quando comparados aos 11,01 μmol m⁻² s⁻¹, 0,04 mol m⁻² s⁻¹ e 2,27 mmol de H₂O m⁻² s⁻¹ registrados com a reposição de 50% da ET₀ (L₁).

Maior déficit de pressão de vapor (5,36 kPa) e temperatura foliar (37,33 °C) foram evidenciados em plantas cultivadas sob déficit de irrigação com 50% da ET₀ (L₁). Quando irrigadas com 100% da ET₀ (L₃), ocorre redução de 9% no DPV e 2% na TF, chegando 4,88 kPa e 36,60 °C, respectivamente (Figura 1).

A lâmina de irrigação L₆, 175% da ET₀, promoveu maior rendimento de grãos de milho (7,65 t ha⁻¹), representando diferença percentual de 46% em relação ao rendimento de 4,10 t ha⁻¹ obtido com a reposição de 50% da ET₀ (L₁) (Figura 1).

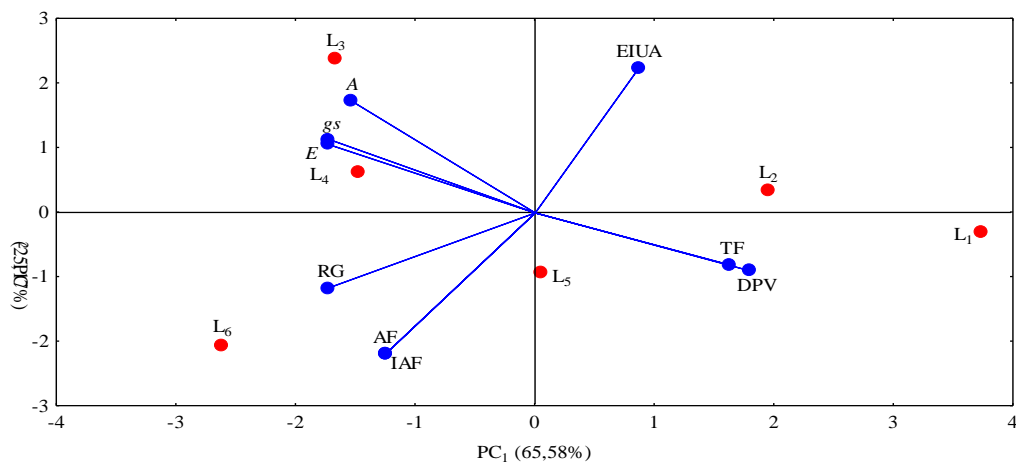


Figura 1. Projeção bidimensional (biplot) das lâminas de irrigação (●L) e nove variáveis (●) nos dois componentes principais (CP) 1 x 2. L₁=50% (229 mm), L₂=75% (343 mm), L₃=100% (458 mm), L₄=125% (572 mm), L₅=150% (687 mm) e L₆=175% (801 mm). A: taxa de assimilação de CO₂; gs: condutância estomática; E: transpiração; DPV: déficit de pressão de vapor; TF: temperatura foliar; EIUA: eficiência instantânea do uso da água; AF: área foliar; IAF: índice de área foliar e RG: rendimento de grãos.

A partir da análise de variância, verificou-se que a regressão múltipla foi significativa (p=0,0025), com R-múltiplo=0,81, R²=0,66 e R²-ajustado=0,54, sendo ajustado o modelo para estimativa do rendimento de grãos, a saber:

$$RG \text{ (t ha}^{-1}\text{)} = - 47,4022 + L*0,0020 - A*0,2198 - gs*88,6360 + E*2,3065 - DPV*12,9372 + TF*3,2422$$

em que RG: rendimento de grãos; L: lâmina de irrigação; A: taxa de assimilação de CO₂; *g*_s: condutância estomática; *E*: transpiração; DPV: déficit de pressão de vapor; TF: temperatura foliar.

Utilizando-se do modelo de regressão linear múltipla, as médias de cada variável de entrada foram empregadas para estimativa do rendimento de grãos nas respectivas lâminas de irrigação. Na lâmina L₁ (50% da ET_o), L₂ (75% da ET_o) e L₆ (175% da ET_o), o modelo subestimou o rendimento de grãos em 5,2, 4,5 e 4,3%, respectivamente, representando diferenças de 0,214, 0,212 e 0,328 t ha⁻¹ em relação às médias observadas; e nas lâminas L₃ (100% da ET_o) e L₄ (150% da ET_o) o modelo superestimou o RG em 6,3 e 5,5%, com aumentos de 0,385 e 0,397 t ha⁻¹ em relação aos valores médios observados (Figura 2).

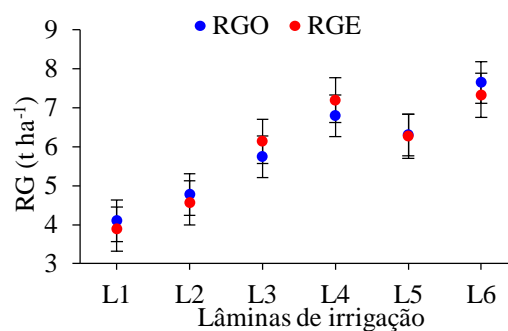


Figura 2. Rendimentos de grãos observados (●RGO) e estimados (●RGE) pelo modelo de regressão múltipla em cada lâmina de irrigação. L₁=50% (229 mm), L₂=75% (343 mm), L₃=100% (458 mm), L₄=125% (572 mm), L₅=150% (687 mm) e L₆=175% (801 mm).

Conclusões

Esta pesquisa evidenciou que nas condições de semiaridez; durante o período de estiagem (agosto a dezembro), com temperatura média acima do ideal (28,4 °C) e umidade relativa do ar abaixo do ótimo para a cultura (60,1%) durante o ciclo; o híbrido AG 7088 teve bom desempenho fisiológico sob irrigação plena (100% da ET_o), com produção de 5,75 t ha⁻¹, podendo chegar a 6,8 e 7,65 t ha⁻¹ com reposições de 125 e 175% da ET_o, respectivamente. Mensurações de trocas gasosas, déficit de pressão de vapor e temperatura foliar podem ser realizadas no estágio fenológico R1 para estimar o rendimento de grãos com maior robustez quando combinados com as lâminas de água aplicadas durante o ciclo da cultura.

Referências Bibliográficas

BARROS, A. H. C.; ARAÚJO FILHO, J. C.; SILVA, A. B.; SANTIAGO, G. A. C. F. **Climatologia do Estado de Alagoas**. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento. Recife: Embrapa Solos, 2012. 32p.

- CARGNELUTTI FILHO, A.; STORCK, L.; LÚCIO, A. D. C. Identificação de variáveis causadoras de erro experimental na variável rendimento de grãos de milho. **Ciência Rural**, v. 34, p. 707-713, 2004.
- CHILUNDO, M. J. A.; WESSTRÖM, I.; BRITO, R.; MESSING, I. 2017. Response of maize root growth to irrigation and nitrogen management strategies in semi-arid loamy sandy soil. **Field Crops Research**, v. 200, p. 143-162, 2017.
- CIRILO, J. A.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; CAMPOS, J. N. B. The Issue of Water in the Brazilian Semi-Arid Region. In: **Waters of Brazil**; BICUDO, C. E. D. M.; TUNDISI, J. G.; SCHEUENSTUHL, M. C. B. (eds.). Springer International Publishing, p. 59-71, 2017
- DANCEY, C.; REIDY, J. **Estatística Sem Matemática para Psicologia**. Porto Alegre: Artmed, 2013. 608p.
- FANCELLI, A. L. **Plantas Alimentícias: guia para aula, estudos e discussão**. Piracicaba: ESALQ/USP, 1986. 131p.
- GHANNOUM, O. C₄ photosynthesis and water stress. **Annals of Botany**, v. 103, p. 635-644, 2009.
- GHEYSARI, M.; SADEGHI, S. H.; LOESCHER, H. W.; AMIRI, S.; ZAREIAN, M. J.; MAJIDI, M. M.; ASGARINIA, P.; PAYERO, J. O. Comparison of deficit irrigation management strategies on root, plant growth and biomass productivity of silage maize. **Agricultural Water Management**, v. 182, p. 126-138, 2017.
- HAIR, F. J.; BLACK, W. C.; BABIN, B. J.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L. **Análise Multivariada de Dados**. Porto Alegre: Bookman, 2009. 688p.
- HOTELLING, H. Multivariate quality control. In **Techniques of Statistical Analysis**, EISENHART, C.; HASTAY, M. W.; WALLIS, W. A. (eds). New York: John Wiley & Sons. 1947.
- ISLA, R.; GUILLÉN, M.; SALMERÓN, M. Nitrogen availability effects on gas exchange measurements in field-grown maize (*Zea mays* L.) under irrigated Mediterranean conditions. **Spanish Journal of Agricultural Research**, v. 14, p. 1-9 2016.
- KÖPPEN, W. **Climatologia: con un estudio de los climas de la tierra: Fondo de Cultura Económica**. México: Editora, 1948. 479p.
- USDA - United States Department of Agriculture. **World Agricultural Production**. Série Circular. 2017. 29p. Disponível em: < <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/production.pdf>>. Acesso em: 15 de fevereiro de 2017.