

MODELAGEM DA PRODUTIVIDADE DA ÁGUA POR SENSORIAMENTO REMOTO NO NORTE DE MINAS GERAIS

Antônio Heriberto de Castro Teixeira^{1}; Fúlvio Rodrigues Simão²; Janice Freitas Leivas³,
Reinaldo Lúcio Gomide⁴; João Batista Ribeiro da Silva Reis⁵; Célia Regina Grego⁶*

Resumo – A evapotranspiração atual (ET), a produção de biomassa (BIO) e a produtividade da água (PA) baseada na ET, foram quantificadas sob diferentes condições termo hídricas com quatro imagens Landsat 8 de 2015 nos municípios do norte de Minas Gerais, Sudeste do Brasil. Os valores médios dos pixels para ET, BIO e PA, nas culturas irrigadas (CI), variaram respectivamente de $2,5 \pm 1,3$ a $4,1 \pm 1,6$ mm d⁻¹; 78 ± 62 a 132 ± 64 kg ha⁻¹ d⁻¹; e de $2,2 \pm 0,8$ a $3,3 \pm 0,9$ kg m⁻³. As faixas correspondentes para a vegetação natural (VN) foram de $0,1 \pm 0,2$ a $1,9 \pm 1,3$ mm d⁻¹; 1 ± 1 a 44 ± 42 kg ha⁻¹ d⁻¹, e $0,6 \pm 0,3$ a $1,8 \pm 0,8$ kg m⁻³. Os valores incrementais da PA, representativos da substituição da vegetação natural por culturas irrigadas foram de 264%, para o ano estudado. Maior uniformidade nos parâmetros hídricos e de vegetação ocorreu no ecossistema VN, evidenciada pelos menores valores de desvio padrão quando comparados com aqueles o ecossistema CI.

Palavras-Chave – SAFER, evapotranspiração, produção de biomassa.

WATER PRODUCTIVITY MODELLING BY REMOTE SENSING IN THE NORTH OF MINAS GERAIS

Abstract – Actual evapotranspiration (ET), biomass production (BIO), and water productivity (WP) based on ET, were quantified with Landsat 8 images under different thermo-hydrological conditions of 2015, in the counties of the northern Minas Gerais state, Southeast Brazil. The mean pixel values for ET, BIO, and PA, for irrigated crops (IC), ranged respectively from de 2.5 ± 1.3 to 4.1 ± 1.6 mm d⁻¹; 78 ± 62 to 132 ± 64 kg ha⁻¹ d⁻¹; and from 2.2 ± 0.8 to 3.3 ± 0.9 kg m⁻³. The corresponding ranges for the natural vegetation (NV) were 0.1 ± 0.2 to 1.9 ± 1.3 mm d⁻¹; 1 ± 1 to 44 ± 42 kg ha⁻¹ d⁻¹, and 0.6 ± 0.3 to 1.8 ± 0.8 kg m⁻³. The incremental PA values, representing the consequence of replacement of natural vegetation by irrigated crops were 264% for the studied year. Higher uniformity for the water and vegetation parameters happened in the VN ecosystem, evidenced by the lower values of standard deviation, when compared with those for the IC ecosystem.

Keywords – SAFER, evapotranspiration, biomass production.

INTRODUÇÃO

No semiárido do Norte de Minas Gerais, a disponibilidade dos recursos hídricos para irrigação é responsável pelo crescimento da economia rural; entretanto, uma das grandes consequências deste desenvolvimento é que outros usuários da água estarão competindo com o setor agrícola. As principais bacias hidrográficas na região são a do São Francisco e Jequitinhonha (incluindo suas sub bacias). O projeto Jaíba tem uma área total de 107,6 mil ha e área irrigável de 65,8 mil ha ocupado principalmente pela produção de frutas e cana-de-açúcar, tendo como fonte hídrica o Rio São Francisco. No perímetro do Gorutuba tem área total de 11.280 ha e área irrigável de 4.885,95 ha, a fonte hídrica é a Barragem do Bico da Pedra, a qual abastece os municípios de Janaúba, Nova Porteirinha, Porteirinha e Riacho dos Machados (CODEVASF, 2017).

^{1,3,6} Embrapa Monitoramento por Satélite. {heriberto.teixeira, janice.leivas, celia.grego}@embrapa.br

^{2,5} Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais. {fulvio, jbrsreis}@epamig.br

⁴Embrapa Milho e Sorgo. reinaldo.gomide@embrapa.br

Os perímetros de irrigação fazem do Norte de Minas um importante polo agrícola, como consequência do desenvolvimento de tecnologias de irrigação. Nestes cenários, o uso do sensoriamento remoto por imagens de satélites, para a quantificação dos componentes da produtividade da água (PA) em larga escala se torna muito relevante. Um melhor conhecimento da PA dos diferentes agros-ecossistemas prover informações valiosas para o atingimento das práticas de conservação dos recursos hídricos sem a perda da produção agrícola. Para atingir este objetivo, faz-se as quantificações da evapotranspiração atual (ET) e da produção de biomassa (BIO).

A ET é criticamente importante por ser essencial para a produção vegetal, pois implica no principal uso de recursos hídricos quando suprida por meio da irrigação e o aumento das taxas evapotranspiratórias resulta em menos água disponível para os usos ecológicos e humanos nas bacias hidrográficas. As dificuldades da obtenção da ET em larga escala através de medições de campo estimularam o uso do sensoriamento remoto por imagens de satélites (Pôças et al., 2013; Leivas et al., 2016). O algoritmo SAFER (*Simple Algorithm For Evapotranspiration Retrieving*) foi desenvolvido e validado na região semiárida do Brasil através de medições simultâneas em campo com quatro torres de balanço de energia e imagens Landsat, envolvendo fortes contrastes de condições termo hídricas ao longo de vários anos (Teixeira et al., 2008; Teixeira, 2010).

O sensoriamento remoto através de imagens de satélites é também uma ferramenta efetiva para a estimativa da BIO em larga escala. O modelo da eficiência do uso da radiação (EUR) proposto por Monteith (1972) tem precisão aceitável para este fim, provendo informações espaciais e temporais da localização e do estado da vegetação (Teixeira et al., 2013).

Um terceiro modelo para calcular a resistência da superfície aos fluxos hídricos (r_s) foi usado em conjunto com o SAFER e o EUR, o SUREAL (*Surface Resistance Algorithm*) também elaborado com dados de campo e de satélites (Teixeira et al., 2008, 2010). O SUREAL, no trabalho corrente é aplicado para a separação das variáveis hídricas e de vegetação dos ecossistemas representados pelas culturas irrigadas (CI) e pela vegetação natural (VN) nas condições semiáridas do Norte de Minas Gerais.

Este trabalho destaca a combinação dos modelos SAFER, Monteith e SUREAL (Teixeira et al., 2013) para demonstrar que as medições das bandas do visível e infravermelho próximo do satélite L8, em conjunto com a rede de estações agrometeorológicas recentemente instaladas no Norte de Minas Gerais, podem ser usadas para subsidiar as análises da PA em larga escala nos CI e VN sob as condições semiáridas mineiras.

MATERIAL E MÉTODOS

Em 2014, através de projeto da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), uma rede de estações agrometeorológicas automáticas foi instalada na região semiárida do Norte de Minas Gerais. Esta rede vem sendo usada em conjunto com imagens Landsat 8 com aplicação dos modelos SAFER, EUR e SUREAL. A Figura 1 apresenta a localização da região de estudo com as divisões municipais e as estações: Mocambinho (MC), Matias Cardoso (MC), Gameleiras (GA), Jaíba (JB), Varzelândia (VZ), Verdelândia (VD), Pai Pedro (PP), Nova Porteirinha (NP), São João da Ponte (SJP), Riacho dos Machado (RM), Bela Vista (BV) e Capitão Eneas (CE).

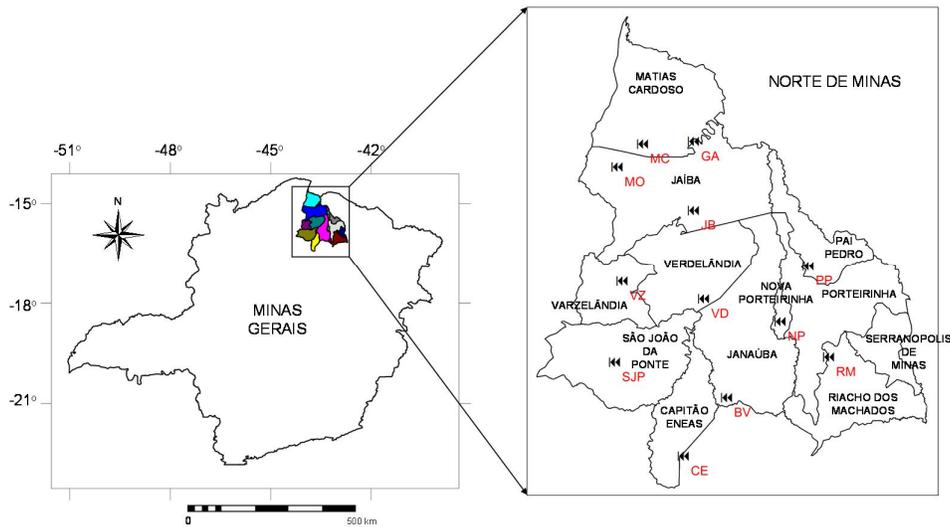


Figura 1 – Localização da região de estudo e das estações agrometeorológicas dentro dos municípios envolvidos nas condições semiáridas do Norte de Minas Gerais.

A cobertura vegetação nativa predominante no semiárido do Norte de Minas é classificada como Cerrado (subtipos campo, campo cerrado, cerrado *Stricto Sensu*, Cerradão e Veredas) Caatinga (Floresta Estadual Decidual) e transições (IEF, 2017) e as principais bacias hidrográficas são a do São Francisco e Jequitinhonha (IGAM, 2017)

De acordo com Lumbreras et al. (2014) as precipitações médias situam-se abaixo dos 900 mm ano⁻¹, concentrando-se nos três primeiros meses do ano, e nos três últimos. A região é caracterizada por temperaturas do ar elevadas, típicas do clima tropical, com médias anuais em torno de 24°C e máximas, entre 31 e 32°C, ocorrendo nos meses de setembro e outubro enquanto que junho e julho são os meses mais frios, com mínimas entre 14 e 17°C.

As imagens envolveram a órbita 218, pontos 70 e 71 em 2015, cujos mosaicos abrangeram os dias julianos (DJ), 19 de janeiro (DJ 019), 12 de junho (DJ 163), 16 de setembro (DJ 259) e 03 de novembro (DJ 307). A modelagem com o SAFER, EUR e SUREAL para obtenção da ET e da BIO em diferentes agros-ecossistemas é descrita com detalhes em Teixeira et al. (2013, 2016), sendo aqui apresentadas apenas as equações principais:

Os valores instantâneos da razão da ET para ET₀, a ET_r, foram modelados:

$$ET_r = \exp \left[a_{sf} + b_{sf} \left(\frac{T_0}{\alpha_0 NDVI} \right) \right] \quad (1)$$

onde T₀ é a temperatura da superfície estimada por resíduo no balanço de radiação, α₀ é o albedo da superfície, NDVI é o Índice da Diferença de Vegetação Normalizado e a_{sf} e b_{sf} são coeficientes de regressão.

A evapotranspiração atual (ET) foi então obtida como:

$$ET = ET_r ET \quad (2)$$

A Equação 1 não se aplica em corpos d'água (NDVI < 0). Então, o conceito da evapotranspiração de equilíbrio (ET_{eq}) é adotado para estas condições no algoritmo SAFER (Raupach, 2001), aplicando-se funções condicionais para os valores negativos de NDVI:

$$ET_{eq} = 0,035 \left(\frac{s (R_n - G)}{s + \gamma} \right) \quad (3)$$

onde s é a inclinação da curva de relação entre a pressão de saturação do vapor d'água para a temperatura do ar (T_a), R_n o saldo de radiação, G é o fluxo de calor no interior da superfície e γ é a constante psicrométrica.

Nos cálculos da BIO, o modelo EUR foi aplicado introduzindo o efeito da umidade do solo através da ET_r :

$$BIO = \varepsilon_{\max} ET_r RFA_{\text{abs}} 0,864 \quad (4)$$

onde ε_{\max} é a máxima eficiência de uso da radiação, RFA_{abs} radiação fotossinteticamente ativa absorvida, e 0,864 é um fator de conversão de unidades.

A RFA_{abs} foi obtida em função do NDVI e da radiação fotossinteticamente ativa incidente (RFA_{inc}), que por sua vez foi estimada como uma fração de da radiação solar global (R_G):

$$RFA_{\text{abs}} = (a_{rf} * NDVI + b_{rf}) RFA_{\text{inc}} \quad (5)$$

onde os coeficientes a_{rf} e b_{rf} foram considerados 1,257 e -0,161, respectivamente.

A produtividade da água (PA) baseada na ET foi então considerada como:

$$PA = \frac{BIO}{ET} \quad (6)$$

Para a classificação da vegetação em culturas irrigadas e vegetação natural, o modelo SUREAL foi aplicado:

$$r_s = \exp \left[a_r \left(\frac{T_0}{\alpha_0} \right) (1 - NDVI) + b_r \right] \quad (7)$$

onde a_r e b_r são coeficientes de regressão. Valores de r_s abaixo de 800 s m^{-1} e NDVI acima ou igual a 0,3 foram considerados culturas irrigadas, enquanto que valores de r_s entre 1000 e 10000 s m^{-1} e NDVI abaixo de 0,3 foram considerados vegetação natural. O valor maior desta faixa foi incluído para exclusão de construções humanas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2 apresenta as tendências dos valores quinzenais dos totais médios dos pixels da precipitação (P) e da ET_0 resultantes da interpolação na área envolvendo todos os municípios do Norte de Minas Gerais da Figura 1, incluindo os períodos prévios, durante e após a aquisição das imagens de 2014 a 2015.

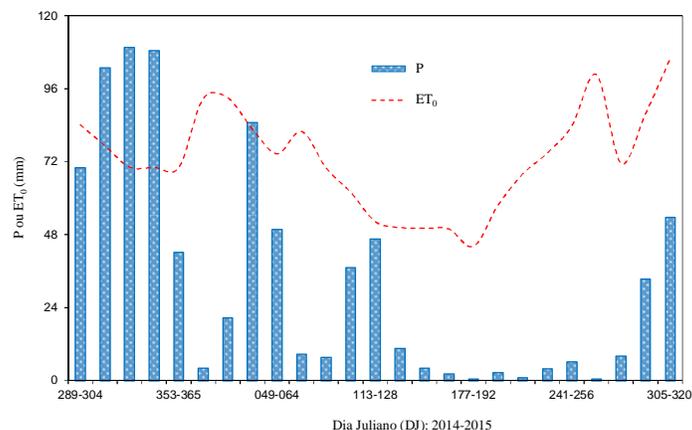


Figura 2 – Componentes do balanço hídrico climático do Norte de Minas Gerais, envolvendo os períodos quinzenais prévios, durante e após a aquisição das imagens de 2014 a 2015: Precipitação (P); Evapotranspiração de referência (ET_0).

Devido às características semiáridas da região e a proximidade do equador, a precipitação (P) foi mais variável que a ET_0 . As chuvas se concentraram no início e no final dos anos, em concordância com Lumbreras et al. (2014). Os períodos mais secos e longos, com valores quinzenais de P abaixo de 5 mm, foram de DJ 160 a 289 em 2015, inferiores a 10% da ET_0 . Entretanto percebe-se estiagens no início de janeiro e de DJ 064 a 097 durante a estação chuvosa de 2015, com P correspondente à apenas 4% da ET_0 , o que, aliado a elevados valores da demanda atmosférica, contribuiu com escassez hídrica, refletindo nos resultados da imagem de DJ 019, mesmo tendo havido boa quantidade de chuvas no final de 2014.

Pelos valores diários de ET_0 , as maiores demandas atmosféricas ocorreram no final do ano de 2015, quando os valores quinzenais ficaram acima de 80 mm. Nestas situações o sol esteve em torno de sua posição zenital com céu apresentando baixa cobertura de nuvens. Nas condições de elevados valores de P e ET_0 , no início e no final do ano de 2015, todos agros-ecossistemas, vegetação natural e culturas irrigadas foram favorecidos para elevados valores da ET e da BIO.

A Figura 3 apresenta a distribuição espacial dos valores diários da evapotranspiração atual - ET (Figura 3A) e da produção de biomassa - BIO (Figura 3B), sob as diferentes condições termo hídricas do ano de 2015, no Norte de Minas Gerais, Sudeste do Brasil.

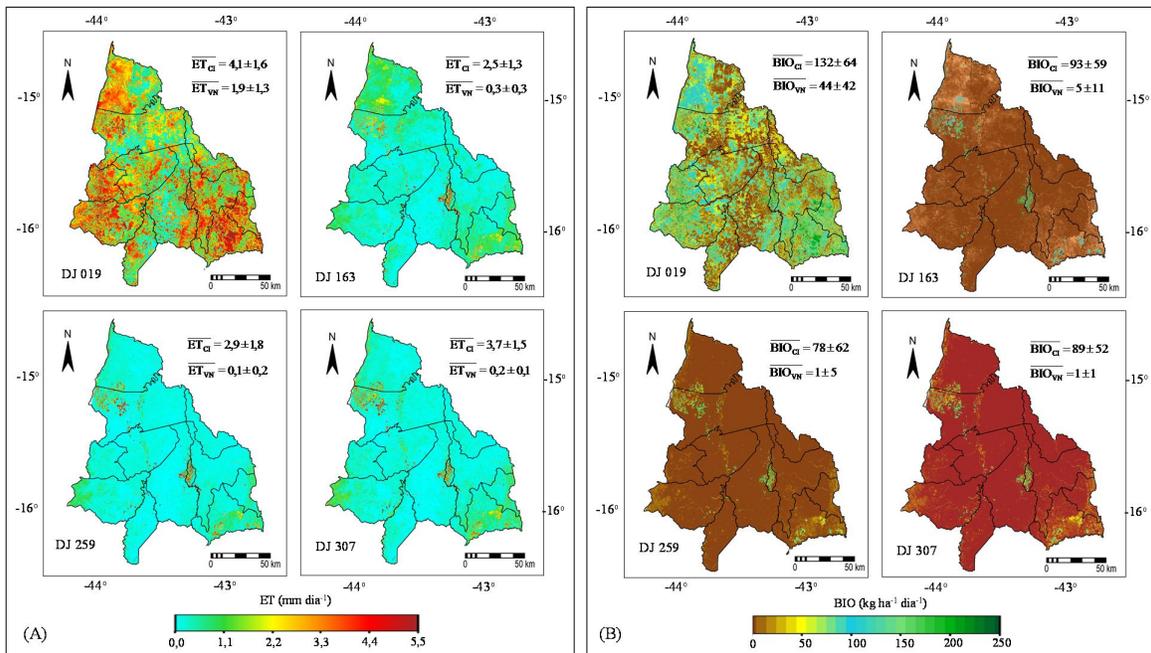


Figura 3 – Distribuição espacial dos valores diários dos parâmetros da produtividade da água em larga escala, sob as diferentes condições termo hídricas do ano de 2015, na região semiárida do Norte de Minas Gerais, Sudeste do Brasil. Evapotranspiração atual (ET) e produção de biomassa (BIO). DJ é o dia Juliano e as barras significam valores médios dos pixels apresentadas juntamente com os desvios padrões.

As variações espaciais e temporais da ET (Figura 3A) e da BIO (Figura 3B) são evidentes, principalmente quando se compara os períodos de condições mais úmidas (DJ 019 – 19 de janeiro) com aquelas mais secas (DJ 259 – 16 de setembro), onde os pixels de maiores valores da ET e da BIO neste último período de aquisição da imagem representam claramente as culturas irrigadas (CI). Os valores mais elevados de ambos os parâmetros da produtividade da água ocorreram no período chuvoso (DJ 019), quando as precipitações acumuladas favoreceram o ecossistema vegetação natural

(VN), enquanto além do fornecimento natural de água pelas chuvas, o ecossistema culturas agrícolas (CI) foram beneficiadas com irrigação suplementar.

A menor média da ET para CI, bem como o desvio padrão inferior, foram no período logo após as chuvas (DJ 163 – 12 de junho), enquanto que para a BIO a menor média para CI foi verificada nas condições climaticamente mais secas representado pela imagem DJ 259 (16 de setembro), entretanto com a menor variação espacial no DJ 307. Para as espécies naturais os valores mais elevados tanto das médias com desvios padrões para ambos ET e BIO ocorreram no período chuvoso representado pela imagem de DJ 019, enquanto que os menores foram no período mais seco (DJ 259) devido ao baixo desenvolvimento das espécies naturais, que ocupam a maior área do Norte de Minas Gerais. Nestas últimas condições, as plantas nativas entram em estado de dormência, fechando os estômatos, limitando a transpiração e a fotossíntese, e em geral, as irrigações nas culturas agrícolas são diárias, favorecendo elevadas taxas da ET e da BIO.

Os valores médios dos pixels para ET e BIO, nas culturas irrigadas, variaram respectivamente de $2,5 \pm 1,3$ a $4,1 \pm 1,6$ mm d^{-1} e de 78 ± 62 a 132 ± 64 $\text{kg ha}^{-1} \text{d}^{-1}$. As faixas correspondentes para a vegetação natural foram de $0,1 \pm 0,2$ a $1,9 \pm 1,3$ mm d^{-1} e de 1 ± 1 a 44 ± 42 $\text{kg ha}^{-1} \text{d}^{-1}$. Os valores da ET obtidos por Leivas et al. (2016) no perímetro em Jaíba chegaram a $3,5 \pm 1,0$ mm dia^{-1} . No polo Petrolina/Juazeiro do Submédio São Francisco, Teixeira et al. (2013) encontraram um limite superior para os valores médios da BIO de $100 \text{ kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ para o ecossistema CI e de $46 \text{ kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ para o ecossistema VN. Parte destas diferenças com relação aos resultados da Figura 3, podem ser atribuídos, em parte, à menor resolução de 250 m das imagens MODIS usadas nestes estudos prévios com relação a do Landsat 8 do estudo corrente.

Destaques para maiores valores da ET e da BIO ocorrem para os municípios de Jaíba e Matias Cardoso (ver Figuras 1 e 3) devido ao projeto Jaíba, onde ocorrem grande produção de fruteiras e cana-de-açúcar irrigadas pelo Rio São Francisco e para Nova Porteirinha e Janaúba, devido ao perímetro Gorutuba, com áreas irrigadas pela barragem do Bico da Pedra, com fruteiras e para produção de sementes. O município Riacho dos Machados apresenta também algumas áreas com elevados valores da ET e da BIO, sendo provavelmente relacionadas ao suporte à bovinocultura e pequenas hortas, sendo as principais fontes hídricas são o rio Vacaria e o córrego Samanbaia.

A Figura 3 apresenta a distribuição espacial dos valores diários da produtividade da água baseada na evapotranspiração - PA, sob as diferentes condições termo hídricas do ano de 2015, no Norte de Minas Gerais, Sudeste do Brasil.

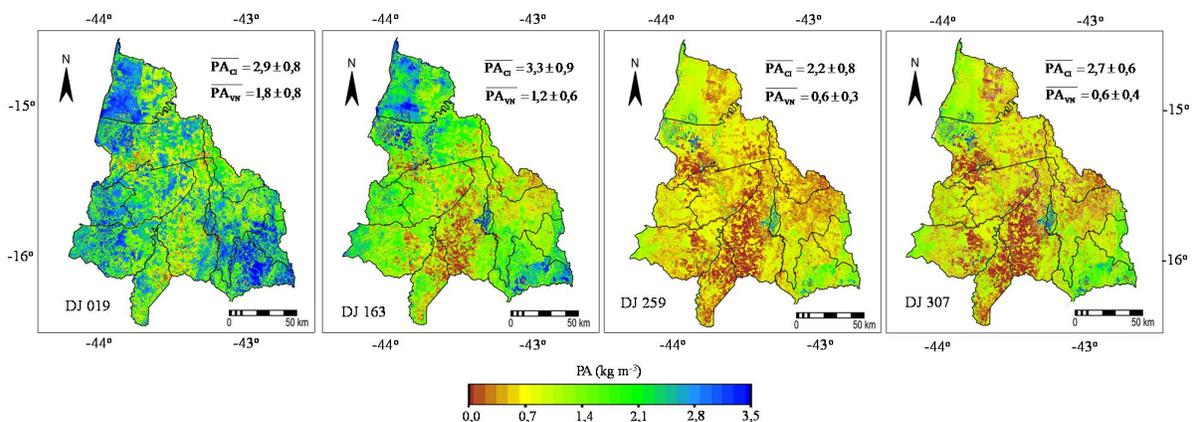


Figura 4 – Distribuição espacial dos valores diários produtividade da água baseada na evapotranspiração (PA), sob as diferentes condições termo hídricas do ano de 2015, na região semiárida do Norte de Minas Gerais, Sudeste do Brasil. DJ é o dia Juliano e as barras significam valores médios dos pixels apresentadas juntamente com os desvios padrões.

No caso da PA, tomada como a razão da BIO sobre a ET, os resultados da imagem DJ 163 apresentaram tanto maiores taxas como variações espaciais para o ecossistema CI, representando as condições logo após o período chuvoso, enquanto dentro da estação chuvosa (DJ 019) foram verificados os maiores valores para o ecossistema VN, indicando diferentes condições de umidade do solo nas espécies naturais e heterogeneidade nas fases fenológicas nas culturas irrigadas. Maior uniformidade para a PA ocorreu no ecossistema VN, evidenciada pelos menores valores de desvio padrão quando comparados com o ecossistema CI.

Os valores médios dos pixels para a PA, nas culturas irrigadas, variaram respectivamente de $2,2 \pm 0,8$ a $3,3 \pm 0,9$ kg m⁻³. As faixas correspondentes para a vegetação natural foram de $0,6 \pm 0,3$ a $1,8 \pm 0,8$ kg m⁻³. Estes quando multiplicados pelo índice de colheita (IC) fornece a produtividade da água das culturas (PAC). Valores de IC foram em torno de 0,60 e 0,80 para parreirais e mangueiras nas condições semiáridas do Nordeste Brasil, os quais retornaram PAC em torno de 2,8 e 3,4 kg m⁻³, respectivamente (Teixeira et al., 2009). Os valores máximos da PA do semiárido mineiro quando multiplicados por estes valores de IC foram inferiores, sendo a causa provável a ocorrência de restrição de água para irrigação durante os eventos de seca climática em 2015.

CONCLUSÕES

O uso conjunto das bandas de ondas curtas do satélite Landsat 8 e rede de estações agrometeorológicas permitiram a quantificação em larga escala dos parâmetros da produtividade da água na escala espacial de 30 m, em diferentes condições termo hídricas do ano de 2015, considerando-se a mistura de agros-ecossistemas nos municípios do Norte de Minas Gerais. As análises podem subsidiar um melhor entendimento da dinâmica destes parâmetros, considerando-se as mudanças climáticas e de uso da terra no semiárido mineiro. Extraíndo-se apenas as superfícies vegetadas do município, pôde-se concluir que o período chuvoso se destaca como o de maior evapotranspiração e produção de biomassa tanto para culturas irrigadas como para vegetação natural, porém os maiores valores da produtividade da água baseada na evapotranspiração ocorreram logo após as chuvas nas culturas irrigadas.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Pesquisa (CNPq), pelo aporte financeiro referente a projetos sobre produtividade da água.

REFERÊNCIAS

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. (1998). Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Water Requirements; Food and Agriculture Organization of the United Nations: Rome, Italy.

COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO DOS VALES DO SÃO FRANCISCO E PARNAÍBA - CODEVASF. Jaíba. Disponível em: <http://www.codevasf.gov.br/principal/perimetros-irrigados/elenco-de-projetos/jaiba-ii-iii-iv>. Acesso em 06 jun. 2017.

INSTITUTO ESTADUAL DE FLORESTAS - IEF. Cobertura vegetal de Minas Gerais. Disponível em: <http://www.ief.mg.gov.br/florestas>. Acesso em 06 jun. 2017.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS - IGAM. Mapa UPGRH de Minas Gerais. Disponível em: <http://www.igam.mg.gov.br/images/stories/mapoteca/upgrhs-minas-gerais.pdf>. Acesso em 06 jun. 2017.

LEIVAS, J.F.; TEIXEIRA, A.H. de C.; BAYMA-SILVA, G.; RONQUIM, C.C.; REIS, J.B.R. da S. (2016). Biophysical indicators based on satellite images in an irrigated area at the São Francisco river basin, Brazil. *Proceedings of SPIE* 9998, pp. 99981N–99981N.

LUMBRERAS, J.F.; NAIME, U.J.; OLIVEIRA, A.P. de; SILVA NETO, L.F. da; CARVALHO FILHO, A. de; MOTTA, P.E.F. da; CALDERANO, S.B.; SIMÃO, M.L.R.; ÁGLIO, M.L.D.; VIEIRA, E.M.; MACHADO, M.L.; SANTOS, A.J.R. dos; SILVA, D.C. da; SOUZA, J.S. de; FERREIRA, A.R. (2014). Levantamento semi detalhado dos solos do Projeto Jaíba (Etapa III), Estado de Minas Gerais. Dados eletrônicos. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 2014, 148 p. (Boletim de pesquisa e desenvolvimento No. 248 /Embrapa Solos, ISSN 1678-0892).

MONTEITH, J.L. (1972). Solar radiation and productivity in tropical ecosystems. *Journal of Applied Ecology* 9, pp. 747-766.

PÔÇAS, I., CUNHA, M., PEREIRA, L.S., ALLEN, R.G. (2013). Using remote sensing energy balance and evapotranspiration to characterize montane landscape vegetation with focus on grass and pasture lands, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 21, pp. 159-172.

RAUPASCH, M.R. (2001). Combination theory and equilibrium evaporation. *Quarterly Journal of Royal Meteorological Society* 127, pp. 1149-1181.

TEIXEIRA, A.H. de C., BASTIAANSEN, W.G.M., AHMAD, M–ud–D, BOS, M.G.; MOURA, M. S.B. (2008). Analysis of energy fluxes and vegetation-atmosphere parameters in irrigated and natural ecosystems of semi-arid Brazil. *Journal of Hydrology* 362, pp. 110-127.

TEIXEIRA, A.H. de C., BASTIAANSEN, W.G.M., AHMAD, M–ud–D, BOS, M.G. (2009). Reviewing SEBAL input parameters for assessing evapotranspiration and water productivity for the Low-Middle São Francisco River basin, Brazil Part B: Application to the large scale. *Agricultural and Forest Meteorology* 149, pp. 477-490.

TEIXEIRA, A.H. de C. (2010). Determining regional actual evapotranspiration of irrigated and natural vegetation in the São Francisco river basin (Brazil) using remote sensing and Penman-Monteith equation. *Remote Sensing* 2, pp. 1287-1319, 2010.

TEIXEIRA, A.H. de C., SCHERER-WARREN, M., HERNANDEZ, F.B.T., ANDRADE, R.G., LEIVAS, J.F. (2013). Large-Scale Water Productivity Assessments with MODIS Images in a Changing Semi-Arid Environment: A Brazilian Case Study. *Remote Sensing* 5, pp. 55783-5804.

TEIXEIRA, A.H. de C.; LEIVAS, J.F.; SILVA, G.B. (2016). Options for using Landsat and RapidEye satellite images aiming the water productivity assessments in mixed agro-ecosystems. *Proceedings of SPIE* 9998, pp. 99980A-1-99980A-11.