

XIV SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE

MONITORAMENTO DE INDICADORES BIOFÍSICOS NO SUBMÉDIO SÃO FRANCISCO COM APLICAÇÃO DE GEOTECNOLOGIAS

*Antônio Heriberto de Castro Teixeira¹; Janice Freitas Leivas²; Edson Patto Pacheco¹ &
Edlene Aparecida Monteiro Garçon²*

RESUMO – Algoritmos foram testados visando-se o monitoramento de parâmetros hídricos e de vegetação ao longo dos anos no Submédio São Francisco com associação de parâmetros obtidos por sensoriamento remoto e de uma rede de estações climáticas envolvendo o período de 2003 a 2017. Anomalias nas taxas de precipitação (P), da evapotranspiração atual (ET) e da produção de biomassa (BIO) ocorreram entre o ano de 2017 e o período histórico. As modelagens com o uso conjunto de imagens MODIS em conjunto com dados climáticos interpolados se mostrou uma ferramenta eficiente para monitoramento operacional dos agro-ecossistemas em intervalos quinzenais dectar anomalias para diferentes anos, sobressaindo-se com grande potencial para subsídio ao manejo dos recursos hídricos.

Palavras-Chave – índices padronizados, evapotranspiração, produção de biomassa

ABSTRACT – Algorithms were tested aiming the monitoring of water and vegetation parameters along the years in the Low-Middle São Francisco, by coupling remote sensing parameters and a net of agrometeorological stations, involving the period from 203 to 2017. Anomalies on precipitation (P), actual evapotranspiration (ET) and biomass production (BIO) occurred between the year 2017 and the long-term period. The modelling by using MODIS images and weather data was confirmed as promising tool for operational agro-ecosystem monitoring at a 15-day perios to detec anomalies for different years, highlighting as a great potential for subsidysing the water resources management.

Palavras-Chave – standard índices, evapotranspiration, biomass production.

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

1 – INTRODUÇÃO

Em conjunto com os efeitos das mudanças climáticas, o aumento do uso da água na agricultura pode promover a competição pelos recursos hídricos com outros setores, agravando as condições de escassez hídrica. Nestas condições, aliciações de indicadores hídricos e de vegetação em larga escala podem detectar microclimas específicos.

Os municípios de Petrolina-PE e Juazeiro-BA, são exemplos de crescimento agrícola, devido ao desenvolvimento das tecnologias de irrigação aplicadas nas áreas vizinhas do Rio São Francisco. Sob as condições de rápida mudança de uso da terra aliada às mudanças climáticas, o uso de geotecnologias para avaliação histórica é relevante na tomada de decisões pelos gerentes hídricos (Teixeira et al., 2018).

O objetivo deste trabalho foi testar a operacionalidade do uso conjunto de imagens MODIS e estações agrometeorológicas para análises das anomalias de índices hídricos e de vegetação considerando períodos quinzenais, no Submédio São Francisco, tomando os municípios de Petrolina-PE e Juazeiro-BA, como referências durante o período de 2003 a 2017.

2 – MATERIAL E MÉTODOS

A Figura 1 apresenta a localização dos municípios de Petrolina e Juazeiro, respectivamente nos estados de Pernambuco (PE) e Bahia (BA), na bacia do Submédio São Francisco, Nordeste do Brasil em conjunto com as 15 estações climáticas usadas da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa).

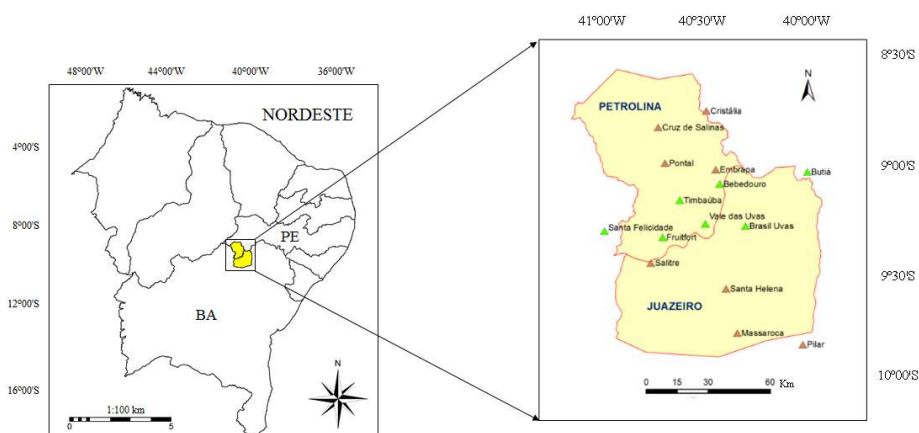


Figura 1. Localização das estações agrometeorológicas nos municípios na de Petrolina-PE e Juazeiro-BA, Nordeste do Brasil. Triângulos verdes representam as estações em áreas irrigadas, enquanto que os marrons indicam aquelas em áreas de vegetação natural (Caatinga).

O produto MOD13Q1 utilizado fornece um total de 23 imagens das reflectâncias nas bandas 1 e 2 ao longo do ano, as quais em conjunto com dados climáticos, possibilitaram a obtenção da evapotranspiração atual (ET) e da produção de biomassa (BIO) sob condições no período de 2003 a 2017, na escala temporal de 16 dias.

Os algoritmo SAFER (Simple Algorithm for Evapotranspiration Retrieving) foi aplicado para obtenção da evapotranspiração atual (ET) de acordo com Teixeira et al. (2018), enquanto que para a produção de Biomassa (BIO) foi estimada através do modelo de eficiência do uso da radiação (EUR) de Monteith (Monteith, 1977).

Os valores instantâneos da razão da ET para ET_0 , a ET_r , foram modelados:

$$\frac{ET}{ET_0} = \exp \left[a + b \left(\frac{T_0}{\alpha_0 NDVI} \right) \right] \quad (1)$$

onde T_0 é a temperatura da superfície estimada por resíduo no balanço de radiação, α_0 é o albedo da superfície, NDVI é o Índice da Diferença de Vegetação Normalizado e a e b são coeficientes de regressão. A evapotranspiração atual (ET) foi então obtida como o produto da imagem gerada pela Eq. 1 e as grades de ET_0 com valores interpolados das estações da Figura 1.

Nos cálculos da BIO, o modelo EUR foi aplicado introduzindo o efeito da umidade do solo através da razão ET/ET_0 :

$$BIO = \varepsilon_{\max} \frac{ET}{ET_0} RFA_{abs} 0,864 \quad (2)$$

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.

Seguindo Leivas et al. (2014), para determinação das anomalias dos indicadores agrometeorológicos (IA) em relação aos períodos quinzenais do produto MODIS MOD13Q1 os valores padronizados foram obtidos como:

$$IA_{PD_{16}} = \frac{IA_{16} - IA_{med_16}}{\sigma_{med_16}} \quad (3)$$

onde para o período de 16 dias: $IA_{PD_{16}}$, refere-se ao IA padronizado; IA_{med_16} é a média do IA no período de 15 anos; e σ_{med_16} é o desvio padrão do IA em relação à média de 15 anos.

3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2 apresenta os valores quinzenais para o ano de 2017 e no período de 2003 a 2017 das médias diárias da radiação solar global (R_G), temperatura média do ar (T_a) e evapotranspiração de referência (ET_0), e totais precipitação (P) na região envolvida pelos municípios de Petrolina e Juazeiro, respectivamente estados de Pernambuco (PE) e Bahia (BA), no Submédio São Francisco.

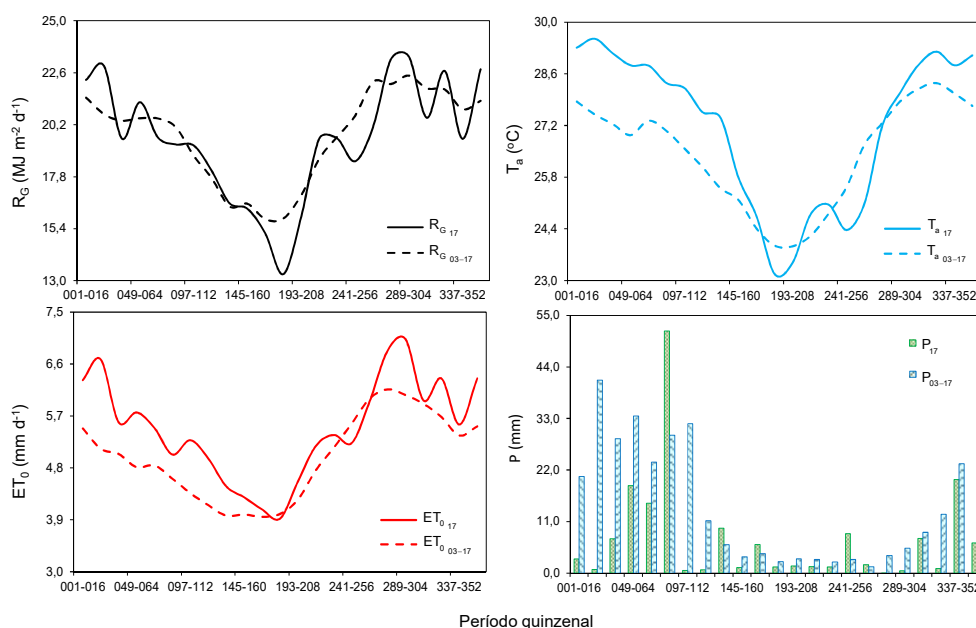


Figura 2. Valores quinzenais médios dos parâmetros climáticos para o ano de 2017 e no período de 2003 a 2017 na região envolvida pelos municípios de Petrolina e Juazeiro, respectivamente estados de Pernambuco (PE) e Bahia (BA), no São Francisco: radiação solar global (R_G), temperatura média do ar (T_a), evapotranspiração de referências (ET_0) e precipitação (P).

Com relação a R_G , pequenas diferenças foram observadas entre os valores do ano de 2017 e o período climatológico de 2003 a 2017, com picos acima de $22 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ de setembro a novembro (dias 256 a 304). Por outro lado, no período de valores mais baixos de julho a julho (dias 160 a 193), ocorreram

diferenças maiores entre o ano específico de 2017 e as médias históricas em até 20% superiores. Os maiores valores de T_a para o ano específico de 2017 com relação aos valores médios históricos, foram claramente mais elevados no início do ano, quando chegaram a ser 7% superiores. Pelos valores de ET_0 , percebe-se a influência das diferentes condições térmicas com o valor em 2017, sendo 10% daquele para o período de 2003 a 2017.

Considerando as chuvas, nota-se que no período chuvoso normas de janeiro a abril (dias 001 a 112), o ano de 2017 passou por um evento de escassez hídrica proporcionando um valor anual de P (165 mm) sendo apenas metade do total histórico (315 mm). O valor de P em termos médios (2003-2017) representou representou 17 % daqueles para ET_0 , enquanto que o ano específico de 2017 a percentagem correspondente foi de 8%.

A Figura 3 apresenta a distribuição espacial, médias e desvios padrões dos valores trimestrais da ET no período de 2003 a 2017 e especificamente no ano de 2017, na região envolvida pelos municípios Petrolina-PE e Juazeiro-BA, no Submédio São Francisco, Nordeste do Brasil.

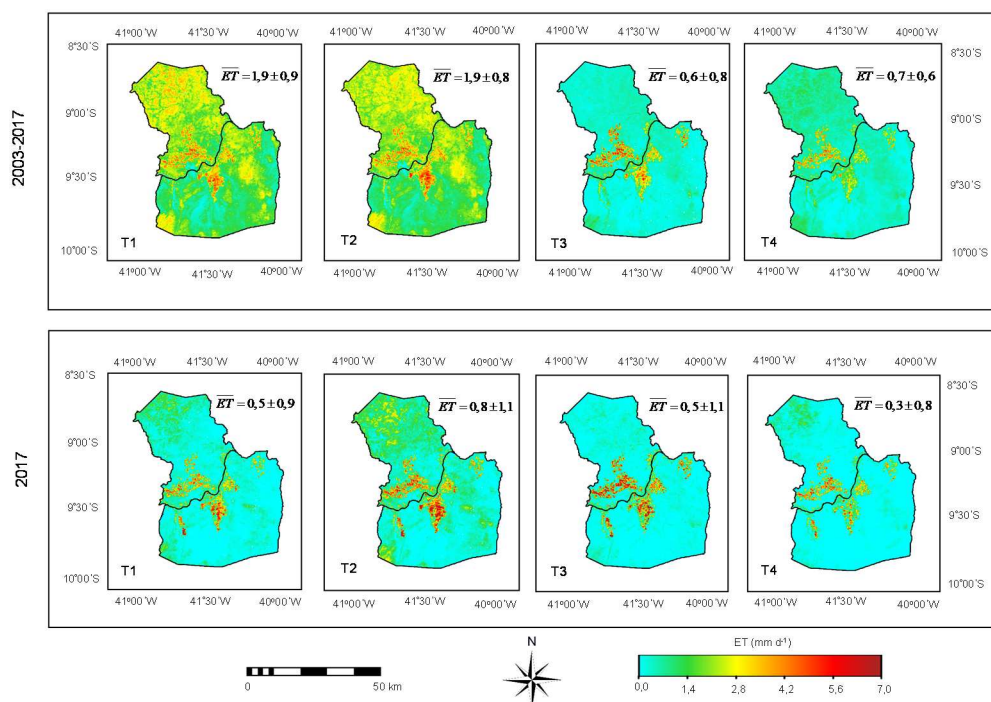


Figura 3. Distribuição espacial, médias e desvios padrões dos valores trimestrais da evapotranspiração atual (ET) para o período de 2003 a 2017 e especificamente para o ano de 2017 na região envolvida pelos municípios Petrolina-PE e Juazeiro-BA, no Submédio São Francisco, Nordeste do Brasil. T1: primeiro trimestre; T2: segundo semestre; T3: terceiro trimestre; T4: quarto trimestre.

Considerando-se as condições históricas (2003 a 2017) os trimestres com maiores taxas da ET, acima de $1,5 \text{ mm d}^{-1}$, foram o primeiro (T1) e o segundo (T2), enquanto que especificamente para o ano de 2017 estas aconteceram no segundo (T2), porém com média abaixo de $1,0 \text{ mm d}^{-1}$. As maiores taxas, acima de ET de $5,0 \text{ mm dia}^{-1}$, concentram-se nas culturas irrigadas nas vizinhanças do Rio São

Francisco, embora, as espécies da Caatinga no município de Petrolina-PE apresentaram maiores valores que para o município de Juazeiro-BA. Na região semiárida do Brasil, Folhes et al (2009) reportaram valores para Caatinga ($< 2,0 \text{ mm d}^{-1}$) inferiores àqueles para fruteiras (3,0 a $6,0 \text{ mm d}^{-1}$), similares ao atual estudo.

Considerando-se a escala anual, as taxas evapotranspiratórias do ano de 2017 na região abrangida pelos dois municípios, representaram 44 % do valor histórico, sendo as porções respectivas para P de 19% e 43%. A diferença nestas últimas percentagens indicam que muito mais água foi retirada do Rio São Francisco nas áreas irrigadas no ano de 2017 do que normalmente seria, para atendimento dos requerimentos hídricos das culturas agrícolas. A razão ET/ET_0 nestes para 2017 e para o período histórico (2003-2017) foram respectivamente de 0,11 e 0,22, indicando o baixas condições de umidade do que para as condições normais.

A Figura 4 apresenta a distribuição espacial, médias e desvios padrões dos valores trimestrais da BIO no período de 2003 a 2017 e especificamente no ano de 2017, na região envolvida pelos municípios Petrolina-PE e Juazeiro-BA, na bacia do Submédio São Francisco, Nordeste do Brasil.

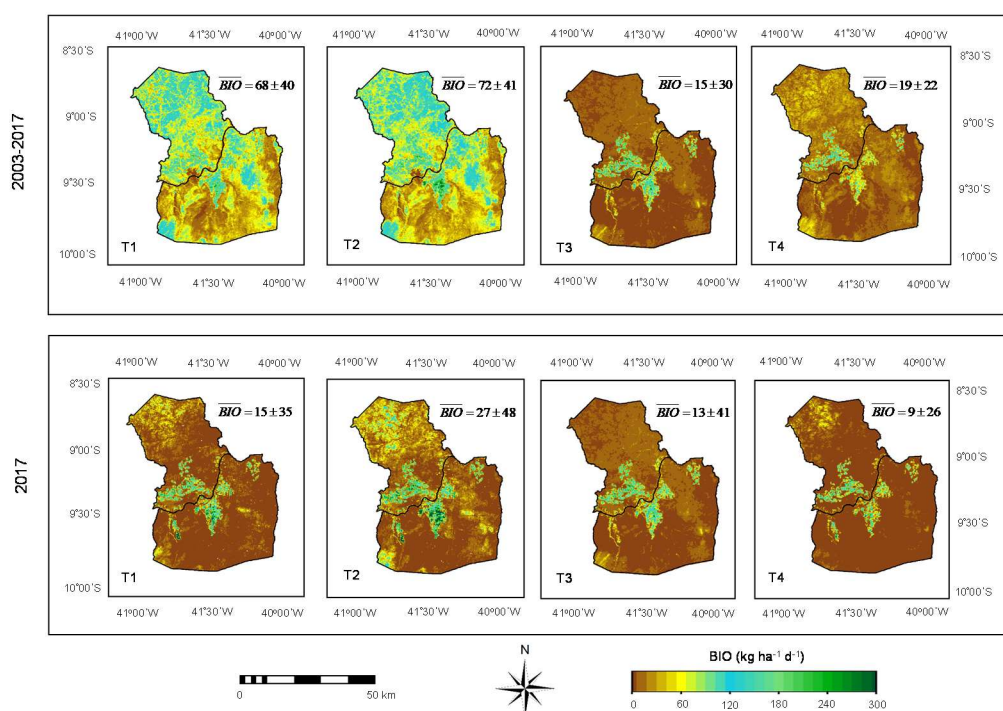


Figura 4. Distribuição espacial, médias e desvios padrões dos valores trimestrais da produção de biomassa (BIO) para o período de 2003 a 2017 e especificamente para o ano de 2017 na região envolvida pelos municípios Petrolina-PE e Juazeiro-BA, na bacia do Submédio São Francisco, Nordeste do Brasil. T1: primeiro trimestre; T2: segundo semestre; T3: terceiro trimestre; T4: quarto trimestre.

Como há uma relação entre a BIO e a ET, para as condições históricas (2003 a 2017) os trimestres com maiores taxas da BIO foram também T1 e T2, com valores médios acima de 65 kg ha^{-1}

d^{-1} e para o ano de 2017 estas aconteceram no segundo (T2), mas com taxa média inferior a $30 \text{ kg ha}^{-1} d^{-1}$, percebendo-se as variações espaciais e temporais comparando-se com as menores taxas correspondentes em T4 do ano de 2017. Os maiores valores da BIO, acima de ET de $100 \text{ kg ha}^{-1} d^{-1}$, concentram-se nas culturas irrigadas. Leivas et al. (2016), com a utilização de imagens MODIS em pivôs de irrigação no projeto Jaíba (Norte do Médio São Francisco), encontraram taxas médias para a BIO de $139 \text{ kg ha}^{-1} d^{-1}$. Nas condições históricas do estudo corrente, os destaques mais fortes entre os agros-ecossistemas são em T3 e T4, enquanto que no ano de 2017, devido as condições fortes de escassez de chuvas, estes destaques são visualizados durante todo o ano com as espécies da Caatinga no município de Petrolina-PE apresentando que para o município de Juazeiro-BA.

Os indicadores agrometeorológicos padronizados permitiram quantificar quanto, para o ano de 2017, as condições hídricas e de vegetação diferiram daquelas de longo prazo (2003 a 2017) para períodos quinzenais e trimestrais (Leivas et al., 2014).

A Figura 5 apresenta a distribuição espacial, médias e desvios padrões dos valores trimestrais indicadores agrometeorológicos padronizados para a evapotranspiração atual (ET_{PD}) e produção de biomassa (BIO_{PD}), na região envolvida pelos municípios Petrolina-PE e Juazeiro-BA, no Submédio São Francisco, Nordeste do Brasil.

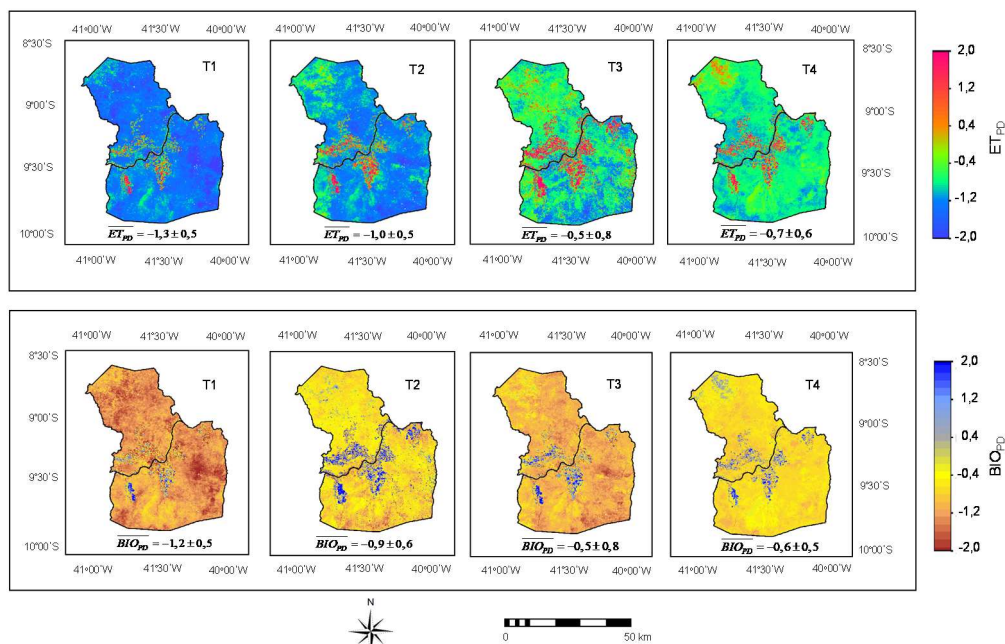


Figura 5. Distribuição espacial, médias e desvios padrões dos valores trimestrais dos valores trimestrais dos indicadores agrometeorológicos padronizados para a evapotranspiração atual (ET_{PD}) e produção de biomassa (BIO_{PD}) com relação ao ano de 2017 e período histórico 2003-2017, na região envolvida pelos municípios Petrolina-PE e Juazeiro-BA, no Submédio São Francisco, Nordeste do Brasil. T1: primeiro trimestre; T2: segundo semestre; T3: terceiro trimestre; T4: quarto trimestre.

Tanto no caso da ET como da BIO, percebem-se que enquanto que nas áreas irrigadas, ao redor do limite dos municípios, os valores padronizados foram positivos, evidenciados pelas colorações avermelhadas e azuladas, respectivamente, aqueles para a Caatinga apresentaram-se negativos ao longo do ano, confirmando anomalias no ano de 2017 para as espécies naturais com relação às condições hídricas e de vegetação históricas.

Os valores mais negativos dos indicadores padronizados ocorreram em T1, como consequência das chuvas no início do ano de 2017 abaixo da média histórica no mesmo período (ver também Figura 2). Por outro lado, devido ao efeito conjunto da redução da demanda atmosférica no meio do ano, normal para a região, e da continuidade da irrigação nas culturas agrícolas, as menores anomalias foram para o terceiro trimestre (T3).

A Figura 6 apresenta as tendências dos valores médios quinzenais dos indicadores agrometeorológicos padronizados para a precipitação (P_{PD}), evapotranspiração atual (ET_{PD}) e produção de biomassa (BIO_{PD}) com relação ao ano de 2017 e período histórico 2003-2017, na região envolvida pelos municípios Petrolina-PE e Juazeiro-BA, no Submédio São Francisco, Nordeste do Brasil.

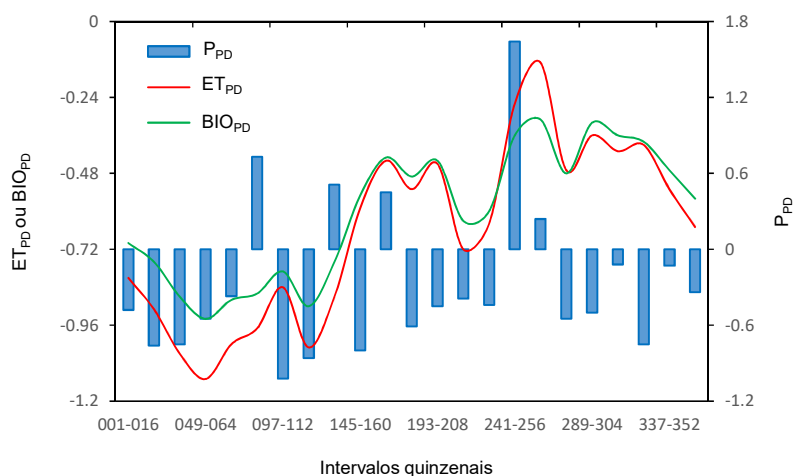


Figura 6. Tendências dos valores médios quinzenais dos indicadores agrometeorológicos padronizados com relação ao ano de 2017 e período histórico 2003-2017, na região envolvida pelos municípios Petrolina-PE e Juazeiro-BA, na bacia do Submédio São Francisco, Nordeste do Brasil. Para a precipitação (P_{PD}), evapotranspiração atual (ET_{PD}) e produção de biomassa (BIO_{PD}).

Apesar dos valores mais anômalos terem ocorridos no início do ano de 2017 (janeiro a maio) para P, ET e BIO, percebem-se algumas defasagens os indicadores padronizados ET_{PD} e BIO_{PD} com relação a P_{PD} , com este último apresentando alguns valores positivos, o que está de acordo com estudos prévios (Barbosa et al., 2011; Leivas et al., 2004).

Em termos anuais, e para toda a região de estudo os valores de P_{PD} , ET_{PD} e BIO_{PD} foram de -0,3, -0,7 e -0,6, respectivamente com aqueles para ET_{PD} e BIO_{PD} indicando forte correlação, mas com baixa correlação quando comparados com P_{PD} .

Barbosa et al. (2011) também verificaram defasagem entre os valores de NDVI e a ocorrência de precipitação no semiárido do nordeste brasileiro. De acordo com Leivas et al. (2004), as variações dos indicadores hídricos e de vegetação podem ajudar a compreender o efeito de fatores climáticos sobre a cobertura vegetal local, auxiliando no planejamento e mitigação de grande escala.

4 - CONCLUSÕES

Comprovou-se que a utilização de algoritmos com a união de imagens MODIS e rede de estação climáticas permitem o monitoramento de indicadores agrometeorológicos em períodos quinzenais em anos específicos com relação às médias históricas no Submédio São Francisco. Detectaram-se variações nas taxas da precipitação (P), evapotranspiração atual (ET) e da produção de biomassa (BIO) com relação ao ano de 2017 e as médias relativas ao período de 2003 a 2017. O estudo constatou, as variações dos indicadores hídricos e de vegetação podem subsidiar o gerenciamento dos recursos hídricos em larfga escala.

AGRADECIMENTOS: Ao CNPq pelo apoio financeiro aos projetos sobre produtividade da água, processos 404229/2013-1 e 446136/2015-8.

5 - 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.

BARBOSA, H.A.; KUMAR, T.V.L.; SILVA JUNIOR, I.W. (2011). “*Analysis of the NDVI Temporal Dynamics in Semi-arid Ecosystems: Brazilian Caatinga and African Western Sahel.*” *Revista brasileira de Geografia Física* 2, pp.300-306.

FOLHES, M.T.; RENNÓ, C.D.; SOARES, J.V. (2011) “*Remote sensing for irrigation water management in the semi-arid Northeast of Brazil*”. *Agricultural Water Management* 96, pp. 1398-1408.

LEIVAS, J. F.; ANDRADE, R. G.; VICTORIA, D. de C.; TORRESAN, BOLFE, E. L.; BARROS, T. R. (2014). “*Monitoramento da seca 2011/2012 no Nordeste Brasileiro a partir do satélite SPOT-Veg e Ta TiOn e TRMM*”. *Engenharia na Agricultura*. 22, pp. 211-221.

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.

MONTEITH, J.L. (1977). “*Climate and efficiency of crop production in Britain*”. *Philosophical Transactions of the Royal Society Series B*. 281, pp. 277-294.

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.