



Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>



Efeito da Mudança da Cobertura em Parâmetros Biofísicos em Cuiabá, Mato Grosso

Altemar Lopes Pedreira Junior¹; Marcelo Sacardi Biudes²; Nadja Gomes Machado³; Andreia Godoy Rocha Arruda⁴; Luiz Octavio Fabricio dos Santos¹, Israel Oliveira Ivo¹

¹Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT), Cuiabá, MT, Brasil, Discente de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental (PPGFA). E-mail: altemarjunior@fisica.ufmt.br, luizoctavio@fisica.ufmt.br, israel@fisica.ufmt.br.

²Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT), Cuiabá, MT, Brasil, Instituto de Física. Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental (PPGFA). E-mail: marcelo@fisica.ufmt.br.

³Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso (IFMT), Cuiabá, MT, Brasil. E-mail: nadja.machado@blv.ifmt.edu.br.

⁴Universidade de Cuiabá (UNIC), Cuiabá, MT, Brasil, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais (PPGCA). E-mail: andreiaagodoy@gmail.com.

Artigo submetido em 11/12/2019 e aceito em 16/04/2020

RESUMO

Técnicas de sensoriamento remoto possibilita monitorar e identificar alterações que ocorrem na superfície terrestre, sejam elas ocasionadas por fenômenos naturais ou ação antrópica. O monitoramento dessa dinâmica tornou-se um importante instrumento de pesquisa, pois as transformações ocorridas na cobertura do solo alteram as trocas de radiação entre a superfície e a atmosfera. Assim, o objetivo deste trabalho foi analisar os parâmetros biofísicos da superfície em diferentes uso e ocupação em Cuiabá. Foram utilizadas imagens do satélite Landsat 5 durante o ano de 2009. As estimativas dos parâmetros biofísicos foram produzidas a partir de uma camada vetorial com nove pixels sobre cada área. Essas áreas foram classificadas como área de solo exposto, área urbana, vegetação rasteira, área reflorestada, fragmento de floresta urbana e vegetação densa. O índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI) apresentou variação de acordo com a cobertura do solo, sendo observado os maiores valores nas áreas com vegetação mais densa. Os maiores valores de albedo foram encontrados nas áreas com pouca ou ausência de vegetação. A T_s foi maior nas áreas com maior grau de antropização e baixa quantidade de vegetação. O R_n foi maior nas áreas com maior densidade vegetal e menor nos pontos com maior antropização. Enfim, os locais com maior quantidade de biomassa vegetal apresentaram maiores valores de NDVI e R_n , além de menores valores de α_s e T_s .

Palavras-chave: Antropização, Imagens de satélite, Urbanização.

Effect of Coverage Change on Biophysical Parameters in Cuiabá, Mato Grosso

ABSTRACT

Remote sensing techniques make it possible to monitor and identify changes that occur on the earth's surface, whether caused by natural phenomena or anthropic action. Monitoring these dynamics has become an important research tool, since the transformations in the ground cover alter the radiation exchanges between the surface and the atmosphere. Thus, the objective of this study was to analyze the surface biophysical parameters in different use and occupation in Cuiabá. Landsat 5 satellite images were used during 2009. Estimates of biophysical parameters were produced from a vector layer with nine pixels over each area. These areas were classified as exposed soil area, urban area, undergrowth, reforested area, urban forest fragment and dense vegetation. The normalized difference vegetation index (NDVI) varied according to soil cover, with the highest values being observed in areas with denser vegetation. The highest albedo values were found in areas with little or no vegetation. The T_s was higher in the areas with higher degree of anthropization and low amount of vegetation. R_n was higher in areas with higher plant density and lower in areas with greater anthropization. Finally, the sites with the highest amount of plant biomass presented higher NDVI and R_n values, as well as lower α_s and T_s values.

Keywords: Anthropization, Satellite image, Urbanization.

Introdução

Localizado na região Centro-Sul do Estado de Mato Grosso, o município de Cuiabá apresenta fitofisionomia característica de cerrado, sendo sua vegetação nativa com ocorrência de cerrado, cerradão, mata ciliar, mata semidecídua e mata de encosta, com grande parte dessa vegetação suprimida a partir de 1970 devido ao aumento de áreas agricultáveis e a expansão urbana.

A urbanização causa impactos e mudanças significativas no uso e cobertura da superfície (Zhu et al., 2019). Esse processo contribui para a conversão de áreas verdes em superfícies impermeáveis, favorecendo diferenças nas propriedades biofísicas (Pavão et al., 2017). Isso quando agregados em um determinado local, passam a afetar significativamente o funcionamento do ecossistema (Hidayati et al., 2019). De modo que, diversos fatores implicam nessas alterações, como a conversão da vegetação nativa por áreas de plantio, pastagem ou espaços habitacionais, sendo a vegetação um dos principais elementos de regulação da umidade e temperatura (Borella et al., 2018).

Os atributos de uma área apresentam influência direta no seu comportamento biofísico, sendo que a urbanização pode estar ligada a detalhes de topografia, transporte, estrutura social e tipo econômico, mas geralmente está relacionada à demografia e a economia de uma cidade (Savastru et al., 2016). Portanto, é imprescindível estudos sobre o saldo de radiação (R_n), Temperatura de Superfície (T_s), albedo (α_s) e Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) que possibilitem avaliar as interações que ocorrem entre formas de uso e ocupação e a atmosfera (Shelestov et al., 2017).

Diante disso, estabelecer parâmetros de cálculos em grandes áreas é um desafio,

considerando que o custo para o monitoramento de grandes áreas é relativamente alto e encontram-se constantemente suscetíveis às intervenções humanas (Rothmund et al., 2019). Assim, o uso do sensoriamento remoto torna-se uma ferramenta eficaz, pois seu produto possui alto potencial, com variabilidade de análise interdisciplinar, como no monitoramento de parâmetros biofísicos na superfície, além de auxiliar no planejamento territorial (Hidayati et al., 2019).

Portanto, devido ao crescimento urbano de Cuiabá ter várias implicações e o balanço de radiação do sistema terrestre demandar atenção e análise, sendo estas informações essenciais para o planejamento do município e, quando combinadas com outras alterações antropogênicas do ambiente natural podem influenciar a vida socioeconômica. O objetivo deste trabalho foi analisar os parâmetros biofísicos da superfície em diferentes uso e ocupação em Cuiabá.

Material e Métodos

Área de Estudo

Cuiabá é a capital do Estado de Mato Grosso ($15^{\circ} 35' S$ e $56^{\circ} 07' W$; 151 m), inserida em uma região de transição entre os biomas Cerrado e Pantanal. Possui uma área total de aproximadamente 330.000 ha, distribuída entre áreas antropizadas (31%), vegetação nativa e Unidades de Conservação - UC (62%), e urbana (4%) (Figura 1).

O clima da região segundo a classificação de Köppen é Aw (tropical semiúmido), com período seco (maio a setembro) e chuvoso (outubro a abril), e precipitação média anual de 1372 mm ano⁻¹. A temperatura do ar média anual é de 26,9 °C (Callejas et al., 2019).

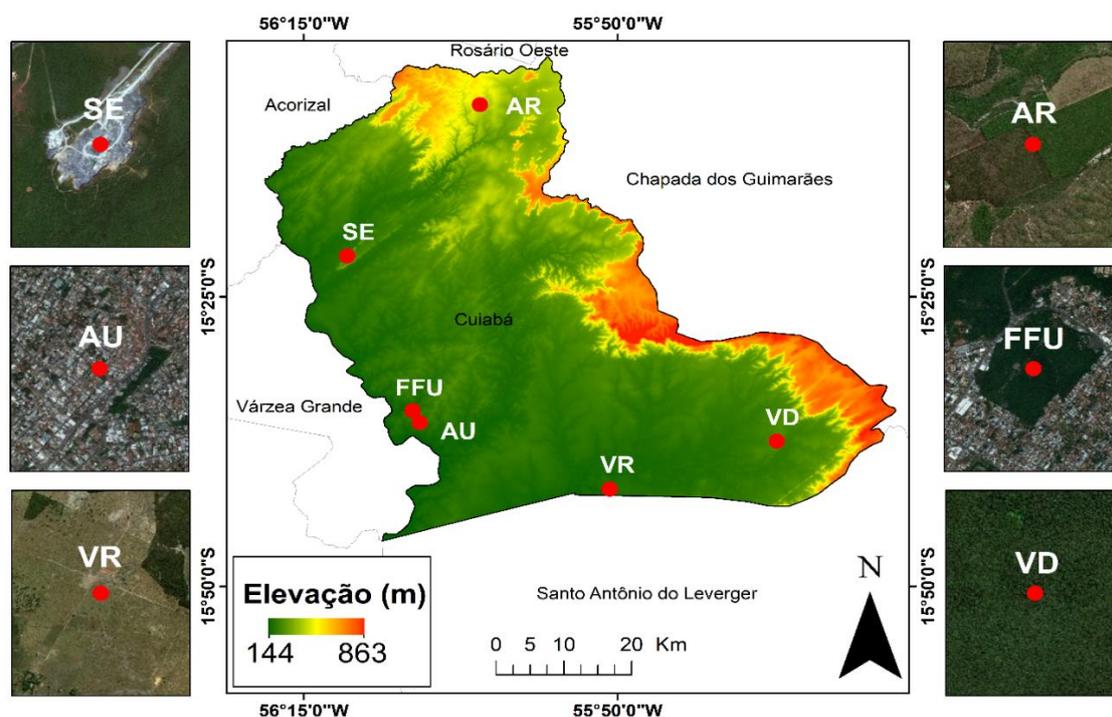


Figura 1. Distribuição espacial dos pontos amostrais nas áreas com Solo Exposto (SE), Área Urbana (AU), Vegetação Rasteira (VR), Área Reflorestada (AR), Fragmento de Floresta Urbana (FFU) e Vegetação Densa (VD) em Cuiabá, Mato Grosso, Brasil.

Dados de Superfície

Foram utilizados dados da estação meteorológica automática de superfície pertencente ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET; www.inmet.gov.br), instalada em Cuiabá (15.55° S e 56.06° W; 242 m), referentes a pressão Atmosférica, temperatura do ar, umidade relativa e precipitação. Como referência, utilizou-se a Normal Climatológica (NC) de Cuiabá (INMET, 2018).

Dados Orbitais

As imagens foram baixadas do banco de dados do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

(INPE; <http://www.dgi.inpe.br/CDSR>), do satélite Landsat 5 (sensor Thematic Mapper - TM, órbita 226, ponto 71). As datas de imageamento foram 03/06/2009, 21/07/2009, 06/08/2009, 07/09/2009, 09/10/2009 e 10/11/2009.

Estimativa dos Parâmetros Biofísicos

As estimativas dos parâmetros biofísicos foi produzida a partir de uma camada vetorial com nove pixels sobre cada área. Essas áreas foram classificadas de acordo com o tipo de cobertura, considerando a representatividade para locais com as mesmas características espectrais, sendo cada área maior que o pixel em aproximadamente cinco vezes (Tabela 1).

Tabela 1. Características e coordenadas geográficas das áreas selecionadas em diferentes tipos de uso e ocupação em Cuiabá, Mato Grosso, Brasil.

Área	Características	Latitude	Longitude
Solo Exposto (SE)	Extrativismo Mineral	-15° 21' 27.980"	-56° 11' 31.990"
Área Urbana (AU)	Perímetro Urbano	-15° 35' 51.110"	-56° 05' 44.990"
Vegetação Rasteira (VR)	Pastagem	-15° 41' 36.280"	-55° 50' 37.850"
Área Reflorestada (AR)	Plantio de Eucalipto	-15° 08' 24.790"	-56° 00' 57.780"
Fragmento Florestal Urbano (FFU)	Cerrado (Parque Estadual Mãe Bonifácia)	-15° 34' 49.280"	-56° 06' 19.870"
Vegetação Densa (VD)	Cerrado	-15° 37' 27.690"	-55° 37' 17.720"

Foram calculado o Saldo de Radiação (Rn; Equação 1), Albedo da Superfície (α_s ; Equação 2), o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada

(NDVI; Equação 3) e a Temperatura da Superfície (Ts; Equação 4).

$$Rn = Rg (1 - \alpha_s) - \epsilon_0 \sigma T_s^4 + \epsilon_a \sigma T_{ar}^4 - (1 - \epsilon_0) \epsilon_a \sigma T_{ar}^4 \quad (1)$$

$$\alpha_s = 0,356\rho_1 + 0,13\rho_3 + 0,373\rho_4 + 0,085\rho_5 + 0,072\rho_7 - 0,0018 \quad (2)$$

$$NDVI = \frac{\alpha_{iv} - \alpha_v}{\alpha_{iv} + \alpha_v} \quad (3)$$

$$Ts = \frac{k_2}{\ln\left(\frac{k_1}{L_T} + 1\right)} \quad (4)$$

em que, Rg é a radiação global (Allen et al., 2007), ϵ_0 é a emissividade da superfície (Valor e Caselles, 1996), ϵ_a é a emissividade da atmosfera (Duarte et al., 2006), T_{ar} é a temperatura do ar, T_s é temperatura da superfície e σ é a constante de Stefan-Boltzmann ($5,67 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$), α_s é o albedo da superfície (Liang et al., 2012), ρ_i são as reflectâncias das bandas espectrais 1, 3, 4, 5 e 7 do sensor TM Landsat 5, α_{iv} e α_v são as refletâncias das bandas do infravermelho e vermelho, respectivamente, L_T é a radiância espectral da banda termal já corrigida para efeito da atmosfera e da emissividade da superfície (Barsi, 2003), k_1 e k_2 são constantes que dependem do sensor ($k_{1TM}=607,76 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$ e $k_{2TM}=1260,56 \text{ K}$).

Resultados e discussão

Em todos os meses do ano houve eventos de precipitação, inclusive em junho (42,4 mm) e julho (27,0 mm) que apresentaram as menores médias de precipitação (Figura 2). A umidade Relativa foi maior que 60% ao longo do ano. A temperatura, precipitação e a umidade relativa seguiram os padrões da sazonalidade, com máximas no período chuvoso (outubro a abril) e mínimas no período seco (maio a setembro). No período chuvoso a precipitação nessa região foi ocasionada pela entrada de frentes equatoriais provenientes da Amazônia, enquanto no período seco as chuvas passam a ser influenciadas por frentes frias polares vindas do Sul (Ramos et al., 2017).

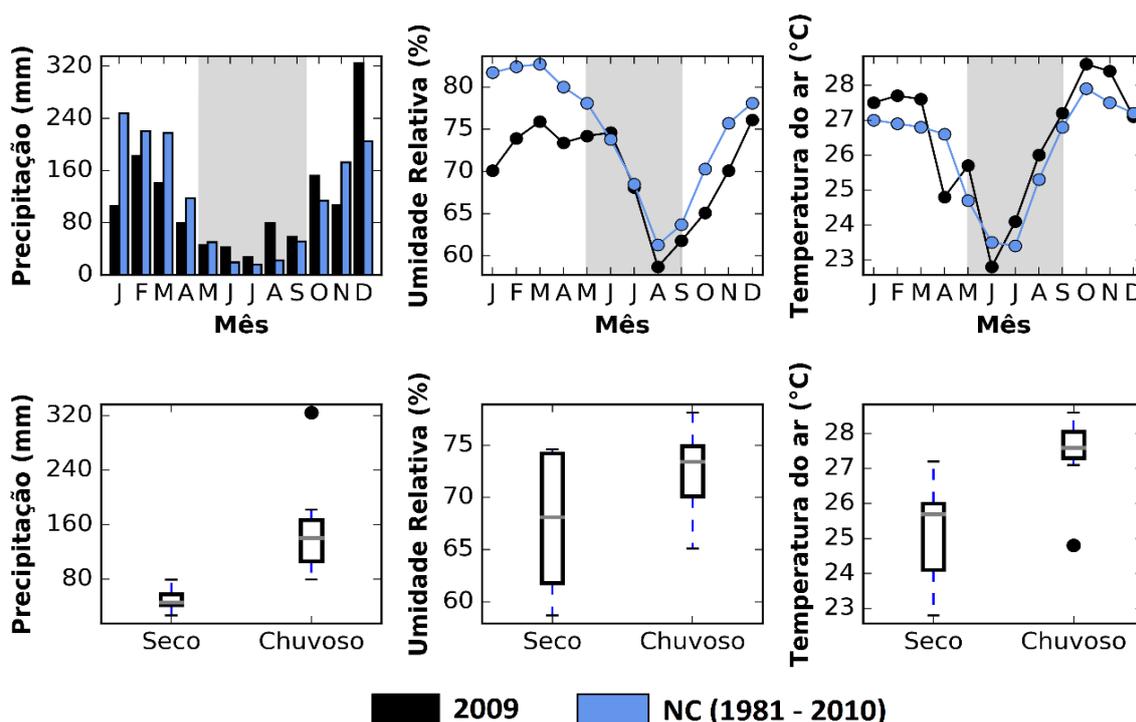


Figura 2. Normal Climatológica (NC; 1981 a 2010) e médias mensais de Precipitação (mm), Umidade Relativa (%) e Temperatura do ar (°C) em Cuiabá, Mato Grosso, Brasil.

O NDVI aumentou nos meses com maior volume de precipitação, enquanto no período seco observou-se os menores valores de NDVI (Figura 3A). Isso é relativamente esperado, pois o NDVI é uma medida indireta da disponibilidade de água no solo (Danelichen et al., 2016). O α_s apresentou as maiores flutuações na área SE, com maiores valores nos meses mais secos (julho, agosto e setembro) e menores valores de α_s no período chuvoso (outubro e novembro) (Figura 3B). Nessa condição de maior disponibilidade hídrica os valores de albedo diminuem e em condição de seca aumenta (Franco et al., 2016).

A T_s apresentou sazonalidade característica, com maiores valores no período seco e menores no período chuvoso (Figura 3C). Nos

meses mais secos há uma redução no volume de precipitação para essa região o que explica a redução da umidade do ar, e consequentemente, o aumento da T_s (Ivo et al., 2018).

O Rn foi maior predominantemente no mês de outubro (Figura 3D). Esse comportamento pode ser explicado pelo fato que nos meses mais secos ocorre as maiores concentrações de aerossóis na atmosfera, com isso uma fração significativa da radiação solar é absorvida ou espalhada pela própria alta atmosfera, prejudicando as estimativas do Rn. Entretanto, nos meses com maiores volumes de precipitação a atmosfera está mais instável, o que reduz essa concentração de aerossóis, favorecendo as estimativas por imagens de satélite (Alves et al., 2017).

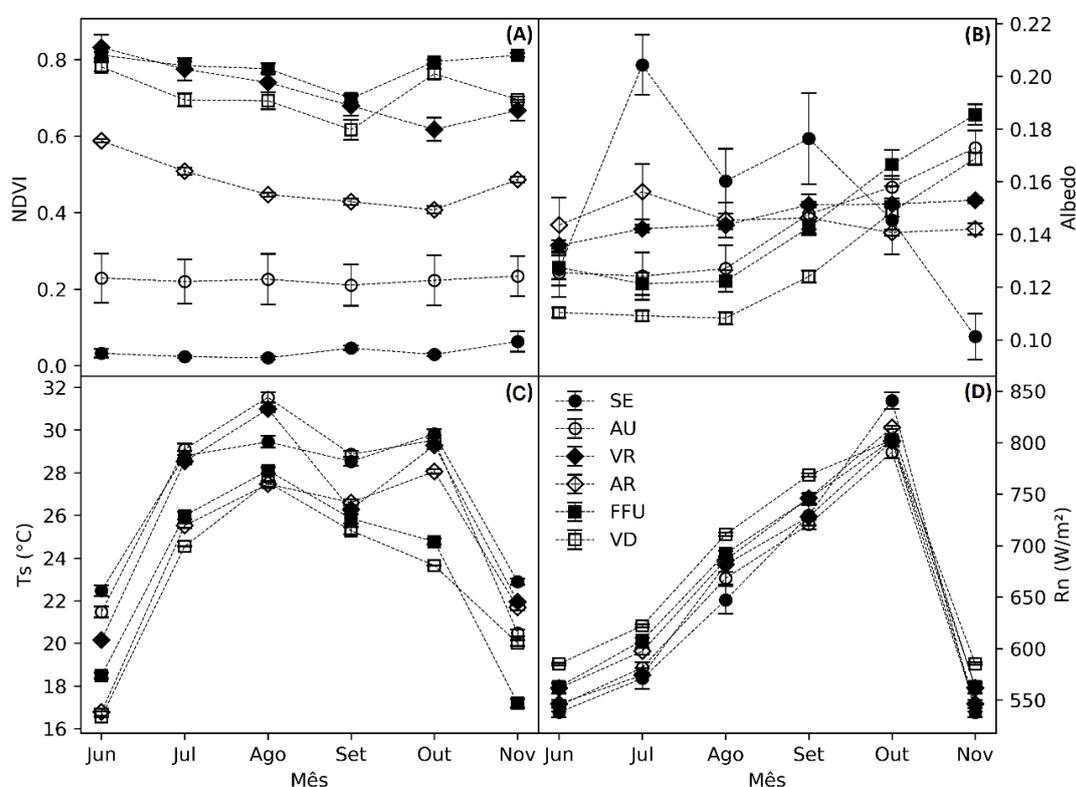


Figura 3. Variação mensal do Índice de Vegetação por Diferenças Normalizadas - NDVI (A), Albedo de Superfície - α_s (B), Temperatura da Superfície - T_s (C) e Saldo de Radiação - Rn (D) em Área de Solo Exposto (SE), Área Urbana (AU), Vegetação Rasteira (VR), Área Reflorestada (AR), Fragmento Florestal Urbano (FFU) e Vegetação Densa (VD) em Cuiabá, Mato Grosso, Brasil.

O NDVI apresentou sensibilidade aos diferentes tipos de cobertura. Em que, a média do NDVI na área VD foi 39% maior em relação a área VR, assim como, para as áreas AR, FFU, AU e SE (8%, 9%, 71% e 95%), respectivamente (Tabela 2). A área com VD possui maior conteúdo de água no solo e vegetação densa (floresta), favorecendo a biomassa verde (Pavão et al., 2016; Pavão et al., 2017). A média do α_s na área VD foi menor que nas áreas SE, AU, VR, AR e FFU (entre 11% a 16%). Isso ocorreu devido as distintas respostas

espectrais das áreas em função da radiação solar incidente.

A média da T_s da área VD foi menor que as áreas SE, VR e AU (15%, 12% e 14%), respectivamente (Tabela 2). Dessa forma, a presença de biomassa vegetal, bem como, a disponibilidade hídrica interferiu diretamente na T_s (Silva et al., 2016). No entanto, nas áreas FFU e AR a média da T_s não apresentou diferença significativa em relação a área VD. O Rn em todas as áreas não diferiu significativamente da área utilizada como referência (VD).

Tabela 2. Médias (\pm intervalo de confiança 95%) dos parâmetros biofísicos em Área de Solo Exposto (SE), Área Urbana (AU), Vegetação Rasteira (VR), Área Reflorestada (AR), Fragmento Florestal Urbano (FFU) e Vegetação Densa (VD) em Cuiabá, Mato Grosso, Brasil.

Área	NDVI	α_s	Ts (°C)	Rn (W m ⁻²)
SE	0,03 \pm 0,00	0,15 \pm 0,00	27,0 \pm 0,83	644,11 \pm 28,28
AU	0,22 \pm 0,02	0,14 \pm 0,00	26,8 \pm 1,16	641,63 \pm 24,23
VR	0,47 \pm 0,01	0,14 \pm 0,00	26,1 \pm 1,02	646,80 \pm 25,32
AR	0,71 \pm 0,02	0,14 \pm 0,00	24,3 \pm 1,04	660,80 \pm 26,69
FFU	0,70 \pm 0,01	0,14 \pm 0,00	23,4 \pm 1,06	662,33 \pm 24,12
VD	0,77 \pm 0,01	0,12 \pm 0,00	22,9 \pm 0,89	679,33 \pm 22,65

O NDVI foi maior nas áreas VD, FFU e AR (Figura 4). Em que, indicam vegetação saudável e em pleno crescimento, influenciado pelas variáveis de área, massa, quantidade de água e clorofila total das folhas verdes (Moura et al., 2019). Além disso, essas áreas apresentaram sazonalidade característica, visto que entre os meses de maio a setembro (período seco) há um déficit hídrico nessa região o que limita o crescimento e desenvolvimento da vegetação, justificando o decréscimo nos valores de NDVI

durante os meses mais secos (Danelichen et al., 2016).

O NDVI foi menor nas áreas SE, AU e VR devido a presença de áreas construídas, pavimento asfáltico e pouca vegetação, consequentemente, menor densidade e distribuição da vegetação (Pavão et al., 2017). Como consequências essas mudanças na cobertura do solo induzidas pela urbanização têm impactos mensuráveis no clima da superfície.

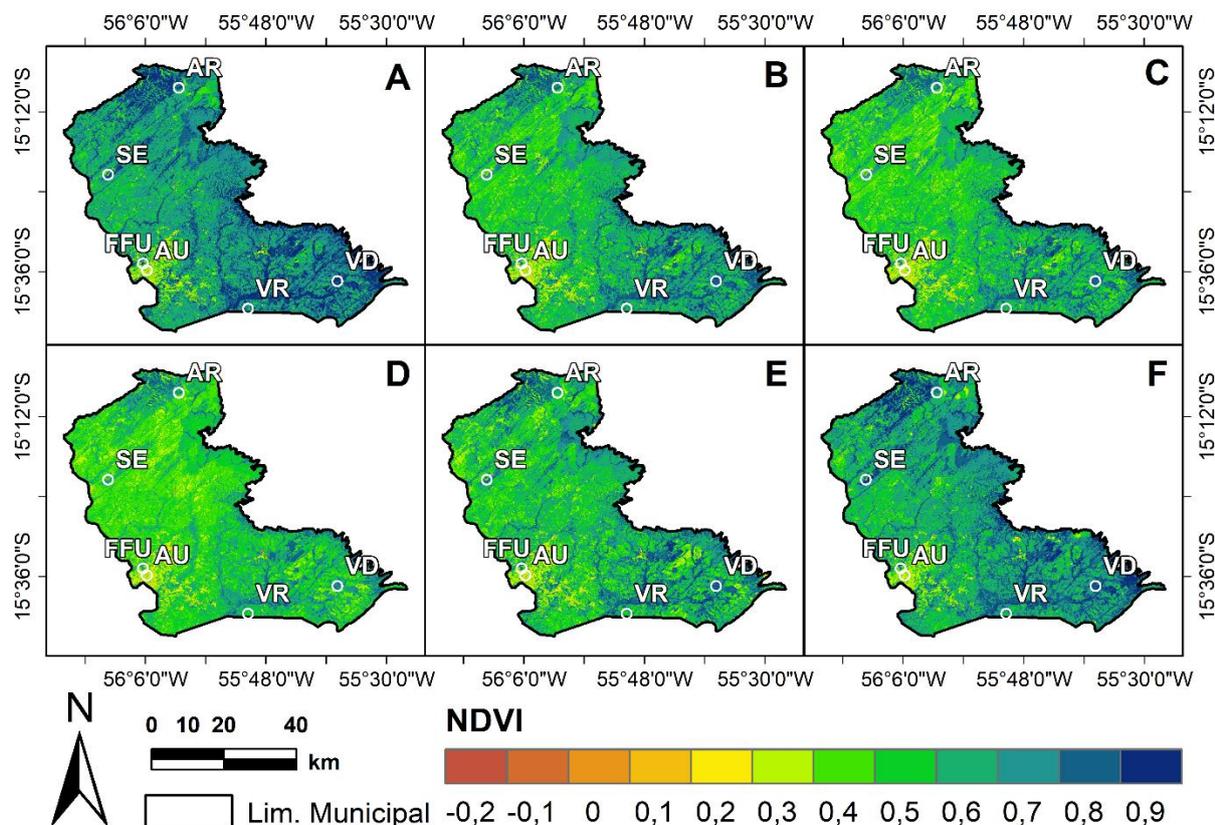


Figura 4. Variação espacial do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) durante as datas 03/06/2009 (A), 21/07/2009 (B), 06/08/2009 (C), 07/09/2009 (D), 09/10/2009 (E) e 10/11/2009 (F) em Área de Solo Exposto (SE), Área Urbana (AU), Vegetação Rasteira (VR), Área Reflorestada (AR), Fragmento Florestal Urbano (FFU) e Vegetação Densa (VD) em Cuiabá, Mato Grosso, Brasil.

O α_s foi menor na área VD com maior densidade vegetal (Figura 5). Isso ocorreu devido ao aprisionamento da energia eletromagnética em função das múltiplas reflexões no seu interior, pois a biomassa possui alta capacidade de absorver a radiação solar e utilizá-la no processo de evapotranspiração (Borella et al., 2018).

O α_s foi maior nas áreas de SE, FFU, VR, AR e AU (Figura 5). Em razão das mudanças de cor da superfície e são provenientes das alterações na disponibilidade hídrica do solo, pois no período

seco essas áreas com baixa densidade de vegetação apresentam coloração clara, e consequentemente, maiores valores de albedo, dessa forma, os fatores climáticos e antrópicos atuam simultaneamente sobre o α_s , alterando ou restringindo a distribuição e a fenologia da vegetação da superfície e variando o grau de exposição do solo a radiação (Pavão et al., 2017). Ressalta-se que na área FFU os valores de α_s podem ter sofrido influência do entorno, devido à baixa disponibilidade de água por efeito da impermeabilização da superfície.

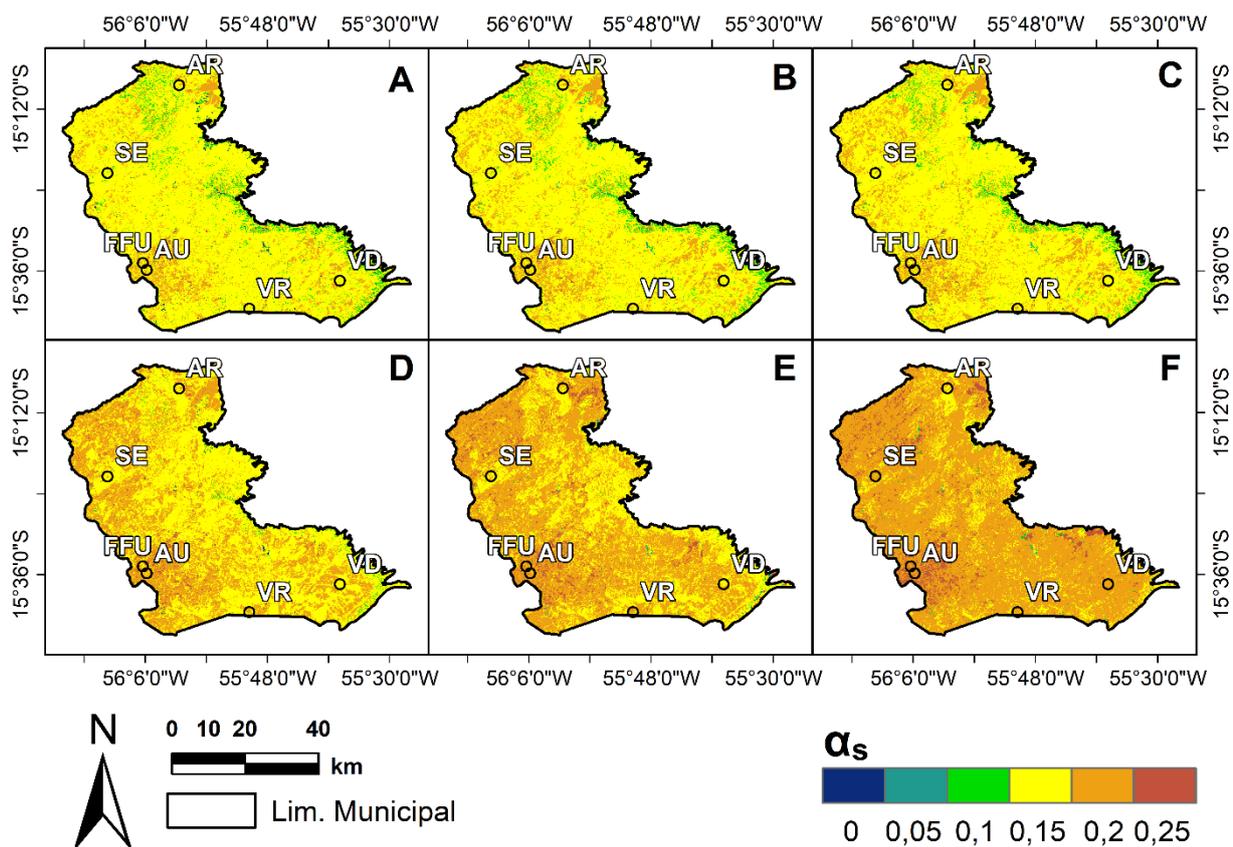


Figura 5. Variação espacial do Albedo de superfície (α_s) durante as datas 03/06/2009 (A), 21/07/2009 (B), 06/08/2009 (C), 07/09/2009 (D), 09/10/2009 (E) e 10/11/2009 (F) em Área de Solo Exposto (SE), Área Urbana (AU), Vegetação Rasteira (VR), Área Reflorestada (AR), Fragmento Florestal Urbano (FFU) e Vegetação Densa (VD) em Cuiabá, Mato Grosso, Brasil.

A T_s foi maior nas áreas com alto grau de antropização (SE, AU e VR). Entretanto, foi menor nas áreas de maior densidade vegetal (VD, FFU e AR) (Figura 6). A expansão urbana e a industrialização possibilitam mudanças no balanço de energia de áreas urbanas densamente construídas, como é o caso de Cuiabá. Nesses locais, a T_s geralmente é maior que a temperatura do ambiente (Hidayati et al., 2019). No entanto, os locais com vegetação mais densamente agrupadas atuam como termorregulador, pois a energia disponível ao ambiente é utilizada prioritariamente

para evapotranspiração, sendo este um fator de moderação da temperatura (Rothmund et al., 2019).

Além disso, a T_s é um parâmetro importante para a obtenção de outros parâmetros e processos biofísicos do ecossistema (Hidayati et al., 2019). De modo que, as áreas SE, AU e VR podem também ter sido influenciadas pelo material particulado (aerossóis), que possuem alto poder de absorção de radiação solar e a utiliza prioritariamente como calor sensível, ou seja, para o aquecimento do ar e do solo.

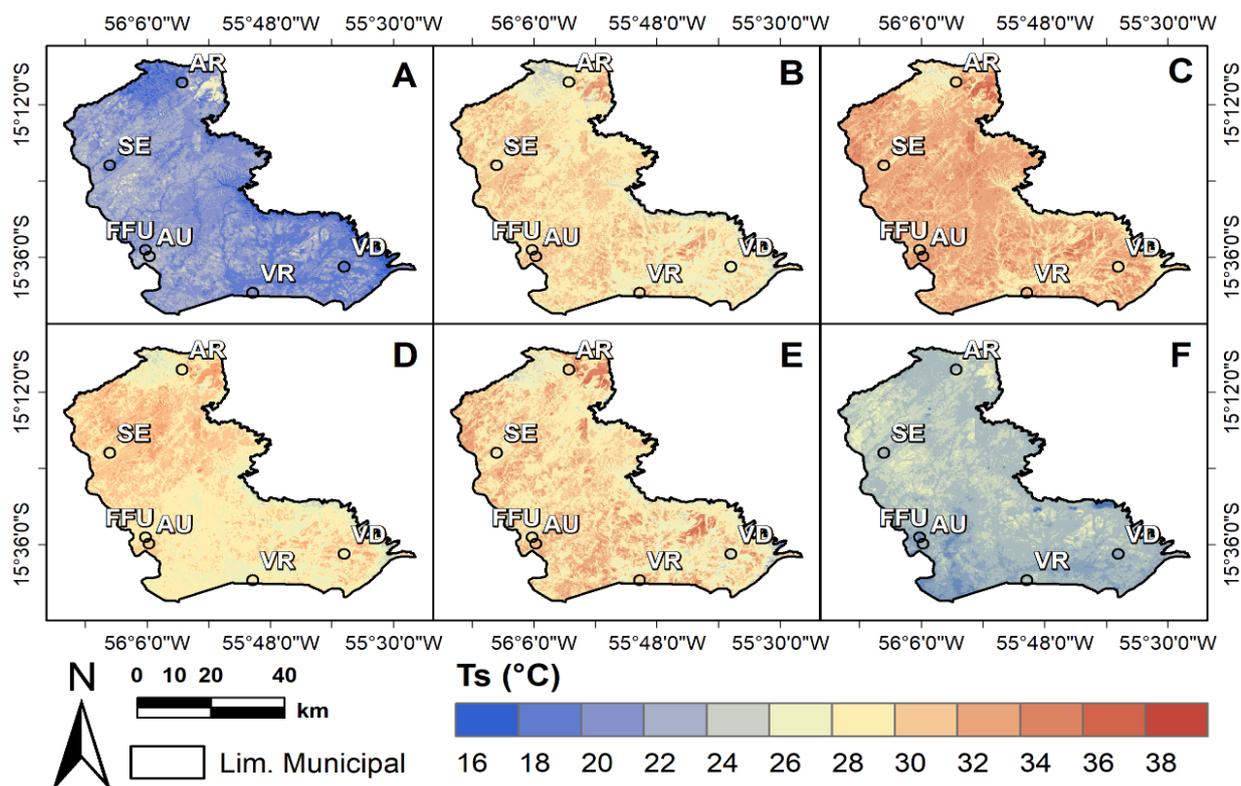


Figura 6. Variação espacial da Temperatura da Superfície (T_s) durante as datas 03/06/2009 (A), 21/07/2009 (B), 06/08/2009 (C), 07/09/2009 (D), 09/10/2009 (E) e 10/11/2009 (F) em Área de Solo Exposto (SE), Área Urbana (AU), Vegetação Rasteira (VR), Área Reflorestada (AR), Fragmento Florestal Urbano (FFU) e Vegetação Densa (VD) em Cuiabá, Mato Grosso, Brasil.

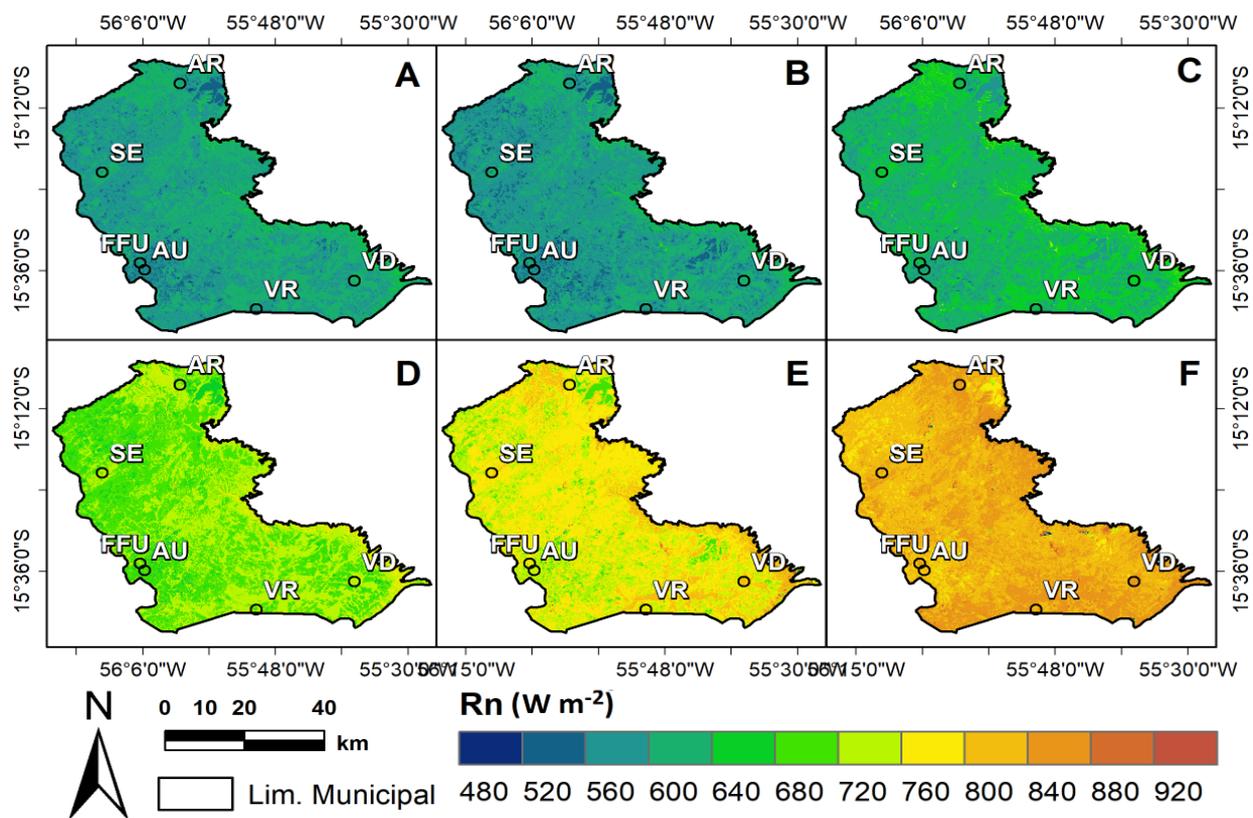


Figura 7. Variação espacial do Saldo de Radiação (R_n) durante as datas 03/06/2009 (A), 21/07/2009 (B), 06/08/2009 (C), 07/09/2009 (D), 09/10/2009 (E) e 10/11/2009 (F) em Área de Solo Exposto (SE), Área Urbana (AU), Vegetação Rasteira (VR), Área Reflorestada (AR), Fragmento Florestal Urbano (FFU) e Vegetação Densa (VD) em Cuiabá, Mato Grosso, Brasil.

Os diferentes tipos de cobertura da superfície produziram distintas respostas espectrais, em função da radiação solar incidente, o que afetou diretamente o balanço de radiação, sendo o Rn maior nas áreas VD, FFU e AR (Figura 7). Essas áreas com vegetação densa capturam a radiação solar e atuam na regulação da temperatura por utilizar prioritariamente a radiação na forma de calor latente, conseqüentemente, possuem maior Rn devido à menor saída de radiação de onda curta e longa. Entretanto, o Rn foi menor nas áreas SE, VR e AU (Figura 7). Este comportamento ocorreu em razão da remoção da vegetação, proporcionando modificação no Rn, fato que é comum pelo alto valor de α_s nessas superfícies (Pavão et al., 2016). Além disso, esse comportamento é esperado nessas áreas com menor valor de albedo, devido a influência da cobertura do solo no balanço de radiação à superfície (Borella et al., 2018).

Visto a importância do Rn nos processos de evapotranspiração e aquecimento do ar e do solo nos diferentes tipos de cobertura da superfície, os resultados mostram que a conversão de áreas com vegetação nativa em diferentes uso e ocupação influencia diretamente nas condições ambientais locais, diminuindo a quantidade de energia disponível para os processos naturais, promovido pelo aumento da energia refletida e emitida (Borella et al., 2018).

Conclusão

Este estudo permitiu analisar os parâmetros biofísicos da superfície em diferentes uso e ocupação em Cuiabá. Sendo os locais com maior quantidade de biomassa vegetal (VD) apresentaram os maiores valores de NDVI e Rn, além de menores valores de α_s e Ts. Além disso, a área SE apresentou os menores valores de NDVI e Rn, assim como, valores elevados de α_s e Ts.

Enfim, pesquisas nesta temática são importantes, por analisarem as interações e interferências físico-química entre áreas que apresentam diferentes atributos, para subsidiar o planejamento de áreas urbanas e rurais, possibilitando crescimento econômico sem afetar significativamente o meio ambiente.

Agradecimentos

A pesquisa foi apoiada pela Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT), Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental (PPGFA/IF/UFMT), Instituto Federal de Mato Grosso (IFMT), pelo Instituto Nacional de

Pesquisas Espaciais (INPE), pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq, processos nº 310879/2017-5 e 305761/2018-8; 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 R.G., Tasumi, M., Trezza, R., 2007. Satellite-Based energy balance for mapping evapotranspiration with internalized calibration (METRIC) – Model. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 133, 380–394. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9437\(2007\)133:4\(380\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9437(2007)133:4(380)).
- Allen, R., Bastiaanssen, W., Waters, R., Tasumi, M., Trezza R., 2002. Surface energy balance algorithms for land (SEBAL), Idaho Implementation – Advanced training and user’s manual. version 1.0.
- Barsi, J.A, Barker, J.L., Schott J.R., 2003. An Atmospheric Correction Parameter Calculator for a Single Thermal Band Earth-Sensing Instrument, IGARSS03. Centre de Congres Pierre Baudis. Toulouse, 21-25.
- Bastiaanssen, W.G.M., 2000. Sebal based sensible and latent heat fluxes in the irrigated Gediz Basin, Turkey. *Journal of Hydrology* 229, 87-100. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(99\)00202-4](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(99)00202-4).
- Bezerra, H., Bezerra, J., Pereira de Araújo, C., Mattos, A., 2019. Variabilidade espaço-temporal das variáveis biofísicas no semiárido do Rio Grande do Norte, Brasil. *Geosul* 34, 184-201. <https://doi.org/10.5007/1982-5153.2019v34n72p184>.
- Borella, D.R., Siqueira, F.R.P.S., Faria, T.O., Biudes, M.S., Machado, N.G., 2018. Effect of conversion of native vegetation on agricultural areas on biophysical variables in the transition region of Cerrado-Amazonia. *Ciência e Natura* 40, 12. <http://dx.doi.org/10.5902/2179460X29208>.

- Borges, C.K., Medeiros, R.M., Ribeiro, R.E.P., Santos, É.G., Carneiro, R.G., Santos, C.A.C., 2016. Study of biophysical parameters using remote sensing techniques to Quixeré-CE region. *Journal of Hyperspectral Remote Sensing* 6, 283-294. [10.5935/2237-2202.20160028](https://doi.org/10.5935/2237-2202.20160028).
- Callejas, I.J.A., Biudes, M.S., Machado, N.G., Durante, L.C., Lobo, F.A., 2019. Patterns of energy exchange for tropical urban and rural ecosystems located in Brazil central. *Journal of Urban and Environmental Engineering* 13, 69-79. [10.4090/juee.2019.v13n1.069079](https://doi.org/10.4090/juee.2019.v13n1.069079).
- 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. [10.1016/j.rse.2009.01.007](https://doi.org/10.1016/j.rse.2009.01.007).
- Danelichen, V.H.M., Biudes, M.S., Souza, M.C., Machado, N.G., Nogueira, J.S., 2016. Relations of vegetation and water indices to volumetric soil water content in the Pantanal of Mato Grosso, Brazil. *Journal International Journal of Remote Sensing* 37, 4261-4275. <https://doi.org/10.1080/01431161.2016.1213921>.
- Duarte, H.F., Dias, N.L., Maggiotto, S.R., 2006. Assessing daytime downward longwave radiation estimates for clear and cloudy skies in Southern Brazil. *Agricultural and Forest Meteorology* 139, 171-181. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2006.06.008>.
- Franco, R.A.M., Hernandez, F. B. T., Teixeira, A.H.C., 2016. Mapeamento da variação espacial e temporal do balanço de radiação e energia em diferentes tipos de uso e ocupação do solo. *Revista Brasileira de Cartografia* 68.
- Gomes, L.C.F., Santos, C.A.C., Almeida, H.Á., 2013. Balanço de Energia à Superfície para a Cidade de Patos-PB Usando Técnicas de Sensoriamento Remoto. *Revista Brasileira de Geografia Física* 6, 15-28. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v06.1.p015-028>.
- Hidayati, I.N., Suharyadi, R., Danoedoro, P., 2019. Environmental Quality Assessment of Urban Ecology based on Spatial Heterogeneity and Remote Sensing Imagery. *KnE Social Sciences* 3, 363-379. <https://doi.org/10.18502/kss.v3i21.4981>
- INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. Normais Climatológicas do Brasil 1981-2010. Brasília, DF. 2018.
- Inpe – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>, Acesso em 27 de outubro de 2019.
- Ivo, I.O., Biudes, M.S., Machado, N.G., Pavão, V.M., 2018. Influência do desmatamento no índice de área foliar e temperatura da superfície no Cerrado mato-grossense. *Revista Nativa* 6, 364-369. <http://dx.doi.org/10.31413/nativa.v6i4.5367>.
- Liang, S., Shuey, C.J., Russ, A.L., Fang, H., Chen, M., Walthall, C.L., et al., 2002. Narrowband to broadband conversions of land surface albedo: II, Validation. *Remote Sensing of Environment* 84, 25-44.
- Markham, B.L., Barker, J.L., 1987. Thematic mapper bandpass solar exoatmospherical irradiances. *International Journal of Remote Sensing* 8, 517-523. <https://doi.org/10.1080/01431168708948658>
- Moura, A.R.M., Querino, C.A.S., Querino, J.K.A.S., Pedreira Junior, A.L., Santos, L.O.F., Machado, N.G., Biudes, M.S., 2019. Impact of a dam construction on the surface biophysical parameters in Amazonia]. *Remote Sensing Applications: Society and Environment* 15, 2352-9385. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2019.100243>.
- Pavão, V.M., Nassarden, D.C.S., Pavão, L.L., Machado, N.G., Biudes, M.S., 2017. Impacto da Conversão da Cobertura Natural em Pastagem e Área Urbana sobre Variáveis Biofísicas no Sul do Amazonas. *Revista Brasileira de Meteorologia* 32, 343-351. <https://doi.org/10.1590/0102-77863230002>.

- Pavão, V.M., Querino, C.A.S., Beneditti, C.A., Pavão, L.L., Querino, J.K.A.S., Machado, N.G., Biudes, M.S., 2016. Variação espacial e temporal do saldo de radiação superficial em uma área do Sul do Amazonas, Brasil. *RAEGA – O Espaço Geográfico em Análise* 37, 333-352.
<http://dx.doi.org/10.5380/raega.v37i0.42469>.
- Ramos, H.C., Dallacort, R., Neves, S.M.A.S., Dalchiavon, F.C., Santi, A., Vieira, F.F., 2017. Precipitação e temperatura do ar para o estado de Mato Grosso utilizando Krigagem ordinária. *Revista Brasileira de Climatologia* 20, 211-233.
<http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v20i0.43762>
- Rothmund, L.D., Almeida Junior, E.S., Lima, L.P.A., Massad, H.A.B., Palácios, R.S., Biudes, M.S., Machado, N.G., Nogueira, J.S., 2019. Impacto da alteração da cobertura do solo nos parâmetros biofísicos no sul da floresta amazônica por sensoriamento remoto. *Revista Brasileira de Climatologia* 25.
<http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v25i0.62677>
- Savastru, D.M., Zoran, M.A., Savastru, R.S., 2016. Integrated remote sensing for multi-temporal analysis of urban land cover-climate interactions", *Proc. SPIE* 9688, Fourth International Conference on Remote Sensing and Geoinformation of the Environment (RSCy2016) 968822.
<https://doi.org/10.1117/12.2240678>.
- Shelestov, A., Kolotii, A., Skakun, S., Baruth, B., Lozano, R.L., Yailymov, B., 2017. Biophysical parameters mapping within the SPOT-5 Take 5 initiative, *European Journal of Remote Sensing* 50, 300-309.
<https://doi.org/10.1080/22797254.2017.1324743>.
- Silva, L.C., Cunha, J.M., Machado, N.G., Campos, M.C.C., Biudes, M.S., 2016. Estimativa do balanço de radiação por sensoriamento remoto de diferentes usos de solo no sudoeste da Amazônia brasileira. *Sociedade & Natureza* 28, 131-146.
<https://doi.org/10.1590/1982-451320160109>.
- Valor, E., Caselles, V., 1996. Mapping land surface emissivity from NDVI: Application to European, African, and South American areas]. *Remote sensing of Environment* 57, 167-184.
[https://doi.org/10.1016/0034-4257\(96\)00039-9](https://doi.org/10.1016/0034-4257(96)00039-9).
- Zangeski Novais, J.W., Santanna, F.B., Arruda, P.H.Z., Pereira, O.A., Dutra, R., 2017. Relação entre profundidade óptica de aerossóis e radiação fotossinteticamente ativa e global no Cerrado mato-grossense. *Revista Estudo & Debate* 24.
<http://dx.doi.org/10.22410/issn.1983-036X.v24i1a2017.1180>.
- Zhu, Z., Zhou, Y., Seto, K.C., Stokes, E.C., Deng, C., Pickett, S.T.A., Taubenböck, H., 2019. Understanding an urbanizing planet: Strategic directions for remote sensing, *Remote Sensing of Environment* 228, 164-182.
<https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.04.020>.