

Mudanças em índices biofísicos devido à alteração da cobertura do solo em área nativa de Cerrado em Mato Grosso

Changes in biophysical indices due to the change of land cover in native Cerrado area in Mato Grosso state

André Luiz Martins¹, Cristiano Rocha da Cunha¹, Vinícius Marcio Rodrigues Pereira¹, Victor Hugo de Moraes Danelichen¹, Nadja Gomes Machado^{1,2}, Francisco de Almeida Lobo¹, Carlo Ralph De Muisis¹, Marcelo Sacardi Biudes¹

¹Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental, Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, Brasil

²Laboratório de Biologia da Conservação, Instituto Federal de Mato Grosso, Cuiabá, Brasil

Resumo

A substituição de florestas naturais para o cultivo de monoculturas pode provocar alterações no clima local e regional devido às mudanças nas trocas líquidas de radiação e energia entre a superfície e a atmosfera. Neste sentido, o objetivo deste trabalho foi avaliar mudanças em índices biofísicos como o Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), albedo da superfície, temperatura da superfície e saldo de radiação da superfície devido à alteração da cobertura do solo em área nativa de Cerrado em Campo Novo do Parecis, Mato Grosso. Para tanto foram obtidas imagens TM Landsat 5 para calcular os índices biofísicos de uma área com reserva legal e área desmatada de Cerrado. O NDVI da área de reserva legal foi 72% maior, o albedo da superfície 56,1% menor, a temperatura da superfície 39,2% menor que na área desmatada. Dessa forma, o saldo de radiação diário na área de reserva legal foi 6,6% maior que na área desmatada, demonstrando que a conversão da área nativa de Cerrado modifica as trocas líquidas de radiação entre a superfície e a atmosfera.

Palavras-chave: Microclima, mudança do uso do solo, mudanças climáticas, balanço de radiação.

Abstract

The replacement of natural forests to monoculture can cause changes in local and regional climate due to changes in net radiation and energy exchanges between the surface and the atmosphere. Thus, the objective of this study was to evaluate changes in biophysical indices such as Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), albedo, temperature and net radiation of the surface due to the change of land cover in native Cerrado area in Campo Novo do Parecis, Mato Grosso State. We obtained Landsat 5 TM images to calculate the biophysical indices in protected and deforested areas. The NDVI of the protected area was 72% higher, the surface albedo was 56.1% lower and the surface temperature was 39.2% lower than in the deforested area. Thus, the balance of daily radiation in the protected was 6.6% higher than in the deforested area, which showed that conversion of native Cerrado area modifies the net radiation exchange between the surface and the atmosphere.

Keywords: Microclimate, land use change, climate change, radiation balance.

1 Introdução

Dentre os biomas brasileiros, o Cerrado é o segundo maior bioma e encontra-se num contexto singular quanto à sua conservação. Num intenso processo de antropização, o Cerrado possui somente 20% de sua área nativa e 50% de sua área original é usada para agropecuária (Sano et al., 2010). O Cerrado ocupa 39,6% do estado de Mato Grosso, onde a economia é baseada no agronegócio. De acordo com CONAB (2014), Mato Grosso é o segundo estado brasileiro em produção agrícola e responde por 24% de tudo o que o Brasil produz de grãos, somando 187 milhões de toneladas. Entre as culturas com maior destaque estão a soja (24,7%), a cana-de-açúcar (19,8%) e o milho (13,2%) (IBGE, 2014). Dessa forma, a demanda de energia solar é essencial para os processos biológicos, formação das chuvas e a manutenção da temperatura que permitam o cultivo de lavouras (Di Pace et al., 2008).

Estudos sobre o avanço da fronteira agrícola em Mato Grosso relatam consequências dessa prática. Entre os aspectos positivos, o crescimento econômico das cidades e do estado é o principal. Porém, entre os negativos, percebe-se o assoreamento e contaminação dos rios, mudanças no regime hidrológico e pressões dentro e em torno das reservas indígenas, resultando em grandes desmatamentos das reservas naturais (Schwenk & Cruz, 2008; Machado et al., 2013). Além dos efeitos sociais, a substituição das áreas nativas provoca aumento de temperatura e também aumento do período de estiagem (Mesquita Junior et al., 2007). Essas consequências se devem à mudança do albedo e da temperatura da superfície em escala regional, os quais impactam no saldo de radiação (Bernardes et al., 2011).

O saldo de radiação é definido como a soma dos balanços de onda curta (radiação solar incidente menos a refletida) e de onda longa (radiação infravermelha proveniente do aquecimento da atmosfera menos a radiação infravermelha proveniente do aquecimento da superfície). O saldo de radiação, tipo de cobertura do solo e a disponibilidade hídrica

determinam a distribuição de energia no ambiente em calor latente, sensível e no solo. Dessa forma, o conhecimento da variação espacial e temporal do saldo de radiação é essencial no monitoramento do clima, previsão do tempo, modelagem hidrológica e meteorologia agrícola (Bastiaanssen, 2005; Bisht et al., 2005; Silva et al., 2011).

O saldo de radiação pode ser medido diretamente sobre a superfície a ser estudada. No entanto, a sua espacialização se torna onerosa e quase impraticável. Nesse sentido, a estimativa do saldo de radiação por técnicas de sensoriamento remoto tem se tornado uma ferramenta útil para estudo da variação espacial do saldo de radiação em escala regional (Silva et al., 2011). O sensor Thematic Mapper (TM) do satélite Landsat 5 tem sido muito utilizado para estimativa do saldo de radiação e tem sua potencialidade e baixo custo comprovados (Boegh et al., 2002; Bastiaanssen, 2005; SILVA Et AL., 2011). A partir das refletâncias medidas pelo sensor TM é possível calcular o albedo da superfície, a temperatura da superfície e os índices de vegetação que fornecem uma estimativa da quantidade de verde da vegetação, os quais são utilizados para se calcular o saldo de radiação em escala regional (Souza et al., 2008; Bezerra et al., 2008).

Neste sentido, o objetivo deste trabalho foi avaliar a mudança nos índices biofísicos como o NDVI, albedo da superfície, temperatura da superfície e saldo de radiação da superfície devido à conversão de uma área nativa de Cerrado em uma área desmatada em Campo Novo do Parecis no estado de Mato Grosso.

2 Material e Métodos

2.1 Descrição da área de estudo

A pesquisa foi realizada em uma área agrícola localizada em Campo Novo do Parecis no estado de Mato Grosso, situadas a 385 km da capital Cuiabá (MT). O local de estudo foi na Fazenda Cristina que possui aproximadamente 9.448.384 km² e coordenadas centrais de latitude 13°40'S e longitude de 57°53'O e altitude média de 572 m. Nesta área, a floresta nativa de

Cerradão foi substituída pela monocultura do soja (Figura 1). O clima da região estudada é tropical com uma estação seca bem definida no inverno e chuvosa no verão, classificado como Aw segundo Köppen-Geiger (CUNHA et al., 2012).

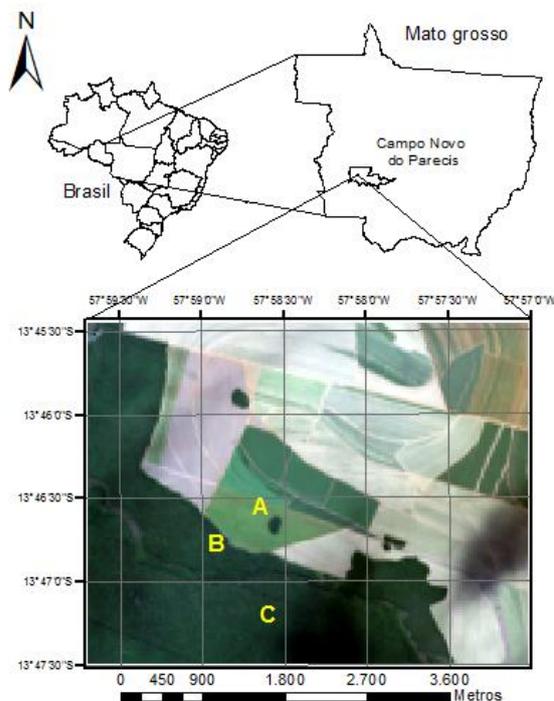


Figura 1: Mapa de localização da área de estudo no município de Campo Novo do Parecis, Mato Grosso, e a indicação da área desmatada (A), área de borda da floresta (B) e área de reserva legal (C).

2.2 Estimativa do saldo de radiação utilizando imagens TM Landsat 5

O saldo de radiação foi estimado a partir de uma imagem TM Landsat 5 orbita 228 e ponto 69 obtida em 20/04/2011 adquirida junto ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. A escolha dessa imagem foi devido à ausência das nuvens e do período de pousio da área que cultiva soja (cultura predominante no estado), tornando-a viável para análise das variáveis em estudo.

Imagens TM Landsat 5 possuem as seguintes características: resolução temporal de 16 dias, resolução radiométrica de 8 bits (256 níveis de cinza), resolução espectral com três bandas cobrindo a região do espectro do visível (Bandas 1; 2 e 3), uma banda cobrindo o infravermelho próximo - IVP (Banda 4) e duas bandas cobrindo o infravermelho médio – IVM (Bandas 5 e 7) com

30 m de resolução espacial, e uma banda termal (Banda 6) com 120 m de resolução espacial (Chander et al., 2009).

O saldo de radiação foi obtido após uma série de etapas descritas no fluxograma da Figura 2.

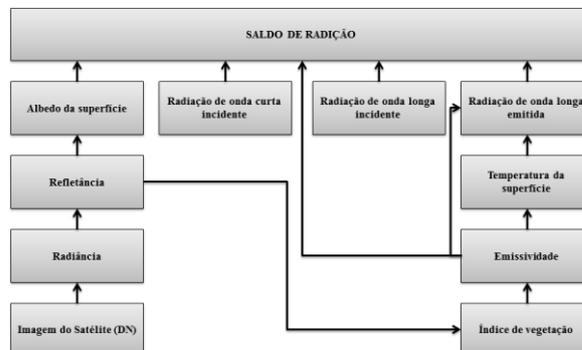


Figura 2: Diagrama das etapas de processamento da imagem TM Landsat 5 para cálculo do saldo de radiação.

O saldo de radiação instantâneo, no momento da passagem do satélite (Rn_{inst} ; $W m^{-2}$) foi calculado segundo a Equação (1).

$$Rn_{inst} = R_{sol,inc} \cdot (1 - \alpha_{sup}) - R_{ol,emit} - (1 - \varepsilon_0) \cdot R_{ol,atm} \quad (1)$$

em que $R_{sol,inc}$ é a radiação solar ($W m^{-2}$) obtida na estação meteorológica da Fazenda Cristina, α_{sup} é o albedo da superfície corrigido para o efeito da atmosfera, $R_{ol,emit}$ é a radiação de ondas longas emitida pela superfície ($W m^{-2}$), $R_{ol,atm}$ é a radiação de ondas longas emitida pela atmosfera ($W m^{-2}$) e ε_0 é a emissividade da superfície.

O valor do albedo da superfície corrigido para o efeito da atmosfera (α_{sup}) foi calculado pela Equação (2).

$$\alpha_{sup} = \frac{\alpha_{toa} - \alpha_p}{\tau_{sw}^2} \quad (2)$$

em que α_{toa} é o albedo do topo da atmosfera (Equação 3), α_p é o albedo da própria atmosfera e τ_{sw} é a transmissividade da atmosfera com céu claro (Allen et al., 2007).

$$\alpha_{toa} = 0,293\rho_1 + 0,274\rho_2 + 0,233\rho_3 + 0,157\rho_4 + 0,033\rho_5 + 0,011\rho_7 \quad (3)$$

em que ρ_1 , ρ_2 , ρ_3 , ρ_4 , ρ_5 e ρ_7 são as refletâncias no topo da atmosfera das bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7, respectivamente.

Os valores da reflectância monocromática de cada banda (ρ_{λ_i}), definido como sendo a razão entre o fluxo da radiação solar refletido e o fluxo da radiação solar incidente, foi obtida pela Equação (4).

$$\rho_{\lambda i} = \frac{\pi \cdot L_{\lambda i}}{k_{\lambda i} \cdot \cos Z \cdot d_r} \quad (4)$$

em que $L_{\lambda i}$ é a radiância espectral banda a banda ($W \text{ m}^{-2} \mu\text{m}^{-1}$), $k_{\lambda i}$ é a irradiância solar banda a banda ($W \text{ m}^{-2} \mu\text{m}^{-1}$), Z é o ângulo zenital solar e d_r é a razão entre a distância média Terra-Sol.

A radiância espectral banda a banda foi medida pelo TM Landsat 5 e disponibilizada em níveis de cinza ou número digital (ND). Para se converter de número digital para radiância espectral foi utilizada a Equação (5) (Chander et al., 2009).

$$L_{\lambda i} = L_{min} + \left(\frac{L_{m\acute{a}x} - L_{min}}{255} \right) \times ND \quad (5)$$

em que L_{min} e $L_{m\acute{a}x}$ são os coeficientes de calibração banda a banda ($W \text{ m}^{-2} \text{ sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$), obtidos da Tabela 1, e ND é a radiância banda a banda em número digital (número inteiro de 0 a 255).

Tabela 1: Descrição das bandas do Mapeador Temático (TM) do Landsat - 5, com os correspondentes intervalos de comprimento de onda (λ , μm), coeficientes de calibração (L_{min} e $L_{m\acute{a}x}$; $W \text{ m}^{-2} \text{ sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$) e irradiâncias espectrais no topo da atmosfera ($k_{\lambda i}$; $W \text{ m}^{-2} \mu\text{m}^{-1}$).

Bandas	λ	L_{min}	$L_{m\acute{a}x}$	$k_{\lambda i}$
1 (azul)	0,45 – 0,52	-1,52	193	1957
2 (verde)	0,52 – 0,60	-2,84	365	1826
3 (verm.)	0,63 – 0,69	-1,17	264	1554
4 (IV- próx.)	0,76 – 0,79	-1,51	221	1036
5 (IV- méd)	1,55 – 1,75	-0,37	30,2	215
6 (IV- term.)	10,4 – 12,5	1,24	15,3	-
7 (IV- méd.)	2,08 – 2,35	-0,15	16,5	80,67

A radiação de onda longa emitida pela superfície ($R_{ol,emi}$; $W \text{ m}^{-2}$) foi obtida através da equação de Stefan-Boltzman (Equação 6).

$$R_{ol,emi} = \varepsilon_0 \cdot \sigma \cdot T_{sup}^4 \quad (6)$$

em que T_{sup} é a temperatura da superfície (K), ε_0 é a emissividade de cada pixel (Equação 7) e σ é a constante de Stefan – Boltzmann ($5,67 \cdot 10^{-8} W \text{ m}^{-2} \text{ K}^{-4}$).

$$\varepsilon_0 = 0,97 + 0,0033IAF \quad (7)$$

em que IAF é o índice de área foliar, estimado pela Equação (8).

$$IAF = - \frac{\ln \left(\frac{0,69 - SAVI}{0,59} \right)}{0,91} \quad (8)$$

em que $SAVI$ é o índice de vegetação ajustado ao solo (do inglês Soil Adjusted Vegetation Index), calculado pela Equação (9).

$$SAVI = \frac{(1 + L)(\rho_4 - \rho_3)}{(L + \rho_4 + \rho_3)} \quad (9)$$

em que L é o fator de ajuste do tipo de solo do terreno e ρ_3 e ρ_4 são as refletâncias das bandas 3 e 4 do TM Landsat 5.

O índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI do inglês Normalized Difference Vegetation Index) foi calculado pela Equação (10).

$$NDVI = \frac{(\rho_4 - \rho_3)}{(\rho_4 + \rho_3)} \quad (10)$$

A radiação de onda longa emitida pela atmosfera ($R_{ol,atm}$; $W \text{ m}^{-2}$) também foi obtida pela equação de Stefan – Boltzmann (Equação 11).

$$R_{ol,atm} = \varepsilon_a \cdot \sigma \cdot T_a^4 \quad (11)$$

em que ε_a é a emissividade da atmosfera (equação 12) e T_a é a temperatura do ar (K) medida na estação meteorológica da Fazenda Cristina.

$$\varepsilon_a = 0,85 \cdot (-\ln \tau_{sw})^{0,09} \quad (12)$$

O saldo de radiação diário (Rn_{24h} ; $W \text{ m}^{-2}$) foi obtido pela Equação (13).

$$Rn_{24h} = (1 - \alpha_{sup})Rs_{24h} - 110\tau_{24h} \quad (13)$$

em que Rs_{24h} é a radiação solar diária ($W \text{ m}^{-2}$) e τ_{24h} é a transmissividade de ondas curtas diária, a qual é calculada como a razão entre a radiação solar diária que atinge a superfície e a no topo da atmosfera.

3 Resultados e Discussão

O NDVI foi alterado significativamente com a substituição da vegetação nativa (Figura 3; Tabela 2). O NDVI do ponto C (área de reserva legal) foi 72,6% maior que o NDVI no ponto A (área desmatada) e 14,5% maior que no ponto B (borda da floresta). Segundo Agarez et al (2001), é comum em áreas com intenso histórico de antropização e desmatamento, a observação de valores reduzidos de NDVI.

Os resultados obtidos nesse trabalho demonstram que o NDVI foi sensível à mudança na biomassa e no índice de área foliar da vegetação, e foi possível diferenciar a área desmatada da reserva legal, corroborando com o trabalho de Povh et al. (2008), o qual também demonstraram a sensibilidade do NDVI em identificar áreas desmatadas. Desta forma, o

NDVI pode ser utilizado como parâmetro indicador da dinâmica espaço-temporal de superfícies heterogêneas, ou seja, distintos usos e ocupações do solo, em virtude da sua elevada sensibilidade de detecção envolver radiação visível e infravermelho na superfície (Silva, 2011; Bezerra et al., 2011).

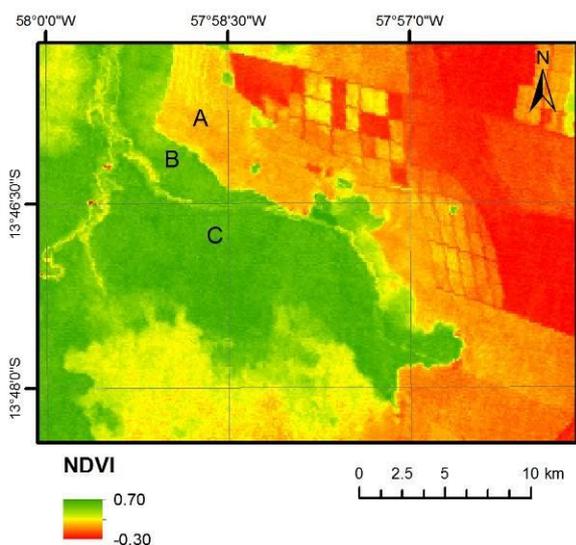


Figura 3: Distribuição espacial do NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) na área de estudo no município de Campo Novo do Parecis, Mato Grosso, e a indicação da área desmatada (A), área de borda da floresta (B) e área de reserva legal (C).

Tabela 2: Valores do NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), temperatura da superfície (T_s ; °C), albedo da superfície (α), emissividade da superfície (ϵ_0), saldo de radiação instantâneo (Rn_{inst} ; $W m^{-2}$) e saldo de radiação diário (Rn_{24h} ; $W m^{-2}$) na área desmatada (A), área de borda da floresta (B) e área de reserva legal (C) na área de estudo no município de Campo Novo do Parecis, Mato Grosso.

Variáveis	A	B	C
NDVI	0,17	0,53	0,62
T_s	27,43	20,13	19,70
α	12,80	9,30	8,20
ϵ_0	0,95	0,96	0,96
Rn_{inst}	497,47	535,82	550,47
Rn_{24h}	136,15	144,43	145,20

O albedo da superfície aumentou com a retirada da vegetação nativa (Figura 4; Tabela 2). O albedo da superfície no ponto C (reserva legal)

foi 56,1% menor que no ponto A (área desmatada) e 13,4% menor que no ponto B (borda da floresta). A área desmatada possui coloração mais clara que na reserva legal, permitindo refletir mais radiação eletromagnética. Além disso, a área da reserva legal é formada por vegetação arbórea que aprisiona a energia eletromagnética no seu interior devido às múltiplas reflexões no seu interior (Querino et al., 2006; Bezerra et al., 2011).

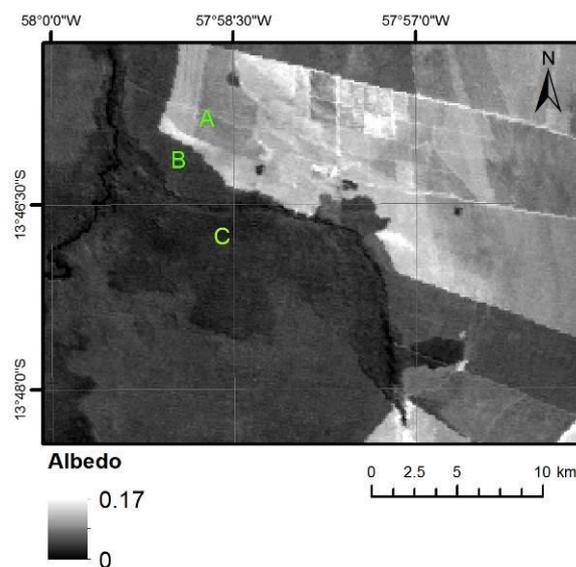


Figura 4: Distribuição espacial do albedo da superfície na área de estudo no município de Campo Novo do Parecis, Mato Grosso, e a indicação da área desmatada (A), área de borda da floresta (B) e área de reserva legal (C).

A temperatura da superfície também foi significativamente alterada com o desmatamento (Figura 5; Tabela 2). No ponto C (reserva legal) a temperatura da superfície foi 39,2% menor que no ponto A (área desmatada) e 2,2% menor que no ponto B (borda da floresta) (Tabela 2). A temperatura de superfície atua como indicador de áreas propícias à ocorrência de incêndios devido ao desmatamento, cujas condições de estresse hídrico (baixa umidade e elevada insolação), favorecem o agravamento do processo de desertificação, além de dispor de informações ao manejo adequado do solo e planta (Bezerra et al., 2014). Os maiores valores da temperatura da superfície nas áreas desmatadas se devem à menor biomassa, com isso, a energia disponível ao ambiente é utilizada prioritariamente para o aquecimento do ar e do solo. Na área de reserva legal, a biomassa age

como termorregulador, pois a energia disponível ao ambiente será utilizada prioritariamente ao processo de evapotranspiração, resfriando a superfície vegetada (Biudes et al., 2009).

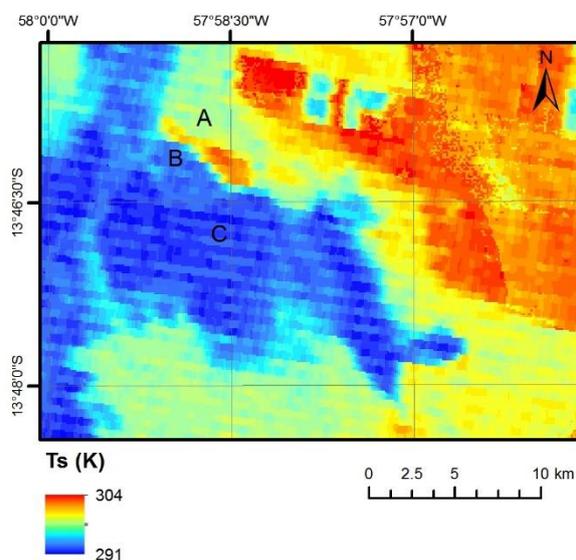


Figura 5: Distribuição espacial da temperatura da superfície ($^{\circ}\text{C}$) na área de estudo no município de Campo Novo do Parecis, Mato Grosso, e a indicação da área desmatada (A), área de borda da floresta (B) e área de reserva legal (C).

Os valores da emissividade da superfície foram praticamente constantes nos pontos analisados (Tabela 2). Os valores sofreram pouca variação comparando a área de solo exposto (0,95) com a área de reserva legal (0,96), com diferença em torno de 1%. Di Pace et al. (2008) obtiveram valores entre 0,97 em solo exposto e 0,99 em área com solo irrigado. Logo os valores da emissividade apresentados neste presente estudo não diferem dos valores encontrados por outros autores (Li et al., 2009; Silva et al., 2011).

As trocas líquidas de energia eletromagnética entre a superfície e a atmosfera, ou saldo de radiação, foram distintas nos três pontos estudados (Tabela 2). O saldo de radiação instantâneo na passagem do satélite no ponto C (reserva legal) foi maior, seguido pelo ponto B (borda da floresta), e o menor valor foi obtido no ponto A (área desmatada). Com vista a compreender melhor a distribuição do saldo de radiação da superfície, foi calculado o saldo de radiação diário. Assim, observou-se que o saldo de radiação diário no ponto C (reserva legal) e o ponto B (borda da floresta) apresentaram

praticamente os mesmos valores e superiores ao obtido no ponto A (área desmatada) (Figura 6; Tabela 2). Resultado semelhante foi encontrado por Alves et al. (1999) num estudo de caso feito em Rondônia, onde os autores observaram saldo de radiação diário 15% menor na área desmatada em relação à área de reserva. A diminuição do saldo de radiação na área desmatada é devido ao efeito combinado do aumento do albedo da superfície que aumenta a radiação refletida pela superfície e, conseqüentemente diminui o balanço de ondas curtas. Outro fator, foi o aumento da temperatura da superfície (Tabela 2), a qual aumenta a emissão da radiação de onda longa da superfície e diminui o balanço de ondas longas entre a superfície e a atmosfera (Fausto et al., 2014).

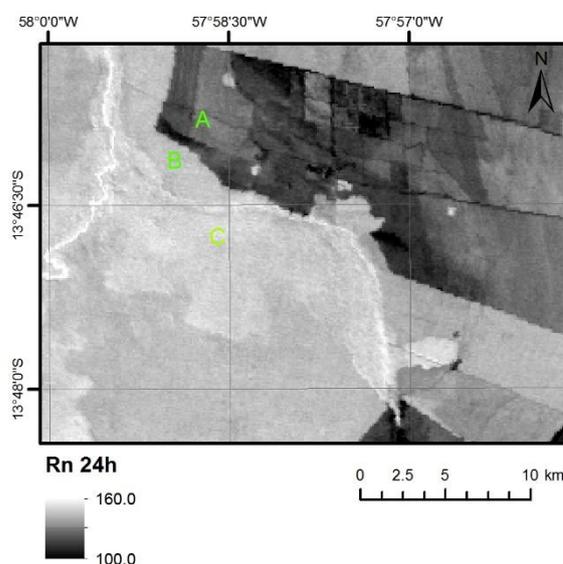


Figura 6: Distribuição espacial do saldo de radiação diário (W m^{-2}) na área de estudo no município de Campo Novo do Parecis, Mato Grosso, e a indicação da área desmatada (A), área de borda da floresta (B) e área de reserva legal (C).

4 Conclusão

O trabalho mostrou que a substituição de uma cobertura natural para a implementação de uma monocultura durante o vazio sanitário, modifica drasticamente os índices biofísicos, observados nesse trabalho pela diminuição do NDVI, aumento do albedo e da temperatura da superfície e diminuição do saldo de radiação da superfície.

5 Referências Bibliográficas

- Agarez, F. V., Vicens, R. S., Cruz, C. M., Nogueira, C. R., Garay, I. (2001). Utilização de Índice de vegetação na classificação integrada de fragmentos florestais em Mata Atlântica de Tabuleiros no Município de Sooretama, ES. Em: Anais do X Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, pp. 1499-1507.
- Allen, R.G.; Tasumi, M., Morse, A., Trezza, R. Wright, J.L., Bastiaanssen, W., Kramber, W., Lorite, I., Robinson, C. W. (2007). Satellite – Based Energy Balance for Mapping Evapotranspiration with Internalized calibration (METRIC) - Applications. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 133, 395-406.
- Alves, F. S. M., Fisch, G., Vendrame, I. F. (1999). Modificações do microclima e regime hidrológico devido ao desmatamento na Amazônia: Estudo de um caso em Rondônia (RO), Brasil. *Acta Amazonica*, 29(3), 395-409.
- Bastiaanssen, W. G. M., Noordman, E. J. M., Pelgrum, H., Davids, G. B. P., Thoreson And Allen, R. G. (2005). SEBAL model with remotely sensed data to improve water-resources management under actual field conditions. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 131 (1): 85–93.
- Bernardes, T., Adami, M., Formaggio, A. R., Moreira, M. A., França, D. A., Novaes, M. R. (2011). Imagens mono e multitemporais Modis para estimativa da área com soja no Estado de Mato Grosso. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 46(11), 1530-1537.
- Bezerra, B. G., Silva, B. B., Ferreira, N. J. (2008). Estimativa da evapotranspiração real diária utilizando-se imagens digitais TM – Landsat 5. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 23, 305-317.
- Bezerra, J. M., Moura, G. B. A., Silva, B. B., Lopes, P. M. O., Silva, E. F. F. (2014). Parâmetros biofísicos obtidos por sensoriamento remoto em região semiárida do estado do Rio Grande do Norte, Brasil. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 18(1), 73–84.
- Bezerra, M. V. C., Silva, B. B., Bezerra, B. G. (2011). Avaliação dos efeitos atmosféricos no albedo e NDVI obtidos com imagens de satélite. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 15(7), 709–717.
- Bisht, G., Venturini, V., Islam, S., Jiang, L. (2005). Estimation of the net radiation using MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) data for clear sky days. *Remote Sensing of Environment*, 97, 52–67.
- Biudes, M.S., Campelo Júnior, J.H., Nogueira, J.S., Sanches. L. (2009). Estimativa do balanço de energia em cambarazal e pastagem no norte do Pantanal pelo método da razão de Bowen. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 24(2), 135-143.
- Boegh, E., Soegaard, H., Thomsem, A. (2002). Evaluating evapotranspiration rates and surface conditions using Landsat TM to estimate atmospheric resistance and surface resistance. *Remote Sensing of Environment*, 79, 329-343.
- Chander, G., Markham, B. L., Helder, D. L. (2009). Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors. *Remote Sensing of Environment*, 113, 893-903.
- CONAB, Companhia Nacional de Abastecimento. (2014). Indicadores da Agropecuária. Brasília, DF. URL: http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/14_09_18_16_28_16_2014-09-setembro.pdf.
- Cunha, J. B. L., Rufino, I. A. A., Silva, B. B., Chaves, I. B. (2012). Dinâmica da cobertura vegetal para a Bacia de São João do Rio do Peixe, PB, utilizando-se sensoriamento remoto. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 16(5), 539–548.
- Di Pace, F. T., Silva, B. B., Silva, V. P. R., Silva, S. T. A. (2008). Mapeamento do saldo de radiação com imagens Landsat 5 e modelo de elevação digital. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 12(4), 385–392.
- Fausto, M. A., Machado, N. G., Nogueira, J. S., Biudes, M. S. (2014). Net Radiation estimated by remote sensing in Cerrado áreas in the Upper Paraguay River Basin. *Journal of Applied Remote Sensing*, 8(1), 083541.

- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2014). Levantamento sistemático da produção agrícola: pesquisa mensal de previsão e acompanhamento das safras agrícolas no ano civil. Brasília, DF, URL: http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/lspa_201202.pdf
- Li J., Wang X., Wang X., Ma W., Zhang H. (2009). Remote Sensing Evaluation of Urban Heat Island and Its Spatial Pattern of the Shanghai Metropolitan Area, China. *Ecological Complexity*, 32, 1-8.
- Machado, N. G., Espinosa, M. M., Biudes, M. S., Penha, J. M. F. (2013). Efeitos do uso do solo sobre riachos de cabeceira na bacia do Rio Cuiabá, Mato Grosso. *Ciência e Natura*, 34(2), 175-192.
- Povh, F. P., Molin, J. P., Gimenez, L. M., Pauletti, V., Molin, R., Salvi, J. V. (2008). Comportamento do NDVI obtido por sensor ótico ativo em cereais. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 43(8), 1075-1083.
- Querino, C. A. S., Moura, M. A. L., Lyra, R. F. F., Mariano, G. L. (2006). Avaliação e comparação de radiação solar global e albedo com ângulo zenital na região amazônica. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 21(3a), 42-49.
- Sano, E. E., Rosa, R., Brito, J. L. S., Ferreira Jr., L. G. (2010). Land cover mapping of the tropical savanna region in Brazil. *Environmental Monitoring and Assessment*, 66, 113-124.
- Schwenk, L. M., Cruz, C. B. M. (2008). Conflitos socioeconômicos-ambientais relativos ao avanço do cultivo da soja em áreas de influência dos eixos de integração e desenvolvimento no Estado de Mato Grosso. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 30(4), 501-511.
- Silva, B. B., Braga, A. C., Braga, C. C. (2011). Balanço de radiação no perímetro irrigado são Gonçalo – PB mediante imagens orbitais. *Revista Caatinga*, 24(3), 145-152.
- Souza, J. D., Silva, B. B., Ceballos, J. C. (2008). Estimativa da radiação solar global à superfície usando um modelo estocástico: caso sem nuvens. *Revista Brasileira de Geofísica*, 26(1), 31-44.