

EFEITO DA CONVERSÃO DA VEGETAÇÃO NATIVA EM ÁREAS AGRÍCOLAS SOBRE VARIÁVEIS BIOFÍSICAS NA REGIÃO DE TRANSIÇÃO CERRADO-AMAZÔNIA

Effect of conversion of native vegetation on agricultural areas on biophysical variables in the transition region of Cerrado-Amazonia

Daniela Roberta Borella¹, Flávia Regina Pereira Santos de Siqueira¹,
Thiago de Oliveira Faria¹, Marcelo Sacardi Biudes¹ e Nadja Gomes Machado²

¹Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, Brasil

²Instituto Federal de Mato Grosso, Cuiabá, Brasil

Resumo

Objetivou-se avaliar o efeito da conversão de vegetação nativa em áreas agrícolas com base em Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI), albedo da superfície (α), temperatura de brilho (T_b) e saldo de radiação da superfície (R_n) em área de transição Cerrado-Amazônia. Analisou-se classes de uso do solo de floresta nativa (FN), área irrigada (AI) e não irrigada (AN) com culturas agrônomicas nas cenas 331/2015, 094 e 206 de 2016 do Landsat 8 no Centro Norte do estado de Mato Grosso. Com base nas informações das imagens e da Estação Meteorológica Automática de Sorriso (EMA) - MT calculou-se o saldo de radiação. A conversão de floresta nativa em áreas agrícolas na região de transição Cerrado-Amazônia provoca aumento do albedo da superfície e temperatura de brilho e decréscimo do NDVI, consequentemente reduz o R_n . Os valores médios de NDVI, α , T_b e R_n encontrados na FN (0,86; 0,16; 24,44 °C e 598,80 W m²), AI (0,79; 0,22; 24,90 °C e 549,74 W m²) e AN (0,53; 0,28; 28,78 °C e 486,48 W m²) evidenciam os efeitos da conversão de vegetação nativa em áreas agrícolas com base nos índices biofísicos.

Palavras-chave: Sensoriamento remoto. Índice de vegetação. Saldo de radiação

Abstract

The objective of this work was to evaluate the effect of the conversion of native vegetation on agricultural areas based on Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), surface albedo (α), brightness temperature (T_b) and net radiation (R_n) in Cerrado-Amazon transition area with Landsat images 8. The classes of land use studied were: Native forest (FN), Irrigated area (AI) and Not irrigated (AN) with agronomic crops in scenes 331 of 2015, 094 and 206 of 2016 of a farm in the North Center of the state of Mato Grosso. From the information obtained from the images together with the Automatic Smile Meteorological Station (EMA) - MT, was calculated the net radiation. The conversion of native forest to agricultural areas in the Cerrado-Amazon transition region exerts an increase in the surface albedo and the brightness temperature values and a decrease in the NDVI, consequently the reduction of the values of the net radiation. The mean values of NDVI, α , T_b and R_n found in the FN (0,86, 0,16, 24,44 °C and 598,80 W m²), AI (0,79, 0,22, 24,90 °C and 549,74 W m²) and AN (0,53; 0,28, 28,78 °C and 486,48 W m²) evidences the effect of the conversion of native vegetation in agricultural areas based on biophysical indices.

Keywords: Remote sensing. Vegetation index. Net radiation

1 Introdução

O Brasil possui uma vasta extensão territorial formada por ricos ecossistemas de diferentes características de clima, vegetação e geomorfologia. No estado de Mato Grosso existem três dos principais biomas brasileiros (Amazônia, Cerrado e Pantanal) que proporcionam uma condição privilegiada quanto à diversidade de recursos naturais (FACHIM; GUARIM, 1995). No entanto, esses recursos naturais (florestais e hídricos) recebem pressões pelo intenso crescimento econômico e demográfico do estado nas últimas décadas (MARINHO et al., 2016), especialmente na região da Amazônia e na faixa de transição Amazônia-Cerrado (NEEFF et al., 2005; BIUDES et al., 2015).

A economia de Mato Grosso é baseada no agronegócio, ocupando a posição de líder nacional na produção de grãos, correspondendo a 25,3 % do total de grãos produzidos no país com uma área de 15.135.853 hectares. As culturas agrícolas que se destacam no estado são soja (27,9%) e milho (26,6%) (IBGE, 2017). No entanto, outras culturas agrícolas têm apresentado crescimento, como arroz, feijão, cana-de-açúcar e algodão, em associação de sistemas de irrigação por pivôs centrais para aumentar a produção de grãos e cereais (CONAB, 2017).

A substituição da cobertura natural por diferentes tipos de culturas modifica o balanço de radiação e de energia da superfície em escala local e regional (BIUDES et al., 2012, 2015), devido à alteração nas características óticas, térmicas e hídricas da superfície (MARTINS et al., 2015). Dessa forma, o saldo de radiação, o albedo da superfície, a temperatura da superfície e o vigor da vegetação pode ser utilizado para identificar e monitorar a substituição da cobertura natural por áreas agrícolas (BIUDES et al., 2012; FAUSTO et al., 2016).

Técnicas de sensoriamento remoto tem se tornado uma alternativa viável para monitoramento da mudança na cobertura em escala regional com bom nível de acurácia e baixo custo (MACHADO et al., 2014). Diversos estudos com imagens do Thematic Mapper (TM) Landsat 5 demonstram a aplicabilidade do sensoriamento remoto orbital na estimativa do saldo de radiação (DI PACE et al., 2008; MACHADO et al., 2014; PALÁCIOS et al., 2015; SILVA et al., 2015; FAUSTO et al., 2016; PAVÃO et al., 2016). Atualmente, as imagens pelo Landsat 8 são uma alternativa após a desativação do Landsat 5 em 2011 e à ruídos em cenas do satélite Landsat 7. Este fornece dados a partir de fevereiro de 2013, e possui melhorias em relação aos antecessores, especificamente nas resoluções espectral, radiométrica e espacial na faixa do infravermelho termal (TEIXEIRA et al., 2015).

Dessa forma, alterações na cobertura do solo que vem ocorrendo ao longo dos anos em Mato Grosso, somado à importância da cobertura vegetal natural na interação entre a atmosfera e superfície terrestre, evidenciam a necessidade de estudos sobre a alteração nas variáveis biofísicas. Sendo assim, o objetivo desse trabalho foi avaliar o efeito da conversão de vegetação nativa em áreas agrícolas sobre Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI), albedo da superfície, temperatura de brilho e saldo de radiação da superfície em área de transição Cerrado-Amazônia por imagens Landsat 8.

2 Materiais e métodos

2.1 Área de estudo

O estudo foi desenvolvido em uma fazenda localizada na divisa dos municípios de Vera, Sorriso e Nova Ubiratã, Centro Norte do estado de Mato Grosso, Brasil. Os pontos amostrados estão localizados próximos às coordenadas 12°39'33" S e 55°28'01" W com altitude média de 422 metros (Figura 1). A área é caracterizada pela produção agrícola de soja (outubro a janeiro), milho (fevereiro a maio), feijão irrigado em duas safras no ano (fevereiro e junho), áreas irrigadas por pivôs centrais e áreas não irrigadas intercaladas com o solo exposto no período de pós-colheita; incluindo ainda áreas de floresta nativa e corpos d'água. Em relação as classes de uso do solo na área de estudo, a classe de floresta nativa (FN) foi considerada como representativa do bioma de transição Cerrado-Amazônia que existe na região, e as culturas agrônômicas foram divididas em áreas de culturas irrigadas (AI) e de culturas não irrigadas (AN).

De acordo com a classificação de Köppen, o clima regional é do tipo Aw tropical com chuvas de verão, definido por duas estações: seca (maio a setembro) e chuvosa (outubro a abril) com precipitação média anual de 1.974,47 mm (SOUZA et al., 2013). As temperaturas médias variam entre 24 e 27 °C (SOUZA et al., 2012). O solo da região é classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico (LVd), constituído por solos muito profundos e bem drenados em relevo plano (SEPLAN, 2001; IBGE, 2009).

2.2 Aquisição e Processamento das Imagens de Satélite

As imagens foram obtidas diretamente da plataforma ESPA (Center Science Processing Architecture) do Serviço Geológico Americano (United State Geological Survey – USGS) disponível em [http://espa.cr.usgs.gov/]. Foram utilizadas três imagens do satélite Landsat 8 da órbita 226 e ponto 69 (Tabela 1).

Foram utilizadas imagens de reflectância da superfície com correção atmosférica, reflectância do topo da atmosfera, Índice de Vegetação por Diferença Normalizada - NDVI e temperatura de brilho - T_s . As correções atmosféricas aplicadas às imagens

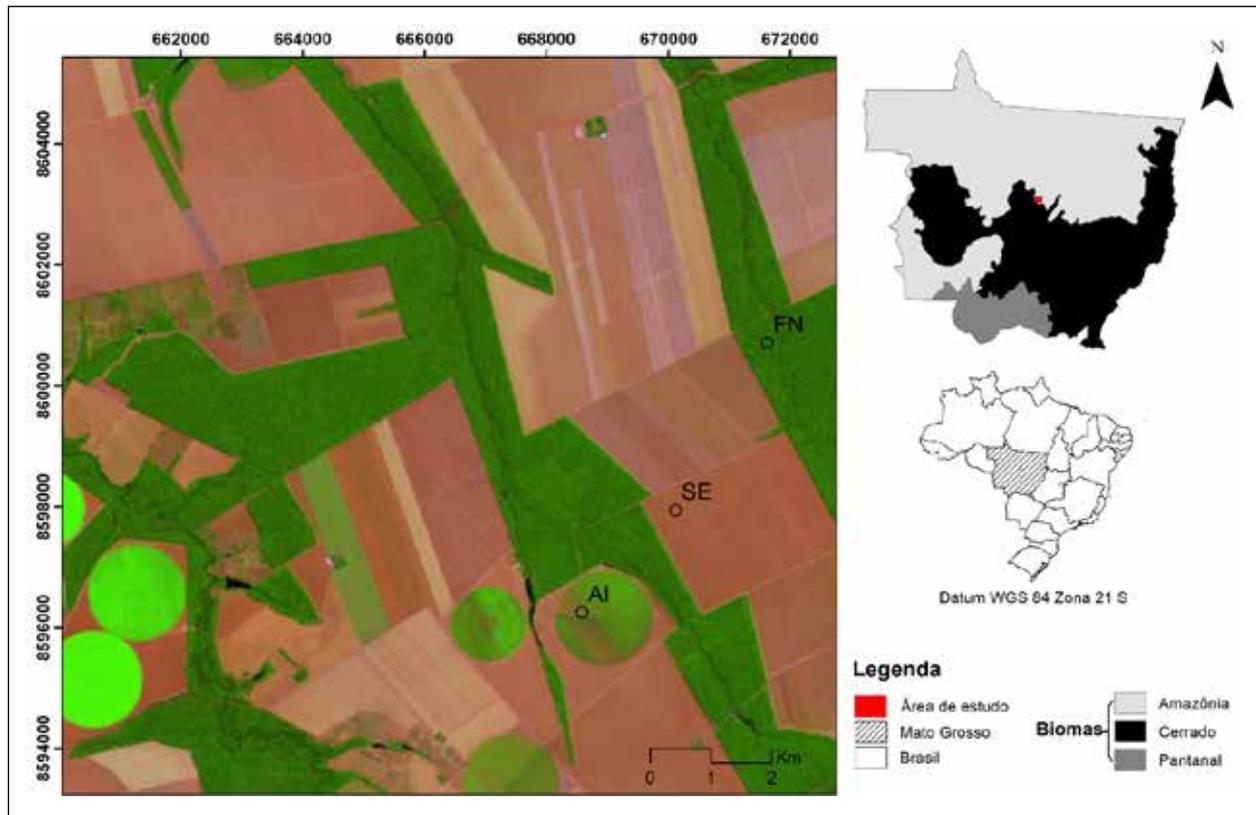


Figura 1 - Mapa da área de estudo, Centro Norte do estado de Mato Grosso, Brasil

do Landsat 8 OLI, foram descritas por Vermote et al., (2016), que utilizam o modelo Solar Spectrum Vectorial (6SV). Algoritmo que usa o centro da cena para o cálculo do ângulo do sol e depois codifica o ângulo zenital da vista para 0. O zênite solar e os ângulos zênites da vista são utilizados para cálculos como parte da correção atmosférica. Além disso a correção é realizada por códigos de transferência radiativa, recuperação de aerossóis e correção utilizando dados do sensor MODIS. Após obtenção das imagens, as mesmas foram empilhadas, recortadas e utilizadas para estimativa do saldo de radiação.

Os dados meteorológicos medidos em superfície foram obtidos da Estação Meteorológica Automática de Sorriso (EMA) – MT (12° 33' 18" S e 55° 43' 22" W, 370 m de altitude) gerenciada pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Esta é a estação mais próxima da área de estudo e considerada representativa da influência climática da região Centro Norte de Mato Grosso.

Tabela 1 - Dados de entrada das imagens do satélite Landsat 8 e dados calculados: elevação solar (E), distância relativa Terra-Sol (dr), cosseno ângulo zenital (Cos Z), temperatura do ar (Tar), umidade relativa do ar (UR), pressão atmosférica (P0) e radiação solar global (Rg)

Date	DOY	Time (UTC)	E (°)	dr	Cos Z (°)	Tar (°C)	UR (%)	P0 (Pa)	Rg (W m ⁻²)
27/11/2015	331	13:44:58	64,2112	1,0275	0,9004	31,1	60	968,6	886,7
03/04/2016	094	13:44:28	55,1427	0,9984	0,8205	31,4	57	971,5	773,0
24/07/2016	206	13:44:49	45,6496	0,9696	0,7150	33,3	28	972,3	658,4

2.3 Estimativa do Saldo de Radiação da Superfície

O cálculo do Rn instantâneo (W m⁻²) foi obtido pela Equação (1).

$$Rn_{inst} = R_{S\downarrow}(1 - \alpha) + R_{L\downarrow} - R_{L\uparrow} - (1 - \epsilon_0)R_{L\downarrow} \quad (1)$$

em que $R_{S\downarrow}$ é a radiação solar incidente na superfície (W m⁻²), obtida partir da EMA de Sorriso, α é o albedo da superfície, obtido conforme Equação (2), $R_{L\downarrow}$ é a radiação de onda longa incidente na superfície (W m⁻²), $R_{L\uparrow}$ é a radiação de onda longa

emitida pela superfície e ε_0 é a emissividade atmosférica de ondas longas em condições de céu claro.

O albedo da superfície foi obtido pela Equação (2) (SILVA et al., 2016).

$$\alpha_{\text{sup}} = \frac{\alpha_{\text{toa}} - \alpha_{\text{atm}}}{\tau_{\text{oc}}^2} \quad (2)$$

em que α_{toa} corresponde ao albedo planetário no topo da atmosfera (Equação 3), α_{atm} é o albedo atmosférico, considerado neste estudo como 0,03 (BASTIAANSEN, 2000) e τ_{oc}^2 é a transmitância atmosférica, que foi obtida pela Equação 4 (ALLEN et al., 2007).

O albedo no topo da atmosfera (α_{toa}) foi levantado a partir de combinação linear das refletâncias monocromáticas das bandas 2 a banda 7 do Landsat 8, conforme (SILVA et al., 2016).

$$\alpha_{\text{toa}} = 0,300\rho_2 + 0,277\rho_3 + 0,233\rho_4 + 0,143\rho_5 + 0,036\rho_6 + 0,012\rho_7 \quad (3)$$

em que $\rho_2, \rho_3, \rho_4, \rho_5, \rho_6$ e ρ_7 correspondem as respectivas refletâncias de superfície das bandas utilizadas (bandas 2 a 7) do Landsat 8.

$$\tau_{\text{oc}} = 0,35 + 0,627 \exp \left[\frac{-0,00146 P_0}{K_t \cos \theta_z} - 0,075 \left(\frac{W}{\cos \theta_z} \right)^{0,4} \right] \quad (4)$$

em que P_0 é a pressão atmosférica local (kPa) (Equação 5), K_t corresponde ao coeficiente da turbidez atmosférica ($K_t = 0,65$ foi usado neste estudo, atribuído para condições de céu claro), $\cos \theta_z$ é o ângulo zenital solar (extraído a partir de metadados que acompanham as imagens) e W (mm) é a água precipitável (Equação 6).

$$P_0 = 101,3 \left(\frac{T_a - 0,0065 * Z}{T_a} \right)^{5,26} \quad (5)$$

$$W = 0,14 * e_a P_0 + 2,1 \quad (6)$$

em que T_a é a temperatura do ar, Z é a elevação acima do nível do mar e e_a é a pressão de vapor atual (kPa).

A radiação de onda longa incidente na superfície ($R_{L\downarrow}$) e a emitida pela superfície ($R_{L\uparrow}$) foram obtidas pelas Equações 7 e 8, respectivamente.

$$R_{L\downarrow} = \varepsilon_a \cdot \sigma \cdot T_a^4 \quad (7)$$

$$R_{L\uparrow} = \varepsilon_0 \cdot \sigma \cdot T_b^4 \quad (8)$$

em que ε_a é a emissividade atmosférica, calculado conforme proposta de Duarte et al., (2006), ε_0 é a emissividade da superfície, calculado conforme Allen et al., (2007), σ é a constante de Stefan-Boltzmann ($\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$), T_a é a temperatura do ar (K), obtido na EMA de Sorriso e T_b é a temperatura de brilho (K), obtida com a banda termal 10 do Landsat 8.

2.4 Análises estatísticas

Para avaliar o efeito da conversão de floresta nativa em áreas agrícolas sobre as variáveis biofísicas, extraiu-se pixels de 100 pontos aleatórios nas áreas de Floresta Nativa (FN), Irrigada (AI) e Não Irrigada (AN) com soja, milho e solo exposto. As médias com intervalo de confiança de 95% do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada, albedo da superfície, temperatura de brilho e saldo de radiação da superfície foram calculadas com 1000 reamostragens aleatórias com substituição (EFRON; TIBSHIRANI, 1993). Para analisar a relação entre as variáveis biofísicas de cada tipo de cobertura do solo e cena, foi realizada a correlação de Spearman (R).

3 Resultados e discussão

As médias calculadas das quatro variáveis estudadas nos três dias apresentaram valores diferentes entre a classe de floresta nativa (FN) e as duas classes de culturas agrônômicas (AI e AN) (Tabela 2, Figura 2), indicando diferença no comportamento espectral entre as classes de uso do solo.

O NDVI diminuiu 44% na conversão da FN em AN e não houve diferença da FN com AI em 331 de 2015 (Tabela 2, Figura 2). O NDVI em 094 de 2016 reduziu 14,8% e 5,6% pela conversão da FN em AI e AN, respectivamente. Na cena do dia 206 de 2016 houve as maiores diferenças entre as classes de FN e as duas classes com culturas agrônômicas (AI e AN). Os valores de NDVI em AI e AN foram 17% e 67% menores que na FN, respectivamente.

Tabela 2 - Médias (IC \pm 95%) de Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI), albedo da superfície (α), temperatura de brilho (Tb) e saldo de radiação da superfície (Rn) nas áreas de floresta nativa (FN), área irrigada (AI) e área não irrigada (AN) na região de transição Cerrado-Amazônia durante os dias 331 e 094 de 2015 e 206 de 2016.

		Dia/Ano			Média
		331/2015	094/2016	206/2016	
NDVI	FN	0,86 \pm 0,00	0,88 \pm 0,00	0,84 \pm 0,00	0,86 \pm 0,00
	AI	0,90 \pm 0,00	0,75 \pm 0,01	0,69 \pm 0,02	0,79 \pm 0,01
	AN	0,48 \pm 0,00	0,83 \pm 0,00	0,27 \pm 0,00	0,53 \pm 0,02
α	FN	0,19 \pm 0,00	0,13 \pm 0,00	0,14 \pm 0,00	0,16 \pm 0,00
	AI	0,24 \pm 0,00	0,20 \pm 0,00	0,21 \pm 0,00	0,22 \pm 0,00
	AN	0,27 \pm 0,00	0,20 \pm 0,00	0,35 \pm 0,00	0,28 \pm 0,00
Tb (°C)	FN	22,63 \pm 0,03	23,90 \pm 0,02	26,79 \pm 0,07	24,44 \pm 0,20
	AI	22,21 \pm 0,07	25,50 \pm 0,07	27,00 \pm 0,20	24,90 \pm 0,26
	AN	27,43 \pm 0,12	25,11 \pm 0,09	33,76 \pm 0,05	28,78 \pm 0,43
Rn (W m ²)	FN	682,41 \pm 2,30	628,93 \pm 0,92	484,94 \pm 0,87	598,80 \pm 9,32
	AI	640,26 \pm 1,61	567,04 \pm 0,87	441,36 \pm 1,88	549,74 \pm 9,25
	AN	581,42 \pm 3,21	574,27 \pm 1,10	304,14 \pm 2,50	486,48 \pm 14,46

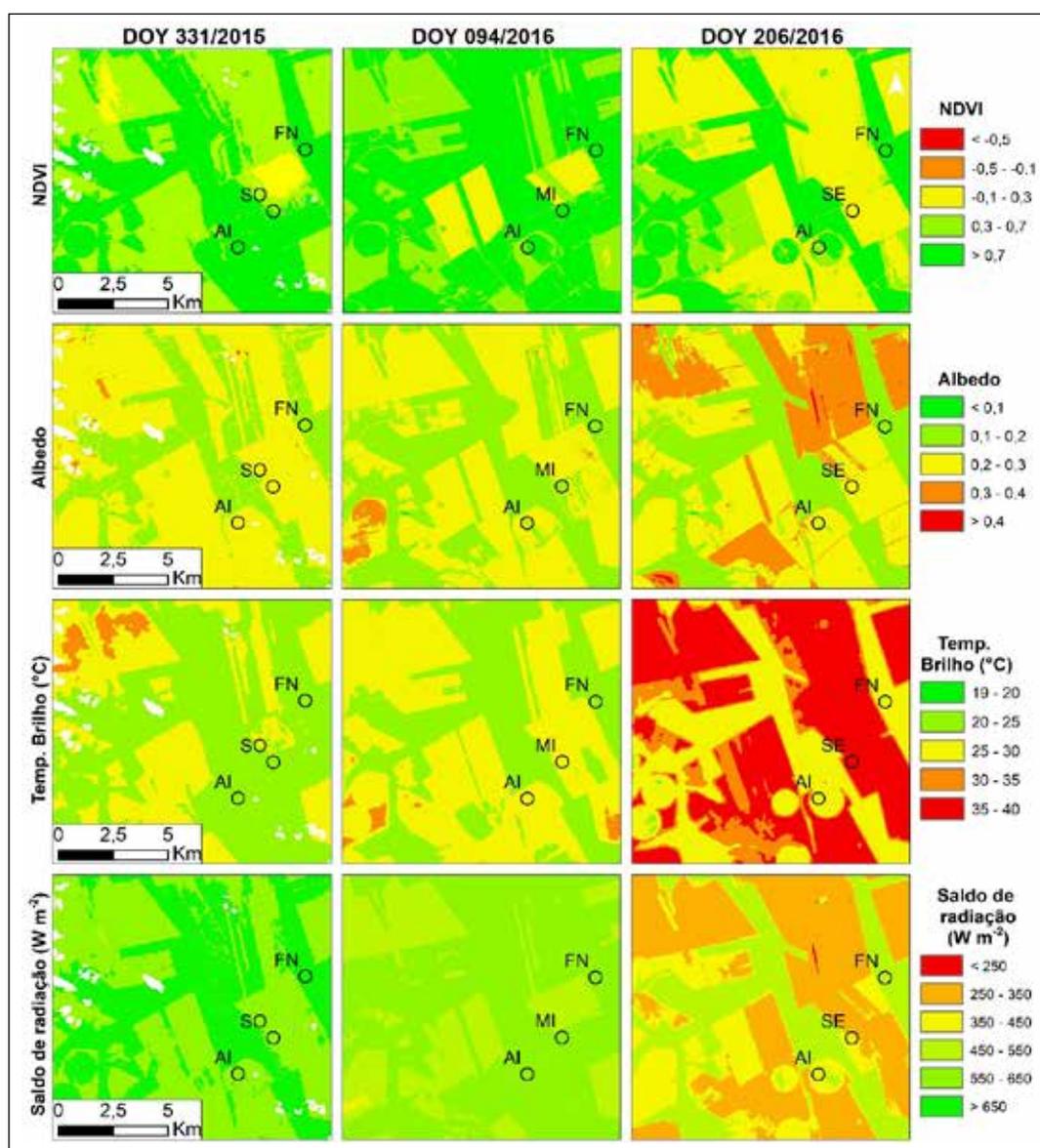


Figura 2 - Distribuição espacial do NDVI, α , Tb e Rn na área de estudo para as três imagens (DOY 331 de 2015; 094 e 206 de 2016). FN (Floresta Nativa), AI (Área Irrigada), AN (Área Não Irrigada): soja - SO, milho -MI e solo exposto - SE.

Os valores de NDVI da FN apresentaram-se superiores às classes de AI e AN, com exceção da classe de AI na cena 331 de 2015, que apresentou valor maior que a FN, devido possivelmente à influência da irrigação no período de aquisição da imagem. Os maiores valores do NDVI na classe FN é função da maior biomassa na vegetação nativa em relação as áreas de lavoura (FAUSTO et al., 2014; BIUDES et al., 2015), proporcionando valores de NDVI acima de 0,80. Esses valores estão ligeiramente maiores, mas condizentes com estudos alcançados por outros autores na região amazônica, como em Silva et al., (2015) que identificaram médias de 0,70 e 0,72 na região sudoeste da Amazônia, e Pavão et al., (2016), que levantaram NDVI superiores a 0,60 para áreas de floresta no sul do Amazonas. Ressalta-se que o NDVI desse estudo foi estimado com imagens de refletância da superfície corrigidas para efeito da atmosfera, enquanto que os trabalhos de Silva et al., (2015) e Pavão et al., (2016) utilizaram refletância do topo da atmosfera.

A classe de FN foi a que teve menor variação dos valores de NDVI nas três cenas estudadas. Isso se deve à maior estabilidade desta cobertura vegetal em relação as áreas de cultura agrícolas frente ao regime sazonal de chuvas (RISSO et al., 2012). Além disso, a maior variação do NDVI na AI e AN pode estar relacionado a mudanças da quantidade de biomassa e cobertura foliar em razão das diferentes espécies agrônômicas e estágios de desenvolvimento das culturas ao longo das três datas de estudo. O NDVI da classe AI foi maior que na AN, com médias das três cenas calculadas em 0,79 para AI e 0,53 para AN. Ambos os resultados foram superiores às médias de NDVI obtidas por Risso et al., (2012) na cultura da soja em Mato Grosso no período da entressafra, os quais obtiveram NDVI variando entre 0,2 e 0,3, mas inferiores em relação aos resultados do referido trabalho no período da safra de soja, em que registraram valores entre 0,7 e 0,9.

O maior NDVI na AI em relação a AN é explicado pela presença de água provenientes da irrigação na AI. A presença de água proporciona melhores condições de desenvolvimento da vegetação, o que ressalta os valores de NDVI (LIRA et al., 2009; PAVÃO et al., 2016). Esta influência da água em áreas de lavoura é bem demonstrada no estudo de Santos et al., (2015) que compararam índices de vegetação obtidos para áreas de culturas agrícolas irrigada e não irrigada, durante período chuvoso e seco, cujos resultados indicaram índices superiores nas condições irrigada e em período chuvoso. Silva et al., (2016) demonstraram a existência de correlação entre o NDVI e as condições de estresse hídrico em diferentes estágios fenológicos em uma cultura de feijão, onde os valores de NDVI decrescem à medida que se aumenta o estresse hídrico.

O albedo das classes de AI e AN foram 26% e 42%, respectivamente, maiores que na FN em 331 de 2015, e 35% maiores que na FN em 094 de 2016. No dia 206 de 2016, o albedo das classes de AI e AN foram 50% e 150%, respectivamente, maiores que na FN. Considerando as três cenas, as médias de albedo de AI e AN foram 37,5% e 75% maiores que na FN.

Os maiores valores de albedo ocorreram nas áreas de culturas irrigadas e não irrigadas, sendo que a classe AN se destaca com maiores valores de albedo nas três cenas de estudo. Os menores valores de albedo ocorreram na FN, sempre menores que 0,20 e média de 0,16 nas três cenas. Isso se deve à maior captura de luz que penetra nas suas copas em comparação com outras superfícies vegetadas de alturas menores (GIAMBELLUCA et al., 1997). Isso evidencia a importância da cobertura vegetal nativa para permitir maior disponibilidade de energia resultante do balanço de radiação de ondas curtas e que serão utilizadas em processos como evapotranspiração e fotossíntese (TARTARI et al., 2015).

O albedo estimado para FN nos dias 094 e 206 de 2016 estão próximos aos encontrados em outros estudos realizados na região da floresta amazônica. Santos et al., (2013) estimaram valor médio de 0,14 usando imagens MODIS, Santos et al., (2011) estimaram valores entre 0,10 e 0,12 e Silva et al., (2015) estimaram valores entre 0,11 e 0,15. O valor de albedo de 0,19 da FN do dia 331 de 2015 demonstrou estar acima da média comumente levantada por outros autores, o que pode estar relacionado a mudanças nos dosséis ou condições locais da área de FN estudada.

A temperatura de brilho na AN foi 21% maior que na FN, e não teve diferença entre FN e AI no dia 331 de 2015. A temperatura de brilho tanto de AI quanto de AN foi 5% maior que na FN no dia 094 de 2016, enquanto que no dia 206 de 2016, a temperatura de brilho de AN foi 26% maior que na FN, e não teve diferença entre FN e AI. Em geral, os valores da temperatura de brilho na FN foram menores que na AI e na AN. No entanto, a maior diferença ocorreu na AN, onde houve um aumento de 4 graus na temperatura de brilho em relação a FN, considerando a média das três cenas estudadas. A temperatura de brilho na AI foi de cerca de 0,5 graus maior em relação a FN na média das três datas de estudo, o que indica que a conversão da vegetação nativa em lavouras não irrigadas tende a exercer maior influência no balanço de ondas longas do que a conversão para lavouras irrigadas.

A temperatura de brilho da FN foi menor em relação as outras coberturas, pois, em geral, a redução da temperatura é devido a maior densidade de árvores, o fechamento do dossel na floresta pela estrutura da vegetação que fornece sombra e a evapotranspiração (SIYAL et al., 2017). Nas áreas com solo exposto ou com vegetação esparsa, a temperatura da superfície é alta e o NDVI é baixo, ao contrário dos solos totalmente cobertos por vegetação, em que a temperatura é baixa e o NDVI é alto (PAIVA, 2005). Ou seja, há uma relação inversa entre NDVI e a temperatura de brilho, devido a transferência de calor através da evapotranspiração, menor capacidade de calor ou inércia térmica da vegetação em relação ao solo (YUE et al., 2007).

Os maiores valores de saldo de radiação ocorreram na FN, cuja média para as três cenas de estudo foi de 598,80 W m⁻² (Tabela 2); o segundo maior valor de saldo de radiação ocorreu na AI (549,74 W m⁻²), e por último na AN (486,48 W m⁻²). Portanto, o saldo de radiação na AI e AN foram em média 8% e 18,7% menores que na FN, respectivamente. O saldo de radiação na AI e AN em 331 de 2015 foi 6% e 14,8% menores que na FN, em 094 de 2016 foi 9,8% e 8,66% menor que na FN, respectivamente, e em 206 de 2016 foi 8,9 e 37% menor que na FN, respectivamente. O saldo de radiação na AI foi maior que

na AN possivelmente devido à maior quantidade de água disponível. Dessa forma, a energia disponível é utilizada prioritariamente para o calor latente, o que diminui a temperatura da superfície e consequentemente a radiação de onda longa reemitida pela superfície (GOMES et al., 2013).

O dia 094 de 2016 foi o único dos dias analisados em que o saldo de radiação da AI foi menor do que o da AN, porém, correspondendo a uma diferença mínima. O que pode ser atribuído principalmente ao comportamento da temperatura de brilho, sendo a única das cenas em que AI apresentaram temperatura superior às AN. Uma possível razão para tal comportamento pode ser atribuída ao tipo de cultura agrícola cultivada nas áreas irrigadas e não irrigadas. Durante esse período (cena 094 de 2016), cultivava-se o feijão na AI, enquanto nas AN, o milho apresenta um dossel mais denso que contribui para melhor aproveitamento de energia. A média do saldo de radiação para FN foi um pouco superior ao encontrado por Pavão et al., (2016), os quais utilizaram imagem do Landsat 5 no sul do Amazonas e obtiveram médias entre 550 e 565 W m⁻² em 2009 e 2010, respectivamente.

Os valores do saldo de radiação em 331 de 2015 e 094 de 2016 foram maiores nas três classes de uso do solo do que em relação ao dia 206 de 2016. Isso se deve em razão da quantidade de radiação global disponível na região terem sido maiores durante o período de registro dessas duas cenas (Tabela 1).

O saldo de radiação varia em função da característica ótica e hídrica da superfície, tornando-se maior quanto menor for a refletividade da radiação solar incidente e maior a absorção (PEREIRA et al., 2002). As médias do saldo de radiação estão condizentes com as respectivas classes de uso do solo, pois diminuem em função da menor cobertura vegetal do solo, e são maiores para áreas de floresta nativa (SILVA et al., 2015). Além disso, saldo de radiação mais elevado é esperado em áreas com menor valor de albedo, o que ressalta a influência da cobertura do solo no balanço de radiação à superfície (BEZERRA et al., 2006).

Tendo em vista a importância que o saldo de radiação desempenha nos processos de aquecimento do solo e do ar e da evapotranspiração tanto da vegetação nativa quanto de espécies plantadas (SILVA et al., 2005; BIUDES et al., 2015), os resultados indicaram que a conversão de floresta nativa para culturas agrônômicas exerce influência nas condições ambientais locais, no sentido de reduzir o quantitativo final de energia disponível para processos naturais, impulsionado pelo aumento da fração de energia solar refletida e energia térmica emitida (GIAMBELLUCA et al., 1997). A conversão da floresta nativa em culturas não irrigadas teve maior influência nas alterações das variáveis biofísicas do que em relação a conversão para culturas irrigadas.

As áreas irrigadas apresentaram maior NDVI e menor temperatura de brilho que as áreas não irrigadas em razão da maior disponibilidade hídrica nestas áreas, o que demonstra amenizar a temperatura de brilho em função da substituição da conversão da vegetação nativa. As áreas irrigadas sistematicamente apresentam menor albedo e temperatura da superfície e, consequentemente, maior saldo de radiação (SILVA et al., 2011).

3.1 Correlação entre as variáveis biofísicas

A Tabela 3 apresenta os coeficientes de correlação de Spearman entre as variáveis para as três cenas estudadas. Os coeficientes de correlação significativos estão indicados com os respectivos valores-p. O coeficiente de correlação de Spearman entre albedo e saldo de radiação da superfície apresentaram fortes correlações em todas as cenas e classes de uso do solo. As correlações da classe de AI no dia 331 de 2015 se apresentaram todas significativas, com fortes correlações entre NDVI e albedo, e entre NDVI e temperatura de brilho. As correlações entre as variáveis albedo e temperatura de brilho; temperatura de brilho e saldo de radiação; e entre saldo de radiação e NDVI também do dia 331 de 2015 e classe AI foram medianas.

No dia 094 de 2016 as correlações entre NDVI e temperatura de brilho nas AI e AN foram fortes. As correlações entre NDVI e saldo de radiação e entre temperatura de brilho e saldo de radiação na AN também foram fortes durante o mesmo dia, enquanto que a correlação entre NDVI e albedo foi mediana durante o mesmo dia na AN. Durante o dia 206 de 2016, a correlação foi mediana entre NDVI e temperatura de brilho e entre saldo de radiação e temperatura de brilho na AI, enquanto que houve correlação mediana entre NDVI e saldo de radiação na AN durante o mesmo dia.

Tabela 3 - Matriz de correlação de Spearman do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI), albedo da superfície (α), temperatura de brilho (T_b) e saldo de radiação da superfície (R_n) nas áreas de floresta nativa (FN), área irrigada (AI) e área não irrigada (AN) na região de transição Cerrado-Amazônia durante os dias 331 e 094 de 2015 e 206 de 2016

Floresta nativa					
Dia		NDVI	α	T_b	R_n
331	NDVI	1			
	α	-0,163	1		
	T_b	0,075	-0,358***	1	
	R_n	0,157	-0,993***	0,267**	1

Continua...

Tabela 1 - Continuação

Floresta nativa					
Dia		NDVI	α	Tb	Rn
094	NDVI	1			
	α	0,561***	1		
	Tb	-0,334***	-0,068	1	
	Rn	-0,506***	-0,981***	-0,085	1
206	NDVI	1			
	α	0,477***	1		
	Tb	-0,084	0,099	1	
	Rn	-0,361***	-0,857***	-0,510***	1
Área irrigada					
331	NDVI	1			
	α	0,728***	1		
	Tb	-0,765***	-0,638***	1	
	Rn	-0,673***	-0,983***	0,531***	1
094	NDVI	1			
	α	0,423***	1		
	Tb	-0,893***	-0,366***	1	
	Rn	0,034	-0,854***	-0,129	1
206	NDVI	1			
	α	0,159	1		
	Tb	-0,636***	0,065	1	
	Rn	0,274**	-0,727***	-0,691***	1
Área não irrigada					
331	NDVI	1			
	α	0,18	1		
	Tb	-0,507***	-0,412***	1	
	Rn	-0,074	-0,973***	0,219*	1
094	NDVI	1			
	α	-0,667***	1		
	Tb	-0,819***	0,364***	1	
	Rn	0,918***	-0,814***	-0,820***	1
206	NDVI	1			
	α	-0,153***	1		
	Tb	0,024	-0,125	1	
	Rn	0,558***	-0,992***	0,034	1

*P-valor < 0,05; ** P-valor < 0,01; *** P-valor < 0,001

4 Conclusões

A conversão de vegetação nativa em áreas agrícolas na região de transição Cerrado-Amazônia aumentou o albedo da superfície e a temperatura de brilho e diminuiu o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada. Consequentemente, houve a diminuição do saldo de radiação devido à diminuição do balanço de radiação de ondas curtas e de ondas longas.

O albedo da superfície e a temperatura de brilho aumentaram em média 0,06 e 0,4°C nas áreas agrícolas irrigadas e 0,12 e 4,4°C nas áreas agrícolas não irrigadas, respectivamente, enquanto que o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada e o saldo de radiação da superfície diminuíram em média 0,07 e 49 W m⁻² nas áreas agrícolas irrigadas e 0,33 e 112 W m⁻² nas áreas agrícolas não irrigadas, respectivamente em relação à floresta nativa. Dessa forma, a conversão de vegetação nativa em áreas agrícolas impacta na diminuição da energia disponível à superfície no sistema solo-planta-atmosfera.

Agradecimentos

A pesquisa foi apoiada pela Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT), Programa de Pós-Graduação em Física Am-

biental (PPGFA/IF/UFMT), Instituto Federal de Mato Grosso (IFMT), Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq, processo nº 303625/2015-5; Edital Universal 01/2016, processo nº 407463/2016-0) e Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Mato Grosso (FAPEMAT – PRONEM 2014, processo nº 561397/2014).

Referências

- ALLEN RG, TASUMI M, TREZZA, R. Satellite-Based energy balance for mapping evapotranspiration with internalized calibration (METRIC) – Model. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. 2007;133(4):380-394. DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9437
- BASTIAANSEN WGM. Sebal based sensible and latent heat fluxes in the irrigated Gediz Basin, Turkey. *Journal of Hydrology*. 2000;229(1-2):87-100. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(99\)00202-4](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(99)00202-4)
- BEZERRA BG. Balanço de energia e evapotranspiração em áreas com diferentes tipos de cobertura de solo no cariri cearense através do algoritmo SEBAL [dissertation]. Campina Grande/PB: Mestrado em Agrometeorologia/ Universidade Federal de Campina Grande; 2006. 127p.
- BIUDES MS, NOGUEIRA JS, DALMAGRO HJ, MACHADO NG, DANELICHEN VHM, SOUZA MC. Mudança no microclima provocada pela conversão de uma floresta de cambará em pastagem no Norte do Pantanal. *Revista de Ciências Agro-Ambientais*. 2012;10(1):61-68.
- BIUDES MS, VOULITIS GL, MACHADO NG, DE ARRUDA PHZ, NEVES GAR, LOBO FA, NEALE CMU, NOGUEIRA JS. Patterns of energy exchange for tropical ecosystems across a climate gradient in Mato Grosso, Brazil. *Agricultural and Forest Meteorology*. 2015;202:112-124. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.agrformet.2014.12.008>.
- CONAB, Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira de grãos. Brasília - DF, 2017, 160p.
- DI PACE FTD, SILVA BB, SILVA VPR, SILVA STA. Mapeamento do saldo de radiação com imagens Landsat 5 e modelo de elevação digital. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande. 2008;12(4):385-392. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662008000400009>
- DUARTE HF, DIAS NL, MAGGIOTTO SR. Assessing daytime downward longwave radiation estimates for clear and cloudy skies in Southern Brazil. *Agricultural and Forest Meteorology*. 2006;139:171-181. DOI:10.1016/j.agrformet.2006.06.008
- EFRON B, TIBSHIRANI RJ. An introduction to the bootstrap. New York: Chapman & Hall, 1993, 443p.
- FACHIM E, GUARIM VLMS. Conservação da biodiversidade: espécies da flora de Mato Grosso. *Revista Acta Botânica Brasileira*. 1995;9(2):281-287.
- FAUSTO MA, ANGELINI LP, MARQUES HO, FILHO AS, MACHADO NG, BIUDES MS. Impacto da alteração do uso do solo no saldo de radiação no Cerrado do sul de Mato Grosso. *Revista Ambiente Água*. 2016;11(2):350-361. DOI:10.4136/ambi-agua.1843
- FAUSTO MA, MACHADO NG, NOGUEIRA JS, BIUDES MS. Net radiation estimated by remote sensing in Cerrado areas in the Upper Paraguay River Basin. *Journal of Applied Remote Sensing*. 2014;8(1):1-17. DOI: 10.1117/1.JRS.8.083541
- GIAMBELLUCA TW, HÖLSCHER D, BASTOS TX, FRAZÃO RR, NULLET MA, ZIEGLER AD. Observations of albedo and radiation balance over postforest land surfaces in the eastern Amazon basin. *Journal of Climate*. 1997;10(5):919-928.

GOMES LCF, SANTOS CAC, ALMEIDA HA. Balanço de Energia à Superfície para a Cidade de Patos-PB Usando Técnicas de Sensoriamento Remoto (Surface Energy Balance for the Patos City-PB Using Remote Sensing Techniques). *Revista Brasileira de Geografia Física*. 2013;6(1):15-28.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA [Internet]. Mapa Exploratório de Solos do Mato Grosso, 2009. Disponível em: <ftp://geoftp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/pedologia/mapas/unidades_da_federacao/mt_pedologia.pdf>. Acesso em: 09 de novembro de 2016.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Levantamento sistemático da produção agrícola: pesquisa mensal de previsão e acompanhamento das safras agrícolas no ano civil. Rio de Janeiro – RJ, 2017, 83p.

LIRA V, SILVA BB, NETO JD, FARIAS MSS, BEZERRA MVC, FRANCO ES, CENTENO CRM. Análise espectral de índice de vegetação em área irrigada com cana-de-açúcar. *Engenharia Ambiental*. 2009;6(1):113-120.

MACHADO CC, SILVA BB, ALBUQUERQUE MB, GALVÍNIO JD. Estimativa do balanço de energia utilizando imagens TM – Landsat 5 e o algoritmo Sebal no litoral sul de Pernambuco. *Revista Brasileira de Meteorologia*. 2014;29(1):p. 55-67.

MARINHO HMA, CANDIDO LM, CANDIDO AS, DALTRO O, JAUDI LMR, CAMARGO EJ, YOSHIDA PS. Análise econômica da evolução do agronegócio em Mato Grosso no período de 1990 a 2010. *Revista Faipe*. 2016;6(1):13-24.

MARTINS AL, da CUNHA CR, PEREIRA VMR, DANELICHEN VHM, MACHADO NG, LOBO FA, de MUSIS CR, BIUDES MS. Mudanças em índices biofísicos devido à alteração da cobertura do solo em área nativa de Cerrado em Mato Grosso. *Revista Ciência e Natura, Santa Maria*. 2015;37(4):152-159. DOI: <http://dx.doi.org/105902/2179460X16145>

NEEFF T, GRAÇA PMA, DUTRA LV, FREITAS CC. Carbon budget estimation in Central Amazonia: Successional forest modeling from remote sensing data. *Remote Sensing of Environment*. 2005;94:508–522. DOI:10.1016/j.rse.2004.12.002.

PAIVA CM. Estimativa do Balanço de Energia e da Temperatura da superfície via satélite NOAA-AVHRR [thesis]. Rio de Janeiro/RJ: Doutorado em Ciências em Engenharia Civil/Universidade Federal Do Rio De Janeiro – UFRJ, 2005. 218p.

PALÁCIOS RS, PRADO M.J, BIUDES MS, CARRILHO SBP, TOCANTINS I. Determinação do saldo de radiação em plantação de milho com imagens Landsat-5 TM. *Boletim de Geografia*. 2015;33(1):41-52. DOI: 10.4025/bolgeogr.v33i1.23134

PAVÃO VM, QUERINO CAS, BENEDITTI CA, PAVÃO LL, QUERINO JKAS, MACHADO NG, BIUDES MS. Variação espacial e temporal do saldo de radiação superficial em uma área do sul do Amazonas, Brasil. *Revista Ra'e Ga*. 2016;37:333-352. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/raega.v37i0.42469>

PEREIRA AB, VRISMAN AL, GALVANI E. Estimativa da Radiação solar global diária em função do potencial de energia solar na superfície do solo. *Scientia Agrícola*. 2002;59(2):211-216.

RISSE J, RIZZI R, RUDORFF BFT, ADAMI M, SHIMABUKURO YE, FORMAGGIO AR, EPIPHANIO RDV. Índices de vegetação Modis aplicados na discriminação de áreas de soja. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 2012;47(9):1317-1326.

SANTOS CAC, NASCIMENTO RL, RAO TVR. Net radiation estimation under pasture and forest in Rondônia, Brazil, with TM Landsat 5 images. *Atmosfera*. 2011;24(4):435-446.

SANTOS FAC, SANTOS CAC, ARAÚJO AL, BRAGA AC. Alterações no Balanço Radiativo em Áreas de Pastagem e Floresta Obtidas por Meio de Imagens Orbitais MODIS. *Revista Brasileira de Geografia Física*. 2013;6(5):1023-1036.

SANTOS JEO, NICOLETE DAP, FILGUEIRAS R, LEDA VC, ZIMBACK CRL. Imagens do landsat-8 no mapeamento de superfícies em área irrigada. *Irriga e Inovagri*. 2015;1(2):30-36.

SECRETARIA DE PLANEJAMENTO DO ESTADO DE MATO GROSSO. Mapa A001. Mapa de Solos do Estado de Mato Grosso. Zoneamento socioeconômico ecológico, PRODEAGRO. 2001. Disponível em: <<http://201.49.164.155/~seplandownloads/index.php/component/jdownloads/finish/1390-mapas-tematicos-1500-pdf/2562-a001-mapa-de-solos-do-estado-de-mato-grosso?Itemid=0>>. Acesso em: 09 de novembro de 2016.

SILVA BBD, BRAGA AC, BRAGA CC, OLIVEIRA LMM, MONTENEGRO SMGL, BARBOSA JUNIOR B. Procedures for calculation of the albedo with OLI-Landsat 8 images: Application to the Brazilian semi-arid. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. 2016;20(1):3-8. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v20n1p3-8>

SILVA BB, BRAGA AC, BRAGA CC. Balanço de radiação no perímetro irrigado São Gonçalo-PB mediante imagens orbitais. *Revista Caatinga*. 2011;24(3):145-152.

SILVA BB, LOPES GM, AZEVEDO PV. Balanço de radiação em áreas irrigadas utilizando imagens Landsat 5-TM. *Revista Brasileira de Meteorologia* 2005;20(2):243-252.

SILVA BB, MONTENEGRO SMGL, SILVA VPR, ROCHA HR, GALVÍNIO JD, OLIVEIRA LMM. Determination of instantaneous and daily net radiation from TM – Landsat 5 data in a subtropical watershed. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*. 2015;135:42-49. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jastp.2015.09.020>

SILVA LC, CUNHA JM, MACHADO NG, CAMPOS MCC, BIUDES MS. Estimativa do balanço de radiação por sensoriamento remoto de diferentes usos de solo no sudoeste da Amazônia brasileira. *Sociedade e Natureza*. 2015;27(2):341-356. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1982-451320150211>

SILVA MRN, GONÇALVES ACA, da SILVA JUNIOR A, NANNI MR, FACCO CU, CEZAR E, da SILVA AA. NDVI Response to Water Stress in Different Phenological Stages in Culture Bean. *Journal of Agronomy*. 2016;15(1):1-10. DOI: 10.3923/ja.2016.1.10

SIYAL AA, SIYAL AG, MAHAR RB. Spatial and temporal dynamics of Pai forest vegetation in Pakistan assessed by RS and GIS. *Journal of Forestry Research*. 2017;28:593- 603. DOI: 10.1007/s11676-016-0327-x.

SOUZA AP, CASAVECCHIA BH, STANGERLIN DM. Avaliação dos riscos de ocorrência de incêndios florestais nas regiões Norte e Noroeste da Amazônia Matogrossense. *Scientia Plena*. 2012;8(5):1-14.

SOUZA AP, MOTA LL, ZAMADEI T, MARTIM CC, ALMEIDA FT, PAULINO J. Classificação climática e balanço hídrico climatológico no estado de Mato Grosso. *Nativa Pesquisas Agrárias e Ambientais*. 2013;1(1):34-43. DOI: <http://dx.doi.org/10.14583/2318-7670.v01n01a07>

TARTARI R, MACHADO NG, ANJOS MR, CUNHA JM, MUSIS CR, NOGUEIRA JS, BIUDES MS. Análise de índices biofísicos a partir de imagens TM Landsat 5 em paisagem heterogênea no Sudoeste da Amazônia. *Revista Ambiente Água*. 2015;10(4):943-953. DOI:10.4136/ambi-agua.1663

TEIXEIRA AHC, LEIVAS JF, ANDRADE RG, HERNANDEZ FBT, MOMESSO FRA. Modelling radiation and energy balances with Landsat 8 images under different thermohydrological conditions in the Brazilian semi-arid region. *SPIE Remote Sensing - International Society for Optics and Photonics*. 2015;9637(1). DOI: 10.1117/12.2195044

VERMOTE E, JUSTICE C, CLAVERIE M, FRANCH B. Preliminary analysis of the performance of the Landsat 8/OLI land surface reflectance product. *Remote Sensing of Environment*. 2016;185:46–56. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2016.04.008>

YUE W, XU J, TAN W, XU L. The relationship between land surface temperature and NDVI with remote sensing: application to Shanghai Landsat 7 ETM + data. *International Journal of Remote Sensing*. 2007;28(5):3205–3226. DOI: 10.1080/01431160500306906

Daniela Roberta Borella

Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, Brasil

Graduada em Engenharia Florestal, Email: drborella@gmail.com

Participação do autor: processamento dos dados e na escrita do artigo

Flávia Regina Pereira Santos de Siqueira

Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, Brasil

Graduada em Geologia, Email: frpsantos@hotmail.com

Participação do autor: elaboração dos gráficos e na escrita do artigo

Thiago de Oliveira Faria

Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, Brasil

Graduado em Geologia, Email: thiago.geologo@gmail.com

Participação do autor: processamento dos dados e na escrita do artigo

Marcelo Sacardi Biudes

Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, Brasil

Graduado em Licenciatura Plena em Física, Email: marcelo@fisica.ufmt.br

Participação do autor: nas análises estatísticas e revisão geral do artigo

Nadja Gomes Machado

Instituto Federal de Mato Grosso, Cuiabá, Brasil

Graduada em Ciências Biológicas, Email: nadja.machado@blv.ifmt.edu.br

Participação do autor: nas análises estatísticas e revisão do artigo