

ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO EM SISTEMAS INTEGRADOS NO CERRADO, UTILIZANDO O ALGORITMO SAFER

LEONNARDO CRUVINEL FURQUIM¹; DANIEL NOE COAGUILA NUÑEZ²;
EPITÁCIO JOSÉ DE SOUZA³; JOSÉ MATEUS KONDO SANTINI⁴; JULIANA
SILVA RODRIGUES CABRAL⁵ E LUÍS FERNANDO STONE⁶

¹ Universidade Federal de Goiás, Av. Esperança, s/n - Chácaras de Recreio Samambaia, CEP: 74690-900, Goiânia, Goiás, Brasil, leonnardolp@hotmail.com

² Faculdade Unibras, departamento de agronomia, Faculdade Unibras, Rua Doze de Outubro, 42, Jardim Adriana, CEP: 75906-577, Rio Verde, Goiás, Brasil, tuheraldo@gmail.com

³ Faculdade Unibras, departamento de agronomia, Faculdade Unibras, Rua Doze de Outubro, 42, Jardim Adriana, CEP: 75906-577, Rio Verde, Goiás, Brasil, epitacio.agro@gmail.com

⁴ Faculdade Unibras, departamento de agronomia, Faculdade Unibras, Rua Doze de Outubro, 42, Jardim Adriana, CEP: 75906-577, Rio Verde, Goiás, Brasil, santini@faculdadeobjetivo.com.br

⁵ Faculdade Unibras, departamento de agronomia, Faculdade Unibras, Rua Doze de Outubro, 42, Jardim Adriana, CEP: 75906-577, Rio Verde, Goiás, Brasil, jsrcabral@gmail.com

⁶ Embrapa Arroz e Feijão, km 12 - Zona Rural GO-462, CEP: 75375-000, Santo Antônio de Goiás, Goiás, Brasil, luis.stone@embrapa.br

1 RESUMO

O Cerrado apresenta-se frequentemente degradado, com cursos de água assoreados, nascentes desprotegidas e ausência de matas ciliares, evidenciando a incapacidade de gerar e armazenar água para atender a demanda agrícola e populacional. Sendo assim, torna-se importante avaliar os fluxos hídricos acima do solo nos novos sistemas integrados instalados na região, com o uso combinado de imagens de satélite Sentinel-2 no período de 2017-2019 e informações provenientes de estações meteorológicas. Para tanto, utilizou-se o modelo SAFER para estimativa da evapotranspiração atual, resultando em média de 1,15 mm dia⁻¹, com valor máximo e mínimo de 3,69 e 0,00 mm dia⁻¹, respectivamente. No tratamento integração pecuária-floresta observou-se a maior média de ET_a (1,33 mm dia⁻¹) e, no tratamento pastagem degradada, a menor média de ET_a (0,96 mm dia⁻¹). Porém, o tratamento pastagem degradada teve a menor variabilidade (0,96 ± 0,78 mm dia⁻¹) e o tratamento integração lavoura pecuária-floresta para silagem apresentou a maior variabilidade (1,26 ± 1,40 mm dia⁻¹). Os sistemas integrados se adequaram à sazonalidade da região, sofrendo estresse hídrico na época seca e com heterogeneidade espaço-temporal na época úmida.

Palavras-chave: integração pecuária-floresta, modelagem, sensoriamento remoto, sentinel-2.

FURQUIM, L. C.; COAGUILA-NUÑEZ, D. N.; SOUZA, E. J. de; SANTINI, J. M. K.;
CABRAL, J. S. R.; STONE, L. F.

ESTIMATION OF EVAPOTRANSPIRATION IN INTEGRATED SYSTEMS
IN CERRADO USING SAFER ALGORITHM

2 ABSTRACT

Cerrado is often degraded, with silted water courses, absence of riparian forests and unprotected springs, leading to the inability to generate and store water to meet current demand. Therefore, it is important to assess the water flows above ground in the new integrated systems installed in the region, with the combined use of Sentinel-2 satellite images in the period 2017-2019 and information from weather stations. Therefore, the SAFER model was used to estimate the current evapotranspiration, resulting in an average of 1.15 mm day⁻¹, with a maximum and minimum value of 3.69 and 0.00 mm day⁻¹, respectively. In the livestock-forest integration treatment, the highest mean ETa was observed (1.33 mm day⁻¹) and, in the degraded pasture treatment, the lowest mean ETa (0.96 mm day⁻¹) was observed. However, the degraded pasture treatment had the lowest variability (0.96 ± 0.78 mm day⁻¹) and the crop-livestock-forest integration treatment for silage showed the highest variability (1.26 ± 1.40 mm day⁻¹). The integrated systems were adapted to the region's seasonality, suffering water stress in the dry season and with space-time heterogeneity in the wet season.

Keywords: livestock-forest integration, modeling, remote sensing, sentinel-2.

3 INTRODUÇÃO

Sistemas integrados com o intuito de melhorar o uso da terra têm sido implantados em diversos arranjos e áreas visando não só o incremento produtivo na agricultura, pecuária e silvicultura, mas também para atender as demandas de cultivos mais sustentáveis e conservacionistas de solo e água.

A presença de água disponível é o principal fator limitante da produção agropecuária em todos os tipos de ambientes (IPCC, 2014) e ainda mais em biomas altamente dependentes do recurso hídrico, como o Cerrado. Nesse bioma, as precipitações pluviais irregulares e heterogeneamente distribuídas resultam em déficits hídricos sucessivos, carregando, assim, à agropecuária de incertezas (COAGUILA et al., 2017). As perdas de água nesse bioma se devem principalmente à evapotranspiração, o que possibilita o adequado desenvolvimento da vegetação, desde que em conjunto com um manejo apropriado. Assim, tem-se constatado efeitos positivos no microclima da presença de árvores, tanto em ambientes tropicais como subtropicais, interferindo sobre os

principais componentes da demanda evaporativa atmosférica, o que permite redução da evapotranspiração e aumento na quantidade de água retida no solo (TRECENTI et al., 2008).

A evapotranspiração é considerada um importante parâmetro agrometeorológico para o planejamento e manejo da irrigação (CARVALHO et al., 2011). Contudo, a sua determinação em grande escala é difícil (COAGUILA, 2017). Assim, o Simple Algorithm for Evapotranspiration Retrieving (SAFER) tem mostrado ser uma ferramenta eficiente na estimativa da evapotranspiração utilizando imagens de satélite e dados meteorológicos (TEIXEIRA, 2010; TEIXEIRA et al., 2012; COAGUILA, 2017). O SAFER é um algoritmo multiespectral de simples aplicação, prescinde das condições hidrológicas extremas e não é necessária a classificação da vegetação, e ainda com a vantagem de operar sem o uso da banda termal, trabalhando em conjunto com dados meteorológicos provenientes de estações automáticas e/ou convencionais, possibilitando a avaliação das tendências históricas da evapotranspiração

(TEIXEIRA et al., 2013; COAGUILA, 2017).

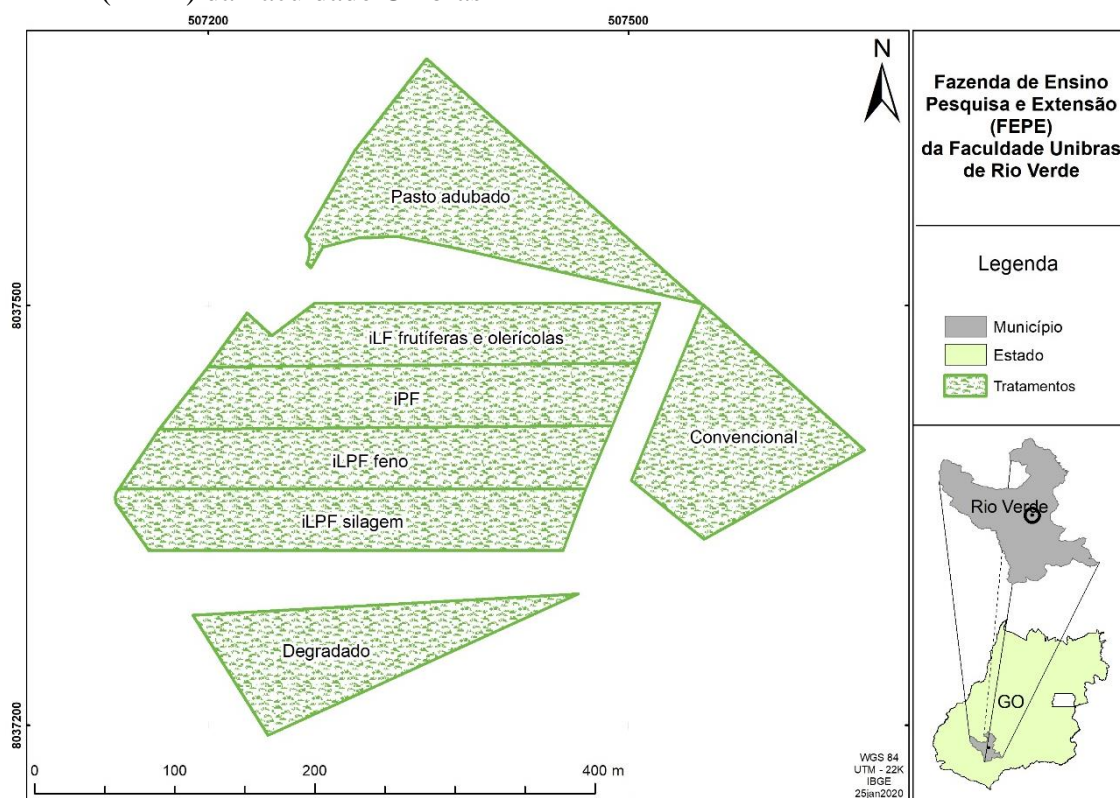
Diante do exposto, objetivou-se estimar a evapotranspiração atual em sistemas integrados no sudoeste goiano durante as épocas seca e chuvosa dos anos 2017 - 2019, utilizando o modelo SAFER com auxílio de imagens do satélite Sentinel-2 e dados agrometeorológicos.

4 MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo está localizada na Fazenda de Ensino Pesquisa e Extensão (FEPE) da Faculdade Unibras, no município de Rio Verde - Goiás, nas coordenadas geográficas 17,75° S e 50,93° O, com 760 m de altitude (Figura 1). Uma área de aproximadamente 9,1 ha da FEPE vem sendo utilizada no projeto de recuperação de pastagens degradadas por meio de sistemas integrados da Unibras.

O experimento teve sete tratamentos com o intuito de avaliar diferentes tipos de reforma de pastagem no Bioma Cerrado: Pasto Degradado (testemunha); Adubação de Pasto Degradado (calagem e adubação a lanço); Reforma Convencional (revolvimento do solo, calagem, semeadura e adubação -com realização de um corte para feno); Integração Lavoura-Floresta (ILF; plantio de frutíferas e olerícolas - banana, abacaxi, melancia e mandioca); Integração Pecuária-Floresta (IPF; plantio de pastagem para pastejo imediato com construção de cercas elétricas a 1 m de distância das linhas de floresta); Integração Lavoura-Pecuária-Floresta feno (ILPF feno; -plantio de pastagem para produção de feno); Integração Lavoura-Pecuária-Floresta silagem (ILPF silagem; plantio de pastagem consorciado com sorgo forrageiro (BRS655) para produção de silagem). Todos os plantios e semeaduras entre renques de eucalipto.

Figura 1. Localização dos Sistemas Integrados na Fazenda de Ensino Pesquisa e Extensão (FEPE) da Faculdade Unibras



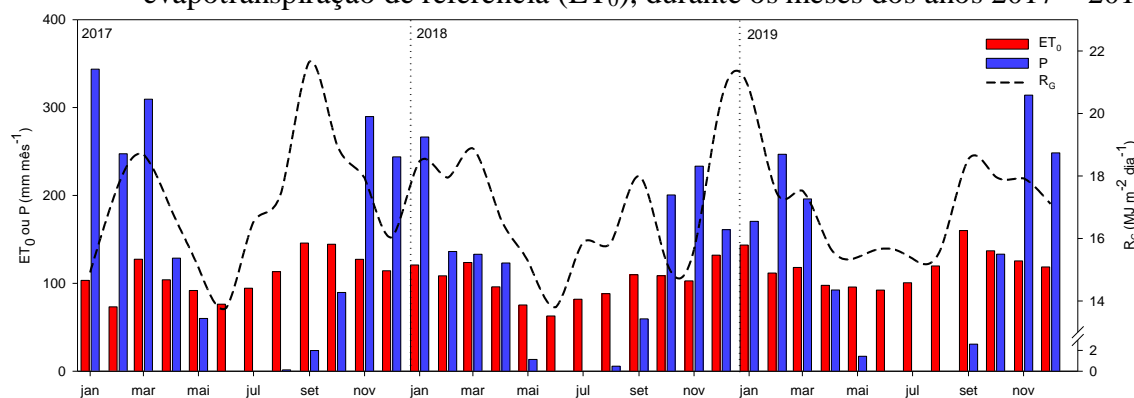
Fonte: Modificado de IBGE (www.ibge.gov.br)

Cada tratamento teve aproximadamente 1,3 há, implantados em dezembro de 2017. A pastagem semeada foi o híbrido BRS RB331 Ipyporã e as mudas de eucalipto plantadas foram do clone AEC-2111, com 22 m entre renques. A partir de junho de 2018, os animais – bezerras de raça girolando com 7/8 de pureza – foram inseridos nos sistemas Pasto Degradado, Adubação de Pasto Degradado e Integração Pecuária-Floresta. Ao término do experimento, a lotação média foi: Pasto Degradado = 1,36 UA/ha (com 507 dias de pastejo); IPF = 2,68 UA/ha (com 507 dias de pastejo); Adubação de Pasto Degradado = 1,68 UA/ha (com 507 dias de pastejo); Reforma Convencional = 2,05 UA/ha (com 355 dias de pastejo) - uma fenação e pastejo posteriormente; ILPF feno = 4,15 UA/ha (com 157 dias de pastejo) - duas fenações e pastejo posteriormente e ILPF silagem =

3,26 UA/ha (com 157 dias de pastejo) - duas fenações e pastejo posteriormente.

Foram adquiridas imagens livres de nuvens, para cada início de estação, do satélite Sentinel-2A (MSI; 22KEF), nível 1C, do U. S. Geological Survey (www.usgs.gov) para os anos 2017 a 2019, e as variáveis agrometeorológicas da estação meteorológica localizada no município de Rio Verde (Rio Verde-A025; 86753; www.inmet.gov.br), que forneceu os dados de entrada (Figura 2) para calcular a evapotranspiração de referência (ET_0 ; mm dia⁻¹) pelo método padrão FAO Penman-Monteith (ALLEN et al., 1998). Também a radiação global (R_G ; MJ m⁻² dia⁻¹) e a temperatura média do ar (T_a ; °C) que possibilitaram o cálculo da evapotranspiração atual (ET_a ; mm dia⁻¹) utilizando o modelo agrometeorológico espectral Simple Algorithm For Evapotranspiration Retrieving (SAFER).

Figura 2. Médias da radiação global (R_G) e totais de precipitação pluvial (P) e evapotranspiração de referência (ET_0), durante os meses dos anos 2017 – 2019.

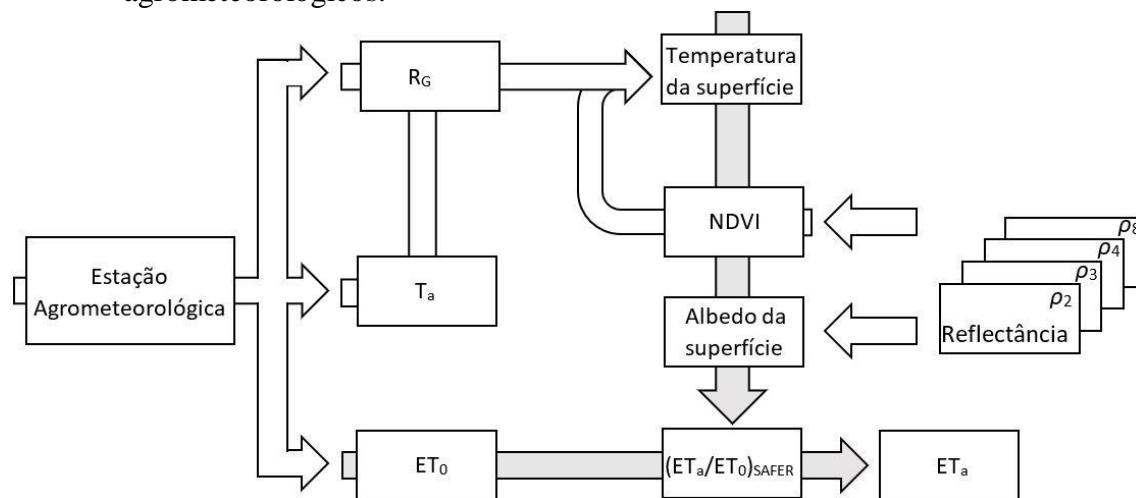


Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia (www.inmet.gov.br)

Previamente à estimativa da evapotranspiração atual via sensoriamento remoto, as imagens foram processadas com informações biofísicas (TEIXEIRA et al., 2015; COAGUILA et al., 2017; Figura 3) no software ArcMap™ 10.0 do ESRI na função de ciclagem de rotinas, Model Builder (COAGUILA, 2017) adaptado para imagens do Sentinel-2, que permite

reutilizar o algoritmo SAFER apenas alterando os dados de entrada (imagens de satélite multiespectrais e dados agroclimatológicos) para cada data de avaliação. Foram desconsideradas as linhas de eucalipto na extração dos dados, média e desvio padrão dos pixels, que constituem cada tratamento.

Figura 3. Fluxograma para a estimativa da evapotranspiração atual utilizando o modelo Simple Algorithm for Retrieving Evapotranspiration (SAFER) a partir de imagens do Sentinel-2 com ausência de banda termal em conjunto com dados agrometeorológicos.



ET_0 – evapotranspiração de referência (mm dia^{-1}), R_G – radiação global ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$), T_a – temperatura média do ar ($^{\circ}\text{C}$), ET_a – evapotranspiração atual (mm dia^{-1}).

Fonte: Adaptado de Coaguila (2017)

Os produtos do Nível-1C (Sentinel-2) incluem correções radiométricas e geométricas (ESA, 2015). O albedo planetário de banda larga no topo da atmosfera (α_{TOA}) foi calculado de acordo com a metodologia descrita em Furquim et al. (2018).

O índice de vegetação pela diferença normalizada (NDVI) é resultado da razão entre a diferença das reflectâncias do infravermelho próximo (ρ_{IVP}) e do vermelho (ρ_V) e a soma delas.

Os dados de α_{TOA} foram corrigidos atmosféricamente conseguindo assim os valores de albedo da superfície (α_0); a temperatura da superfície (T_0 , K) foi estimada como resíduo do balanço de radiação diário segundo Teixeira et al. (2015a):

$$\alpha_0 = 0,61 \cdot \alpha_{TOA} + 0,08 \quad (1)$$

$$T_0 = \sqrt[4]{\frac{R_G - \alpha_0 R_G + \epsilon_A \sigma T_a^4 - R_n}{\epsilon_S \sigma}} \quad (2)$$

Em que 0,61 e 0,08 são coeficientes de regressão, obtidos com diferentes tipos de vegetação e condições termohidrológicas; T_a , R_G são, respectivamente, valores temperatura média e radiação solar global diária mensurados pela estação agrometeorológica; R_n é saldo de radiação; ϵ_A e ϵ_S são, respectivamente, as emissividades da atmosfera e da superfície (TEIXEIRA et al., 2015); e σ é a constante de Stefan-Boltzmann ($5,67 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$).

O cálculo da razão da evapotranspiração atual e a de referência $(ET_a/ET_0)_{SAFER}$, foi obtido da adaptação da equação original (TEIXEIRA, 2010) para regiões sem calibração local (TEIXEIRA et al., 2015), utilizando o fator de correção $(ET_{0 \text{ ano}}/5)$, em que os dados da média anual da evapotranspiração de referência ($ET_{0 \text{ ano}}$) foram calculados a partir dos dados da estação de Rio Verde monitorada pelo INMET (3,60, 3,32 e 3,89 mm dia^{-1} , respectivamente, para os anos 2017, 2018 e 2019):

$$\left(\frac{ET_a}{ET_0}\right)_{SAFER} = \exp \left[1,8 - 0,008 \left(\frac{T_0}{\alpha_0 NDVI} \right) \right] \frac{ET_0 \text{ ano}}{5} \quad (3)$$

Em que 1,8 e 0,008 são coeficientes de regressão, obtidos com diferentes tipos de vegetação e condições termohidrológicas.

A evapotranspiração atual (ET_a , mm d^{-1}) foi obtida segundo Allen et al. (1998) e Teixeira et al. (2015):

$$ET_a = ET_0 \left(\frac{ET_a}{ET_0}\right)_{SAFER} \quad (4)$$

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com o uso do modelo multiespectral SAFER, em conjunto com dados de estação meteorológica e imagens de alta resolução espacial (Sentinel-2, Nível 1C), foram obtidos os valores médios do parâmetro biofísico, evapotranspiração atual (ET_a), em Rio Verde - Goiás. Assim, a maior e menor média da ET_a ocorreu nos tratamentos integração pecuária-floresta (1,33 mm dia^{-1}) e pastagem degradada (0,96 mm dia^{-1}), respectivamente. Porém, o tratamento

pastagem degradada teve a menor variabilidade ($0,96 \pm 0,78$ mm dia^{-1}), enquanto o tratamento integração lavoura pecuária-floresta para silagem apresentou a maior variabilidade ($1,26 \pm 1,40$ mm dia^{-1}) do parâmetro avaliado (Figura 4, Tabela 1).

Os resultados da maior e menor ET_a média foram 3,69 e 0,00 mm dia^{-1} (sem vegetação) no tratamento ILPF silagem e no final da época seca em todos os tratamentos, respectivamente (Figura 4 e Tabela 1), o que está de acordo com o comportamento climatológico da região, verão chuvoso e inverno seco (Figura 2), além do pastejo. A amplitude evapotranspirativa de 3,69 mm dia^{-1} (diferença entre a maior e menor ET_a) confirma a alta heterogeneidade do bioma pela exploração humana na região (IBGE, 2016) e a dependência do regime de chuvas (Figura 2). Resultados próximos aos valores da estação seca foram obtidos no Noroeste Paulista por Coaguila et al. (2015), Coaguila (2017) e Coaguila et al. (2017).

Tabela 1. Valores médios (\pm DP) da evapotranspiração atual (ET_a), em sistemas integrados, por tratamento, na Fazenda de Ensino Pesquisa e Extensão (FEPE) da Faculdade Unibras em Rio Verde – GO.

		PA	ILF	IPF	ILPF fe	ILPF si	PRC	PD
		----- (mm dia ⁻¹) -----						
2017	Abr. (18)	0,97 $\pm 0,24$	0,78 $\pm 0,15$	0,58 $\pm 0,11$	0,44 $\pm 0,15$	0,35 $\pm 0,13$	0,34 $\pm 0,13$	0,43 $\pm 0,22$
	Dez. (19)	1,49 $\pm 0,59$	0,01 $\pm 0,07$	SV	SV	SV	SV	0,96 $\pm 0,5$
2018	Mar. (29)	2,92 $\pm 0,52$	2,11 $\pm 0,47$	3,32 $\pm 0,41$	0,57 $\pm 0,2$	2,11 $\pm 0,54$	3,45 $\pm 0,25$	2,16 $\pm 0,23$
	Jun. (17)	1,05 $\pm 0,28$	0,34 $\pm 0,13$	0,91 $\pm 0,11$	0,95 $\pm 0,13$	0,84 $\pm 0,16$	0,74 $\pm 0,15$	0,81 $\pm 0,2$
	Set. (25)	SV	SV	SV	SV	SV	SV	SV
	Dez. (17)	1,79 $\pm 0,53$	1,34 $\pm 1,07$	2,79 $\pm 0,37$	3,58 $\pm 0,29$	3,69 $\pm 0,19$	1,69 $\pm 0,53$	1,02 $\pm 0,75$
2019	Mar. (13)	1,46 $\pm 0,37$	2,23 $\pm 0,65$	1,79 $\pm 0,35$	2,71 $\pm 0,27$	2,87 $\pm 0,29$	1,82 $\pm 0,37$	1,17 $\pm 0,21$
	Jun. (15)	0,8 $\pm 0,16$	0,26 $\pm 0,16$	0,71 $\pm 0,13$	0,29 $\pm 0,08$	0,27 $\pm 0,08$	0,35 $\pm 0,13$	0,73 $\pm 0,18$
	Set. (18)	SV	SV	SV	SV	SV	SV	SV
	Dez. (24)	2,62 $\pm 0,62$	3,06 $\pm 0,57$	3,21 $\pm 0,23$	2,48 $\pm 0,28$	2,51 $\pm 0,17$	2,01 $\pm 0,48$	2,28 $\pm 0,38$

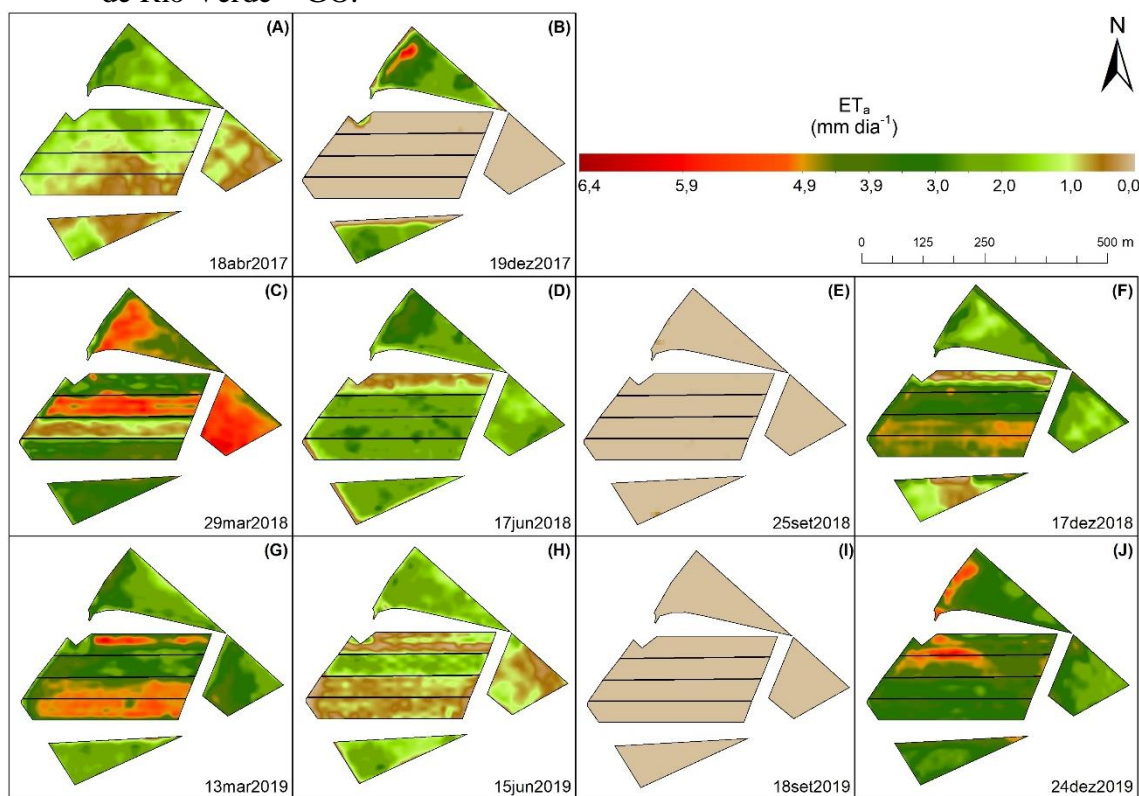
PA – Pasto Adubado; ILF - Integração Lavoura-Floresta, frutíferas e olerícolas; IPF - Integração Pecuária-Floresta; ILPF fe - Integração Lavoura-Pecuária-Floresta para feno; ILPF si - Integração Lavoura-Pecuária-Floresta para silagem; PRC – Pastagem recuperação convencional; PD – Pastagem degradada. SV – sem vegetação.

Em geral, os tratamentos registraram maiores taxas evapotranspirativas no período da época úmida e as menores no período da época seca, devido à disponibilidade de água e radiação no local (Tabela 1, Figura 2 e 4).

Os resultados da evapotranspiração atual (Tabela 1 e Figura 4) acompanham o regime climático da área em estudo (Figura 2), sendo que a precipitação está diretamente relacionada ao fornecimento de água no solo, e com a ET_a dependente da

umidade do solo e, pela influência do período seco, a vegetação apresenta-se com o dossel menos verde (ANDRADE et al., 2015). Esse dossel é condicionado pelo pastejo e lotação, tornando altamente heterogênea a área da pastagem, no que diz respeito à ET_a . E ainda, uma redução de biomassa da pastagem, redistribuição dos nutrientes e o impacto mecânico do pisoteio afetam quase todos os processos ecológicos, impactando a dinâmica da água (GIESE et al., 2019).

Figura 4. Distribuição espacial dos valores diários da evapotranspiração atual (mm dia^{-1}), em sistemas integrados na Fazenda Ensino, Pesquisa e Extensão da Faculdade Unibras de Rio Verde – GO.



Na Figura 4A, observa-se o uso da área antes do experimento, com área degradada com mais de 30 anos de uso em pecuária extensiva. Em 19 de dezembro de 2017 (Figura 4B), logo após a implantação experimental, as áreas onde houve o revolvimento do solo (aragem, subsolagem e gradagem) não apresentaram ET_a , devido à ausência de vegetação nesses tratamentos. Na Figura 4C observa-se que as áreas que foram renovadas com pastagem estão com elevada ET_a , com exceção do ILPF feno, pois, neste dia, realizava-se a fenação – corte do volume de forragem e envelopamento. Na Figura 4F observa-se a baixa ET_a devido à colheita de frutíferas, permanecendo apenas o plantio recente de mandioca e, nos tratamentos ILPF feno e ILPF silagem (Figura 4F e 4G), a alta evapotranspiração ocorre em áreas de rebrote após colheita para feno e silagem ocorridos, porém, ainda sem pastejo, diferentemente dos demais. Em 15 de junho

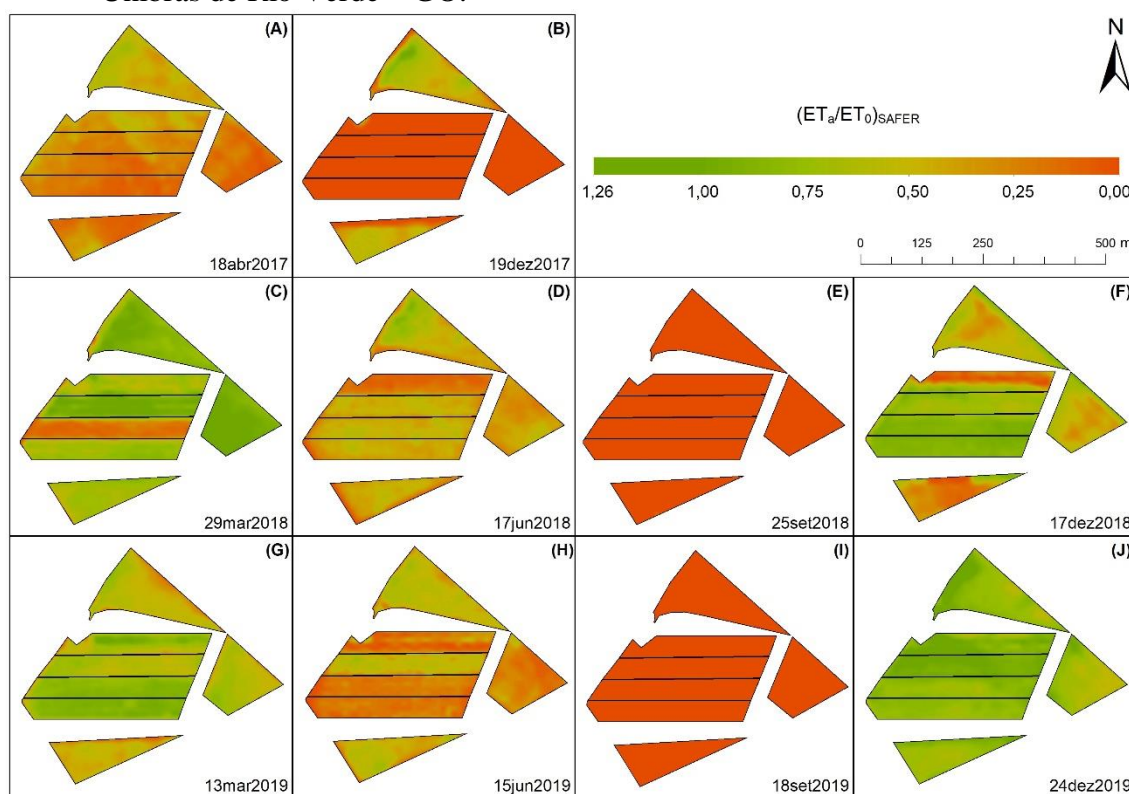
de 2019 (Figura 4H) os animais já pastejavam as áreas de ILPF feno e ILPF silagem, justificando a baixa ET_a e, no caso do convencional, valores inferiores se justificam por uma alta lotação durante o rodízio entre tratamentos, nos dias anteriores. Em novembro de 2019 os animais foram retirados da área, o que justifica a uniformidade da evapotranspiração entre tratamentos (Figura 4J). Nas Figuras 4E e 4I observam-se valores mínimos, assim como nas Figuras 5E e 5I, devido, provavelmente, à natureza dos tratamentos, por sua vez influenciados pelo período seco e pastejo intensivo.

Na estimativa da ET_a , em pastagem, os resultados condizem com a literatura. Assim, utilizando o SAFER em diferentes regiões do Brasil, em Pirassununga – SP, Bayma-Silva et al. (2016), utilizando imagens do Landsat 8, encontraram valores de 0,95 em sistema de pastejo rotacionado e 1,55 mm dia^{-1} para sistema contínuo. Em

pastagens de Aquidauana - MS, Andrade et al. (2015) estimaram valores de ET_a entre 1,3 e 1,9 $mm\ dia^{-1}$; em Alto Tocantins - GO, os valores da ET_a de pastagem moderadamente degradado e com forte

degradação foram, respectivamente, 1,36 e 1,05 $mm\ dia^{-1}$ (ANDRADE et al., 2014a), também foram descritas variações da ET_a em pastagem degradada entre 0,4 - 2,3 $mm\ dia^{-1}$ (ANDRADE et al., 2014b).

Figura 5. Distribuição espacial dos valores diários da razão $(ET_a/ET_0)_{SAFER}$ (adimensional), em sistemas integrados na Fazenda Ensino, Pesquisa e Extensão da Faculdade Unibras de Rio Verde – GO.



Utilizando o algoritmo Surface Energy Balance Algorithms for Land (SEBAL), Andrade et al. (2009) em Campo Grande – MS, numa área de pastagem a evapotranspiração variou entre 0,51 e 2,5 $mm\ dia^{-1}$. A evapotranspiração média obtida por Amazonas et al. (2014) numa área de pastagem em São João - PE foi 3,7 $mm\ dia^{-1}$. Em sistemas irrigados de pastejo rotacionado em Campos dos Goytacazes - RJ, Muniz et al. (2014) descreveram valores de evapotranspiração de 3,87 $mm\ dia^{-1}$; também em Piracicaba – SP em pastagem irrigada a evapotranspiração foi 4,24 $mm\ dia^{-1}$ (SILVA; FOLEGATTI; NOVA, 2005). Durante a época chuvosa, na região do Cerrado em Planaltina – GO, com

precipitações diárias de aproximadamente 100 mm e com IAF médio de 0,75, a evapotranspiração média foi 5,19 $mm\ dia^{-1}$ (MEIRELLES; FARIAS; FRANCO, 2003).

6 CONCLUSÃO

A variabilidade temporal da ET_a estimada pelo algoritmo multiespectral SAFER ajusta-se à sazonalidade da área em estudo, principalmente à radiação disponível e precipitação no local. Observando-se os maiores valores de ET_a , em ordem decrescente, nos tratamentos sistemas integrados, pastagem adubado,

pastagem recuperação convencional e pastagem degradada.

Todos os tratamentos tiveram estresse hídrico durante a época seca. Na

época úmida existe alta heterogeneidade espaço-temporal da ET_a devida, principalmente, aos próprios sistemas integrados instalados e método de pastejo.

7 REFERÊNCIAS

- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration-guidelines for computing crop water requirements**. Roma: FAO, 1998. v. 1. (Irrigation and Drainage Paper, 56).
- AMAZONAS, I. B. A.; ANTONINO, A. C. D.; SOARES, W. A.; LIMA, J. R. S.; MONTENEGRO, S. M. G. L. Avaliação da evapotranspiração de pastagem pelo método do domo. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Pernambuco, v. 7, n. 4, p. 716-723, 2014.
- ANDRADE, R. G.; BATISTELLA, M.; AMARAL, T. B.; MENEZES, S. J. M. C. Análise preliminar da variabilidade da evapotranspiração de pastagens com o uso de imagens orbitais. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROINFORMÁTICA, 7., 2009, Viçosa. **Anais [...]**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2009. p. 1-5.
- ANDRADE, R. G.; TEIXEIRA, A. H. C.; SANO, E. E.; LEIVAS, J. F.; VICTORIA, D. C.; NOGUEIRA, S. F. Evapotranspiração em pastagens com indicativos de degradação na bacia hidrográfica do Alto Tocantins. *In*: Inovagri International Meeting, 2., Fortaleza. **Anais [...]**. Fortaleza: Inovagri International Meeting, 2014a. p. 3052-3059.
- ANDRADE, R. G.; TEIXEIRA, A. H. C.; SANO, E. E.; LEIVAS, J. F.; VICTORIA, D. C.; NOGUEIRA, S. F. Pasture evapotranspiration as indicators of degradation in the Brazilian Savanna: a case study for Alto Tocantins watershed. **Proceedings of SPIE**, Amsterdam, v. 9239, p. 92391Z, out. 2014b.
- ANDRADE, R. G.; TEIXEIRA, A. H. C.; LEIVAS, J. F.; NOGUEIRA, S. F.; BAYMA-SILVA, G.; VICTORIA, D. C.; FACCO, A. G. Estimativa da evapotranspiração e da biomassa de pastagens utilizando o algoritmo SAFER e imagens MODIS. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 17., 2015, João Pessoa. **Anais [...]**. João Pessoa: INPE, 2015. p. 3664-3670.
- BAYMA-SILVA, G.; CASTRO TEIXEIRA, A. H.; VICTORIA, D. C.; FURLAN NOGUEIRA, S.; FREITAS LEIVAS, J.; COAGUILA, D. N.; RODRIGUES HERLING, V. Energy balance model applied to pasture experimental areas in São Paulo State, Brazil. *In*: Remote Sensing for Agriculture, Ecosystems, and Hydrology, 18., 2016, Edinburgh. **Anais [...]**. Edinburgh: SPIE, out. 2016. p. 99981C-1- 99981C-10.
- CARVALHO, L. G.; RIOS, G. F. A.; MIRANDA, W. L.; NETO, P. C. Evapotranspiração de referência: uma abordagem atual de diferentes métodos de estimativa. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 41, n. 3, p. 456-465, jul. 2011.

COAGUILA, D.; HERNANDEZ, F. B. T.; TEIXEIRA, A. H. C. Estacionalidade da evapotranspiração e produtividade da água na microbacia do córrego da Mula em Santa Fé do Sul - SP. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 9, n. 4, p. 232-238, set. 2015.

COAGUILA, D. N.; HERNANDEZ, F. B. T.; TEIXEIRA, A. H. C.; FRANCO, R. A. M.; LEIVAS, J. F. Water productivity using SAFER - Simple Algorithm for Evapotranspiration Retrieving in watershed. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 21, n. 8, p. 524-529, 2017.

COAGUILA, D. N. **Determinação da Evapotranspiração com aplicação do algoritmo SAFER em imagens LANDSAT na escala de microbacia**. 2017. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2017.

EUROPEAN SPACE AGENCY. **SENTINEL-2 User Handbook**. Paris: ESA, 2015. v. 1.

FURQUIM, L. C.; COAGUILA, D. N.; SANTINI, J. M. K.; CABRAL, J. S. R.; SOUZA, E. J.; TEIXEIRA, A. H. C.; BAYMA-SILVA, G.; NASCIMENTO, P. E. R.; STONE, L. F.; SOUCHIE, E. L.; BOLDRIN, M. C. F. Qualidade física, química e biológica do solo e sensoriamento remoto na recuperação de pastagens degradadas através de sistemas integrados. **Científic@ - Multidisciplinary Journal**, Goinésia, v. 5, n. 3, p. 145-160, nov. 2018.

GIESE, E.; ROCKLER, A.; SHIRMOHAMMADI, A.; PAVAO-ZUCKERMAN, M. Assessing Watershed-Scale Stormwater Green Infrastructure Response to Climate Change in Clarksburg, Maryland. **Journal of Water Resources Planning and Management**, Michigan, v. 145, n. 10, p. 05019015, out. 2019.

IBGE. **Downloads**. [s. l.]: IBGE, 2016. Disponível em: http://downloads.ibge.gov.br/downloads_geociencias.htm. Acesso em: 1 fev. 2016.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate Change 2014 Synthesis Report**. Copenhagen: IPCC, 2014.

MEIRELLES, M. L.; FARIAS, S. E. M.; FRANCO, A. C. **Balanco de Energia de uma Pastagem Cultivada no Cerrado**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2003. v. 1.

MUNIZ, R. A.; SOUSA, E. F.; MENDONÇA, J. C.; ESTEVES, B. S.; LOUSADA, L. L. Balanço de energia e evapotranspiração do capim Mombaça sob sistema de pastejo rotacionado. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, v. 29, n. 1, p. 47-54, mar. 2014.

SILVA, L. D. B.; FOLEGATTI, M. V.; NOVA, N. A. V. Evapotranspiração do capim Tanzânia obtida pelo método de razão de Bowen e lisímetro de pesagem. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 3, p. 705-712, dez. 2005.

TEIXEIRA, A. H. D. C.; SHERER-WARREN, M.; HERNANDEZ, F. B. T.; LOPES, H. L. Water productivity assessment by using MODIS images and agrometeorological data in the Petrolina municipality, Brazil. Edinburgh. **Proceedings of SPIE**, Edinburgh, v. 8531, p. 85310G1-85310G10, 2012.

TEIXEIRA, A. H. C. Determining Regional Actual Evapotranspiration of Irrigated Crops and Natural Vegetation in the São Francisco River Basin (Brazil) Using Remote Sensing and Penman-Monteith Equation. **Remote Sensing**, Basel, v. 2, n. 5, p. 1287-1319, maio 2010.

TEIXEIRA, A. H. C.; HERNANDEZ, F. B. T.; LOPES, H. L.; SCHERER-WARREN, M.; BASSOI, L. H. **Modelagem espaçotemporal dos componentes dos balanços de energia e de água no Semiárido brasileiro**. 1. ed. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2013. v. 1.

TEIXEIRA, A. H. C.; PADOVANI, C. R.; ANDRADE, R. G.; LEIVAS, J. F.; VICTORIA, D. C.; GALDINO, S. Use of MODIS images to quantify the radiation and energy balances in the Brazilian Pantanal. **Remote Sensing**, Basel, v. 7, n. 11, p. 14597-14619, 2015.

TRECENTI, R.; OLIVEIRA, M. C. ; HASS, G. **Integração lavoura-pecuária-silvicultura**. Brasília: MAPA/SDC, 2008. (Boletim técnico).