

PRODUTIVIDADE DA ÁGUA DO COQUEIRO ANÃO COM IMAGENS LANDSAT 8 NO ESTADO DO CEARÁ, BRASIL

A. H. de C. Teixeira¹; J.F. Leivas²; F.R. de Miranda³; G. Bayma Silva⁴; E.A.M. Garçon⁵

RESUMO: No município de Camocim, estado do Ceará, a cultura do coqueiro gigante vem sendo substituída pela do coqueiro anão, para o mercado de água de coco. O estudo corrente visou análises da produtividade da água (PA) para subsídio a irrigação dessa nova cultura utilizando imagens Landsat 8 e de dados climáticos no ano de 2016. O algoritmo SAFER foi usado para a estimativa da evapotranspiração atual (ET) enquanto que para a produção de biomassa (BIO), o modelo da eficiência do uso da radiação (EUR) de Monteith foi aplicado. Os maiores valores da ET e da BIO, com médias dos pixels acima de 4,0 mm d⁻¹ e 140 kg ha⁻¹ d⁻¹, respectivamente, aconteceram de maio a julho, gerando valores da PA maiores que 3,5 kg m⁻³. Pelas tendências do indicador de umidade ET_r, a razão da ET para a evapotranspiração de referência (ET₀), perceberam-se condições de estresse hídrico, com seus valores abaixo de 0,60 a partir de agosto, o que reduziu os valores da PA. Considerando-se PA em termos de água de coco produzida, esta resultou em 0,52 e 0,26 L m⁻³ com base na ET e na soma da irrigação e precipitação, respectivamente.

PALAVRAS-CHAVE: Evapotranspiração, produção de biomassa, *Cocos nucifera*.

WATER PRODUCTIVITY OF DWARF COCONUT WITH LANDSAT 8 IMAGES IN THE CEARÁ STATE, BRAZIL

ABSTRACT: In the Camocim County, Ceará state, the giant coconut crop is being replaced by the dwarf one, for the coconut's water market. The current study aimed the water productivity (WP) assessments for subsidizing irrigation of this new crop, by using Landsat 8 images together with weather data during the year 2016. The SAFER algorithm was used to estimate the actual evapotranspiration (ET), while for the biomass production (BIO) we applied

¹ Pesquisador, Embrapa Monitoramento por Satélite, CEP 13070-115, Campinas, SP. Fone (19) 32116200. e-mail: heriberto.teixeira@embrapa.br

² Pesquisador, Embrapa Monitoramento por Satélite, Campinas, SP.

³ Pesquisador, Embrapa Agroindústria Tropical, Fortaleza, CE.

⁴ Analista, Embrapa Monitoramento por Satélite, Campinas, SP.

⁵ Analista, Embrapa Monitoramento por Satélite, Campinas, SP.

the Monteith's radiation use efficiency model (RUE). The highest ET and BIO values, with mean pixel values above 4.0 mm d^{-1} and $140 \text{ kg ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$, respectively, happened from May to July, retrieving WP values above 3.5 kg m^{-3} . From the tendencies of ET_r moisture indicator, the ratio of ET to reference evapotranspiration (ET_0), it was noticed water stress conditions, with its values dropping below 0.60 from the start of August, reducing the PA values. Considering WP in terms of coconut's water produced, it resulted in 0.52 and 0.26 L m^{-3} based on ET and on irrigation plus precipitation, respectively.

KEYWORDS: Evapotranspiration, biomass production, *Cocos nucifera*.

INTRODUÇÃO

O coqueiro (*Cocos nucifera* L.) tem sido cultivado comercialmente entre as latitudes 20°N e 20°S , destacando-se a faixa litorânea do Brasil (Souza et al., 2011). As quantificações e análises dos componentes da produtividade da água na cultura são escassas (Miranda et al., 2007), ganhando mais importância com às recentes ocorrências de escassez hídrica climática em algumas regiões de cultivo. Nestas circunstâncias o uso do sensoriamento remoto por imagens de satélites é relevante (Silva, et al., 2012; Teixeira et al., 2013).

Para propósitos operacionais, o uso da equação de Penman-Monteith (PM) tem sido sugerido para aplicação com índices de vegetação remotamente obtidos, tais como o Índice da Diferença de Vegetação Normalizado (NDVI), em conjunto com dados climáticos (Nagler et al., 2013). A equação PM é também destacada na obtenção do coeficiente de cultura (Kamble et al., 2013), que é a razão da evapotranspiração atual (ET) pela de referência (ET_0) com a cultura sob ótimas condições de umidade na zona das raízes (Allen et al., 1998).

O objetivo do atual trabalho foi a aplicação do algoritmo SAFER (*Simple Algorithm for Evapotranspiration Retrieving*), o qual é baseado na equação PM, em conjunto com o modelo da eficiência do uso da radiação de Monteith - EUE (Teixeira et al., 2013, 2016), com imagens Landsat 8 (L8), dados climáticos e de produção, cobrindo as diferentes fases fenológicas do coqueiro ao longo do ano de 2016. Objetivou-se a quantificação dos componentes da produtividade da água, sendo os resultados úteis para subsidiar critérios para decisões gerenciais no manejo da cultura, no Nordeste do Brasil, em particular no estado do Ceará.

MATERIAL E MÉTODOS

A Figura 1 mostra a localização da área cultivada com a cultura do coqueiro anão na fazenda Boa Esperança, da empresa comercial Ducoco Alimentos S.A., no município de Camocim, estado do Ceará, Nordeste do Brasil, e a estação agrometeorológica cujos dados climáticos foram usados na modelagem em conjunto com os parâmetros obtidos por sensoriamento remoto.

O município de Camocim se localiza na mesorregião do Noroeste Cearense. As condições climáticas são caracterizadas por dois períodos, um seco - longo e outro úmido - curto e irregular, com concentração das chuvas no primeiro semestre (Kelting, 2010). O regime térmico da região é caracterizado por temperaturas elevadas com baixas amplitudes, devido à proximidade do equador (Moraes et al., 2006).

Os plantios de coqueiro anão verde, cv. Jiqui, foram realizados em 2013 (área A1), 2012 (área A2) e 2011 (área A3) no espaçamento triangular de 10 m x 10 m, onde antes era ocupada por coqueiros gigante, neste mesmo espaçamento. As plantas, com altura média de 5 m em 2016, são irrigadas diariamente por micro aspersão, com um emissor por planta, na vazão média de 70 L/h. As adubações são realizadas três vezes por ano, aplicando-se apenas composto orgânico e os cachos são colhidos a cada 21 dias. A emissão de inflorescências é maior nos meses de setembro a dezembro e menor nos meses de maio a junho.

Uma estação agrometeorológica foi instalada na fazenda (ver Figura 1), cujos dados foram usados em conjunto com imagens do satélite Landsat 8 no ano de 2016. Os parâmetros modelados por sensoriamento remoto foram o albedo da superfície (α_0) e o Índice da Diferença de Vegetação Normalizado (NDVI).

Na presença de nebulosidade para alguns dias de revisita do L8, interpolações sucessivas dos pixels de α_0 e NDVI foram aplicadas para a obtenção do indicador de umidade na zona das raízes, a razão de evapotranspiração ($ET_r = ET/ET_0$), e usadas com os dados climáticos para estes dias.

As bandas 1 a 7 foram consideradas na determinação de α_0 e NDVI, enquanto que a temperatura da superfície (T_0) foi obtida como resíduo no balanço de radiação. Detalhes da metodologia são descritos em Teixeira et al. (2013, 2016), sendo aqui resumidas apenas as equações principais.

O indicador de umidade ET_r , foi modelado na escala de tempo diária:

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

onde a_{sf} e b_{sf} são os coeficientes de regressão.

Os valores da ET_0 , calculados com os dados da estação agrometeorológica pelo método de Penman-Monteith (Allen et al., 1998), foram multiplicados pelas imagens resultantes da Eq. 1, fornecendo os valores da ET pixel a pixel nas parcelas.

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

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

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

Além da PA ser considerada como a razão da BIO para a ET, com dados de produção no ano de 2016, esta foi também obtida em termos de água de coco produzida.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os componentes do balanço hídrico climático, a precipitação (P) e a evapotranspiração de referência (ET_0) são apresentadas na Figura 2 em termos de Dia Juliano (DJ).

Ao longo do ano de 2016, as chuvas concentraram-se totalmente no primeiro semestre do ano com vários valores diários de P acima de 30 mm, sendo que de julho (DJ 191) até o final do ano não ocorreram precipitações, caracterizando-se como um período climaticamente muito seco, de acordo com o padrão climatológico (Kelting, 2010). Com relação à demanda atmosférica, como a localização é próxima do equador, a amplitude da ET_0 durante o ano é pequena, com os valores mais elevados ocorrendo a partir de setembro (DJ 245), quando coincide com o período climaticamente mais seco do ano, com as médias de ET_0 ultrapassando $5,0 \text{ mm d}^{-1}$, intensificando o déficit no balanço hídrico climático.

A Figura 3 apresenta as distribuições espaciais dos valores diários médios trimestrais dos componentes dos componentes da produtividade da água no cultivo de coqueiro anão irrigado, envolvendo diferentes condições termo hídricas e idades das plantas ao longo do ano de 2016, no município de Camocim, estado do Ceará, Nordeste do Brasil.

Claramente podem ser vistas diferenças espaciais nos valores espaciais de ET, BIO e PA nas áreas A1 (três anos de idade), A2 (quatro anos de idade) e A3 (cinco anos de idade), de

acordo com o período do ano. Maiores valores de todos estes componentes ocorreram no segundo trimestre (T2), compreendendo o final do período chuvoso, condições em que as zonas das raízes das plantas estiveram com bom nível de umidade. Os valores inferiores aconteceram no terceiro trimestre (T3), período climaticamente mais seco do ano, apontando para um provável não atendimento aos requerimentos hídricos via irrigação.

No caso da ET e da BIO, as maiores variações espaciais foram para o primeiro trimestre (T1), período chuvoso, quando os desvios padrões foram respectivamente 19 e 25% dos valores médios, enquanto que as menores aconteceram em T2, logo após as chuvas, quando os valores correspondentes foram 16 e 22%. Enquanto que no caso da PA estes períodos foram no T3 (11%) e no T1 (8%).

A Figura 4 mostra as tendências dos valores médios diários da ET, BIO e PA em termos de Dia Juliano (DJ), nas áreas com coqueiro anão de três (A1), quatro (A2) e cinco (A3) anos de idade no município de Camocim, estado do Ceará, Nordeste do Brasil.

Os maiores valores de ET ocorreram do final de maio ao final de julho (DJ 150 a 214), chegando a médias diárias de 4,5 mm dia⁻¹ nas áreas com plantas de três anos de idade (A1). Neste período de pico, os valores máximos nas áreas A2 (quatro anos de idade) e A3 (cinco anos de idade) foram de 4,3 e 4,1 mm dia⁻¹, respectivamente. O limite inferior em torno de 1,0 mm dia⁻¹ em toda as áreas ocorreu em abril (DJ 102), no final do período chuvoso, enquanto que as médias anuais variaram de 2,6 a 2,9 mm dia⁻¹ entre as diferentes áreas.

Silva et al. (2012) encontraram valores de ET acima de 5,0 mm dia⁻¹ com a aplicação do algoritmo SEBAL em coqueiro anão irrigado na época mais quente da região semiárida do estado da Paraíba. No estado de Sergipe, Azevedo et al. (2006), usando o método do balanço hídrico no solo, reportaram médias de 2,5 a 3,2 mm dia⁻¹ para plantas com seis anos de idade, de acordo com a quantidade de água aplicada na irrigação. Uma das razões das diferenças entre os valores de ET resultantes de medições pontuais e por sensoriamento remoto, é que neste último caso os resultados representam médias dos pixels.

Como há uma relação entre a ET a BIO (Teixeira et al., 2013), os valores máximos destes dois componentes ocorreram nos mesmos períodos, chegando a médias diárias da BIO de 170 kg ha⁻¹ dia⁻¹ na área A1. Os valores máximos nas áreas A2 e A3 foram de 137 e 132 kg ha⁻¹ dia⁻¹, respectivamente. Entretanto, o limite inferior em torno de 36 kg ha⁻¹ dia⁻¹ em toda as áreas ocorreu em fevereiro (DJ 054), no período chuvoso, como consequência da redução da disponibilidade da radiação solar limitando a atividade fotossintética, enquanto que as médias anuais variaram de 73 a 84 kg ha⁻¹ dia⁻¹ entre as diferentes áreas.

Na região semiárida do polo Petrolina/Juazeiro, Teixeira et al. (2013) utilizando imagens MODIS encontraram valores diários da BIO entre 33 e 103 kg ha⁻¹ dia⁻¹ com média de 68 kg ha⁻¹ dia⁻¹ para culturas irrigadas. Apesar de resoluções espaciais de imagens de satélites diferentes, a similaridade dos resultados, trazem confiança na aplicação conjunta dos modelos SAFER e EUR nas condições semiáridas do Estado do Ceará.

Com relação à PA do coqueiro anão, os períodos de valores máximos coincidem com aqueles para a ET e BIO, chegando a 3,7 kg m⁻³ na área A1. Neste período, os valores máximos nas áreas A2 e A3 foram de 3,4 e 3,3 kg m⁻³, respectivamente. Entretanto os valores mais baixos de 2,3 kg m⁻³ aconteceram de setembro a novembro (DJ 262 a 310).

Na região semiárida do polo Petrolina/Juazeiro, Teixeira et al. (2013) utilizando imagens MODIS encontraram valores médios diários da PA entre 1,8 e 3,2 kg m⁻³ para culturas irrigadas, com média de 2,6 kg m⁻³. No estudo corrente, com dados de produção e irrigação na área A2, foi possível obter também a PA em termos de água de coco produzida, a qual resultou em 0,52 e 0,26 L m⁻³ com base na ET e na soma da irrigação e precipitação, respectivamente. De acordo com Teixeira et al. (2013), a magnitude da diferença da PA nestas duas bases é um indicativo da eficiência no manejo de irrigação, ou seja, quanto menor a diferença, melhor o manejo.

A Figura 5 mostra as tendências dos valores médios diários do indicador de umidade na zona das raízes ET_r (Eq. 1), nas áreas com coqueiro anão de três (A1), quatro (A2) e cinco (A3) anos de idade no município de Camocim, estado do Ceará, Nordeste do Brasil.

Os valores da ET_r apresentaram valores médios entre 0,36 (DJ 310, 05 de novembro) na área A3 e 1,08 em junho (DJ 166-182) na área A1. Os limites superiores de ET_r podem ser considerados os valores de K_c para a cultura do coqueiro anão (Allen et al., 1998). Com exceção do período de 02 de setembro (DJ 246) a 05 de novembro (DJ 310), quando a ET_r caiu abaixo de 0,40, as condições de umidade na zona das raízes se apresentaram boas, com médias anuais de 0,67 (área A2) a 0,75 (área A1). Mesmo que a irrigação tenha sido monitorada com hidrômetro apenas na área A2, pelo comportamento similar da ET_r em todas as áreas da fazenda, no período de ausência das chuvas, considera-se que não houve grandes diferenças no manejo da água entre as áreas.

Os valores mais baixos de ET_r de setembro a novembro podem significar um não atendimento da irrigação aos requerimentos hídricos da cultura neste período. Uma explicação para isto poderia ser que ao término do período chuvoso, as irrigações acumuladas prévias de 108 mm entre 16 de maio a 16 de junho não foram suficientes para compensar a água consumida e/ou drenada, trazendo a umidade zona das raízes a um certo nível de estresse hídrico.

Entretanto, deve-se salientar que no primeiro semestre toda a superfície apresentava cobertura vegetal, pois durante o período chuvoso havia boas condições de umidade no solo, tanto sob os coqueiros, quanto nas entrelinhas. No entanto, a partir do DJ 195 as espécies das entrelinhas secaram, devido à irrigação ser localizada. Em virtude do largo espaçamento do plantio, os valores de fração do solo coberto pela cultura e fração do solo molhada pelo sistema de irrigação, estimados a partir de medições no campo, correspondiam a apenas 0,45 e 0,32, respectivamente. Esta condição reduz a ET enquanto que a demanda atmosférica é elevada, e então diminuindo ET_r .

SILVA et al. (2012) reportaram valor médio da ET_r de 0,73, em plantio de coqueiro anão irrigado, plantado em triângulo no espaçamento de 7,5 m x 7,5 m, enquanto que também neste espaçamento, MIRANDA et al. (2007) através do balanço hídrico no solo no litoral do Ceará reportaram valores ente 0,63 e 1,02. Os valores de ET_r destes estudos prévios foram muito similares ao do estudo corrente, aumentando a confiança na aplicação do SAFER com imagens Landsat 8 na cultura do coqueiro anão.

Os resultados indicam que o manejo da cultura do coqueiro anão nas condições estudadas deve atentar para o controle das ervas invasoras nas entrelinhas na época chuvosa, como por exemplo pelo emprego de cobertura morta, concentrando o consumo da água disponível apenas para as plantas de coqueiro. Por outro lado, o emprego desta cobertura ajudaria a conservação da umidade na zona das raízes nos períodos climaticamente mais secos.

CONCLUSÕES

O uso conjunto de imagens Landsat 8 e dados climáticos permitiu a quantificação e análises dos componentes da produtividade da água em nível de parcelas de irrigação do coqueiro anão com diferentes idades durante o ano de 2016, no município de Camocim, estado do Ceará, Nordeste do Brasil. Foi demonstrado que os valores diários da evapotranspiração, (ET), produção de biomassa (BIO) e da produtividade da água baseada na ET (PA) podem ser estimados através de medições das radiações nas faixas do visível e infravermelho próximo juntamente com dados climáticos obtidos próximos à cultura. Analisando-se o indicador de umidade na zona das raízes, a razão de evapotranspiração (ET_r), houve diferenças expressivas nos seus valores entre os períodos chuvoso e seco, independentemente da idade do plantio, evidenciando a necessidade de controle da vegetação nas entrelinhas na época chuvosa, visando a conservação da umidade na zona das raízes para um nível ótimo nos períodos mais secos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration-guidelines for computing crop water requirements. FAO irrigation and drainage paper 56. FAO, Rome, v. 300, n. 9, p. D05109, 1998.
- AZEVEDO, P. V.; SOUSA, I. F.; SILVA, B.B da; SILVA, V. de P.R. Water-use efficiency of dwarf-green coconut (*Cocos nucifera* L.) orchards in northeast Brazil. *Agricultural Water Management*, V. 84, p. 259-264, 2006.
- KAMBLE, B.; KILIC A.; HUBARD, K. Estimating crop coefficients using remote sensing-based vegetation index. *Remote Sensing*, V. 5, p. 1588-1602, 2013.
- KELTING, F.M.S. O Clima e a Paisagem da Bacia Hidrográfica do Litoral: Estado do Ceará. *Boletim Goiano de Geografia*, v. 29, n. 2, p. 83-99, 2010.
- MIRANDA, F.R.; GOMES, A.R.M.; OLIVEIRA, C.H.C. de; MONTENEGRO, A.A.T.; BEZERRA, F.M.L. Evapotranspiração e coeficientes de cultivo do coqueiro anão-verde na região litorânea do Ceará. *Revista Ciência Agronômica*, V. 38, n. 2, p. 129-135, 2007.
- MORAES, J.O.; FREIRE, G.S.; PINHEIRO, L.S.; SOUZA, M.J.N.; CARVALHO, A.M.; PESSOA, P.R.S.; OLIVEIRA, S.H.M. In: MUEHE, D. (Org.). *Erosão e Progradação no Litoral Brasileiro*. Brasília: MMA, 2006. p. 131-154.
- NAGLER, P.L. GLENN, E. P.; NGUYEN, U.; SCOTT, R. L.; DOODY, T. Estimating riparian and agricultural actual evapotranspiration by reference evapotranspiration and MODIS enhanced vegetation index. *Remote Sensing*, V. 5, p. 3849-3871, 2013.
- SILVA, B. B.; BRAGA, A.C.; BRAGA, C.C.; OLIVEIRA, L.M.M. de; GALVÍNCIO, J.D.; MONTENEGRO, S.M.G.L. Evapotranspiração e estimativa da água consumida em perímetro irrigado do semiárido brasileiro por sensoriamento remoto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, V. 47, p. 1218-1226, 2012.
- SOUSA, I.F.; NETTO, A.O.A; CAMPECHE, L.F.M.S.; BARROS, A.C.; da SILVA, V.P.S.; AZEVEDO, P.V. de. Lisímetro de pesagem de grande porte. Parte II: Consumo hídrico do coqueiro anão verde irrigado. *Revista Brasileira Agrícola de Engenharia Agrícola e Ambiental*, V. 15, p. 526-532, 2011.

TEIXEIRA, A.H de C.; SCHERER-WARREN, M.; HERNANDEZ, F.B.T.; ANDRADE, R.G.; LEIVAS, J.F. Large-Scale Water Productivity Assessments with MODIS Images in a Changing Semi-Arid Environment: A Brazilian Case Study. *Remote Sensing*, V. 5, p. 5783-5804, 2013.

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

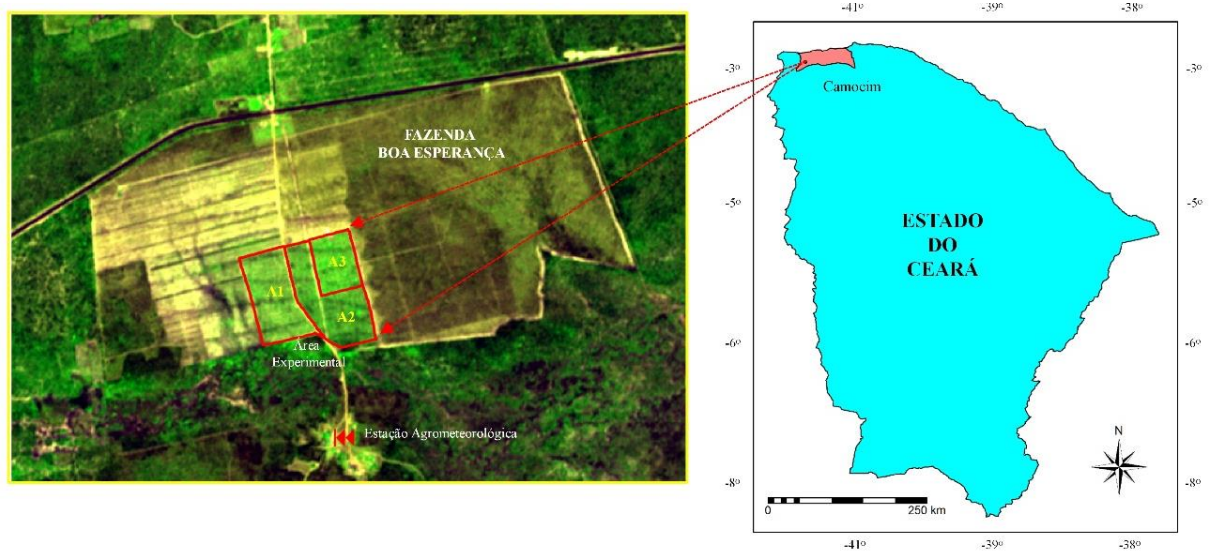


Figura 1. Localização da área com a cultura do coqueiro anão na fazenda Boa Esperança, da empresa comercial Ducoco Alimentos S.A., município de Camocim, estado do Ceará, Nordeste do Brasil, e a estação agrometeorológica usada na modelagem.

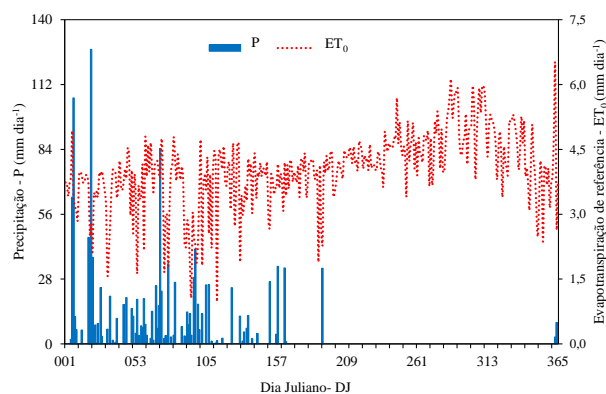


Figura 2. Tendências dos valores diários da precipitação (P) e da evapotranspiração de referência (ET_0) durante o ano de 2016 no município de Camocim, estado do Ceará, Nordeste do Brasil.

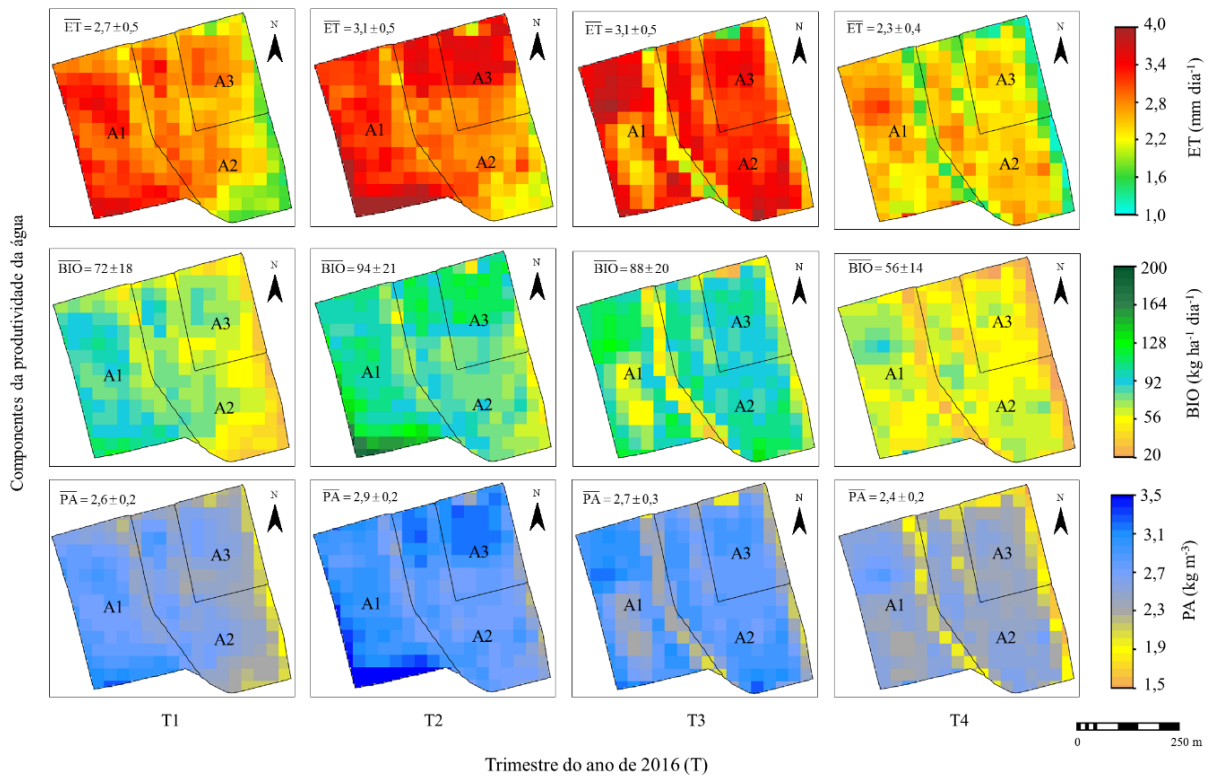


Figura 3. Distribuição espacial dos valores diários médios trimestrais (T) no ano de 2016, dos componentes da produtividade da água na cultura do coqueiro anão irrigado com três (A1), quatro (A2) e cinco (A3) anos de idade. Evapotranspiração atual (ET); produção de biomassa (BIO), e produtividade da água baseada na ET (PA).

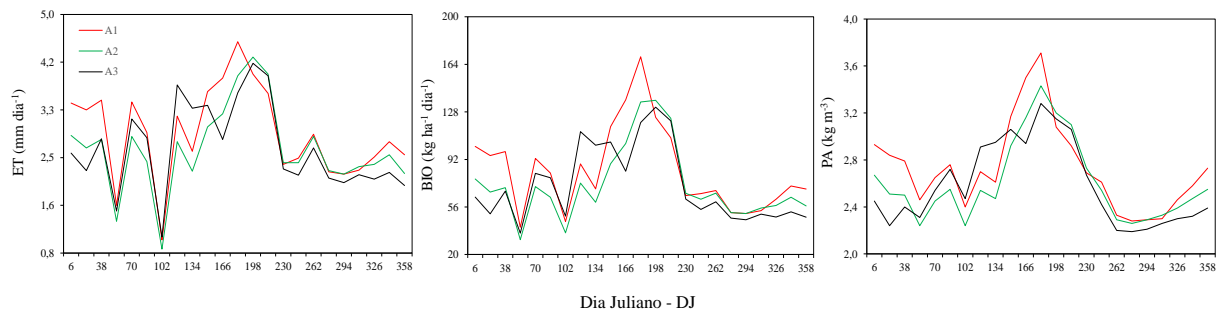


Figura 4. Tendências dos valores médios diários da evapotranspiração atual (ET), produção de biomassa (BIO), e da produção de biomassa baseada na ET (PA) em termos de Dia Juliano (DJ), nas áreas de coqueiro anão com três (A1), quatro (A2) e cinco (A3) anos de idade, durante o ano de 2016 no município de Camocim, estado do Ceará, Nordeste do Brasil.

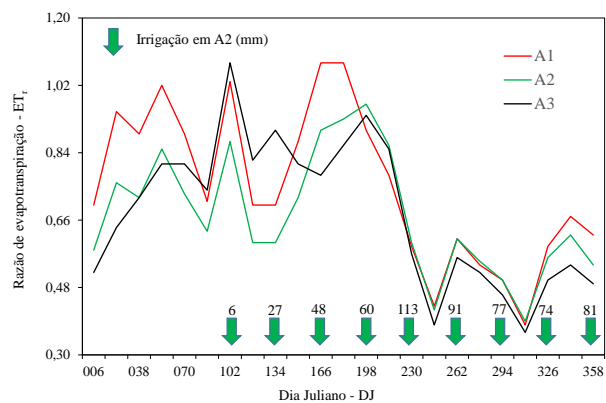


Figura 5. Tendências do indicador razão de evapotranspiração (ET_r) nas áreas de coqueiro anão com três (A1), quatro (A2) e cinco (A3) anos de idade, durante o ano de 2016, no município de Camocim, estado do Ceará, Nordeste do Brasil. As setas verdes representam as lâminas de irrigação acumuladas nos 30 dias anteriores na área A2.