

## Estimativa da evapotranspiração e da biomassa de pastagens utilizando o algoritmo SAFER e imagens MODIS

Ricardo Guimarães Andrade<sup>1</sup>  
Antônio Heriberto de Castro Teixeira<sup>1</sup>  
Janice Freitas Leivas<sup>1</sup>  
Sandra Furlan Nogueira<sup>1</sup>  
Gustavo Bayma Siqueira da Silva<sup>1</sup>  
Daniel de Castro Victoria<sup>1</sup>  
Alexandro Gomes Facco<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Embrapa Monitoramento por Satélite - CNPM/EMBRAPA  
Av. Soldado Passarinho, 303, Fazenda Chapadão - 13070-115 - Campinas - SP, Brasil  
{ricardo.andrade, heriberto.teixeira, janice.leivas, sandra.nogueira, gustavo.bayma, daniel.victoria}@embrapa.br

<sup>2</sup> Universidade Federal do Espírito Santo - UFES/CEUNES  
Rod. BR 101 Norte, Km. 60, Bairro Litorâneo - 29932-540, São Mateus, ES, Brasil  
alexandro.facco@ufes.br

**Abstract.** This study aimed to apply the Simple Algorithm For Retrieving Evapotranspiration (SAFER) and MODIS images, along with field measurements to estimate evapotranspiration and biomass in a region delimited by a farm in the municipality of Aquidauna, Mato Grosso do Sul. Images MODIS and observational data from meteorological stations for the months June to September 2012 were used. According to the results presented, we conclude that the SAFER is a very promising algorithm for estimating evapotranspiration and pasture biomass, with emphasis in the possibility of pasture spatio-temporal monitoring in a large scale, order to obtain information for producer support in decision making in terms of planning and farm management by means of analysis of indicators related to economic and environmental sustainability of pasture areas.

**Palavras-chave:** pasture, remote sensing, pastagens, sensoriamento remoto, MODIS, SAFER.

### 1. Introdução

As técnicas de sensoriamento remoto têm sido fundamental por fornecer informações valiosas para a avaliação das condições da vegetação, auxiliando em tomadas de decisões que visam a melhoria dos sistemas produtivos locais. Em virtude do seu baixo custo, repetitividade e escala compatível, o sensoriamento remoto pode contribuir para a discriminação de pastagens com diferentes níveis de degradação e posterior quantificação dessas áreas para, por exemplo, que o governo (municipal, estadual e federal) possa ter conhecimento da magnitude e localização das regiões que precisam de maior atenção quanto ao desenvolvimento de políticas públicas com foco em recuperação de pastagens degradadas (Andrade, 2014a).

No caso do setor pecuário, atualmente, a identificação, a quantificação e o monitoramento da produtividade das pastagens são assuntos de grande interesse, pois existem incentivos do governo federal para aplicação de técnicas que favoreçam a produção agropecuária com sustentabilidade, a exemplo do programa Agricultura de Baixo Carbono (ABC), que prevê, entre suas ações, a implantação de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) como sistema promotor da recuperação de áreas de pastagens degradadas (Bolfe et al., 2012; Andrade et. al., 2014a).

As imagens orbitais provenientes dos mais diversos sensores remotos, por meio das diversas resoluções espectrais, temporais e espaciais, têm-se apresentado como relevantes fontes de informações com possibilidades de aplicações na caracterização das áreas de sistemas integrados, no monitoramento, no espaço e no tempo, das alterações no uso e na

cobertura das terras e, especialmente, na correlação de parâmetros biofísicos, como índices de área foliar, biomassa e carbono (Andrade et al., 2014a). Para obtenção de parâmetros biofísicos de superfície por meio de dados de sensoriamento remoto são utilizados modelos e algoritmos (Andrade et al., 2012; Andrade et al., 2014b).

O SAFER (Simple Algorithm For Evapotranspiration Retrieving) é um algoritmo simplificado que tem apresentado bons resultados na estimativa da evapotranspiração (ET) e da biomassa (Bio) em larga escala (Teixeira et al., 2013a). Esse algoritmo tem a vantagem de não ser obrigatória o uso da banda termal e de poder ser aplicado com dados meteorológicos provenientes de diferentes tipos de estações (agrometeorológicas, convencionais e automáticas) sendo essa uma característica importante por possibilitar a avaliação das tendências históricas dos componentes do balanço de energia e da produtividade da água em larga escala ao longo dos anos, haja vista que sensores automáticos são avanços relativamente recentes na tecnologia instrumental (Teixeira et al., 2013b).

Diante do exposto, este estudo objetivou aplicar o Simple Algorithm For Retrieving Evapotranspiration (SAFER) e imagens MODIS, juntamente com medições de campo, para estimar a ET e a Bio de pastagens em fazenda localizada na região do município de Aquidauana, MS.

## 2. Material e Métodos

A área de estudo abrange as pastagens da fazenda Olhos d'água, município de Aquidauana, MS (Figura 1).

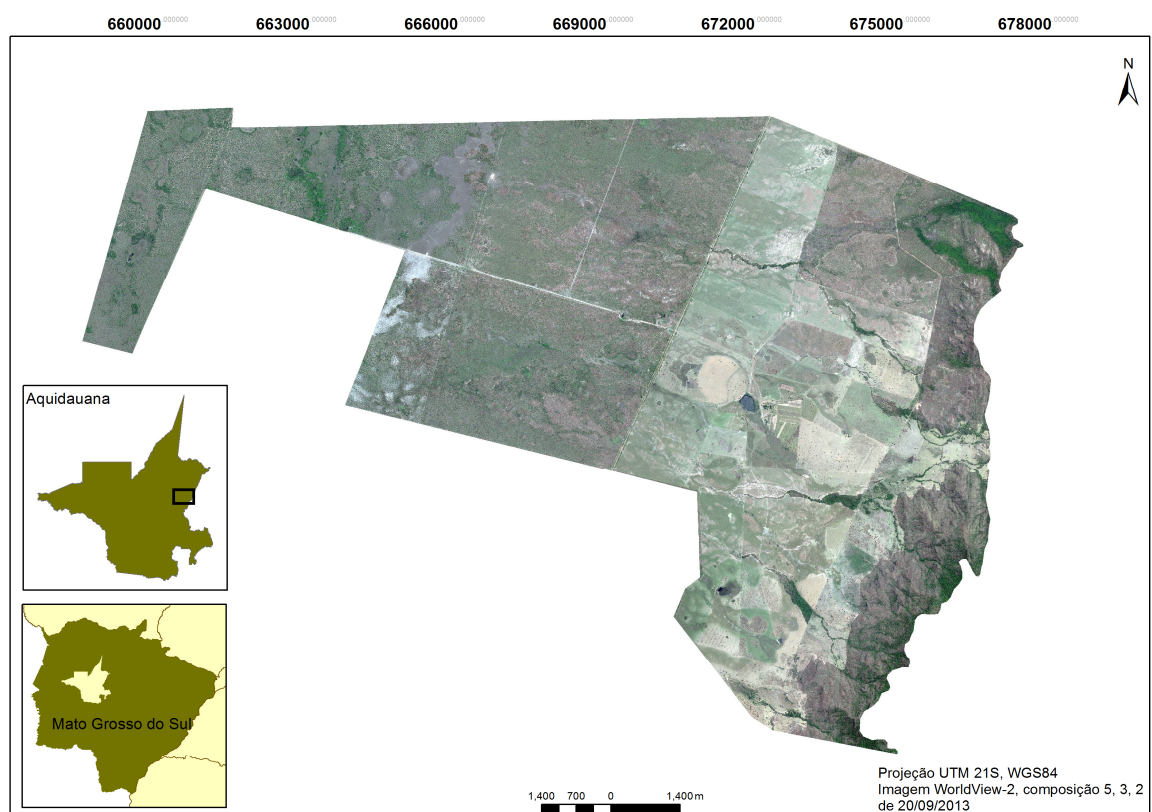


Figura 1. Localização da fazenda Olhos d'água, município de Aquidauana, MS.

Foi aplicado o algoritmo SAFER e estimou-se a evapotranspiração (ET). Para tanto, foram utilizados dados do sensor MODIS (síntese de 16 dias) para o período de junho a setembro de 2012 juntamente com dados de estações meteorológicas disponibilizados pelo

INMET. No SAFER, estimou-se o albedo de superfície ( $\alpha_0$ ) a partir das bandas 1 e 2 do MODIS com resolução espacial de 250m:

$$\alpha_0 = a + b\alpha_1 + c\alpha_2 \quad (2)$$

Em que,  $\alpha_1$  e  $\alpha_2$  são reflectâncias nas faixas espectrais das bandas 1 e 2 do sensor MODIS e a, b e c são coeficientes de regressão e que apresentam respectivamente os valores de 0,08, 0,41 e 0,14 (Teixeira et al., 2013a). Já a temperatura da superfície ( $T_0$ ) foi estimada como resíduo da equação do saldo de radiação diário ( $R_n$ ), descrita por:

$$R_n = (1 - \alpha_0) R_{s\downarrow} - a_t \tau_w \quad (3)$$

Em que,  $\alpha_0$  é o albedo da superfície;  $\tau_w$  é a transmissividade atmosférica;  $R_{s\downarrow}$  é a radiação de onda curta incidente;  $a_t$  é o coeficiente de regressão com distribuição espacial ao relacioná-lo com a temperatura do ar (Teixeira et al., 2013a). De posse das imagens de  $\alpha_0$ ,  $T_0$  e NDVI foi possível estimar a ET:

$$ET = \exp \left[ \beta + \eta \left( \frac{T_0}{\alpha_0 NDVI} \right) \right] ET_0 \quad (4)$$

Em que,  $\beta$  e  $\eta$  são os coeficientes de regressão, com respectivos valores de 1,8 e -0,008 (Teixeira et al., 2013a) e  $ET_0$  é a evapotranspiração de referência, dada em milímetros por dia ( $\text{mm d}^{-1}$ ), método Penman-Monteith, conforme boletim FAO N° 56 (Allen et al., 1998).

$$ET_0 = \frac{0,408 \times (R_n - G) + \left[ \gamma \times \left( \frac{900}{T + 273} \right) \times u_2 \times (e_s - e_a) \right]}{\Delta + \gamma \times (1 + 0,34 \times u_2)} \quad (5)$$

Em que,  $R_n$  é o saldo de radiação à superfície ( $\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$ ),  $G$  é a densidade de fluxo de calor no solo ( $\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$ ),  $T$  é a média diária da temperatura do ar ( $^{\circ}\text{C}$ ),  $u_2$  é a velocidade do vento a 2 metros de altura ( $\text{m s}^{-1}$ ),  $e_s$  é a pressão de vapor de saturação do ar (kPa),  $e_a$  é a pressão de vapor atual do ar (kPa),  $e_s - e_a$  é o déficit de pressão de vapor de saturação do ar (kPa),  $\Delta$  é a declividade da curva de pressão de vapor do ar na atmosfera ( $\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$ ) e  $\gamma$  é a constante psicrométrica ( $\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$ ).

Posteriormente, estimou-se o acúmulo de biomassa da vegetação para um dado período:

$$Bio = \sum (\varepsilon_{\max} \times E_f \times APAR \times 0,864) \quad (6)$$

Em que,  $Bio$  é o acúmulo de biomassa da vegetação ( $\text{kg ha}^{-1}$ ),  $\varepsilon_{\max}$  é a máxima eficiência do uso da radiação, considerou-se o valor de  $2,5 \text{ g MJ}^{-1}$  (Bastiaanssen e Ali, 2003),  $E_f$  é a razão entre o fluxo de calor latente ( $\lambda E$ , em  $\text{W m}^{-2}$ ) e o saldo de radiação ( $R_n$ ,  $\text{W m}^{-2}$ ) (Teixeira et al., 2012). Nesse caso, obteve-se  $\lambda E$  da cultura por meio dos valores de ET ao transformar a unidade  $\text{mm dia}^{-1}$  para  $\text{W m}^{-2}$ . Já o parâmetro APAR é a radiação fotossinteticamente ativa absorvida ( $\text{W m}^{-2}$ ) e foi estimada por meio da equação (Teixeira et al., 2009):

$$APAR = (-0,161 + 1,257 \times NDVI) \times 0,44 \times R_G \quad (7)$$

Em que,  $R_G$  é a radiação solar global incidente ( $\text{W m}^{-2}$ ) e o escalar 0,44 representa a porcentagem da  $R_G$  referente à radiação fotossinteticamente ativa (PAR).

### 3. Resultados e Discussão

Na Figura 2 visualizam-se os mapas de albedo de superfície para área delimitada pela fazenda Olhos d'água. Numa análise da distribuição espaçotemporal dos valores de albedo de superfície, foram observados valores mais altos (albedo  $> 0,16$ ) nos meses de agosto e setembro quando comparados aos resultados obtidos para os meses de junho e julho. Provavelmente, pelo fato da influência do período de seca (pouca chuva) a vegetação diminui

o vigor apresentando-se com o dossel menos verde (folhas mais secas) nos meses de agosto e setembro. Além disso, destaca-se que os valores obtidos estão próximos aos encontrados na literatura. Pereira et al. (2006) ao estudar a região do pantanal encontrou albedo para campo alagado de 0,07, para campo sujo de 0,11 e para mata ciliar de 0,14. Em estudo realizado no bioma Pantanal, Andrade et al. (2012) encontrou valores médios de albedo variando entre 0,11 e 0,13, para as classes de floresta estacional decidual (C) e semidecidual (F), formações pioneiras (P), savana estépica/chaco e refúgios vegetacionais (r). Nas classes de outras áreas antrópicas (OA) e de pecuária (Ap), o albedo médio foi de  $0,16 \pm 0,02$  e, para as classes de vegetação secundária (Vs) e savana/cerrado (S), foi de  $0,14 \pm 0,01$  e  $0,13 \pm 0,02$ , respectivamente. Na região amazônica, Moura et al. (1999) obtiveram albedo médio horário de 0,204 e 0,139 para áreas de pastagem e floresta, respectivamente, na época da seca, enquanto para época chuvosa foi de 0,197 para pastagem e 0,124 para a floresta.

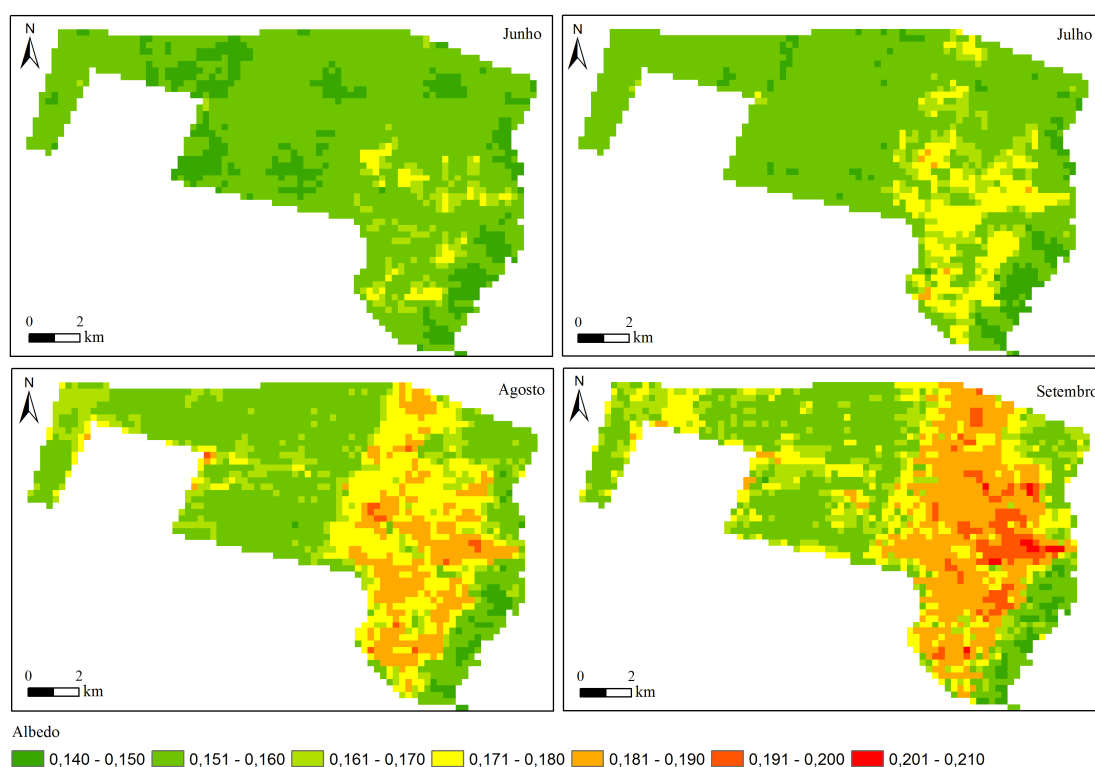


Figura 2. Mapa de albedo de superfície referente ao período de junho a setembro de 2012 na área delimitada pela fazenda Olhos d'água, município de Aquidauana, MS.

Na Figura 3 visualizam-se os mapas de ET nos meses de junho a setembro de 2012 para área delimitada pela fazenda Olhos d'água. Nota-se que, dependendo da cobertura vegetal, os valores de ET variam de 0 a  $3,50 \text{ mm d}^{-1}$ . No entanto, valores acima de  $2,0 \text{ mm d}^{-1}$  foram observados em áreas significativas da porção leste da fazenda Olhos d'água, onde predominam os solos mais férteis e, conseqüentemente, as melhores pastagens. Ao avaliar a disponibilidade de água em pastagem degradada do Cerrado da Baixada Cuiabana, Oliveira (2013) observou ET média ao redor de  $2,0 \text{ mm dia}^{-1}$ . Entretanto, o autor destaca valores médios de ET próximos de zero provavelmente devido à falta de chuvas nos meses de julho, agosto e setembro de 2011. Assim, verifica-se que a ET em áreas de pastagens é fortemente dependente da umidade do solo, ou seja, a baixa disponibilidade de água no solo influencia na quantidade de energia que é particionada e, possivelmente, diminui a quantidade de energia para o fluxo de calor latente (LE) e aumenta a partição de energia destinada ao fluxo de calor sensível (H). No Pantanal, Andrade et al. (2012) observaram valores de ET entre 0,9 e 3,0 mm

$d^{-1}$  para uma extensão considerável de área da classe savana/cerrado (S). Porém, ao considerar as classes de agricultura (Ac), pecuária (Ap), outras áreas antrópicas (AO) e de savana/cerrado (S), a média de ET variou de 1,3 a 1,9  $mm d^{-1}$ .

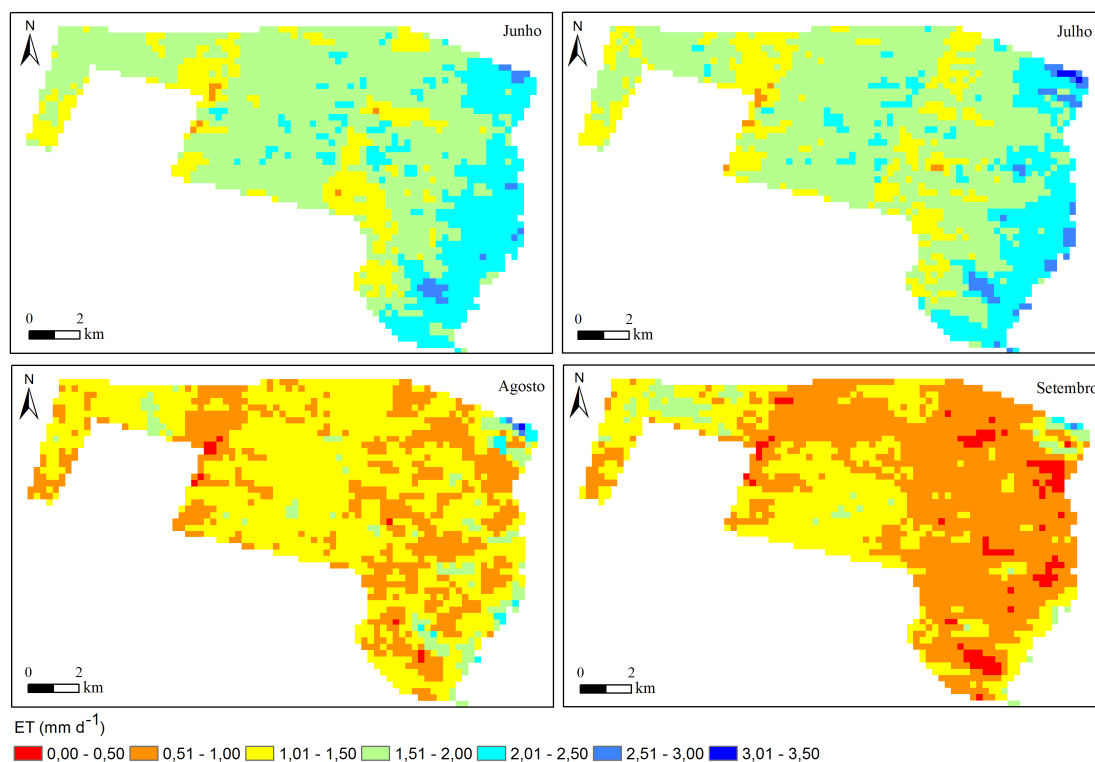


Figura 3. Mapa de evapotranspiração média (ET,  $mm d^{-1}$ ) referente ao período de junho a setembro de 2012 na área delimitada pela fazenda Olhos d'água, município de Aquidauana, MS.

Na Figura 4 visualizam-se os mapas de Bio nos meses de junho a setembro de 2012 para área delimitada pela fazenda Olhos d'água. De forma geral, foram observados valores de Bio mais altos ( $Bio > 1.500 kg ha^{-1} mês^{-1}$ ) nos meses de junho e julho quando comparados com os valores encontrados para os meses de agosto e setembro, nos quais predominaram os valores de Bio menores que  $1.100 kg ha^{-1} mês^{-1}$ . Nesse caso, a resolução espacial (250 m) das imagens MODIS, o manejo das pastagens, presença de plantas invasoras e a variabilidade climática durante os meses analisados são alguns dos fatores que pode ter influenciado nos resultados. Zanchi et. al. (2009) afirmam que a Bio de pastagem possuiu um ciclo sazonal bem definido, com influência das variações do clima e da disponibilidade de água no solo. Os autores também relatam que a intensidade do pastejo pode tanto diminuir como intensificar o crescimento da pastagem. Ao analisar a biomassa em pastagens com indicativos de degradação na bacia do Alto Tocantins, Andrade et al. (2014c) verificaram que as classes de pastagens não degradadas e baixa degradação tiveram valores de Bio muito próximos, com média em torno de  $1.550 kg ha^{-1} mês^{-1}$ . Já para as classes de degradação moderada e forte a média de Bio foi de 1.400 e 965  $kg ha^{-1} mês^{-1}$ , respectivamente. Para Kichel et al. (2012), uma pastagem degradada pode apresentar menos de 50% de seu potencial produtivo em relação às condições edafoclimáticas do local onde foi implantada e da espécie ou cultivar da forrageira utilizada.

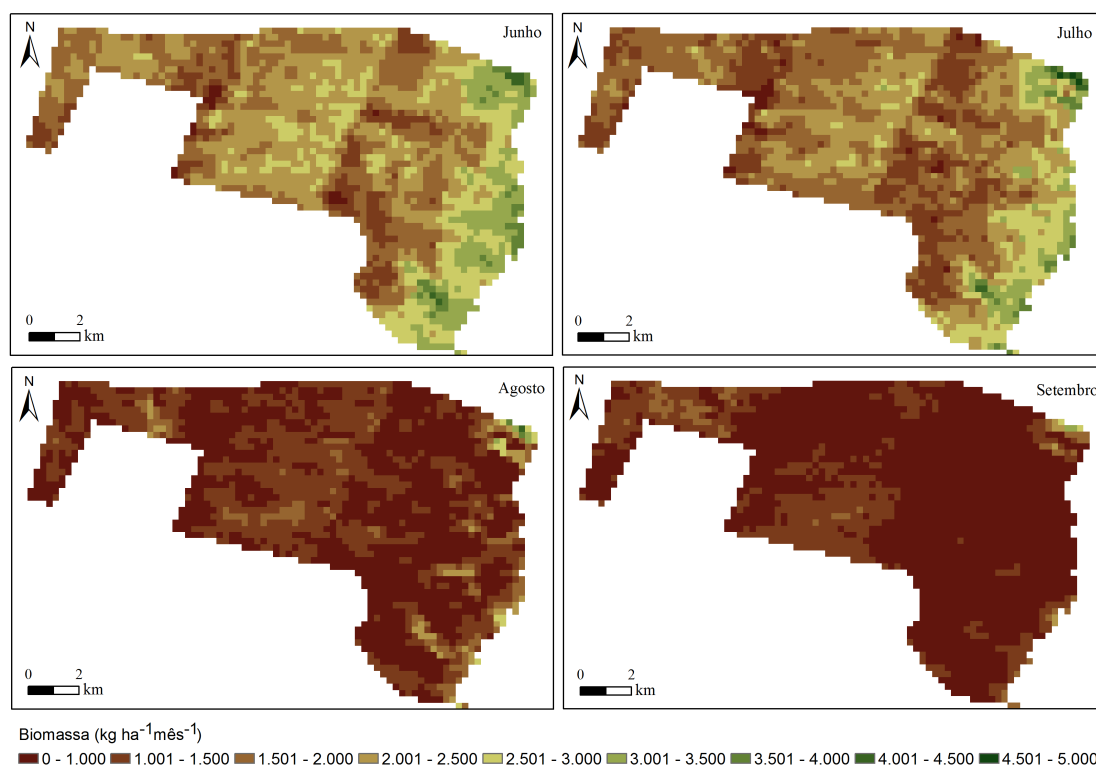


Figura 4. Mapa de biomassa média (Bio, kg ha<sup>-1</sup> mês<sup>-1</sup>) referente ao período de junho a setembro de 2012 na área delimitada pela fazenda Olhos d'água, município de Aquidauana, MS.

#### 4. Conclusões

Conforme os resultados apresentados, conclui-se que o SAFER é um algoritmo muito promissor para a estimativa da evapotranspiração e da disponibilidade de forragem de pastagens, com destaque para a possibilidade de monitoramento espaço-temporal de grandes áreas de pastagens, possibilitando a obtenção de informações úteis que auxiliem o produtor em tomadas de decisões em termos de planejamento e gestão da propriedade por meio da análise de indicadores relacionados com a sustentabilidade econômica e ambiental das áreas de pastagens.

#### 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**. Food and Agriculture Organization of the United Nations: Rome, Italy, 1998. 300p.
- Andrade, R. G.; Rodrigues, C. A. G.; Leivas, J. F.; Teixeira, A. H. C. **Pecuária**. In: Tôsto, S. G.; Rodrigues, C. A. G.; Bolfe, E. L.; Batistella, M. (Org.). Geotecnologias e Geoinformação: o produtor pergunta, a Embrapa responde (Coleção 500 Perguntas, 500 Respostas). 1ed. Brasília, DF: Embrapa, 2014a, v. 1, p. 149-169.
- Andrade, R. G.; Sediya, G. C.; Paz, A. R.; Lima, E. P.; Facco, A. G. Geotecnologias aplicadas à avaliação de parâmetros biofísicos do Pantanal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 9, p. 1227-1234, 2012.
- 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. In: SPIE remote sensing symposium, 2012, Amsterdam. **Proceedings of SPIE**, 2014b. v. 9239, p. 92391Z-1-92391Z-7.

Andrade, R. G.; Teixeira, A. H. C.; Leivas, J. F.; Lima, E. P.; Facco, A. G. Análise da biomassa em pastagens com indicadores de degradação na bacia do Alto Tocantins. In: Simpósio Brasileiro de Agropecuária Sustentável, 2014, Viçosa, MG. VI SIMBRAS - Simpósio Brasileiro de Agropecuária Sustentável. **Anais...** Viçosa, MG: UFV, 2014c. p. 936-939.

Bastiannssen, W. G. M.; Ali, S. A new crop yield forecasting model based on satellite measurements applied across the Indus Basin, Pakistan. **Agriculture Ecosystems & Environment**, v.94, p.321-340, 2003.

Bolfe, E. L.; Andrade, R. G.; Vicente, L. E.; Batistella, M.; Grego, C. R.; Victoria, D. C. **Uso de geotecnologias no monitoramento de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta**. In: Davi José Bungenstab. (Org.). Sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta: a produção sustentável. 2 ed. Brasília, DF: Embrapa, 2012, p. 200-208.

Kichel, A.N.; Costa, J.A.A.; Almeida, R.G. Vantagens da recuperação e renovação de pastagens degradadas com a utilização de sistemas integrados de produção agropecuária. **Revista Agro & Negócios**, v.11, n.14, p.48-50, 2012.

Moura, M. A. L., Lyra, R. F. F., Benincasa, M., Souza, J. S., Nascimento Filho, M. F. Variação do albedo em áreas de floresta e pastagem na Amazônia. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 7, n. 2, p. 163-168, 1999.

Pereira, G.; Moraes, E. C.; Arai, E.; Oliveira, L. G. L. Estudo preliminar da estimativa da reflectância e albedo de microssistemas pantaneiros a partir de imagens de satélite. **Revista Brasileira de Cartografia**, v.1, p.55-61, 2007.

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, 2013a.

Teixeira, A. H. de C.; Hernandez, F. B. T.; Lopes, H. L.; Scherer-Warren, M.; Bassoi, L. H. **Modelagem espaço-temporal dos componentes dos balanços de energia e de água no Semiárido brasileiro**. Documentos: 99 - Embrapa Monitoramento por Satélite, Campinas, SP. 2013b. 32p.

Teixeira, A. H. C.; Scherer-Warren, M.; Hernandez, F. B. T.; Lopes, H. L. Water productivity assessment by using MODIS images and agrometeorological data in the Petrolina municipality, Brazil. In: SPIE remote sensing symposium, 2012, Edimburgo. **Proceedings of SPIE**, 2012. v. 8531. p. 85310G-1-85310G-10.

Teixeira, A. H. C.; Bastiaassen, W. G. M.; Ahmad, M. D.; Bos, M. G. Reviewing SEBAL input parameters for assessing evapotranspiration and water productivity for the Low-Middle São Francisco River basin, Brazil Part B: Application to the large scale. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.149, p. 477-490, 2009.

Zanchi, F. B.; Waterloo, M. J.; Aguiar, L. J. G.; Randow, C.; Kruijt, B.; Cardoso, F. L.; Manzi, A. O. Estimativa do Índice de Área Foliar (IAF) e biomassa em pastagem no estado de Rondônia, Brasil. **Acta Amazonica**, v. 39, n. 2, p 335-348, 2009.