



Tendências climáticas e avanço de áreas irrigadas em Barreiras, Brasil *Climate trends and advances of irrigated areas in Barreiras, Brazil*

Neuza Helena Carvalho de Oliveira¹, Neilon Duarte da Silva¹, Aureo Silva de Oliveira¹

¹ Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Bahia, Brasil

Contato: hcarvalhoagro@gmail.com

Palavras-Chave

evapotranspiração
sensoriamento remoto
climatologia

RESUMO

Os objetivos desse trabalho foram explorar as tendências temporais das principais variáveis agrometeorológicas utilizadas no cálculo da ETo, em Barreiras, Bahia, bem como quantificar a evolução temporal (1987–2017) de áreas irrigadas, através de técnicas de sensoriamento remoto. Foram utilizados dados diários das temperaturas máximas e mínimas do ar, umidade relativa média do ar, déficit de pressão de vapor d'água e velocidade do vento para o período de 1961 a 2017. Para a confecção dos mapas, foram utilizadas séries históricas (1987–2017) de imagens dos satélites Landsat-5, Landsat-7 e Landsat-8, da órbita e ponto 217/068 com datas de passagem cobrindo os principais períodos de cultivo na região, bem como foram feitas imagens de sobreposição, para avaliar quais áreas permaneceram irrigadas ou não. Observou-se aumento nas variáveis: temperatura do ar, déficit de pressão de vapor d'água e evapotranspiração de referência, enquanto a umidade do ar e a velocidade do vento sofreram redução. Para as áreas irrigadas, constatou-se aumento espacial das mesmas, com taxa de 227,34 ha ano⁻¹, sendo o ano de 2015 o que apresentou o máximo de áreas irrigadas. Na sobreposição das imagens, observou-se um aumento de 6 pivôs em média.

Key-word

evapotranspiration
remote sensing
climatology

ABSTRACT

The objectives of this work were to explore the temporary trends of the main agrometeorological variables used in the calculation of ETo, in Barreiras, Bahia, as well as to quantify the temporal evolution (1987–2017) of irrigated areas, using remote sensing techniques. Daily data on maximum and minimum air temperatures, relative air mean, water vapor pressure and wind speed for the period from 1961 to 2015. Historical maps (1987 - 2017) of images from Landsat-5, Landsat-7 and Landsat-8 satellites, orbit and point 217/068 with passage data covering the main cultivation periods in the region, as well as those used to meditate, to evaluate which permanent areas irrigated or not. Note the increase in variables: air temperature, water vapor pressure and reference evapotranspiration, while the measurement of air and wind speed are reduced. For irrigated areas, there is a spatial increase of these, with rates of 227.34 ha year⁻¹, with the year 2015 or that showing the maximum of irrigated areas. In the overlapping of images, increase of 6 points in the average.

Informações do artigo

Recebido: 04 de fevereiro, 2020

Aceito: 22 de janeiro, 2021

Publicado: 30 de abril, 2021

Introdução

A expansão da agricultura moderna pelo cerrado brasileiro desencadeou uma série de ações públicas e privadas que promoveram alterações na superfície, transformando-o em novas condições de cultivo e adaptações para implementação de novas fronteiras agrícolas.

A irrigação de culturas agrícolas é uma prática utilizada para complementar a disponibilidade da água fornecida naturalmente pela precipitação, proporcionando ao solo teor de umidade suficiente para suprir as necessidades hídricas das plantas (Zhang et al., 2011). A evapotranspiração de referência (ET₀) é uma variável meteorológica importante para o gerenciamento e manejo da irrigação, preparando dados de entrada para modelos hidrológicos de equilíbrio hídrico e calculando a evapotranspiração real para uma região e/ou uma bacia (Peng et al. 2018; Stephens et al. 2018)

As mudanças climáticas estão ocorrendo em todo o mundo e podem causar alterações significativas em variáveis climáticas, como precipitação, temperatura do ar, umidade relativa e radiação solar (Fan e Thomas, 2013). Nesse sentido, espera-se que ocorram alterações no ciclo hidrológico, afetando principalmente a precipitação e a evaporação (Yu et al., 2013). Essas mudanças também afetam a demanda hídrica local e regional com implicações importantes para o manejo da irrigação (Zhang et al., 2011).

Face ao cenário atual de possíveis alterações climáticas e a escassez de trabalhos locais com vistas à melhor gestão dos recursos hídricos no oeste baiano, os objetivos desse trabalho foram: (a) explorar as tendências temporais das principais variáveis agrometeorológicas utilizadas no cálculo da ET₀, (b) quantificar o aumento das áreas agrícolas irrigadas no município de Barreiras, Bahia.

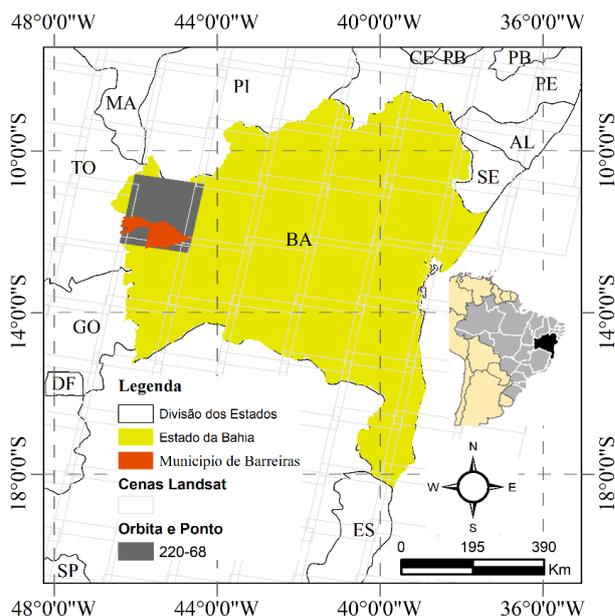
Material e Métodos

Dados meteorológicos diários das temperaturas máximas, médias e mínimas do ar, umidade relativa do ar média, velocidade do vento e insolação que foram utilizados no presente estudo são oriundos da estação de Barreiras, do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Trata-se de séries históricas que compreendem o período de 01 janeiro de 1961 a 31 dezembro de 2017. A localização da área de estudo pode ser observada na Figura 1.

Análise de qualidade de dados e preenchimento de falhas

A análise da qualidade de dados é primordial para a obtenção de resultados consistentes. Por isso, foi realizada uma triagem em toda a série histórica para a estação, verificando possíveis valores discrepantes em cada variável meteorológica. A ausência de dados na série foi preenchida através de médias oriundas de valores do dia anterior e posterior. A ausência de dados por três ou mais dias consecutivos, implicou na eliminação dos mesmos da série histórica.

Figura 1. Localização da área de estudo



Evapotranspiração de Referência (ET₀)

O método Penman–Monteith padronizado no manual 56 da FAO (PM56), tem sido recomendado como aquele que melhor expressa e representa condições aproximadas das relações solo/planta/atmosfera para a determinação ET₀, e foi usado neste estudo (Equação 1).

Este método tem sido selecionado pois apresenta componentes importantes das relações de troca de energia entre a superfície e a atmosfera. Os valores da ET₀ foram calculados via software REF-ET versão 4.1 (Allen, 2015).

$$ET_0 = \frac{0,408 (R_n - G) + \gamma \left(\frac{900}{T_a + 273} \right) u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 u_2)} \quad (\text{Eq.1})$$

Onde:

- ET₀: evapotranspiração de referência (mm dia⁻¹);
- R_n: saldo de radiação (MJ m⁻² dia⁻¹);
- G: fluxo de calor no solo (MJ m⁻² dia⁻¹), sendo G=0 em um período de 24h;
- Δ: declinação da curva de saturação do vapor da água (kPa °C⁻¹);
- u₂: velocidade do vento à 2m de altura (m s⁻¹);
- T_a: temperatura média do ar (°C);
- e_s: pressão de saturação do vapor d'água na atmosfera (kPa);
- e_a: pressão atual do vapor d'água na atmosfera (kPa); e,
- γ: constante psicométrica (MJ kg⁻¹)

Análise de Tendência Temporal

O teste não-paramétrico de Mann-Kendall conforme abordado por Oguntunde et al. (2012) e Ruiz-Alvarez et al. (2018) foi utilizado com o auxílio do software XLSTAT versão 2014.5.03 Copyright Addinsoft, aplicado para o período de estudo.

A partir desse teste é possível verificar a existência de tendência, acréscimo, decréscimo ou estabilização da ETo e de seus componentes climatológicos (temperatura do ar, umidade relativa, vento e insolação) em função do tempo.

Duas hipóteses são verificadas nesse teste: Ho – não existe tendência nos dados (Estabilidade); Ha – existe tendência nos dados (Tendência positiva; Tendência negativa).

O princípio do teste consiste em contar, para todos os pares de valores, os casos em que o primeiro é maior do que o segundo e os casos em que o primeiro é menor do que o segundo. O teste estatístico S (Equação 2) é a diferença entre estes dois casos.

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k) \quad (\text{Eq.2})$$

Onde:

n: tamanho da série temporal (xi ... xn);

sgn: sinal da função; e,

i, j: sequência da série temporal.

A variância do teste estatístico S, que tem média zero, é obtido utilizando a Equação 3.

$$\text{Var}(s) = \frac{[n(n-1)(2n+5) - \sum_{j=1}^P t_j(t_j-1)(2t_j+5)]}{18} \quad (\text{Eq.3})$$

Onde:

t: número de observações iguais no grupo j;

P: número de grupos com observações iguais; e,

n: número de observações.

O teste estatístico Z foi então usado para verificar a hipótese nula em que os dados são distribuídos de forma idêntica e observações aleatórias não dependentes do tempo (Equação 4).

$$Z = \begin{cases} \frac{S - 1}{\sqrt{\text{Var}(S)}}, S > 0 \\ 0, S = 0 \\ \frac{S + 1}{\sqrt{\text{Var}(S)}}, S < 0 \end{cases} \quad (\text{Eq.4})$$

A mudança relativa (Equação 5) da variável no tempo foi feita segundo metodologia proposta por Tabari e Hosseinzadeh (2013); Talae et al., (2014).

$$MR = \frac{n \beta}{|\bar{x}|} \quad (\text{Eq.5})$$

Onde:

n: tamanho da série temporal;

β: magnitude da tendência da série temporal;

MR: mudança relativa (%);

|x̄|: média dos valores da série.

A magnitude da tendência da série temporal foi estimada usando um outro teste não-paramétrico baseado na declividade da curva de regressão linear proposto por Sen (1968) (Equação 6).

$$\beta = \text{mediana} \left(\frac{X_i - X_j}{i - j} \right) \quad (\text{Eq.6})$$

Onde:

Xi; Xj: valores iniciais e finais da série temporal; e,

i; j: número de anos da série temporal.

Avanço das áreas irrigadas

A avaliação do avanço de áreas irrigadas cobriu o período de 1987 a 2017 com de imagens dos satélites Landsat-5, Landsat-7 e Landsat-8, da órbita e ponto 220/068 (Figura 1) com datas de passagem cobrindo os principais períodos de cultivo na região.

Processamento das imagens

As imagens de toda a série histórica compreendem o período seco da região (junho, julho e agosto), o que resulta no mínimo em 3 imagens por ano.

Para detecção de áreas com agricultura, foram atribuídos alguns critérios a partir de índices de vegetação.

Os produtos foram obtidos do site espa.cr.usgs.gov e pós processados no software QGIS 3.4.

Uma análise visual foi realizada (a partir das formas geométricas das áreas nas imagens, associada aos valores de NDVI, Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI), podendo ser obtido pela razão entre a diferença das refletâncias das bandas do infravermelho próximo (ρ4) e do vermelho (ρ3), e da soma das mesmas (Equação 7).

$$NDVI = \frac{\rho4 - \rho3}{\rho4 + \rho3} \quad (\text{Eq.7})$$

O NDVI atua como um indicador sensível da quantidade e da condição da vegetação verde. Seus valores variam de -1 a +1. Para superfícies com alguma vegetação, o NDVI varia de 0 e 1, para a água e nuvens é geralmente menor que zero.

Foi arbitrado um valor de 0,6 como sendo, o mínimo para que a vegetação se encontrasse no seu desenvolvimento pleno, ou seja, maior demanda hídrica.

Sobreposição de áreas irrigadas

As imagens ano a ano foram analisadas conforme a sua sobreposição, a fim de avaliar no tempo a permanência de cultivos em determinadas regiões do município. As regiões definidas como área irrigada foram transformadas com o auxílio do software QGIS 3.4 e então convertidas em arquivos do formato shapefile, no qual é possível realizar o cálculo das áreas. Esses shapefiles (de cada ano), foram sobrepostos e então feito a intersecção para verificação da permanência de regiões específicas com irrigação.

Resultados e Discussão

Tendências climáticas

A Figura 2 apresenta as tendências climáticas para a temperatura do ar dentro da série histórica para a cidade de Barreiras. Houve acréscimo significativo ($p < 0,01$) tanto da temperatura do ar máxima quando da mínima. Para as máximas, esse acréscimo foi de $0,033 \text{ }^\circ\text{C ano}^{-1}$, enquanto para a temperatura mínima foi de $0,0434 \text{ }^\circ\text{C ano}^{-1}$, apresentando um aumento mais acentuado. Essa tendência corrobora com o resultado encontrado por Wu et al. (2002) onde as tendências anuais e sazonais da temperatura do ar no período de 1971 a 2000 na China também foram crescentes. Zhang et al. (2011) também encontraram aumento significativo na temperatura do ar em trabalho realizado no Planalto tibetano durante o período de 1966 a 2003.

Para Jhajharia e Singh, (2011) uma das principais razões para o aumento da evapotranspiração é o aumento temperatura máximas e mínimas, o que aumenta o déficit de pressão de vapor (DPV) e a capacidade de evaporação do ambiente.

A umidade relativa é a relação entre a umidade absoluta (quantidade total de vapor d'água que está presente na atmosfera) e a umidade de saturação (quantidade máxima possível de vapor d'água no ar).

A Figura 3 apresenta as tendências climáticas para a umidade relativa do ar média e déficit de pressão de vapor d'água. A umidade relativa média mostrou uma tendência decrescente consistente ao longo dos anos, variando em $-0,0735\% \text{ ano}^{-1}$.

Essas tendências decrescentes na umidade relativa sugerem uma mudança para um clima mais seco, o que pode causar uma maior demanda de água na atmosfera e, portanto, um maior requisito de água da safra.

Quanto maior o déficit de saturação menor a umidade relativa do ar, consequentemente maior a temperatura, o que resulta numa alta demanda de vapor d'água pela atmosfera, e isso contribui significativamente para o aumento da ETo em escala anual (Allen et al., 1998; Zhao et al., 2014). O déficit de pressão de vapor d'água em geral aumenta com o aumento da temperatura e a diminuição da umidade relativa, sendo assim, a tendência crescente da temperatura do ar, bem como a tendência decrescente da umidade relativa observadas nos dados resultaram em um déficit de pressão de vapor d'água aumentado. Esse aumento foi de 1,2 para 1,45 kPa durante os 50 anos analisados. Um déficit de pressão de vapor maior geralmente resulta em uma maior taxa de evaporação.

Outrora, a difusão do vapor d'água que é produzido e que está em contato com a superfície da folha e a atmosfera, tem pressão atual de vapor d'água como principal componente atenuante.

Figura 2. Variação temporal da temperatura máxima do ar (A); Variação temporal da temperatura mínima do ar (B);

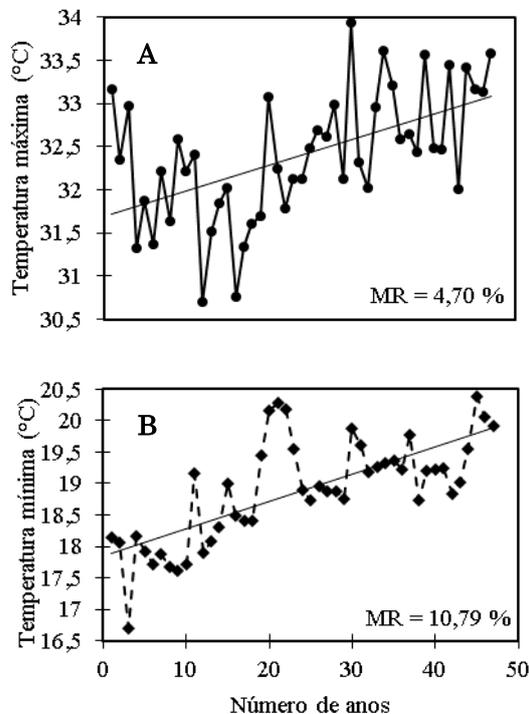
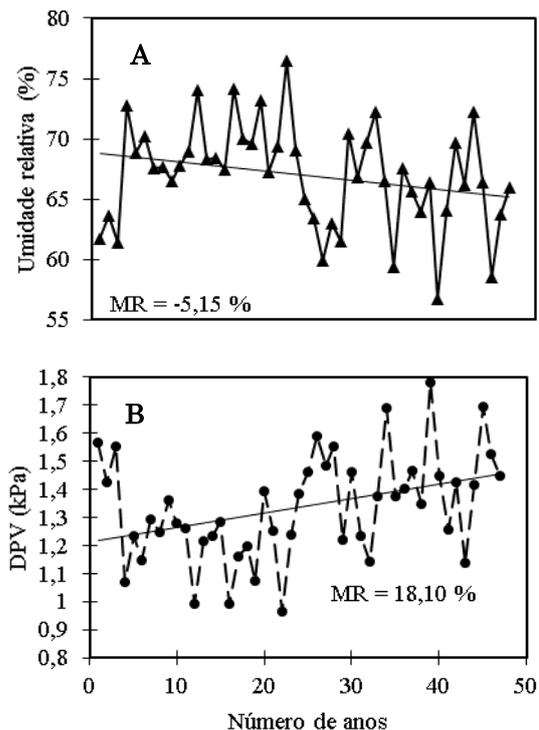


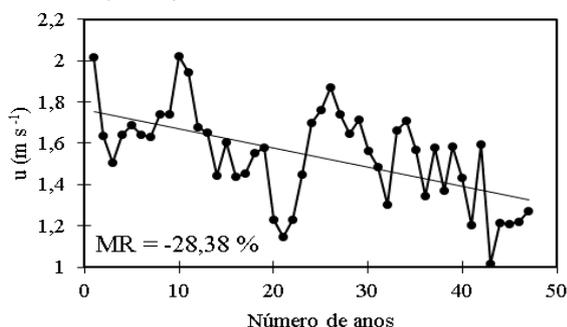
Figura 3. Variação temporal da umidade relativa do ar média (A) e do déficit de pressão de vapor d'água (B)



Dessa forma, quando esta camada se encontra saturada, há uma quantidade significativa de moléculas de água que saem da superfície da folha e passam para o estado gasoso, e isso praticamente cessa a evapotranspiração, o que explica a participação efetiva das pressões atuais e de saturação nas variações das taxas da ETo (Varejão-Silva, 2006).

A Figura 4 apresenta as taxas de variação anual da velocidade média do vento a 2 m de altura. Foi verificado uma redução significativa ($p < 0,05$), indicando uma redução de $-0,0093 \text{ m s}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. Em um trabalho similar, Xu et al. (2006) relatam que a velocidade decrescente do vento e a radiação líquida foram responsáveis pelas mudanças na evapotranspiração de referência na Bacia do Rio Changjiang da China.

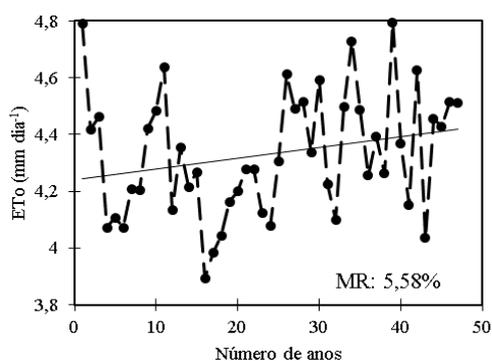
Figura 4. Variação temporal da velocidade do vento



O processo de movimento do ar e remoção de vapor depende, em grande medida, do vento, que é o principal fator de direção no transporte do vapor de água da planta para a atmosfera. O vento pode ajudar a manter um déficit de pressão de vapor em torno da superfície da planta. O atrito desigual causado pela superfície da Terra retarda o fluxo de ar de modo que a velocidade do vento é relativamente menor perto do solo. Com maior elevação, a velocidade do vento torna-se menos impactada pelo solo irregular (Zhao et al., 2014).

A Figura 5, mostra a variação anual da evapotranspiração de referência para os 50 anos de estudo. Houve um acréscimo de $0,0051 \text{ mm dia}^{-1}$. Autores como Hakan et al. (2010) relataram que existe uma tendência crescente na temperatura e na ETo na maioria das estações analisadas na Turquia, sendo esses resultados similares com os dados encontrados.

Figura 5. Variação temporal da Evapotranspiração de referência



As variáveis climáticas que afetam o ETo são a temperatura do ar, a umidade relativa, a insolação e a velocidade do vento.

O alto déficit de pressão de vapor e a radiação líquida fazem com que a taxa de ETo seja maior, enquanto a pressão de vapor real e o fluxo de calor do solo fazem com que o ETo diminua. Déficit de pressão de vapor d'água e temperatura são variáveis que indicam as taxas de variação da ETo, dessa forma, os dados permitem inferir que o aumento nas taxas dessas duas variáveis levou a um aumento na evapotranspiração de referência.

Alguns autores (Liu et al. 2010; Liu et al. 2011; Mandal et al. 2013) argumentam que a diminuição na evaporação/evapotranspiração é devida ao efeito combinado de redução na velocidade do vento, radiação solar e temperatura máxima diária, bem como devido ao aumento da umidade relativa.

No entanto, mesmo havendo redução na velocidade do vento, a redução do DPV e aumento da temperatura tem maior peso nos processos da evapotranspiração, principalmente quando se trata de PM56.

Fan e Thomas (2013), ainda acrescenta insolação o e número de dias de brilho solar, como variáveis que interferem nas taxas de variação da evaporação/evapotranspiração

Do ponto de vista da agricultura de sequeiro, o aumento da evapotranspiração traduz-se numa redução da umidade do solo, que é crítica quando as culturas estão em fase de produção de frutos ou enchimento dos grãos.

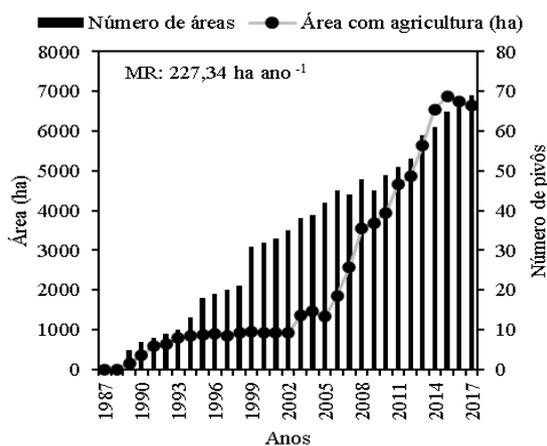
Análise espacial temporal do avanço das áreas com agricultura irrigada

A Figura 6 apresenta o avanço das áreas irrigadas em Barreiras entre os anos de 1987 e 2017, demonstrando correlação entre o número total de áreas e o número de áreas com irrigação.

Observou-se que nos anos de 1987 e 1988 não foi constatada nenhuma área irrigada.

Nos anos seguintes a expansão das áreas com agricultura irrigada foi gradual, mantendo-se mais ou menos constante do ano de 1991 até 2003.

Figura 6. Avanço das áreas irrigadas de 1987-2017



De 2005 em diante o aumento dessas áreas torna-se mais acentuado, alcançando o valor máximo no ano de 2015 com quase 7000 hectares irrigados, nesse sentido, percebe-se que basicamente toda área ocupada por agricultura possuía irrigação.

A taxa de aumento de agricultura irrigada foi de 227,34 ha ano⁻¹, ou seja, a cada ano, cerca de 227 hectares de área irrigada foram incrementados no município. De acordo com Pimentel et al. (2011), toda produção de soja da Bahia concentra-se no Oeste do Estado, com reflexos nos valores de produção do Nordeste.

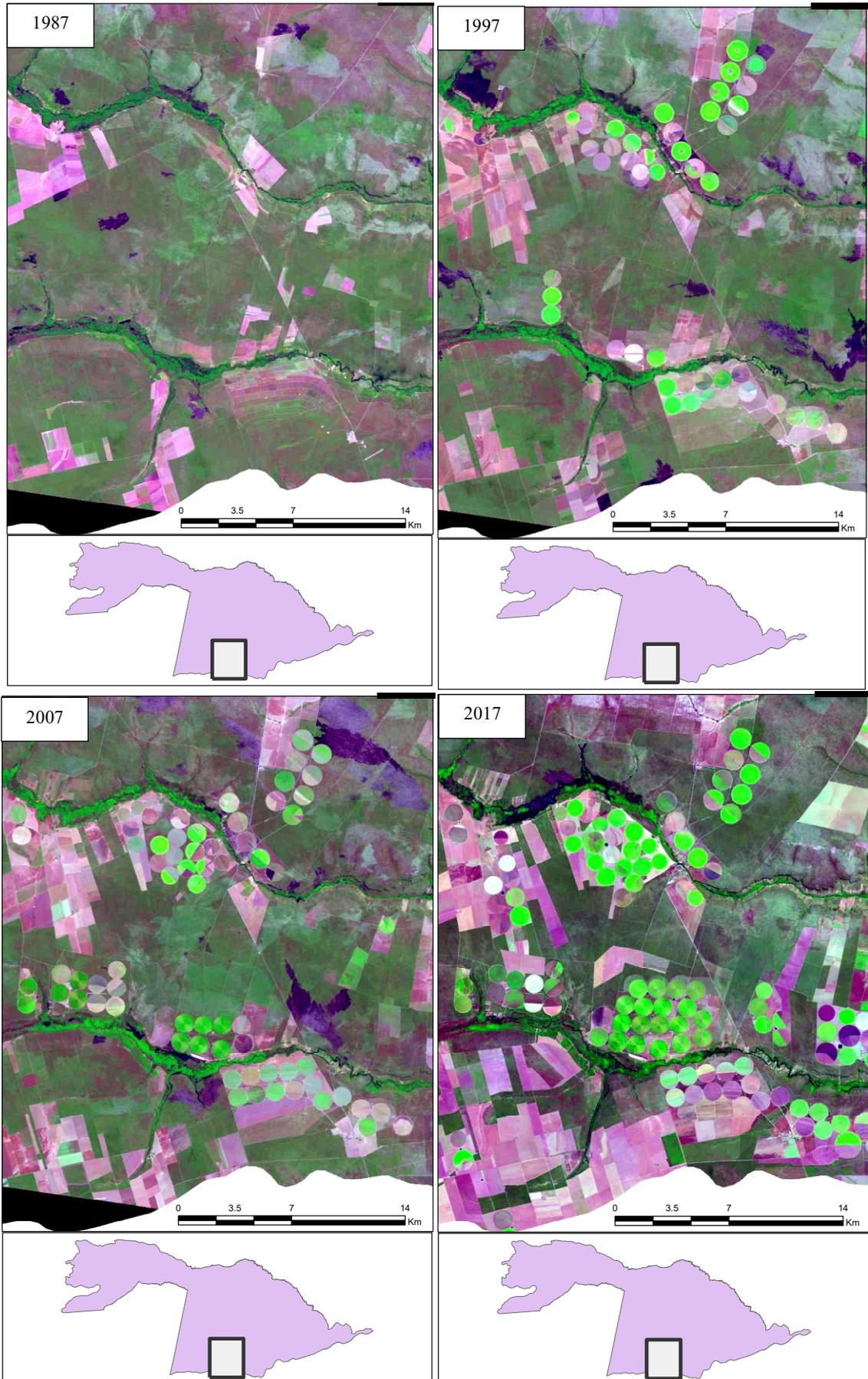
Sobreposição de áreas irrigadas

Para todo o município de Barreiras, houve uma sobreposição média anual de 6 (seis) pivôs por ano dentro do período de estudo.

A Figura 7 apresenta uma parte específica do município de Barreiras e o avanço espacial das áreas irrigadas. A análise a cada década mostra tanto o avanço espacial/temporal quando a sobreposição de áreas. Nessa região específica entre os anos de 1997 e 2007 houve um incremento de 7 (sete) pivôs, dos 24 (vinte e quatro) pivôs existentes no ano de 1997 apenas 5 deles foram mantidos em 2007, os 19 restantes aparecerem como área expandida.

Para a análise entre os anos de 2007 e 2017, foi verificado tanto o aumento espacial e de sobreposição. O número de pivôs se duplicara e as áreas com sobreposição passaram a ser de 13 pivôs.

Figura 7. Avanço temporal por década de um perímetro irrigado, Barreira (BA)



Conclusões

Do ponto de vista de alteração das variáveis chaves utilizadas no cálculo da ETo, as taxas de variações anuais são acentuadas. Isso traz um alerta para o crescente aumento das áreas irrigadas face também o aumento da demanda de alimentos.

O déficit de pressão de vapor d'água é para as condições de Barreiras uma variável que expressa bem o aumento da ETo.

Se o padrão de aumento da evapotranspiração continuar, a agricultura de sequeiro pode ter problemas e a demanda de água pode ser maior a cada ano, tal situação pode ser crítica em regiões com aquíferos excessivamente explorados.

A variação espacial indicando aumento das áreas irrigadas em Barreiras, BA resulta em uma taxa de 227,34 ha ano⁻¹.

Contribuição dos autores

Os autores desse artigo declaram que contribuíram de forma igualitária na sua elaboração.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) e da Fundação de Amparo e Pesquisa da Bahia (FAPESB).

Referências

- ALLEN, R. G. **Manual REF-ET version Windows 4.1**. Available online at www.kimberly.idaho.edu, 2015.
- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements**. Rome: Food and Agriculture Organization, 1998. 300p. Drainage and Irrigation Paper, 56.
- FAN, Z. X.; THOMAS, A. Spatiotemporal variability of reference evapotranspiration and its contributing climatic factors in Yunnan Province, SW China, 1961–2004. **Climate Change**, v. 116, p. 309–325, 2013.
- HAKAN, A.; Savas, K.; OSMAN, S. **Trend analysis of hydrometeorological parameters in climate regions of Turkey**. Conference pre release, BALWOIS 2010-Ohrid, Republic of Macedonia, 2010.
- JHAJHARIA, D.; SINGH, V. P. Trends in temperature, diurnal temperature range and sunshine duration in Northeast India. **International Journal Climatology**, v. 31, p. 1353–1367, 2011.
- LIU, Q.; YANG, Z.; XIA, X. Trends for pan evaporation during 1959–2000 in China. **Procedia Environ Science**, v. 2, p. 1934–1941, 2010.
- LIU, X.; ZHENG, H.; ZHANG, M.; LIU, C. Identification of dominant climate factor for pan evaporation trend in the Tibetan Plateau. **Journal Geography Science**, v. 21, p. 594–608, 2011.
- MANDAL, S.; CHOUDHURY, B. U.; MANDAL, M.; BEJ, S. Trend analysis of weather variables in Sagar Island, West Bengal, India: a long-term perspective (1982–2010). **Current Science**, v. 105, p. 947–953, 2013.
- OGUNTUNDE, P. G.; ABIODUN, B. J.; OLUKUNLEA, O. J.; OLUFAYO, A. A. Trends and variability in pan evaporation and other climatic variables at Ibadan, Nigeria, 1973–2008. **Meteorological Applications**, v. 19, p. 464–472, 2012.
- PENG, L.; LI, D.; SHEFFIELD, J. Drivers of variability in atmospheric evaporative demand: Multiscale spectral analysis based on observations and physically based modeling. **Water Resources Research**, v. 54, p. 3510–3529, 2018.
- RUIZ-ALVAREZ, O.; SINGH, J. P.; ENCISO-MEDINA, J.; MUNSTER, C.; KAISER, R.; ONTIVEROS-CAPURATZ, R. E.; DIAZ-GARCIA, L. A.; SANTOS, C. A. C. Spatio-temporal trends in monthly pan evaporation in Aguascalientes, Mexico Oasis. **Theoretical and Applied Climatology**, 018-2514-5, 2018.
- SEN, P. K. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. **Journal American Statistical Association**, v. 63, p. 1379–1389, 1968.
- STEPHENS, C. M.; MCVICAR, T. R.; JOHNSON, F. M.; MARSHALL, L. A. Revisiting pan evaporation trends in Australia a decade on. **Geophysical Research Letters**, v. 45, p. 11.164–11.172, 2018.
- TABARI, H.; HOSSEINZADEH, T. P. Moisture index for Iran: spatial and temporal analyses. **Global Planet Change**, v. 100, p. 11–19, 2013.
- TALAEI, P. H.; SOME'S, B. S.; ARDAKAN, S. A. Time trend and change point of reference evapotranspiration over Iran. **Theory Applied Climatology**, v. 116, p. 639–647, 2014.
- PIMENTEL, M. L.; SOUZA, T. C. L. S.; TÁVORA, G. S. G.; TURETTA, A. P. D. **Mudanças de Uso da Terra e Expansão da Agricultura no Oeste da Bahia**. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, Rio de Janeiro, p. 1-25, dez. 2011.
- VAREJÃO-SILVA, M. A. **Meteorologia e Climatologia**. 2.ed. Recife: 2006. 463p.
- WU, S. H.; YANG, Q. Y.; ZHENG, D. An index system for boundaries of eco-geographical regions of China. **Progress in Geography**, v. 21, p. 302–310, 2002.
- XU, C.; GONG, L.; JIANG T.; CHEN, D.; SINGH, V. P. Analysis of spatial distribution and temporal trend of reference evapotranspiration and pan evaporation in Changjiang (Yangtze River) catchment. **Journal Hydrology**, v. 327, p. 81–93, 2006.
- YU, L. L.; XIA, Z. Q.; LI, J. K.; CAI, T. Climate change characteristics of Amur River. **Water Science and Engineering**, v. 6, p. 131–144, 2013.
- ZHANG, X. Y.; CHEN, S. Y.; SUN, H. Y.; SHAO, L. W.; WANG, Y. Z. Changes in evapotranspiration over irrigated winter wheat and maize in North China Plain over three decades. **Agricultural Water Management**, v. 98, p. 1097–1104, 2011.
- ZHAO, L.; XIA, J.; SOBKOWIAK, L.; LI, Z. Climatic Characteristics of Reference Evapotranspiration in the Hai River Basin and Their Attribution. **Water**, v. 6, p. 1482–1499, 2014.