



Impacto da alteração do uso do solo no saldo de radiação no Cerrado do sul de Mato Grosso

doi:10.4136/ambi-agua.1843

Received: 17 Jan. 2016; Accepted: 28 Mar. 2016

Marcos Alves Fausto¹; Lucas Peres Angelini¹; Heloisa Oliveira Marques¹;
Armando Silva Filho²; Nadja Gomes Machado^{1,3}; Marcelo Sacardi Biudes^{1*}

¹Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT), Cuiabá, MT, Brasil
Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental (PPGFA)

²Universidade do Estado de Mato Grosso (UNEMAT), Barra do Bugres, MT, Brasil
Departamento de Ciência da Computação

³Instituto Federal de Mato Grosso (IFMT), Cuiabá, MT, Brasil
Laboratório de Biologia da Conservação

*Autor correspondente: e-mail: marcelo@fisica.ufmt.br,
mffausto.fisica@gmail.com, peres.angelini52@gmail.com, heloisa@fisica.ufmt.br,
armandosf2000@gmail.com, nadja.machado@blv.ifmt.edu.br

RESUMO

As transformações decorrentes do uso e ocupação do solo modifica o balanço radioativo à superfície. O objetivo do trabalho foi avaliar o impacto no saldo de radiação em função da alteração de uma área de Cerrado em área agrária no sul do Mato Grosso por meio de técnica de sensoriamento remoto. Imagens do sensor TM Landsat 5 adquiridas entre junho e outubro de 2011 foram utilizadas. As análises foram realizadas nos seguintes usos do solo: Cerrado, mata ciliar, cana-de-açúcar, soja, pastagem, solo exposto e água. A substituição da área de Cerrado por áreas agrícolas neste estudo alterou os índices biofísicos da superfície, devido à mudança na biomassa e nas propriedades óticas da superfície. O NDVI apresentou maiores valores na vegetação típica de Cerrado e Mata Ciliar e menores valores nas áreas agrícolas. A temperatura da superfície e o albedo da superfície apresentaram padrões inversos ao NDVI, com menores valores na vegetação típica de Cerrado e Mata Ciliar e maiores valores nas áreas agrícolas e solo exposto. A substituição do Cerrado por culturas agrônômicas no sul do Mato Grosso diminuiu a energia disponível à superfície, indicado pelo saldo de radiação.

Palavras-chave: desmatamento, imagem de satélite, planejamento do uso do solo, troca de energia.

Impact of land-use change in the net radiation of the Cerrado of the southern Mato Grosso

ABSTRACT

Changes resulting from land use and occupation modify the surface radioactive balance. This paper evaluated the impact on the net radiation caused by the conversion of a Cerrado area in an agricultural zone in the southern Mato Grosso using Landsat 5 TM sensor imagery acquired between June and October 2011. The analyses were performed of the following land use classes: Cerrado, riparian vegetation, sugarcane, soybean, pasture, bare soil and water. The replacement of Cerrado by agricultural areas changed the biophysical indices of the

surface due to the change in biomass and the optical properties of the surface as observed in this study. The NDVI values were higher in the typical Cerrado vegetation and Riparian Forest than in agricultural areas. The surface temperature and the surface albedo showed an inverse pattern of NDVI, with lower values in the typical Cerrado vegetation and Riparian Forest and higher values in agricultural areas and bare soil. The replacement of Cerrado by cultivated crops in the south of Mato Grosso decreased the available energy at the surface, as indicated by the radiation balance.

Keywords: deforestation, energy exchange, land use planning, satellite imagery.

1. INTRODUÇÃO

O estado de Mato Grosso é composto pelos biomas Amazônico, Cerrado e Pantanal, o qual tem elevadas taxas de desmatamentos nas últimas décadas, causando um mosaico de florestas naturais e manejadas, terras agrícolas e pastagens (Biudes et al., 2015). Esse mosaico, implica em transformações na cobertura do solo, desencadeando mudanças na distribuição de energia solar disponível ao ambiente (Silva et al., 2011).

A cobertura do solo pode ser monitorada por índices de vegetação como o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI), Índice de área foliar (LAI), Índice de vegetação ajustado ao solo (SAVI), dentre outros, que, estimado a partir de valores de refletâncias medidas por sensores orbitais. O NDVI é capaz de determinar a densidade de fitomassa foliar fotossinteticamente ativa por unidade de área, o qual varia de -1 a +1 (Demarchi et al., 2011). Os valores de NDVI próximos de +1 indicam maior densidade de cobertura vegetal e valores negativos indicam superfície com água (Allen et al., 2007; Tasumi et al., 2008; Bezerra et al., 2011).

Alterações no NDVI em decorrência da substituição de vegetação densa, como florestas, por vegetação rasteira, como pastagens, modificam significativamente a temperatura e umidade relativa do ar e os balanços de radiação e energia da superfície em escala local e regional (Biudes et al., 2012). As áreas de floresta apresentam maior índice de vegetação decorrente de maior biomassa, o que influencia diretamente no balanço de radiação e, posteriormente no balanço de energia local, acarretando mudança no particionamento de energia destinada ao calor sensível, latente e aquecimento do solo (Biudes et al., 2015).

Estudos envolvendo o balanço de radiação são realizados por saldo radiômetros instalados em campo, mas essa metodologia apresenta limitação espacial devido ao alto custo para realização dessas medidas em escala regional (Gusmão et al., 2012). Diante disso, o sensoriamento remoto é uma importante ferramenta para estimar o saldo de radiação, pois permite obtenção de dados e suas variações espacial e temporal, com baixo custo e forte correlação com dados medidos em campo (Oliveira et al., 2012).

Diversos métodos foram propostos para estimativa do saldo de radiação da superfície a partir de imagens de sensores orbitais. Muitos deles apresentam limitações ao estimar o saldo de radiação diário devido à sua formulação. Dentre eles, destacam-se os de Bruin (1987) que propôs um modelo baseado no balanço de ondas curtas diário e uma compensação ao balanço de ondas longas diário em função da transmissividade atmosférica média diária e um coeficiente calibrado para a região que varia de 95 a 144; o de Bisht et al. (2005) que propuseram um modelo de balanço de radiação diário senoidal baseado em uso de produtos derivativos do sensor MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer); e o de Long et al. (2010) que combinaram produtos MODIS, imagens de modelo de elevação digital e dados meteorológicos de superfície para estimativa do saldo de radiação instantâneo e diário. Dentre os três apresentados, o modelo que apresenta menores erros na estimativa do saldo de radiação diário é o de Bruin (1987). Por essa razão, este modelo tem sido amplamente utilizado em modelos de estimativa do balanço de energia e evapotranspiração da

superfície (Allen et al., 2007; Gusmão et al., 2012; Fausto et al., 2014).

Como há uma lacuna no conhecimento sobre a variação espacial do saldo de radiação diário em área agrícola, o objetivo do trabalho foi avaliar o impacto no saldo de radiação em função da alteração de uma área de Cerrado em área agrária no sul do Mato Grosso por meio de técnica de sensoriamento remoto.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Área de estudo

A área de estudo composta por diferentes tipos de cobertura do solo está localizada no município de Barra do Bugres, Mato Grosso, Brasil (Figura 1). O município está localizado ao sul do Estado de Mato Grosso, a 160 km de Cuiabá, capital do Estado, tem uma população de 31.793 habitantes (IBGE, 2010). As principais atividades econômicas estão relacionadas ao agronegócio (Dubreuil et al., 2005), tais como a pecuária e o cultivo da cana-de-açúcar em larga escala. Os tipos de cobertura do solo selecionados para as análises foram: Cerrado (CE), mata ciliar (MC), cana-de-açúcar (CA), soja (SO), pastagem (PA), solo exposto (SE) e água (AG).

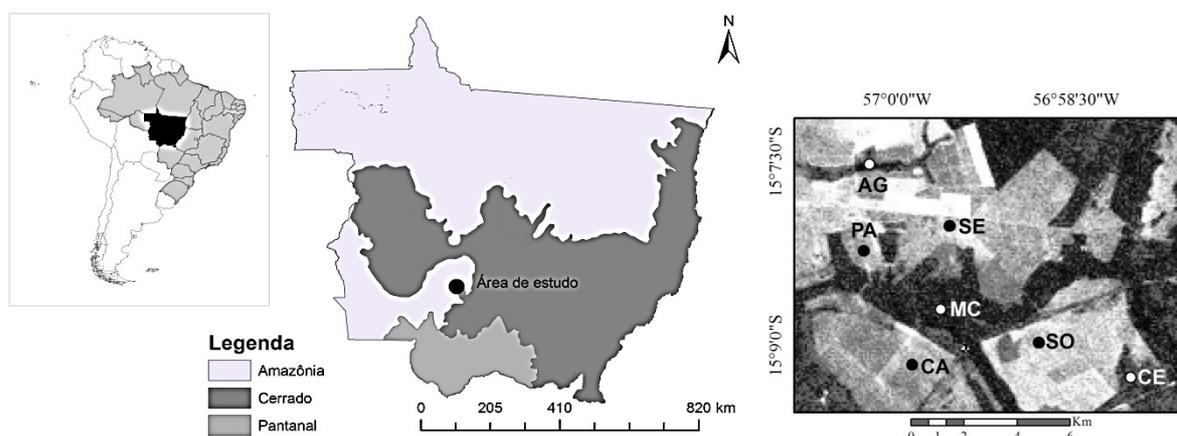


Figura 1. Localização da área de estudo em Barra do Bugres, Mato Grosso, Brasil.

De acordo com a classificação de Köppen, o clima regional é do tipo Aw, caracterizado como quente semiúmido (tropical), com precipitação média anual de 1.208 mm, em que o período seco ocorre de junho a agosto, e o chuvoso de novembro a março (Martins et al., 2011). A vegetação predominante da região é de transição da Floresta Amazônica e Cerrado e o solo é composto principalmente pelo Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico (Pessoa et al., 2011).

2.2. Cálculo do saldo de radiação por sensoriamento remoto

Foram usadas imagens do sensor TM do Landsat 5 (órbita 227 e ponto 70) durante o período seco e com ausência de nuvens e fumaça nos dias 16/06, 18/07, 04/09 e 06/10 do ano de 2011. Para avaliar o saldo de radiação diário, albedo e temperatura da superfície e NDVI considerou 6 pixels ao redor de cada ponto selecionado, na área de estudo.

O saldo de radiação diário ($Rn_{Diário}$) foi estimado pela Equação 1 definida por Bruin (1987) e avaliada por Fausto et al. (2014).

$$Rn_{Diário} = (1 - \alpha_{sup})RS_{24h} - 110\tau_{24h} \quad (1)$$

em que:

α_{sup} é o albedo;

RS_{24h} ($W m^{-2}$) é a radiação solar incidente média diária, e o valor numérico de 110 é um coeficiente de ajuste associado à transmissividade atmosférica média diária para compensar o balanço de onda longa diário. A transmissividade atmosférica média diária (τ_{24h}) foi obtida através da Equação 2.

$$\tau_{24h} = \left(\frac{RS_{24h}}{RS_{TOA\ 24h}} \right) \quad \dots(2)$$

em que:

RS_{24h} ($W m^{-2}$) é a radiação solar diária incidente a superfície, que foi obtida de estação meteorológica; e

$RS_{TOA\ 24h}$ ($W m^{-2}$) é a radiação solar diária incidente no topo da atmosfera, calculada segundo procedimentos descritos em Iqbal (1984).

O albedo de superfície α_{sup} foi obtido pela Equação 3.

$$\alpha_{sup} = \left(\frac{\alpha_{toa} - \alpha_{atm}}{\tau_w^2} \right) \quad (3)$$

em que:

α_{toa} é o albedo do topo da atmosfera;

α_{atm} é refletância da atmosfera, considerada nesse trabalho igual a 0,03 (Pelgrum et al., 2005); e

τ_w é a transmissividade atmosférica no momento da passagem do satélite. O albedo no topo da atmosfera (α_{toa}) foi obtido por meio da Equação 4, pela contabilização da radiação refletida de cada pixel resultante de uma combinação linear das refletâncias espectrais ($\rho_{\lambda i}$) das seis bandas espectrais (Allen et al., 2007).

$$\alpha_{toa} = w_{\lambda 1}\rho_{\lambda 1} + w_{\lambda 2}\rho_{\lambda 2} + w_{\lambda 3}\rho_{\lambda 3} + w_{\lambda 4}\rho_{\lambda 4} + w_{\lambda 5}\rho_{\lambda 5} + w_{\lambda 7}\rho_{\lambda 7} \quad (4)$$

A transmissividade atmosférica (τ_w) à radiação de onda curta em condições de céu claro foi obtida pela Equação 5 (Allen et al., 2007).

$$\tau_w = 0.35 + 0.627 \exp \left[\frac{-0.00146 Pa}{Kt \cos Z} - 0.75 \left(\frac{W}{\cos Z} \right)^{0.4} \right] \quad (5)$$

em que:

Pa é a pressão atmosférica (kPa);

Z é o ângulo zenital do Sol;

Kt é o coeficiente de turbidez ($0 < Kt < 1$)

em que:

$Kt = 1$ para o ar limpo;

$Kt = 0,5$ para turbidez extrema e poeira; e

W a água precipitável na atmosfera (mm) (Equação 6) em função a pressão de vapor atual (ea) e a Pa (Allen et al., 2007).

$$W = 0.14ea P_a + 2.1 \quad (6)$$

A refletância monocromática que representa o cômputo da refletância em cada banda ($\rho_{\lambda i}$) foi calculada pela razão entre o fluxo da radiação solar refletida e o fluxo da radiação solar incidente em cada pixel considerando as bandas espectrais do TM Landsat-5, Equação 7.

$$\rho_{\lambda i} = \frac{\pi \cdot L_{\lambda i}}{K_{\lambda i} \cdot \cos Z \cdot d_r} \quad (7)$$

A radiância espectral ($L_{\lambda i}$) foi obtida a partir da carta de radiância em número digital (valor inteiro de 0 a 255 correspondentes a 1 *byte* de informação) de cada pixel utilizando os coeficientes determinados por Chander et al. (2009). As radiâncias representam a energia solar refletida por cada pixel, por unidade de área, de tempo, de ângulo sólido e de comprimento de onda, medida ao nível do satélite TM Landsat 5 para as bandas de 1 a 7, pela Equação 8.

$$L_{\lambda i} = L_{\lambda min} + \left(\frac{L_{\lambda máx} - L_{\lambda min}}{255} \right) \cdot ND \quad (8)$$

em que:

$L_{\lambda min}$ e $L_{\lambda máx}$ são os coeficientes de calibração mínimo e máximo; e

ND refere-se ao número digital. Essas constantes de calibração são correspondentes aos intervalos de comprimento de onda de cada banda espectral do TM Landsat 5.

O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) foi obtido pela razão entre a diferença das refletâncias das bandas 3 e 4 do TM Landsat 5 e a soma das mesmas bandas (Equação 9). O NDVI é 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 é maior que zero e para superfície de água o NDVI geralmente é menor ou igual a zero (Allen et al., 2007; Tatsumi et al., 2008; Bezerra et al., 2011).

$$NDVI = \frac{\rho_4 - \rho_5}{\rho_4 + \rho_5} \quad (9)$$

Para a obtenção da temperatura de superfície (T_s), foi utilizada a equação de Planck invertida, válida para um corpo negro, pela Equação 10.

$$T_s = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{\epsilon_{NB} K_1}{L_{\lambda,6}} + 1\right)} \quad (10)$$

em que:

$K_1 = 607,76 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$ e $K_2 = 1260,76 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$ são constantes de calibração da banda termal do fornecida pelo sensor TM Landsat 5 (Silva et al., 2005).

Como cada pixel não emite radiação eletromagnética como um corpo negro, há a necessidade de introduzir a emissividade de cada pixel no domínio espectral da banda termal (ϵ_{NB}) entre 10,4 a 12,5 μm (Equação 11) e o cômputo da radiação de onda longa emitida por cada pixel deve considerar a emissividade no domínio da banda larga (ϵ_0) entre 5 a 100 μm (Equação 12). Segundo Allen et al. (2007), as emissividades ϵ_{NB} e ϵ_0 podem ser obtidas, para $NDVI > 0$ e $IAF < 3$.

$$\varepsilon_{NB} = 0,97 + 0,0033. IAF \quad (11)$$

$$\varepsilon_0 = 0,95 + 0,01. IAF \quad (12)$$

Para pixels com $IAF \geq 3$, $\varepsilon_{NB} = \varepsilon_0 = 0,98$ e para corpos de água ($NDVI < 0$) $\varepsilon_{NB} = 0,99$ e $\varepsilon_0 = 0,985$, segundo recomendações de Allen et al. (2007). Dessa forma, obtém-se a temperatura de superfície (K).

O Índice de Área Foliar (IAF), definido pela razão entre a área foliar de toda a vegetação por unidade de área utilizada por essa vegetação, constituindo um indicador da biomassa de cada pixel (Allen et al., 2007) dado pela Equação 13.

$$IAF = \frac{-\ln\left(\frac{0,69-SAVI}{0,59}\right)}{0,91} \quad (13)$$

em que:

o valor máximo atingido pelo IAF é igual a 6,0, ocorrendo quando o SAVI vale 0,69.

O Índice de Vegetação Ajustado aos Efeitos do Solo (SAVI) proposto por Huete (1988) usando a equação (14).

$$SAVI = \left(\frac{(1+L)(\rho_4 - \rho_3)}{L + \rho_4 + \rho_3} \right) \quad (14)$$

em que:

L é a constante de ajuste ao solo cujo valor usado no estudo foi 0,1 (Allen et al., 2007 e Silva et al., 2011).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O albedo da superfície apresentou valores distintos entre os usos do solo, com maiores valores em área de solo exposto (23%) aproximadamente e menores valores em superfície de corpos d'água (5%). O albedo não variou significativamente entre as áreas agrícolas, mantendo o patamar de 21 a 22%, em relação as áreas de vegetação nativa de Cerrado e a Mata ciliar (15%). Na pastagem, os valores de albedo foram semelhantes aos encontrados em áreas agrícolas (Figura 2A).

O albedo da superfície do presente estudo foi semelhante aos valores encontrados na bacia do Alto Rio Paraguai de 14 a 18% na Mata Ciliar, de 22% a 24% na Pastagem e de 14 a 20% no Cerrado (Fausto et al., 2014). Também foi semelhante à uma floresta densa localizada na região amazônica de 13 a 15% (Querino et al., 2006) e em uma cultura de cana-de-açúcar em Petrolina/PE de 22% (Silva et al., 2010). O albedo em áreas de Cerrado e Mata Ciliar foram menores devido a maior presença da biomassa nesses locais (Gomes et al., 2013), pois a biomassa tem alta capacidade de absorver a radiação solar e utilizá-la na evapotranspiração (Biudes et al., 2014). O aumento/diminuição da biomassa nas áreas de soja e cana-de-açúcar estão relacionados ao estágio de desenvolvimento da cultura. Em Paragominas/PA, foram encontrados albedos de 17% na fase vegetativa, 23,3% na frutificação e 14,8% na maturação (Souza et al., 2010). Por isso, nessas áreas ocorreram as maiores variações do albedo comparados as áreas de vegetação nativa.

No entanto, fatores como superfícies de cores claras, lisas e secas apresentam maiores albedos enquanto que superfícies ásperas e escuras os menores valores (Silva et al., 2011), além da composição estratificada das folhas, a presença de sub-bosque e a umidade do solo

que também contribuem para a diminuição desse parâmetro (Leitão e Oliveira, 2000; Biudes et al., 2014).

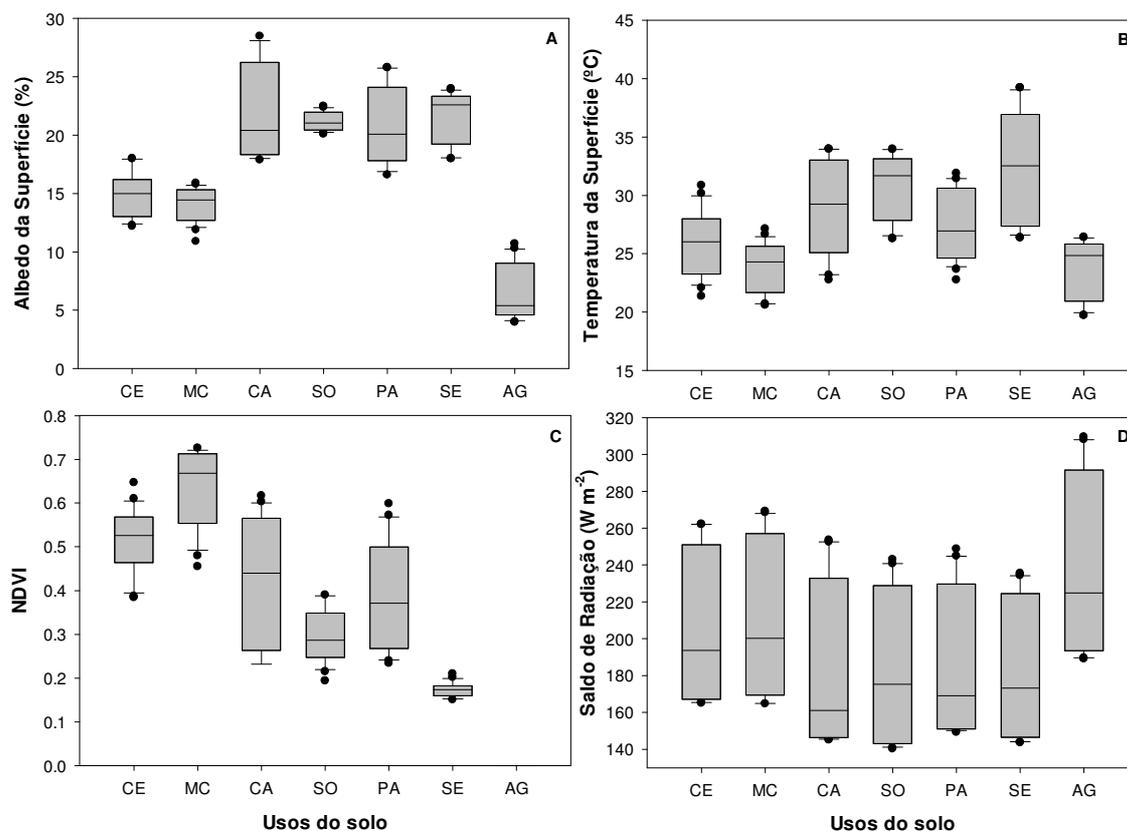


Figura 2. Variação espacial do albedo da superfície (A), da temperatura da superfície (B), do NDVI (C), e do saldo de radiação diários (D) na área de estudo na estação seca em 2011. CE = cerrado; MC = mata ciliar; CA = cana-de-açúcar; SO = soja; PA = pastagem; SE = solo exposto; AG = água.

A temperatura média da superfície no solo exposto foi de 32,5°C e na Mata Ciliar de 23,8°C, o que corresponde a uma diferença de 8,7°C. As áreas de cana-de-açúcar (29°C), soja (30,8°C) e pastagem (27,7°C) apresentaram valores superiores às áreas de vegetação nativa de Cerrado (25,8°C) e Mata Ciliar (24,7°C) (Figura 2B). A presença da vegetação mantém menores temperaturas de superfície e conserva o microclima (Pavão et al., 2015). As áreas em estudo, apresentam baixa densidade de biomassa, que contribui com uma maior absorção da radiação solar pela vegetação, a qual é utilizada prioritariamente na forma de calor latente. Dessa forma, uma menor quantidade de energia é utilizada na forma de calor sensível, responsável pelo aquecimento do ar/superfície (Biudes et al., 2009; 2015).

A estimativa da temperatura da superfície em áreas naturais, agrícolas e pastagens corroboram com estudos realizados em outras regiões do Brasil. Em Santo Antônio de Leverger/MT, a diferença da temperatura da superfície entre Pastagem e Mata ciliar variou entre 5 e 15°C (Fausto et al., 2014). Num solo exposto no perímetro irrigado de Petrolina/PE, a temperatura da superfície foi acima de 33°C (Silva et al., 2011).

Houve diferença significativa nos valores de NDVI entre as áreas de vegetação nativa e agrícolas (Figura 2C). O NDVI da Mata ciliar foi 57% maior do que na soja, 35% na cana-de-açúcar e 40% na Pastagem. Como esperado, o NDVI foi negativo em corpos d'água.

Os valores de NDVI na área de estudo foram semelhantes aos encontrados em áreas de Cerrado no estado de São Paulo, que variaram de 0,6 a 0,7 (Gomes et al., 2013). No entanto, os valores de NDVI do presente estudo foram inferiores, quando comparados à valores

encontrados em uma área de transição Cerrado-Amazônia, cujos valores são aproximadamente de 0,80 (Risso et al., 2012). Isso porque a vegetação de floresta apresenta maior biomassa e maior atividade fotossintética, em função do potencial de absorver água em profundidade, mesmo em época de seca (Barbosa et al., 2012). Como o NDVI é capaz de determinar a densidade de fitomassa foliar fotossinteticamente ativa por unidade de área, a boa acurácia do NDVI na identificação de distintas áreas vegetadas indica sua eficiência quanto à condição da biomassa sobre a superfície (Esteves et al., 2012).

O saldo de radiação diário (Figura 2D) não foi significativamente diferente entre os usos do solo. Os valores encontrados foram de $230,0 \text{ W m}^{-2}$ aproximadamente em corpos d'água, e entre $190,0$ e $200,0 \text{ W m}^{-2}$ em Mata Ciliar e Cerrado. Já em áreas agrícolas (culturas de soja, cana-de-açúcar e pastagem) e solo exposto, o saldo de radiação diário foi em média $175,0$ e $160,0 \text{ W m}^{-2}$, respectivamente.

A diferença do saldo de radiação diário entre as áreas analisadas foi devido ao albedo e à temperatura da superfície. Esses parâmetros contribuem para a reemissão de ondas longas. Portanto, o saldo de radiação diário em área de solo exposto foi menor, onde a maior reflexão de ondas curtas refletidas (albedo) diminui o balanço de onda curta e o aquecimento do solo aumenta a temperatura da superfície, elevando a radiação de onda longa emitida pela superfície (Frey et al., 2007).

Espacialmente, às áreas claras apresentaram os maiores valores de albedo (Figura 3A) e temperatura da superfície (Figura 3B), enquanto que as áreas mais escuras (menor albedo e temperatura de superfície) correspondente às áreas agrícolas e de vegetação nativa, respectivamente. Por outro lado, os maiores valores de NDVI (Figura 3C) e saldo de radiação diário (Figura 3D) ocorreram em áreas de vegetação nativa indicado em tonalidade claras e os menores (áreas mais escuras) ocorreram em áreas agrícolas.

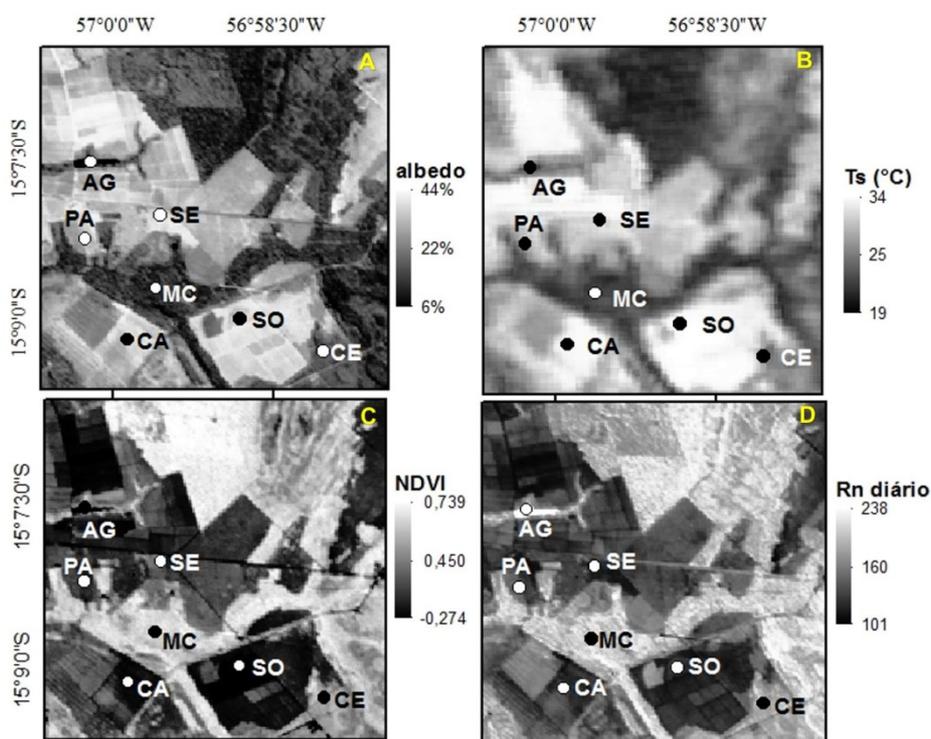


Figura 3. Distribuição espacial do albedo da superfície, da temperatura da superfície, do NDVI, e do saldo de radiação na área de estudo na estação seca em 2011. CE = cerrado; MC = mata ciliar; CA = cana-de-açúcar; SO = soja; PA = pastagem; SE = solo exposto; AG = água.

4. CONCLUSÕES

A substituição da área de Cerrado por áreas agrícolas nesse estudo impactou na alteração dos índices biofísicos da superfície, devido à mudança na biomassa e nas propriedades óticas da superfície. O NDVI apresentou maiores valores na vegetação típica de Cerrado e Mata Ciliar e menores valores nas áreas agrícolas. A temperatura da superfície e o albedo da superfície apresentaram padrões inversos ao NDVI, com menores valores na vegetação típica de Cerrado e Mata Ciliar e maiores valores nas áreas agrícolas e solo exposto. Dessa forma, a substituição do Cerrado por culturas agrônômicas no sul do Mato Grosso impactou na diminuição da energia disponível à superfície, representada pelo saldo de radiação.

5. AGRADECIMENTOS

A pesquisa foi apoiada pela Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT), Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental (PPGFA/IF/UFMT), Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq - Bolsa, Processo nº 303625/2015-5) e Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal do Ensino Superior (CAPES – Bolsas, Processo nº 9750/13-4 e nº 9768/13-0), e financiada pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Mato Grosso (FAPEMAT – PRONEM 2014, processo nº 561397/2014).

6. REFERÊNCIAS

- ALLEN, R. G.; TASUMI, M.; MORSE, A.; TREZZA, R.; WRIGHT, J. L.; BASTIAANSEN, W. et al. Satellite based Energy Balance for Mapping Evapotranspiration with Internalized Calibration, (METRIC) – Applications. **Journal of Irrigation And Drainage Engineering**, v. 133, p. 395-406, 2007. [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9437\(2007\)133:4\(395\), 395-406-406](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9437(2007)133:4(395), 395-406-406)
- BARBOSA, J. P. R. A. D.; MARTINS, G. A.; FERREIRA, R. T.; PENNACCHI, J. P.; SOUZA, V. F.; SOARES, A. M. Estimativa do IAF de cafeeiro a partir do volume de folhas e arquitetura da planta. **Coffee Science**, v. 7, n. 3, p. 267-274, 2012.
- BEZERRA, M. V. C.; SILVA, B. B. da; BEZERRA, B. G. Avaliação dos efeitos atmosféricos no albedo e NDVI obtidos com imagens de satélite. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 7, p. 709–717, 2011. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662011000700009>
- BISHT, G.; VENTURINI, V.; ISLAM, S.; JIANG, L. Estimation of the net radiation using MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) data for clear-sky days. **Remote Sensing of Environment**, v. 97, p. 52-67, 2005. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2005.03.014>
- BIUDES, M. S.; CAMPELO JUNIOR, J. H.; NOGUEIRA, J. S.; SANCHES, L. Estimativa do balanço de energia em Cambarazal e pastagem no Norte do Pantanal pelo Método da Razão de Bowen. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 24, p. 135-143, 2009. <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-77862009000200003>
- BIUDES, M. S.; MACHADO, N. G.; DANELICHEN, V. H. M.; SOUZA, M. C.; VOURLITIS, G. L. NOGUEIRA, J. S. Ground and remote sensing-based measurements of leaf area index in a transitional forest and seasonal flooded forest in Brazil. **International Journal of Biometeorology**, v. 56, p. 1181-1193, 2014. <http://dx.doi.org/10.1007/s00484-013-0713-4>

- BIUDES, M. S.; NOGUEIRA, J. S.; DALMAGRO, H. J.; MACHADO, N. G.; DANELICHEN, V. H. M.; SOUZA, M. C. Mudança no microclima provocada pela conversão de uma floresta de cambará em pastagem no Norte do Pantanal. **Revista de Ciências Agro-Ambientais**, v. 10, p. 61-68, 2012.
- BIUDES, M. S.; VOURLITIS, G. L.; MACHADO, N. G.; ARRUDA, P. H. Z.; NEVES, G. A. R.; LOBO, F. A. et al. Patterns of energy exchange for tropical ecosystems across a climate gradient in Mato Grosso, Brazil. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 202, p. 112–124, 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agrformet.2014.12.008>
- BRUIN, H. A. R. From Penman to Makkink. In: HOOGHART, J. C. (Ed.). **Proceedings and information: TNO Committee on Hydrological**, v. 39, p. 5-31, 1987.
- CHANDER, G.; MARKHAM, B. L.; HELDER, D. L. Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors. **Remote Sensing of Environment**, v. 113, p. 893–903, 2009. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2009.01.007>
- DEMARCHI, J. C.; PIROLI, E. L.; ZIMBACK, C. R. L. Análise temporal do uso do solo e comparação entre os índices de vegetação NDVI e SAVI no município de Santa Cruz do Rio Pardo – SP usando imagens LANDSAT-5. **RA E GA**, v. 21, p. 234-271, 2011.
- DUBREUIL, V.; BARIOU, R.; PASSOS, M.; FERRAND, R.; NEDELEC, V. Evolução da fronteira agrícola no Centro-Oeste de Mato Grosso: municípios de Tangará da Serra, Campo Novo do Parecis e Diamantino. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v. 22, p. 463-478, 2005.
- ESTEVES, B. S.; SOUSA, E. F.; LOUSADA, L. L.; MENDONÇA, J. C.; MUNIZ, R. A.; SILVA, R. M. Variações do albedo, NDVI e SAVI durante um ciclo da cana-de-açúcar no Norte Fluminense. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 7, p. 663-670, 2012. <http://dx.doi.org/10.5039/agraria.v7i4a1597>
- FAUSTO, M. A.; MACHADO, N. G.; NOGUEIRA, J. S.; BIUDES, M. S. Net radiation estimated by remote sensing in Cerrado areas in the Upper Paraguay River Basin. **Journal of Applied Remote Sensing**, v. 8, p. 1-17, 2014.
- FREY, C. M.; RIGO, G.; PARLOW, E. Urban radiation balance of two coastal cities in a hot and dry environment. **International Journal of Remote Sensing**, v. 28, p. 2695-2712, 2007. <http://dx.doi.org/10.1080/01431160600993389>
- GOMES, L. C. F.; SANTOS, C. A. C.; ALMEIDA, H. A. Balanço de energia à superfície para a cidade de Patos-PB usando técnicas de sensoriamento remoto. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 6, p. 15-28, 2013.
- GUSMÃO, A. C. V. L.; SILVA, B. B.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; GALVÍNCIO, D. Determinação do saldo radiativo na Ilha do Bananal, TO, com imagens orbitais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, p. 1107–1114, 2012.
- HUERTE, A. R. Adjusting vegetation indices for soil influences. **International Agrophysics**, v. 3, p. 367-376, 1988.
- IQBAL, M. **An introduction to solar radiation**. Ontario: Academic Press, 1983. 330 p.

- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Cidades. **Censo 2010**. Disponível em: <http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=510340>. Acesso em: 14 dez. 2014
- LEITÃO, M. M. V. B. R.; OLIVEIRA, G. M. Influência da irrigação sobre o albedo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 4, p. 214-218, 2000. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662000000200014>
- LONG, D.; GAO, Y.; SINGH, V. P. Estimation of daily average net radiation from MODIS data and DEM over the Baiyangdian watershed in North China for clear sky days. **Journal of Hydrology**, v. 388, p. 217-233, 2010. <http://dx.doi.org/10.1016%2Fj.jhydrol.2010.04.042>
- MARTINS, J. A.; DALLACORT, R.; INOUE, M. H.; GALVANIN, E. A. S.; MAGNANI, E. B. Z.; OLIVEIRA, K. C. Caracterização do regime pluviométrico no arco das nascentes do rio Paraguai. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 26, p. 639-647, 2011. <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-77862011000400013>
- OLIVEIRA, L. M. M.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; ANTONINO A. C. D.; SILVA, B. B.; MACHADO, C. C. C.; GALVÍNCIO, J. D. Análise quantitativa de parâmetros biofísicos de bacia hidrográfica obtidos por sensoriamento remoto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, p. 1209-1217, 2012.
- PAVÃO, V. M.; QUERINO, C. A. S.; BENEDITTI, C. A.; PAVÃO, L. L.; QUERINO, J. K. A. S.; MACHADO, N. G. et al. Temperatura e albedo da superfície por imagens TM Landsat 5 em diferentes usos do solo no sudoeste da Amazônia brasileira. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 16, p. 169-183, 2015.
- PELGRUM, H.; DAVIDS, G.; THORESON, B. P.; ALLEN, R. G.; BASTIAANSSEN, W. G. M.; NOORDMAN, E. J. M. SEBAL model with remotely sensed data to improve water-resources management under actual field conditions. Applications. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 131, N. 1, p. 85-93, 2005.
- PESSOA, S. P. M.; GALVANIN, E. A. S.; NEVES, S. M. A. S.; KREITLOW, J. P. Análise espaço-temporal do uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica do rio do Bugres - Mato Grosso, Brasil. **Enciclopédia Biosfera**, v. 9, p. 162-174, 2011.
- QUERINO, C. A. S.; MOURA, M. A. L.; LYRA, R. F. F.; MARIANO, G. L. Avaliação e comparação de radiação solar global e albedo com ângulo zenital na região Amazônica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 21, p. 42-49, 2006.
- RISSE, J.; RIZZI, R.; RUDORFF, B. F. T.; ADAMI, M.; SHIMABUKURO, Y. E.; FORMAGGIO, A. R. et al. Índices de vegetação MODIS aplicados na discriminação de áreas de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, p. 1317-1326, 2012. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2012000900017>
- SILVA, B. B.; BRAGA, A. C.; BRAGA, C. C. Balanço de radiação no perímetro irrigado São Gonçalo – PB mediante imagens orbitais. **Revista Caatinga**, v. 24, p. 145-152, 2011.
- SILVA, B. B.; LOPES, G. M.; AZEVEDO, P. V. Determinação do albedo de áreas irrigadas com base em imagens Landsat 5 TM. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 13, p. 201-211, 2005.

- SILVA, B. B.; SILVA, S. T. A.; GOMES, H. B. Alterações climáticas decorrentes de mudanças no uso da terra mediante sensoriamento remoto. **Mercator**, v. 9, p. 91-106, 2010. <http://dx.doi.org/10.4215/RM2010.0901.0006>
- SOUZA, P. J. O. P.; RIBEIRO, A.; DA ROCHA, E. J. P.; LOUREIRO, R.; BISPO, C. J. C.; SOUSA, A. M. L. Albedo da cultura da soja em área de avanço da fronteira agrícola na Amazônia. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, p. 65-73, 2010. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662010000100009>
- TASUMI, R. G. ALLEN, AND R. TREZZA. At-surface reflectance and albedo from satellite for operational calculation of land surface energy balance. **Journal of Hydrologic Engineering**, v. 13, n. 2, p. 51-63, 2008. [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)1084-0699\(2008\)13:2\(51\)](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)1084-0699(2008)13:2(51)), 51-63