

## XIV SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE

### DINÂMICA DA PRODUTIVIDADE DA ÁGUA EM DIFERENTES ECOSSISTEMAS DA BACIA DO RIO SÃO FRANCISCO

*Antônio Heriberto de Castro Teixeira<sup>1</sup>; Celina Maki Takemura<sup>2</sup>; Janice Freitas Leivas<sup>2</sup>; Edson Patto Pacheco<sup>1</sup> & Gustavo Bayma-Silva<sup>3</sup>*

**RESUMO** – Algoritmos foram usados para as análises dos componentes da produtividade da água nas subbacias do Rio São Francisco com associação de parâmetros obtidos por sensoriamento remoto e rede de estações climáticas durante o ano de 2016. Variações nas taxas da evapotranspiração atual (ET) e da produção de biomassa (BIO) ocorreram entre os ecossistemas e subbacias, afetando a produtividade da água baseada na ET (PA). Os valores da ET diária média foram de 2,1 mm d<sup>-1</sup> para ambos os ecossistemas Zona da Mata e Cerrado e de 1,3 mm d<sup>-1</sup> para a Caatinga, respectivamente, enquanto que para a BIO estes foram de 67, 68 e 33 kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>, resultando nos valores respectivos de PA de 2,6; 2,5 e 1,7 kg m<sup>-3</sup>. As modelagens com o uso conjunto do produto MODIS reflectância em conjunto com dados climáticos diários foi eficiente para monitoramento operacional dos parâmetros hídricos e de vegetação em intervalos quinzenais ao longo do ano, destacando o potencial das ferramentas de geotecnologias para subsídio ao manejo dos recursos hídricos na escala de bacia hidrográfica.

**Palavras-Chave** – Evapotranspiração, produção de biomassa, recursos hídricos

**ABSTRACT** – Algorithms were used for water productivity assessments in the São Francisco River sub basins, coupling remote sensing parameters and a net of weather stations during the year 2016. Variations on actual evapotranspiration (ET) and biomass production (BIO) among ecosystems and subbasins were detected, affecting the water productivity based on ET (WP). The mean daily ET rates were of 2.1 mm d<sup>-1</sup> for both Forest Zone and Savanna ecosystems and 1.3 mm d<sup>-1</sup> for Caatinga, respectively, while for BIO, they were 67, 68 e 33 kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>, resulting in respective WP values of 2.6; 2.5 e 1.7 kg m<sup>-3</sup>. The modelling by using the MODIS reflectance product together with weather data presented suitability for monitoring water and vegetation parameters at 15-day periods along the year, highlighting the geotechnological tools to subsidize the water resources management at the hydrological basin scale.

**Key-Words** – Evapotranspiration, biomass production, water resources

1) Embrapa Tabuleiros Costeiros, Av. Beira Mar, 3250, bairro Jardins, CEP: 49025-040, Aracaju-SE. Fone/Fax +55 (79) 4009-1300, heriberto.teixeira@embrapa.br

2) Embrapa Territorial

3) Embrapa meio Ambiente

## 1 - INTRODUÇÃO

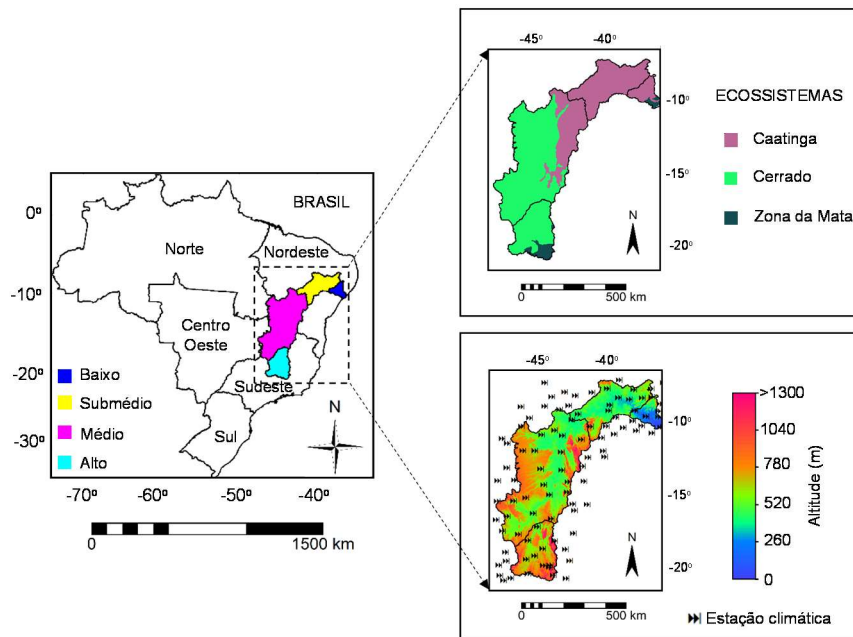
As mudanças climáticas e de uso da terra na bacia do Rio São Francisco alteram a evapotranspiração (ET) e a produção de biomassa (BIO), componentes da produtividade da água que precisam ser considerado nos diferentes ecossistemas das sub bacias para a exploração dos recursos naturais de uma forma sustentável e garantia da disponibilidade de água para os grupos competitivos (Teixeira et al, 2018).

Apesar de vários estudos já foram realizados com utilização de imagens de satélites com diferentes resoluções para determinação dos componentes da produtividade da água nas condições semiáridas da bacia do Rio São Francisco (Leivas et al., 2016, 2017; Teixeira et al., 2017, 2018; há necessidade de resultados em larga escala para integração dos diferentes ecossistemas existentes nas subbacias, incluindo sua zona costeira.

O algoritmo SAFER (Simple Algorithm for Evapotranspiration Retrieving), elaborado por Teixeira (2010), para obtenção da ET e enquanto o modelo da Eficiência do Uso da Radiação (EUR) (Monteith, 1977) para a obtenção da BIO, são aplicados em conjunto com o produto reflectância MODIS MOD13Q1 e dados climáticos, visando-se testar a operacionalidade de quantificação da dinâmica dos componentes da produtividade da água na escala temporal quinzenal e resolução espacial de 250 m.

## 2 - MATERIAL E MÉTODOS

A Figura 1 apresenta a localização da bacia do Rio São Francisco no Brasil, respectivas subbacias, ecossistemas de acordo com os Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e altitudes, em conjunto com as 96 estações climáticas usadas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).



**Figura 1.** Localização da bacia do Rio São Francisco no Brasil, sub bacias, ecossistemas e altitudes, em conjunto com as estações climáticas usadas.

A bacia do Rio São Francisco com um tamanho de 636.920 km<sup>2</sup> pode ser dividida em quatro regiões fisiográficas: as subbacias Alto (AL), Médio (ME), Submédio (SU) e Baixo (BA) São Francisco. Os tipos de clima respectivos são tropical úmido e temperado; tropical semiárido e sub-úmido seco; semiárido e árido; e sub-úmido. Os totais históricos de precipitação (P) são 1372 mm, 1052 mm, 693 mm e 957 mm enquanto que os valores correspondentes para evapotranspiração de referência (ET<sub>0</sub>) são 1000, 1300, 1550 e 1500 mm. As normais climatológicas de temperatura média do ar (T<sub>a</sub>) são 23 °C, 24 °C, 27 °C e 25 °C (Teixeira, 2009). De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) os ecossistemas são classificados como Zona da Mata (MA), Caatinga (CA) e Cerrado (CE).

Os dados climáticos do INMET coletados no ano de 2016 que entraram na modelagem dos componentes da produtividade da água em larga escala foram a radiação solar global (R<sub>G</sub>); a temperatura média (T<sub>a</sub>) e umidade relativa (UR) do ar; e a velocidade do vento (u). Estes dados foram interpolados pelo método geoestatístico “movimento da média” e usados para o cálculo da evapotranspiração de referência (ET<sub>0</sub>) com aplicação da equação de Penman- Monteith (Allen et al., 1998).

A modelagem com o SAFER e EUR para obtenção da ET e da BIO em diferentes agro-ecossistemas é descrita com detalhes em Teixeira et al. (2018), sendo aqui apenas apresentadas apenas as equações principais:

Os valores instantâneos da razão da ET para  $ET_0$ , a  $ET_r$ , foram modelados e então multiplicados pelas grades diárias de  $ET_0$  provenientes dos dados das estações climáticas:

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

onde  $T_0$  é a temperatura da superfície estimada por resíduo no balanço de radiação,  $\alpha_0$  é o albedo da superfície, NDVI é o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada e  $a_{sf}$  e  $b_{sf}$  são coeficientes de regressão.

Nos cálculos da BIO, o modelo da eficiência de uso da radiação – EUR (Monteith, 1977) foi aplicado introduzindo o efeito da umidade do solo através da  $ET_r$ :

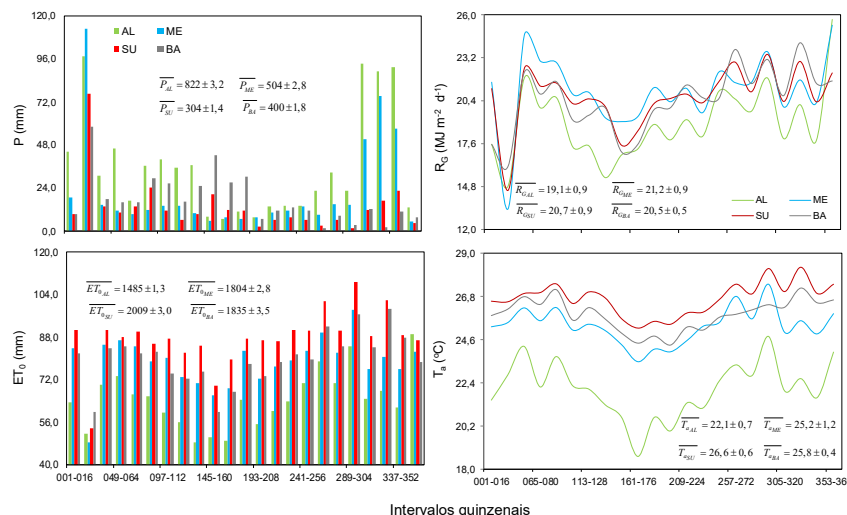
$$BIO = \varepsilon_{\max} ET_r RFA_{abs} 0,864 \quad (2)$$

onde  $\varepsilon_{\max}$  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 produtividade da água baseada na ET (PA) foi então considerada como a razão da ET sobre a BIO.

### 3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2 apresenta os totais médios de P e  $ET_0$  e imagens MODIS em AL, ME, SU e BA, durante o ano de 2016.



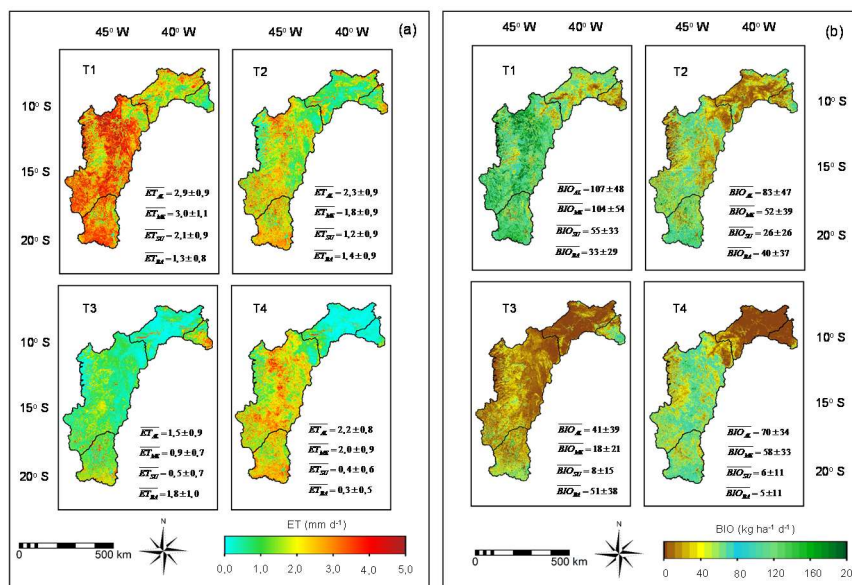
**Figura 2.** Totais médios e desvios padrões para a precipitação (P) e evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ); e valores médios e desvios padrões para radiação solar global ( $R_G$ ) e temperatura média do ar ( $T_a$ ); no Alto (AL), Médio (ME), Submédio (SU) e Baixo (BA) São Francisco, em intervalos quinzenais do ano de 2016.

Os valores mais altos de P ocorreram em AL, seguido daqueles para ME, BA e SU, com valores anuais respectivos de 822, 504, 400 e 304 mm, representando 60, 48, 42 e 44% dos históricos, com concentração das chuvas no início do ano. De acordo com os desvios padrões, as maiores variações espaciais foram para AL, enquanto que as menores ficaram para SU.

Com relação à  $ET_0$ , os valores foram superiores aos de P, indicando o geral não atendimento da demanda atmosférica. A  $ET_0$  anual variou entre as sub bacias sendo de 1485, 1804, 2009 e 1853 mm em AL, ME, SU e BA, respectivamente, representando 149, 139, 124 e 130% das normais climatológicas, enquanto que os valores de P foram 55, 28, 15 e 22% de  $ET_0$ . Estas condições do balanço hídrico climático indicaram fortes anomalias e condições de escassez hídricas em toda a bacia do rio São Francisco, durante o ano de 2016.

Os valores de  $R_G$  e a  $T_a$  tiveram tendências similares ao longo do ano, com os maiores no início (dias 033 a 096) e no final (dias 289-366) do ano. Os níveis mais elevados de  $R_G$  foram para ME e SU (em torno de  $21,0 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ), seguidos de BA (em torno de  $20,5 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ) e AL (em torno de  $19 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ). Por outro lado, a ordem decrescente dos maiores valores médios anuais foram de  $T_a$  de  $26,6 \text{ }^\circ\text{C}$  em SU;  $25,8 \text{ }^\circ\text{C}$  em BA;  $25,2 \text{ }^\circ\text{C}$  em ME;  $25,2 \text{ }^\circ\text{C}$  em AL.

A Figura 3 mostra a distribuição espacial, médias e desvios padrões dos valores trimestrais da ET e da BIO em AL, ME, SU e BA, durante o ano de 2016.



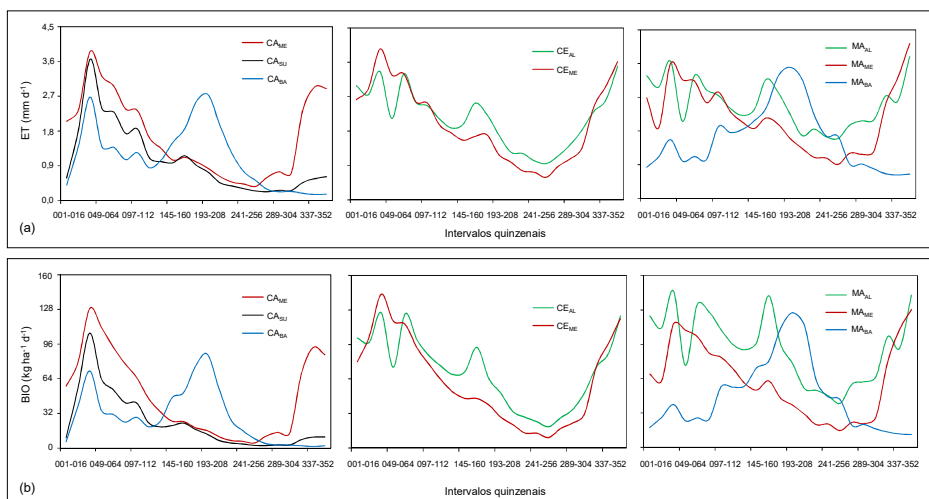
**Figura 3.** Distribuição espacial, médias e desvios padrões dos valores trimestrais dos componentes da produtividade da água nas subbacias Alto (AL), Médio (ME), Submédio (SU) e Baixo (BA) São Francisco, durante o ano de 2016: (a) evapotranspiração atual – ET e (b) produção de biomassa (BIO). T1: primeiro trimestre; T2: segundo semestre; T3: terceiro trimestre; T4: quarto trimestre.

O trimestre com maiores taxas de ambos, ET e BIO foi o primeiro (T1), com valores médios

respectivos de  $2,7 \pm 1,1 \text{ mm d}^{-1}$  e  $92 \pm 54 \text{ kg ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$  para toda a bacia do Rio São Francisco, percebendo-se claramente as variações espaciais e temporais comparando-se T1 e T3, quando neste último trimestre as médias correspondentes foram de  $1,0 \pm 0,8 \text{ mm d}^{-1}$  e  $22 \pm 28 \text{ kg ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$ , com os maiores e menores valores ocorrendo nas subbacias AL e SU, respectivamente. Em algumas áreas das subbacias ME e SU, os maiores valores da ET (acima de  $3,0 \text{ mm d}^{-1}$ ) estão associados a mudanças de uso da terra.

Leivas et al. (2016), com a utilização de imagens MODIS em pivôs de irrigação no projeto Jaíba (Norte do Médio São Francisco), encontraram valores para a ET e BIO de  $3,5 \pm 1,0 \text{ mm d}^{-1}$  e BIO de  $139 \text{ kg ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$ . Por outro lado, Teixeira et al. (2017), também usando imagens MODIS, encontraram taxas da ET acima de  $2,2$  a  $4,5 \text{ mm d}^{-1}$  nas áreas agrícolas da subbacia SU.

De acordo com o IBGE, os ecossistemas foram divididos em Caatinga (CA), Cerrado (CE) e Zona da Mata (MA) dentro de cada subbacia. A Figura 4 apresenta as tendências dos valores médios quinzenais da ET e da BIO para esta classificação para o ano de 2016.



**Figura 4.** Tendências dos valores médios quinzenais da evapotranspiração atual (ET) e da produção de biomassa (BIO) nos ecossistemas Caatinga (CA), Cerrado (CE), e Zona da Mata (MA), de acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), nas subbacias Alto (AL), Médio (ME), Submédio (SU) e Baixo (BA) São Francisco, durante o ano de 2016.

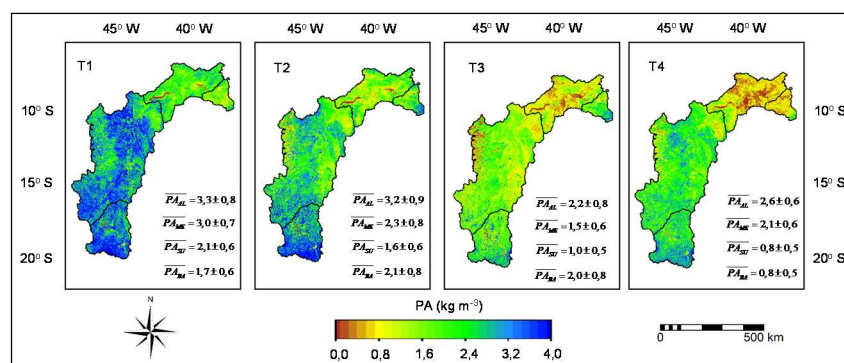
O ecossistema CA ocorre nas subbacias ME, SU e BA. Os maiores valores da ET e da BIO em CA foram de janeiro à abril (Dias 017-112), atingindo o pico de  $3,9 \pm 1,4 \text{ mm d}^{-1}$  e  $129 \pm 63 \text{ kg ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$  no mês de fevereiro em ME, relacionados aos índices pluviométricos mais elevados com relação a SU e BA. Entretanto outro pico ocorreu em BA no meio do ano, chegando a valores de  $2,6 \pm 1,6 \text{ mm d}^{-1}$  e  $87 \pm 67 \text{ kg ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$ , respectivamente no período quinzenal de 177-192 (junho a julho), relacionados às chuvas nesta subbacia. Em média, os maiores valores da ET em CA foi em ME ( $1,7 \pm 0,9 \text{ mm d}^{-1}$ ) e os menores em SU ( $1,0 \pm 0,9 \text{ mm d}^{-1}$ ), sendo os correspondentes para a BIO de  $48 \pm$

34 e  $24 \pm 26 \text{ kg ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$ .

O ecossistema CE está presente nas subbacias AL e ME. Os maiores valores da ET e da BIO em CE ocorreram de janeiro à junho (Dias 001 a 176), atingindo o picos respectivos de de  $4,0 \text{ mm d}^{-1}$  e  $143 \text{ kg ha d}^{-1}$  em ME, relacionados aos elevados índices pluviométricos no início do ano (ver também Figura 2). Entretanto, as maiores taxas de ambos os componentes da produtividade da água ao longo do ano em AL ocorreram no meio do ano, entre os dias 145 e 289 (maio a outubro). Silva et al. (2017), com a também utilizando o produto MODIS com dados climáticos, encontraram valores para ET e BIO no ecossistema CE de Minas Gerais de  $2,4 \text{ mm d}^{-1}$  e  $86 \text{ kg ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$ , similares aos limites superiores da Figura 4 na subbacia ME, relacionados a este ecossistemas.

A Zona da Mata (MA) ocorre principalmente nas subbacias AL e BA, mas com uma pequena área em SU (ver Figura 1). Tendências similares nos valores da ET e da BIO aconteceram para este ecossistema em AL e ME, embora com valores superiores na primeira subbacia, mas ambas com taxas superiores a  $3,5 \text{ mm d}^{-1}$  e  $110 \text{ kg ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$  no início e no final do ano acompanhando o regime das chuvas. Entretanto em BA, a curva dos valores ao longo do ano apresentou aproximadamente simétrica com os maiores valores no meio do ano devido à pluviometria característica do litoral do Nordeste do Brasil. Em média o ecossistema MA apresentou taxas crescentes de 1,6; 2,2 e  $2,5 \text{ mm d}^{-1}$  para respectivamente as subbacias BA, ME e AL, com valores correspondentes para a BIO de 47, 63 e  $93 \text{ kg ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$ .

A Figura 5 mostra a distribuição espacial, médias e desvios padrões dos valores trimestrais da produtividade da água baseada na evapotranspiração (PA) nas subbacias AL, ME, SU e BA, durante o ano de 2016.

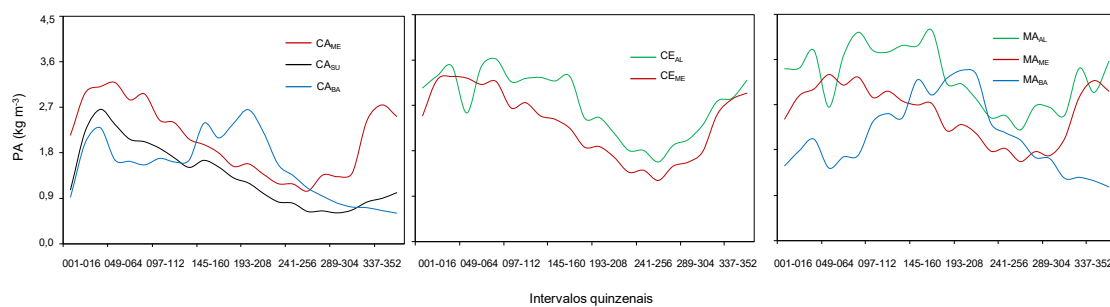


**Figura 5.** Distribuição espacial, médias e desvios padrões dos valores trimestrais da produtividade da água baseada na evapotranspiração (PA) nas subbacias Alto (AL), Médio (ME), Submédio (SU) e Baixo (BA) São Francisco. T1: primeiro trimestre; T2: segundo semestre; T3: terceiro trimestre; T4: quarto trimestre.

Considerando toda a bacia, o trimestre com maiores valores de PA foi o primeiro (T1), com

média de  $2,8 \pm 0,9 \text{ kg m}^{-3}$ . Percebem-se claramente as variações espaciais e temporais de PA ao longo do ano de 2016, comparando-se o primeiro (T1) e e terceiro (T3) trimestres, quando neste último trimestre os valores para toda bacia ficaram em torno de  $1,5 \pm 0,7 \text{ kg m}^{-3}$ . As maiores taxas foram verificadas em AL, com média de  $3,3 \pm 0,8$  para T1, enquanto que as menores, em torno de  $0,8 \pm 0,5$  para ambas as subbacias SU e BA em quarto (T4) trimestre.

A Figura 6 apresenta as tendências dos valores médios quinzenais da produtividade da água baseada na evapotranspiração (PA), para cada ecossistema considerado do IBGE nas subbacias AL, ME, SU e BA, durante o ano de 2016.



**Figura 6.** Tendências dos valores médios quinzenais da produtividade da água baseada na evapotranspiração (PA) nos ecossistemas Caatinga (CA), Cerrado (CE), e Zona da Mata (MA) nas subbacias Alto (AL), Médio (ME), Submédio (SU) e Baixo (BA) São Francisco, durante o ano de 2016.

No ecossistema CA, os maiores valores de PA ocorreram de janeiro a março (Dias 017-064), atingindo o picos de  $2,3 \pm 0,8$ ;  $2,7 \pm 0,8$  e  $3,1 \pm 0,8 \text{ kg m}^{-3}$ , respectivamente nas subbacias BA, SU e ME. Entretanto mais dois picos ocorreram em BA no meio do ano e em ME no final do ano, chegando a valores médios respectivos de  $2,7 \text{ kg m}^{-3}$  (quinzena 193-208, em julho) e  $2,8 \text{ kg m}^{-3}$  (quinzena 337-352, em dezembro), relacionados às chuvas (ver também Figura 2). Em média, os maiores valores da PA para CA foi em ME ( $2,1 \pm 0,7 \text{ kg m}^{-3}$ ) e os menores em SU ( $1,4 \pm 0,7 \text{ kg m}^{-3}$ ).

Os maiores valores de PA no ecossistema CA representam as culturas irrigadas que substituem as espécies da Caatinga. Teixeira et al. (2018), com a utilização de imagens Landsat 8 e dados agrometeorológicos, na subbacia ME, encontraram valores para a PA em culturas irrigadas variando de  $2,2 \pm 0,8$  a  $3,3 \pm 1,9 \text{ kg m}^{-3}$ , enquanto que as taxas para Caatinga foram de apenas  $0,6 \pm 0,3$  a  $1,8 \pm 0,8 \text{ kg m}^{-3}$ .

Os valores mais elevados de PA no ecossistema CE ocorreram no mesmo período que para o ecossistema CA, de janeiro a março (dia 017 a 064), atingindo picos de  $3,3 \pm 0,9$  e  $3,5 \pm 0,9 \text{ kg m}^{-3}$  em ME e AL, respectivamente. As magnitudes de PA seguiram a precipitação nestas subbacias (ver também Figura 2). Em termos de médias anuais para o ecossistema CE, os valores da PA em AL (em



torno de  $2,7 \pm 0,9 \text{ kg m}^{-3}$ ) foram superiores àqueles de ME (em torno de  $2,3 \pm 0,8 \text{ kg m}^{-3}$ ) em 17%.

Com relação a MA, como no caso da ET e da BIO, valores superiores a  $3,0 \text{ kg m}^{-3}$  no início e no final do ano em AL e ME, sendo que na subbacia BA, a curva ao longo de 2016 se apresentou aproximadamente simétrica, com pico no meio do ano devido ao regime pluviométrico nesta subbacia. Considerando as médias anuais, o ecossistema MA apresentou taxas crescentes de  $2,1 \pm 0,9$ ;  $2,5 \pm 0,5$  e  $3,2 \pm 0,9 \text{ kg m}^{-3}$  em BA, ME e AL, respectivamente.

Considerando todos os ecossistemas da bacia do Rio São Francisco, classificados de acordo com o IBGE, a ET diária média foi em torno de  $2,1 \text{ mm d}^{-1}$  para os ecossistemas MA e CE, enquanto que para CA foi de  $1,3 \text{ mm d}^{-1}$ . No caso da BIO estes foram de 67, 68 e  $33 \text{ kg ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$ . Estas taxas de ET e BIO resultaram em valores respectivos de PA de 2,6; 2,5 e  $1,7 \text{ kg m}^{-3}$ .

De acordo com a sensibilidade de detecção dos componentes da produtividade da água nas diferentes subbacias e ecossistemas do São Francisco com aplicação dos algoritmos com produtos quinzenais MODIS e rede de estações climáticas, evidencia-se o potencial do uso destas ferramentas para o monitoramento das tendências das condições hídricas e de vegetação em um programa de monitoramento dinâmico em escala quinzenal ao longo dos anos.

## 5 - CONCLUSÕES

A utilização de algoritmos com a união de imagens MODIS e rede de estação climáticas permitiu as análises dos componentes da produtividade da água em períodos quinzenais nas subbacias do Rio São Francisco através da associação de parâmetros obtidos por sensoriamento remoto e parâmetros climáticos durante o ano de 2016. Detectaram-se variações nas taxas da evapotranspiração atual (ET) e da produção de biomassa (BIO) ocorreram entre os ecossistemas e subbacias, afetando a produtividade da água baseada na ET (PA). Considerando toda a bacia, os valores da ET diária média foram de  $2,1 \text{ mm d}^{-1}$  para ambos os ecossistemas Zona da Mata e Cerrado e de  $1,3 \text{ mm d}^{-1}$  para a Caatinga, respectivamente, enquanto que para a BIO estes foram de 67, 68 e  $33 \text{ kg ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$ , resultando em valores respectivos de PA de 2,6; 2,5 e  $1,7 \text{ kg m}^{-3}$ . As modelagens com o uso conjunto do produto MODIS reflectância em conjunto com dados climáticos diários foi eficiente para monitoramento operacional dos parâmetros hídricos e de vegetação em intervalos quinzenais ao longo do ano, destacando o potencial das ferramentas de geotecnologias para subsídio ao manejo dos recursos hídricos na escala de bacia hidrográfica.

**AGRADECIMENTOS:** Ao CNPq pelo apoio financeiro aos projetos sobre produtividade da água,

processos 404229/2013-1 e 446136/2015-8.

## 6 - REFERÊNCIAS

- ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M (1998). *Crop evapotranspiration, Guidelines for computing crop water requirements*, FAO Irrigation and Drainage Paper 56. Rome, Italy, 300 pp.
- LEIVAS, J. F.; TEIXEIRA, A. H. de C.; SILVA, G. B.; RONQUIM, C. C.; REIS, J. B. R. S. (2016). “*Biophysical indicators based on satellite images in an irrigated area at the São Francisco River basin*”. Proceedings of SPIE 9998. pp.99981N-1 - 99981N-9.
- LEIVAS, J.F.; TEIXEIRA, A.H. de C.; SILVA, G.B.; GARCON, E.A.M.; RONQUIM, C.C. (2017). “*Water indicators based on SPOT 6 satellite images in irrigated area at the Paracatu River Basin, Brazil*”. Proceedings of SPIE. 10421, pp.104211I-1 - 104211I-7.
- MONTEITH, J.L. (1977). “*Climate and efficiency of crop production in Britain*”. Philosophical Transactions of the Royal Society Series B. 281, pp. 277-294.
- SILVA, G. B.; TEIXEIRA, A. H. de C.; LEIVAS, J. F (2017). “*Estimativa de parâmetros biofísicos no bioma Cerrado do Estado de Minas Gerais*”. In anais do XVIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Santos, Abril 2017, pp.3703 – 3710.
- TEIXEIRA, A.H. de C (2009). *Water productivity assessments from field to large scale: a case study in the Brazilian semi-arid region*; LAP Lambert Academic Publishing: Saarbrücken, Germany, 226p.
- 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 an Penman-Monteith equation*”. Remote Sensing 2, pp. 1287-1319.
- TEIXEIRA, A. H. de C.; LEIVAS, J. F.; SILVA, G. B.; GARCON, E. A. M. (2017). “*Índices hídricos para áreas irrigadas na região de desenvolvimento agrícola Petrolina/Juazeiro*”. IRRIGA 1, pp.127 - 135.
- TEIXEIRA, A.H. de C.; SIMÃO, F.R.; LEIVAS, J.F.; GOMIDE, R.L.; REIS, J.B.R. da S.; KOBAYASHI, M.K.; OLIVEIRA, F.G. (2018). “*Water Productivity Modeling by Remote Sensing in the Semiarid Region of Minas Gerais State, Brazil*” in: *Arid Environments and Sustainability. I ed.* Londres: InTech, 2018, p. 94-108.