



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

PRODUTIVIDADE DA ÁGUA DA CULTURA DO MILHO OBTIDA COM CÂMERA AÉREA A BORDO DE AERONAVE REMOTAMENTE PILOTADA

Antônio Heriberto de Castro Teixeira ^(a), Edson Patto Pacheco ^(b), Márcia Galina Dampieri ^(c)

^(a) Universidade Federal de Sergipe/PRORH, heribert@globomail.com

^(b) Embrapa Tabuleiros Costeiros, edson.patto@embrapa.br

^(c) Embrapa Territorial, marcia.dampieri@embrapa.br

Eixo: Unidades de conservação: usos, riscos, gestão e adaptação às mudanças climáticas

Resumo/

Imagens aéreas obtidas com câmera conduzida por aeronave remotamente pilotada (ARP) foram usadas na modelagem da produtividade da água com aplicação do algoritmo SAFER e do modelo da eficiência do uso da radiação de Monteith, na cultura do milho no Nordeste do Brasil. Com as bandas no visível e infravermelho próximo modelaram-se a evapotranspiração atual (ET) e produção de biomassa (BIO) sob diferentes níveis e fontes de adubação nitrogenada. Apesar da adubação com ureia em cobertura ter proporcionado menores taxas da ET, com nitrato obtiveram-se maiores valores da BIO. Em termos médios, para ambas as fontes, a produtividade da água (PA), considerada como a razão da BIO para a ET, estabilizou com a dosagem de nitrogênio de 150 kg ha⁻¹, indicando a não necessidade de maiores doses para melhoria nos valores da PA, o que pode repercutir em aspectos econômicos e ambientais relevantes para a atividade comercial na região.

Palavras chave: imagens aéreas, modelagem ambiental, evapotranspiração, produção de biomassa, *Zea mays L.*

1. Introdução

No Nordeste do Brasil, uma das mais importantes culturas é o milho (*Zea mays L.*), semeado no início da estação chuvosa, com ciclo produtivo de maio a junho, para ambos



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

consumos, humano e animal. De acordo com Teixeira et al. (2014), além da adubação, os parâmetros climáticos influenciam a evapotranspiração (ET) e a produção de biomassa (BIO) e então a produtividade da água (PA), aqui considerada como a razão da BIO sobre a ET, sendo estes parâmetros afetados por condições de estresse hídrico (DEJONGE et al., 2012).

Em ambientes com limitação de água, o desafio é a melhoria da PA através de manejos culturais otimizados. Mesmo que algoritmos tenham sido aplicados com sucesso com a união de imagens de satélites e dados climáticos na cultura milho tanto na dependência de chuvas (TEIXEIRA et al., 2014) como sob irrigação (TEIXEIRA et al., 2015) no Brasil, o desenvolvimento de aeronaves remotamente pilotadas (ARP) requer testes destes algoritmos em imagens de alta resolução para subsídio à agricultura de precisão visando-se a melhoria no uso da água, principalmente nas condições de escassez hídrica presentes em diferentes agroecossistemas do Nordeste brasileiro.

O objetivo do presente estudo foi avaliar a aplicação do algoritmo SAFER (*Simple Algorithm for Evapotranspiration Retrieving*) em conjunto com o modelo RUE (*Radiation Use Efficiency*) de Monteith, para obtenção dos componentes da produtividade da água com imagens aéreas obtida com câmeras conduzidas por ARP na cultura de milho no Nordeste do Brasil quantificando o efeito das diferentes doses e fontes de nitrogênio na magnitude e variações espaciais destes componentes.

2. Material e Métodos

As imagens foram coletadas com câmera multiespectral Parrot Sequoia (Micasense) a bordo de aeronave remotamente pilotada (ARP), em um experimento com diferentes níveis de adubação nitrogenada em cobertura, no município de Nossa Senhora das Dores, estado de Sergipe, Nordeste do Brasil. A Figura 1 apresenta a localização da área experimental, estação agrometeorológica e parcelas de milho cultivadas com diferentes doses de nitrato (N) e ureia (U) em cobertura.



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

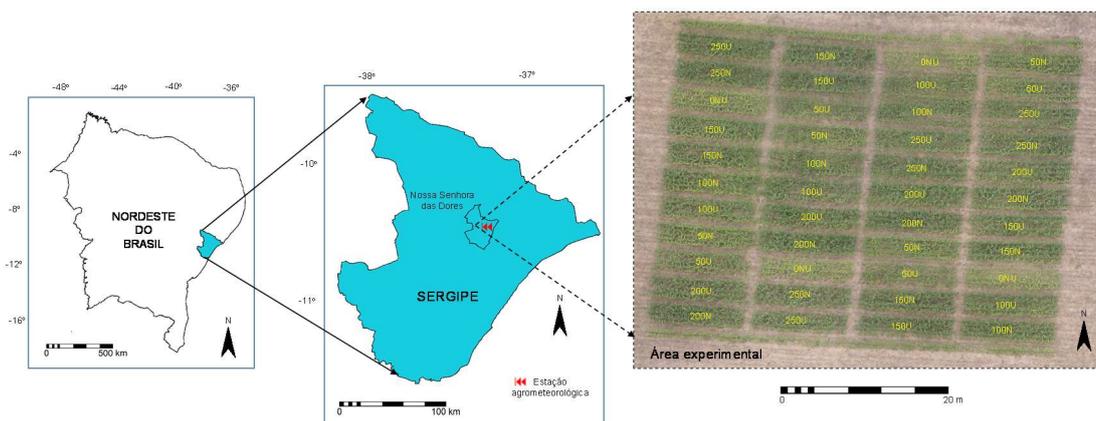


Figura 1 – Localização da área experimental, estação agrometeorológica e parcelas de milho cultivadas com diferentes doses (0, 50, 100, 150, 200 e 250 kg ha⁻¹) de nitrato (N) e ureia (U) em cobertura.

A região apresenta clima do tipo megatérmico seco e sub úmido, temperatura média anual do ar de 24,6 °C, precipitação anual média de 1.056 mm concentrada no período de março a agosto (SERGIPE.SEPLANTEC/SUPES, 2000).

Os dados climáticos que entraram na modelagem foram a evapotranspiração de referência (ET₀), a radiação solar global (R_G) e a temperatura média do ar (T_a), usados em conjunto com parâmetros obtidos por sensoriamento remoto (TEIXEIRA et al., 2014, 2015). Foram considerados seis níveis de adubação em cobertura: 0, 50, 100, 150, 200 e 250 kg ha⁻¹ de nitrogênio, via ureia e nitrato quando as plantas de milho apresentavam quatro folhas (22/06/2017). A adubação de base de NPK foi na proporção de 40-100-80 kg ha⁻¹. A semeadura foi realizada no dia 06 de junho de 2017 em parcelas compostas por seis linhas de 10 m de comprimento no espaçamento de 0,5 m entre linhas, do cultivar Status da Singenta.

As radiações espectrais (L_b) das bandas verde, vermelho e infravermelho próximo (Wm⁻² sr⁻¹ μm⁻¹), foram computadas dos números digitais (DN) na resolução espacial de 4 cm conforme o fabricante (PARROT, 2018):

$$L_b = f^2 \frac{p-b}{a\epsilon\gamma + c} \quad (1)$$



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

onde ε é o tempo de exposição (1/333 s), γ (ISO - *International Organization of Standardization*) é considerado 100, a razão focal f é 2,2 e a , b e c são os coeficientes de calibração.

A reflectância para cada banda (α_b) foi calculada como:

$$\alpha_b = \frac{L_b \pi d^2}{R_{ab} \cos \phi \tau_h w_b} \quad (2)$$

em que d é a distância relativa Terra-Sol, R_{ab} é a radiação incidente no topo da atmosfera para cada banda ($W m^{-2} \mu m^{-1}$), ϕ é o ângulo zenital, τ_h é a transmissividade atmosférica na hora do voo e w_b é o peso de cada banda.

O albedo da superfície (α_0) foi calculado como a soma dos valores de α_b de acordo com os valores de w_b .

$$\alpha_0 = \sum w_b \alpha_b \quad (3)$$

O saldo de radiação (R_n) foi estimado através da equação de Slob (TEIXEIRA et al., 2014, 2015):

$$R_n = (1 - \alpha_0) R_G - a_L \tau_{24} \quad (4)$$

onde a_L é um coeficiente de regressão que foi correlacionado com T_a :

A radiação atmosférica (R_a) foi calculada pela lei de Stefan-Boltzmann:

$$R_a = \sigma \varepsilon_A T_a^4 \quad (5)$$

onde a emissividade atmosférica (ε_A) estimada em função de τ_{24} (Teixeira et al., 2015).

Estimando-se a radiação solar refletida (R_R) como um produto da R_G por α_0 , a radiação emitida pela superfície (R_s) foi obtida por resíduo na equação do balanço de radiação e a temperatura da superfície (T_0) na escala diária foi então estimada como:



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

$$T_0 = \sqrt[4]{\frac{\sigma \varepsilon_s}{R_s}} \quad (6)$$

em que ε_s é a emissividade da superfície obtida em função do NDVI (Teixeira et al., 2015).

Os valores da razão $ET_r = ET/ET_0$ foram modelados e multiplicados pelos ET_0 diária fornecendo a ET:

$$ET_r = \exp \left[a_{sf} + b_{sf} \left(\frac{T_0}{\alpha_0 NDVI} \right) \right] \quad (7)$$

onde a_{sf} e b_{sf} são os coeficientes de regressão (Teixeira et al., 2014,2015).

A BIO foi estimada de acordo com Teixeira et al. 2014) pela equação seguinte:

$$BIO = \varepsilon_{\max} ET_r ARAF 0,864 \quad (8)$$

em que ε_{\max} é eficiência máxima de uso da luz, e 0,864 é um fator de conversão. A PA foi considerada como a razão da BIO pela ET.

3. Resultados e Discussão

Como a modelagem dos componentes da produtividade da água na escala diária dependem muito dos parâmetros climáticos, estes foram analisadas nesta escala em termos de dia juliano (DJ) ao longo do ano de 2017 (Figura 2).

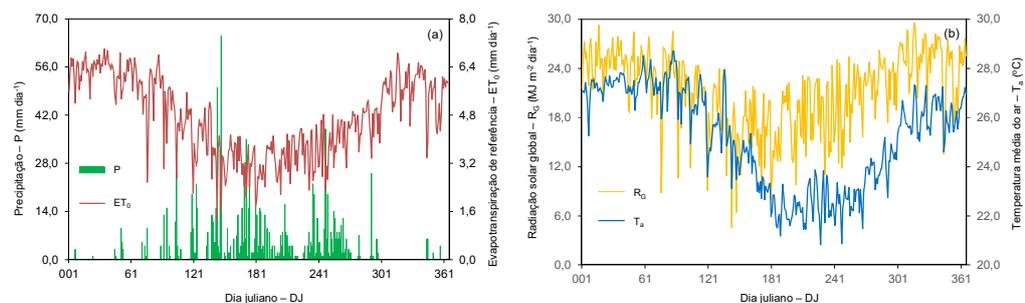


Figura 2 – Parâmetros climáticos na área de estudo, durante o ano de 2017. (a) Precipitação pluviométrica (P) e evapotranspiração de referência (ET_0); (b) radiação solar global incidente (R_G) e temperatura média do ar (T_a).



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

As chuvas se concentraram entre abril (DJ 118) e setembro (DJ 267), com valores chegando acima de 10 mm dia^{-1} . O valor anual de 1153 mm coincidiu com o total médio histórico da região. Em relação aos valores de evapotranspiração de referência (ET_0), estes foram maiores que $5,0 \text{ mm dia}^{-1}$ no início (DJ 001 a 102) e nos últimos meses do ano (DJ 301 a 365). As tendências de R_G e T_a seguiram àquelas para ET_0 , com valores respectivos acima de $24,0 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ e de $26,0 \text{ °C}$ no início e no final do ano e abaixo de $18,0 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ e $22,0 \text{ °C}$ no meio do ano (Figura 2b).

A Figura 3 mostra a distribuição espacial e valores médios com desvios padrões da evapotranspiração atual (ET) para toda a área experimental, considerando-se as principais fases fenológicas V6 – seis folhas (11/07), V10 – dez folhas (21/07), pré-formação (04/08) e floração plena (11/08) do ano de 2017.

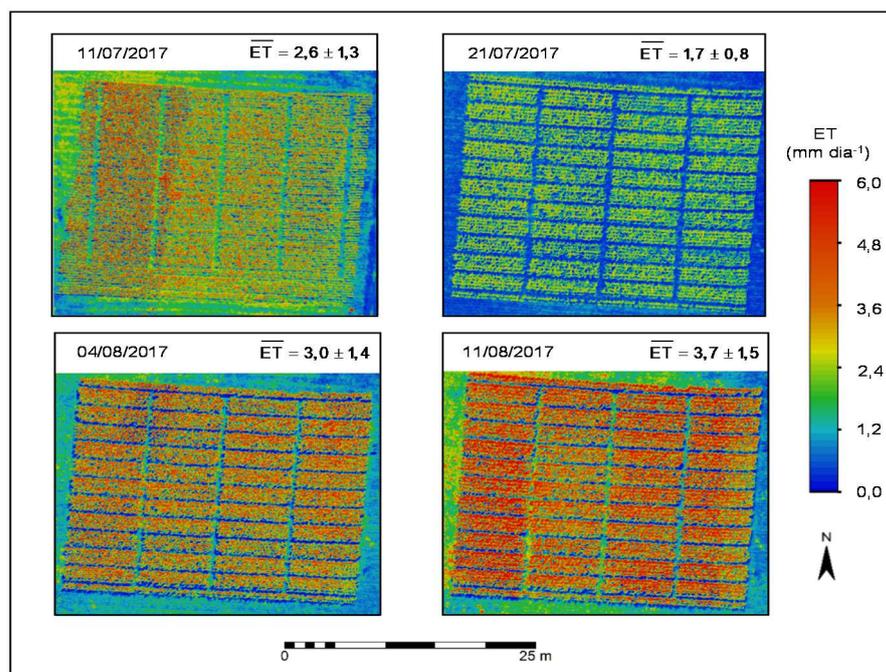


Figura 3 – Distribuição espacial, valores médios e desvios padrões da evapotranspiração atual (ET) para toda área cultivada com milho durante as principais fases fenológicas do ano de 2017: V6 – seis folhas (11/07), V10 – dez folhas (21/07), pré-formação (04/08) e floração plena (11/08).



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

Com exceção do dia 21/07 (fase V10), percebe-se claramente, um aumento tanto das taxas da ET como da sua variação espacial com as médias dos pixels variando de 2,6 a 3,7 mm dia⁻¹ e desvios padrões de 1,3 a 1,5 mm dia⁻¹ nas fases V6 (11/07) e floração plena (11/08), respectivamente. As baixas taxas na fase V10 podem ser explicadas pela estiagem por mais de uma semana previamente à aquisição da imagem (ver Figura 2a considerando DJ 202).

A Figura 4 apresenta os valores médios da ET e desvios padrões (DP) nas parcelas de milho, de acordo com os níveis de adubação em cobertura e fontes de nitrogênio, ureia (U) e nitrato (N) considerando-se as principais fases fenológicas V6 – seis folhas (11/07), V10 – dez folhas (21/07), pré-formation (04/08) e floração plena (11/08) do ano de 2017.

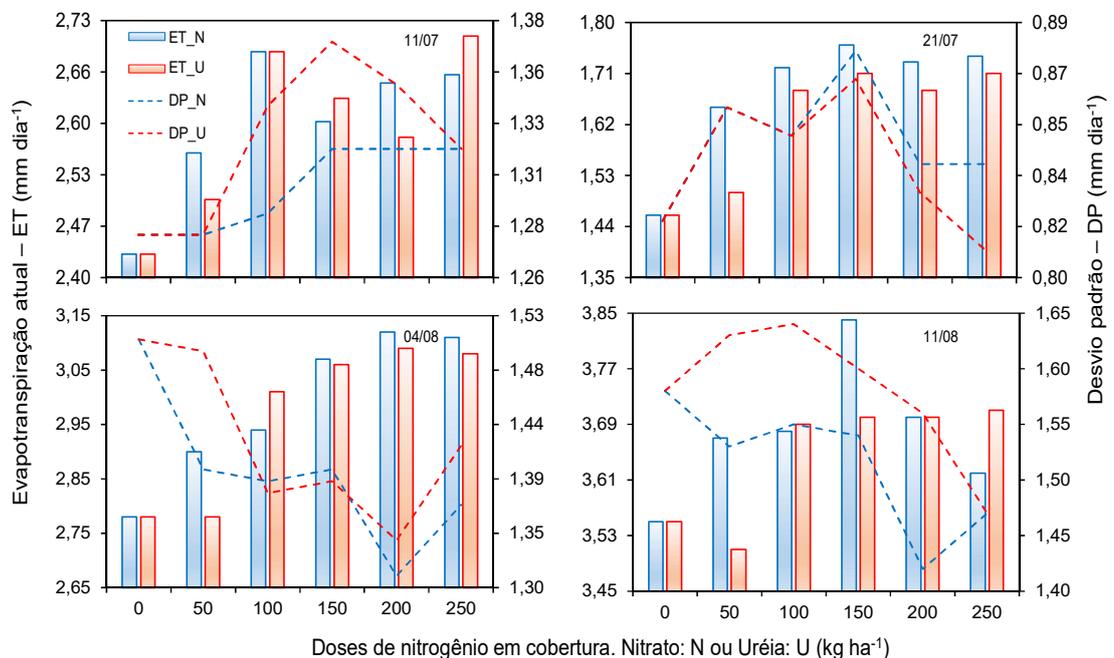


Figura 4 – Valores médios e desvios padrões da evapotranspiração atual (ET) nas parcelas de milho com diferentes doses de nitrogênio em cobertura: 0, 50, 100, 150, 200 e 250 kg ha⁻¹, via nitrato (N) e ureia (U) nas principais fases fenológicas do ano de 2017: V6 – seis folhas (11/07), V10 – dez folhas (21/07), pré-formation (04/08) e floração plena (11/08).



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

Em termos médios, o maior consumo hídrico ($> ET$) ocorreu com os tratamentos 150N, 200N e 250U (110% da testemunha - 0NU). A aplicação de ureia (U) proporcionou taxas da ET 99% daquelas quando e aplicou nitrato (N). Em grandes áreas isto pode representar economia de água em condições de escassez hídrica, entretanto como existe uma relação entre a ET e a BIO, o efeito na produção de grãos deve ser considerado, a qual depende da BIO.

Confrontando-se os valores da ET com aqueles de ET_0 em boas condições de umidade tem-se o coeficiente de cultura (K_c). No caso do presente estudo os valores de K_c variaram entre 0.8 a 1,3, similares aos máximos encontrados por Dejonge et al. (2012), fornecendo confiança à aplicação do SAFER com as imagens obtidas com ARP.

A Figura 5 mostra a distribuição espacial e valores médios com desvios padrões da produção de biomassa (BIO) para toda a área experimental, considerando-se as principais fases fenológicas V6 – seis folhas (11/07), V10 – dez folhas (21/07), pré-formação (04/08) e floração plena (11/08) no ano de 2017, no município Nossa Senhora das Dores, estado de Sergipe, Nordeste do Brasil.



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

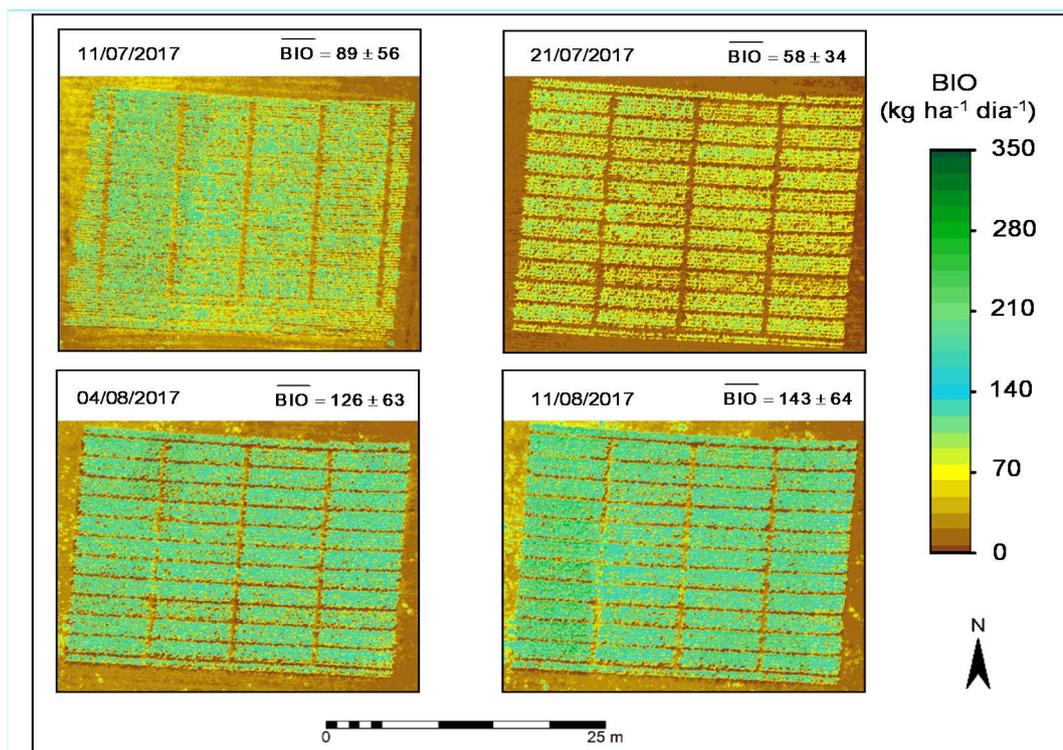


Figura 5 – Distribuição espacial, valores médios e desvios padrões da produção de biomassa (BIO) para toda área cultivada com milho durante as principais fases fenológicas do ano de 2017: V6 – seis folhas (11/07), V10 – dez folhas (21/07), pré-formação (04/08) e floração plena (11/08).

As condições de estresse hídrico do dia 21/07 (fase V10) reduziram as taxas da BIO, pois os valores são sensíveis à distribuição espacial da umidade do solo, mas, como no caso da ET, comparando-se as imagens das fases V6 (11/07) e de floração plena (11/08) nota-se a influência do estágio fenológico com médias respectivas de 89 e 143 $\text{kg ha}^{-1} \text{dia}^{-1}$ e desvios padrões entre 56 e 64 $\text{kg ha}^{-1} \text{dia}^{-1}$.

A Figura 6 apresenta os valores médios da BIO e desvios padrões (DP) nas parcelas de milho, de acordo com os níveis de adubação em cobertura e fontes de nitrogênio, ureia (U) ou nitrato (N), considerando-se as principais fases fenológicas V6 – seis folhas (11/07), V10 – dez folhas (21/07), pré-formação (04/08) e floração plena (11/08) do ano de 2017.



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

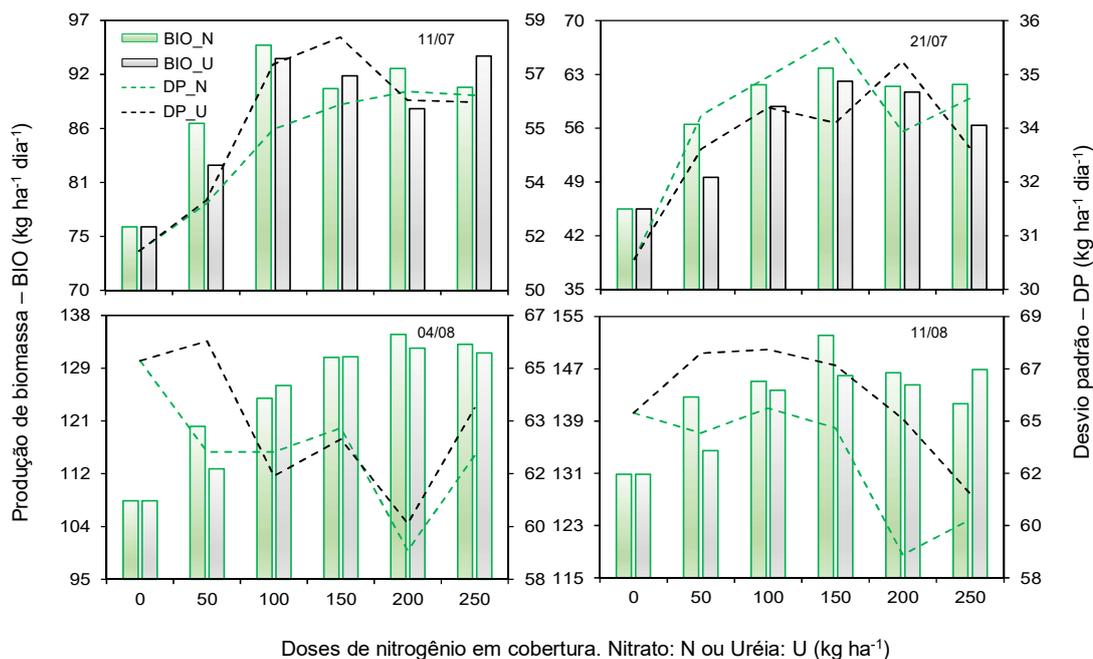


Figura 6 – Valores médios e desvios padrões da produção de biomassa (BIO) nas parcelas da cultura de milho com as diferentes doses de nitrogênio em cobertura: 0, 50, 100, 150, 200 e 250 kg ha⁻¹, via nitrato (N) e ureia (U) principais fases fenológicas do ano de 2017: V6 – seis folhas (11/07), V10 – dez folhas (21/07), pré-formação (04/08) e floração plena (11/08) no ano de 2017.

Em termos médios, os maiores valores da BIO ocorreram com os tratamentos 150N, 200N e 150U (108 a 109% de 0NU). A aplicação de ureia (U) proporcionou taxas da BIO 98% daquelas quando e aplicou nitrato (N). Apesar do uso da ureia ter resultado em menores taxas da ET, a aplicação de nitrato resultando apresentando maior valor médio da BIO, proporcionará maior produção de grãos. Entretanto para se ter um maior benefício econômico e ambiental deve-se considerar a diferença de preço do kg nitrogênio via nitrato (R\$4,30) e via ureia (R\$2,70), mais ainda o fato de que com o nitrato ocorre maior lixiviação.

A Tabela 1 apresenta os valores médios e desvios padrões para a PA, considerando-se as doses e fontes de nitrogênio aplicadas em cobertura na cultura do milho, no município Nossa Senhora das Dores, Nordeste do Brasil.



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

Tabela 1. Valores médios e desvios padrões para a produtividade da água (PA) considerando-se as diferentes doses de aplicação de nitrogênio via nitrato e ureia.

Adubação em Cobertura	Produtividade da água - PA (kg m ⁻³)										
	0	N50	U50	N100	U100	N150	U150	N200	U200	N250	U250
11/07/17	2,9±0,6	3,2±0,6	3,1±0,6	3,3±0,6	3,3±0,6	3,3±0,6	3,3±0,6	3,3±0,6	3,2±0,6	3,2±0,6	3,3±0,6
21/07/17	2,9±0,5	3,2±0,5	3,1±0,5	3,4±0,5	3,3±0,5	3,4±0,4	3,4±0,5	3,4±0,4	3,3±0,4	3,4±0,5	3,4±0,5
04/08/17	3,7±0,6	4,0±0,5	3,9±0,5	4,1±0,4	4,1±0,4	4,2±0,4	4,2±0,4	4,3±0,4	4,2±0,4	4,2±0,5	4,2±0,4
11/08/17	3,6±0,4	3,8±0,4	3,7±0,4	3,9±0,3	3,8±0,4	3,9±0,3	3,9±0,4	3,9±0,3	3,9±0,3	3,9±0,4	3,9±0,4
Média	3,3±0,5	3,6±0,5	3,5±0,5	3,7±0,4	3,6±0,4	3,7±0,4	3,7±0,5	3,7±0,4	3,7±0,4	3,7±0,5	3,7±0,5

Para todos os quatro dias de voo e considerando-se as diferentes doses de nitrogênio em cobertura, os valores foram de 112 e 110% superior ao tratamento sem adubação nitrogenada em cobertura, indicando que a PA média com a aplicação de nitrato em cobertura, de 3,7 kg m⁻³, foi superior em 2% do valor médio com aplicação de ureia, de 3,6 kg m⁻³. De acordo com os valores de desvio padrão (DP), não ocorreram diferenças significativas nas variações espaciais entre os tratamentos.

Para ambas as fontes de nitrogênio aplicadas em cobertura, a PA estabilizou com a dosagem nitrogênio de 150 kg ha⁻¹, com valor médio de 3,7 kg m⁻³, similar aos encontrados por Teixeira et al. (2015) no estado de Mato Grosso, indicando a não necessidade de maiores níveis desta adubação para melhorias na PA, o que pode repercutir em aspectos econômicos relevantes e ambientais, considerando-se as frequentes condições de escassez hídricas na região.

4. Considerações finais

A aplicação do algoritmo SAFER em conjunto com o modelo da eficiência do uso da radiação (EUR) de Monteith em imagens aéreas com câmeras conduzidas por aeronaves remotamente pilotadas (ARP) foi eficiente na avaliação da produtividade da água, detectando-se os efeitos de diferentes níveis de adubação nitrogenada na cultura do milho. Para ambas as fontes de nitrogênio aplicadas em cobertura, a produtividade da água (PA) estabilizou com a dosagem nitrogênio de 150 kg ha⁻¹, indicando a não necessidade de maiores níveis para



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

melhoria nos valores, o que pode repercutir em aspectos econômicos relevantes e ambientais, considerando-se as frequentes condições de escassez hídricas do Nordeste do Brasil.

5. Referências Bibliográficas

DEJONGE, K.C.; ASCOUGH, J.C.; ANDALES, A.A.; HANDEN, N.C.; GARCIA, L.A.; ARABI, M. Improving evapotranspiration simulations in the CERES-Maize model under limited irrigation. **Agricultural Water Management**, v. 115, p. 92-113, 2012.

PARROT. Parrot Announcement, <http://forum.developer.parrot.com/t/parrot-announcement-release-of-application-notes/5455>, acesso em 14 de dezembro de 2018.

SERGIPE.SECRETARIA DE ESTADO DO PLANEJAMENTO E DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA-SEPLANTEC.SUPERINTENDÊNCIA DE ESTUDOS E PESQUISAS-SUPES. Informes Municipais: Aracaju, 2000. 75p.

TEIXEIRA, A.H. de C.; VICTORIA, D. de C.; ANDRADE, R.G.; LEIVAS, J. F.; BOLFE, E.L.; CRUZ, C.R. Coupling MODIS images and agrometeorological data for agricultural water productivity analyses in the Mato Grosso state, Brazil. **Proceedings of SPIE**, v.9239, p.92390W-1 - 92390W-14, 2014.

TEIXEIRA, A.H. de C.; HERNANDEZ, F.B.T.; ANDRADE, R.G.; LEIVAS, J.F.; VICTORIA, D. de C.; BOLFE, E. L. Corn water variables assessments from Earth observation data in the São Paulo State, Southeast Brazil. **Journal of Hydraulic Engineering**, v.1, p.1-11. 2015.