Revista Brasileira de Climatologia
ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

IMPACTOS DAS MUDANÇAS NO USO E COBERTURA DA TERRA SOBRE A VARIABILIDADE DO ALBEDO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SOROCABUÇU (IBIÚNA - SP)

MAIA JÚNIOR, Lauro Pessoa - lauropmj@gmail.com
Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho / UNESP

LOURENÇO, Roberto Wagner - roberto.lourenco@unesp.br
Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho / UNESP

Submetido em: 09/04/2020
Aceito para publicação em: 11/08/2020
Publicado em: 17/08/2020
DOI: http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v27i0.72761

RESUMO: A dinâmica energética da superfície terrestre é determinada pelo albedo dos seus variados constituintes naturais e artificiais, modulando os processos de absorção e reflexão da radiação solar. O presente trabalho analisa o impacto das alterações no uso e cobertura da terra sobre a variabilidade espacial, temporal e estatística do albedo da superfície na Bacia Hidrográfica do Rio Sorocabuçu (Ibiúna - SP). Utilizou-se o aplicativo ArcGIS Desktop 10.6 tanto na classificação das categorias de uso e cobertura, quanto nas estimativas de albedo, adotando como insumo imagens dos satélites Landsat 5 e 8, registradas nos anos de 2008 e 2018. As estimativas de albedo foram baseadas na técnica de combinação linear entre as bandas de reflectância monocromática dos respectivos satélites. Os resultados da análise espaço-temporal indicaram que a retração da cobertura vegetal, derivada da ampliação das pastagens e áreas urbanizadas, implicou no aumento da frequência dos pixels possuidores de valores mais elevados de albedo. Os resultados da análise estatística evidenciaram o consequente incremento no valor médio, máximo, na amplitude e no coeficiente de variação da imagem de albedo em 2018, além do aumento na dispersão e assimetria do seu histograma. A subtração pixel a pixel entre as imagens de albedo demonstrou o sentido e a intensidade de cada alteração nos valores desse parâmetro, tendo ocorrido a prevalência dos pixels com diferenças positivas, em detrimento dos pixels com diferenças negativas. Tais resultados retratam a tendência à progressão do desmatamento na Bacia Hidrográfica do Rio Sorocabuçu, o que implicará em danos ao seu rico patrimônio ambiental, com prejuízos aos recursos hídricos, à biodiversidade e ao equilíbrio climático local.

PALAVRAS-CHAVE: albedo da superfície, subtração pixel a pixel, Bacia Hidrográfica do Rio Sorocabuçu.

IMPACTS OF CHANGES IN LAND USE AND COVERAGE ON THE VARIABILITY OF ALBEDO IN THE SOROCABUÇU RIVER BASIN (IBIÚNA - SP)

ABSTRACT: The energetic dynamics of the Earth's surface is determined by the albedo of its various natural and artificial constituents, modulating the absorption and reflection processes of solar radiation. This paper analyzes the impact of changes in land use and coverage on the spatial, temporal and statistical variability of surface albedo in the Sorocabuçu River Basin (Ibiúna - SP). The ArcGIS Desktop 10.6 application was used both in the classification of use and coverage categories, as well as in the albedo estimates, adopting as input images from the Landsat 5 and 8 satellites, recorded in the years 2008 and 2018. Albedo estimates were based on the technique of linear combination between the monochromatic reflectance bands of the respective satellites. The results of the spatio-temporal analysis indicated that the retraction of vegetation cover, derived from the expansion of pastures and urban areas, implied an increase in the frequency of pixels with higher albedo values. The results of the statistical analysis showed the consequent increase in the average and maximum value, in the amplitude and in the variation coefficient of the albedo image in 2018, in addition to the increase in

the dispersion and asymmetry of its histogram. The pixel-by-pixel subtraction between the albedo images demonstrated the direction and intensity of each change in the values of this parameter, with the prevalence of pixels having positive differences, to the detriment of pixels with negative differences. Such results portray the trend towards the progression of deforestation in the Sorocabuçu River Basin, which will result in damage to its rich environmental heritage, with damage to water resources, biodiversity and the local climatic balance.

KEYWORDS: surface albedo, pixel-by-pixel subtraction, Sorocabuçu River Basin.

IMPACTOS DE LOS CAMBIOS EN EL USO Y EN LA COBERTURA DE LA TIERRA SOBRE LA VARIABILIDAD DEL ALBEDO EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RIO SOROCABUÇU (IBIÚNA - SP)

RESUMEN: La dinámica energética de la superficie terrestre es determinada por el albedo de sus variados constituyentes naturales y artificiales, modulando los procesos de absorción y reflejo de la radiación solar. El presente trabajo analiza el impacto de las alteraciones en el uso y en la cobertura de la tierra sobre la variabilidad espacial, temporal y estadística del albedo de la superficie en la Cuenca Hidrográfica del Rio Sorocabuçu (Ibiúna - SP). Fue utilizada la aplicación ArcGIS Desktop 10.6 tanto en la clasificación de las categorías del uso y cobertura, cuanto en las estimaciones del albedo, adoptando como insumo imágenes de los satélites Landsat 5 y 8, registradas en los años de 2008 y 2018. Las estimaciones de albedo fueron basadas en la técnica de combinación lineal entre las bandas de reflectancia monocromática de los respectivos satélites. Los resultados del análisis espacio-tiempo indicaron que la retracción de la cobertura vegetal, derivada de la ampliación de los pastajes y áreas urbanas, implicó en lo aumento de la frecuencia de los píxeles poseedores de valores más elevados de albedo. Los resultados del análisis estadístico evidenciaron el consecuente incremento en el valor medio, máximo, en la amplitud y en el coeficiente de variación de la imagen de albedo en 2018, así como el aumento en la dispersión y asimetría de su histograma. La sustracción píxel a píxel entre las imágenes del albedo demostró el sentido y la intensidad de cada alteración en los valores de ese parámetro, teniendo ocurrido la prevalencia de los píxeles con diferencias positivas, en detrimento de los píxeles con deferencias negativas. Tales resultados retrataron la tendencia a la progresión de la deforestación en la Cuenca Hidrográfica del Rio Sorocabuçu, lo que implicará en daños a su rico patrimonio ambiental, con perjuicios a los recursos hídricos, a la biodiversidad y al equilibrio climático local.

PALABRAS CLAVE: albedo de la superficie, sustracción píxel a píxel, Cuenca Hidrográfica del Rio Sorocabuçu.

1.INTRODUÇÃO

A superfície terrestre desempenha um papel significativo na determinação da dinâmica climática do planeta. De acordo com o *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC, 2019), a superfície constitui-se numa fonte de calor sensível e latente para a atmosfera, transferindo essa energia por meio dos processos de condução, convecção e evapotranspiração. Além disso, características da superfície, como o seu albedo e emissividade, definem a quantidade de radiação refletida/emitida na direção da atmosfera.

O albedo é definido como a propriedade física dos corpos de refletirem a radiação solar sobre eles incidente (MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2007). Também conhecido como coeficiente de reflexão, é dado na forma de um índice, que expressa a fração da radiação solar reenviada ao espaço, após incidir sobre determinada superfície (MARIN; ASSAD; PILAU, 2008). Seus valores são inversamente proporcionais à capacidade de absorção da radiação (MESQUITA, 2012); portanto, quanto mais um material devolver a radiação incidente, menor

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

será a sua absorção e maiores serão os valores do referido índice (OLIVEIRA; VIANELLO; FERREIRA, 2001).

O albedo corresponde a um dos parâmetros mais amplamente estudados nas avaliações dos impactos climáticos decorrentes das transformações na cobertura da terra. Segundo Pavão *et al*. (2017), o parâmetro é diretamente afetado pela conversão dos espaços naturais em áreas antropizadas, sendo a sua análise fundamental na identificação dos impactos derivados. Alterações no albedo modificam os balanços de radiação e energia na superfície terrestre (SILVA *et al*., 2016), de tal forma que o parâmetro influencia diretamente o ciclo hidrológico e as condições climáticas locais (THOMPSON; BARBOSA; OLIVEIRA, 2017). Seu conhecimento é extremamente importante para os estudos sobre mudanças climáticas, desertificação e queimadas (SILVA; LOPES; AZEVEDO, 2005); e sua avaliação temporal permite inferir tanto a respeito da derrubada de florestas, quanto da ocorrência de demais mudanças no uso e cobertura da terra (MARIN; ASSAD; PILAU, 2008).

O avanço das alterações no uso e cobertura da terra na Bacia Hidrográfica do Rio Sorocabuçu (BHRS), localizada na região Centro-Oeste do estado de São Paulo, município de Ibiúna, motivou a realização deste trabalho. A bacia está inteiramente inserida no interior da Área de Proteção Ambiental (APA) da represa de Itupararanga, instituída pela Lei Estadual n° 10.100 (SÃO PAULO, 1998). A mencionada unidade de conservação tem o objetivo de assegurar a manutenção da quantidade e qualidade dos recursos hídricos locais, mediante a determinação de restrições ao uso da terra e a proteção dos remanescentes florestais de Mata Atlântica. Sua área contém o maior remanescente vegetal primitivo de toda a Bacia do Rio Sorocaba/Médio-Tietê (FUNDAÇÃO FLORESTAL, [2010]), encontrando-se na região onde a APA está situada o número de 396 diferentes espécies arbóreas, das quais 362 são observadas nas cabeceiras do Rio Sorocabuçu (ALMEIDA; CARVALHO; CATHARINO, 2011).

A importância da APA também reside no fato de compreender diversos corpos hídricos e nascentes, cujas águas afluem para a represa de Itupararanga (BEU; MISATO; HAHN, 2011), responsável pelo abastecimento de mais de um milhão de pessoas nos municípios de Sorocaba, Votorantim, São Roque, Ibiúna, Mairinque e Alumínio (GOMES, 2018). No que se refere mais especificamente à BHRS, seu curso d'água principal responde pelo abastecimento da população urbana de Ibiúna (SABESP, 2018), estimada em cerca de 28.000 pessoas (SEADE, 2019a, 2019b).

Não obstante a relevância da unidade de conservação, como um todo, e da BHRS, em particular, para a proteção dos recursos hídricos, da biodiversidade e do equilíbrio climático local, o conjunto da área tem sido submetido ao avanço das atividades agropecuárias, com a consequente diminuição dos fragmentos vegetais remanescentes. Segundo Chinaque (2017), no interior da APA Itupararanga, somente entre os anos de 2010 e 2016, os espaços dedicados à agropecuária passaram por uma expansão superior a 90%, ao passo que as áreas de vegetação nativa enfrentaram uma redução de aproximadamente 26%. No período entre 2002 e 2010, Bernardi (2011) identificou uma ampliação em torno de 31% nas áreas de agropecuária, enquanto os espaços recobertos por vegetação natural sofreram uma contração de 34%. No âmbito específico da BHRS, o desmatamento também tem

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

apresentado um caráter progressivo, de modo que grande parte da sua cobertura florestal original já foi removida.

Diante desse quadro, a pesquisa é fomentada pela constatação da gradativa deterioração do rico patrimônio ambiental da BHRS. Seu objetivo é analisar o impacto das alterações no uso e cobertura da terra sobre a variabilidade espacial, temporal e estatística do albedo da superfície entre dois momentos distintos, nos meses de agosto dos anos de 2008 e 2018. Espera-se, desse modo, contribuir para o manejo dos recursos naturais e para o estabelecimento de práticas mais sustentáveis na área.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A BHRS ocupa uma área de 202,67 km^2, o equivalente a cerca de 19% do território do município de Ibiúna, e a aproximadamente 22% da extensão espacial da APA Itupararanga (Figura 1).

A bacia possui uma baixa densidade populacional, com a presença de pequenos aglomerados rurais. Na sua estrutura fundiária predominam as pequenas propriedades de terra, fundamentalmente voltadas às atividades de produção agropecuária.

Em relação ao substrato geológico, a área integra a unidade morfoestrutural do Cinturão Orogênico do Atlântico, enquanto em termos morfoesculturais a bacia é parte componente da unidade do Planalto de Ibiúna/São Roque (SÃO PAULO, 2014a, 2014b). Os tipos de solos presentes incluem-se nas classes dos latossolos, gleissolos e cambissolos (ROSSI, 2017).

Com uma pluviosidade anual média igual a 1330 mm, os valores mensais médios de precipitação variam entre 40 e 219 mm, relativos aos meses de agosto e janeiro, respectivamente (DAEE, 2019). As estimativas das médias mensais de temperatura do ar no município variam entre 14,2 °C, em julho, e 21,3 °C, em fevereiro (ALVARES *et al*., 2013). Na classificação de Köppen, o clima da região é enquadrado na tipologia Cwb, caracterizada pelos verões chuvosos e pelas estiagens de inverno (SALLES *et al*., 2008).

No que diz respeito à cobertura vegetal, a área está inserida no bioma da Mata Atlântica (IBGE, 2019), localizando-se numa região de Floresta Ombrófila Densa (INSTITUTO FLORESTAL, 2009). Esse tipo vegetacional, de grande riqueza florística, constitui o *core* do bioma Mata Atlântica, posicionado junto às áreas costeiras das regiões Sul e Sudeste do Brasil, com clima quente e úmido, sem período seco sistemático, e com amplitudes térmicas amenizadas pela influência marítima (IBGE, 2019).

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

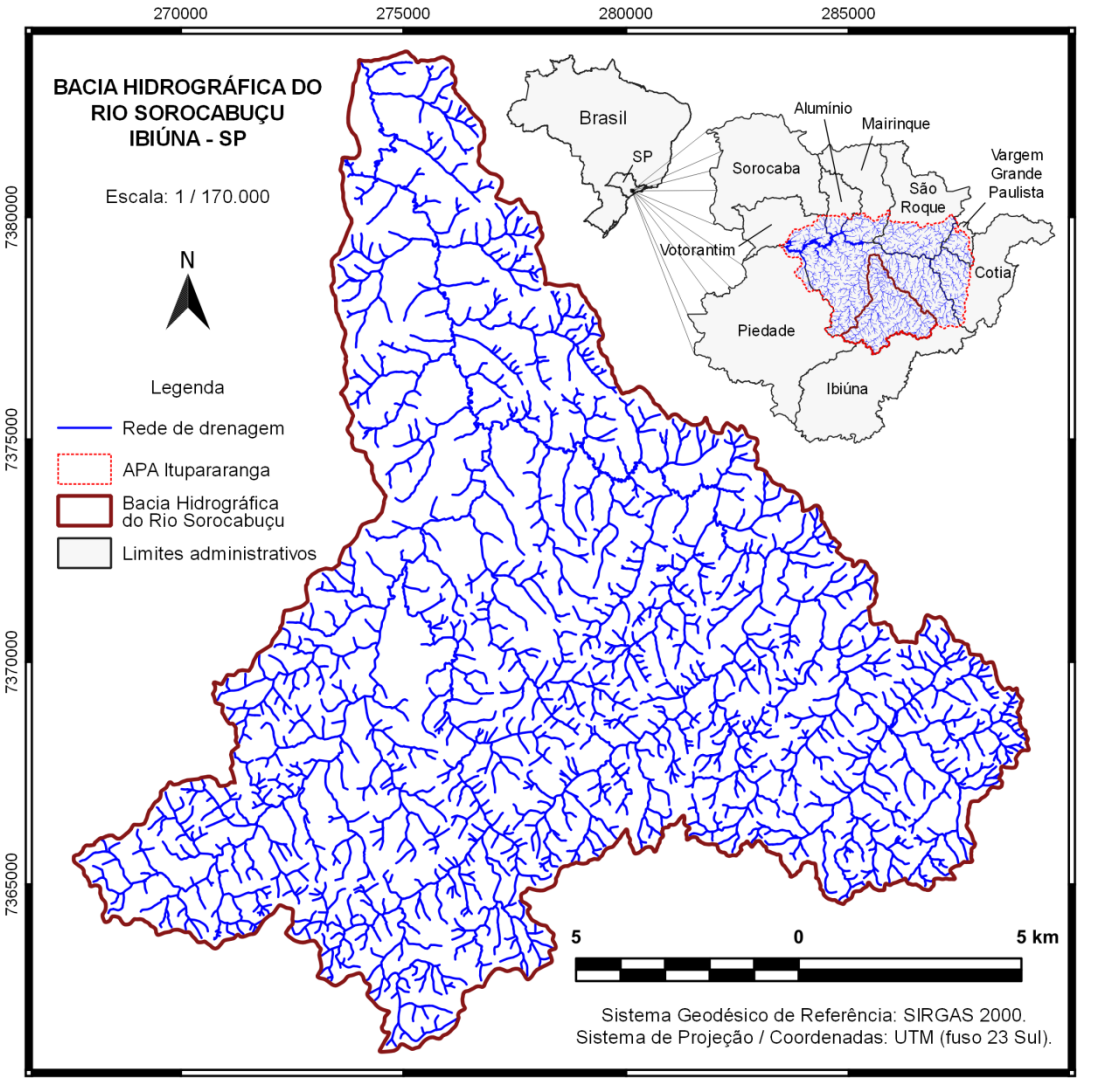


Figura 1 – Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Sorocabuçu.

2.2 METODOLOGIA

A estimativa do albedo e o mapeamento das categorias de uso e cobertura da terra fizeram uso de imagens multiespectrais provenientes dos satélites Landsat 5 e 8, obtidas no sítio eletrônico da plataforma *EarthExplorer*, vinculada ao *United States Geological Survey* (USGS). Capturadas na órbita 219, ponto 76, as cenas utilizadas foram registradas durante o mês de agosto (devido à redução na cobertura por nuvens e na precipitação), sendo datadas de 18/08/2008 (Landsat 5) e 30/08/2018 (Landsat 8). A preferência pelas imagens do projeto Landsat deu-se em função de sua melhor resolução espacial, frente a outros satélites cujas imagens também são de disponibilização gratuita; além da maior extensão temporal de sua série de dados, não contemplada pelos satélites de lançamento mais recente.

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

As imagens estão em conformidade com os padrões de qualidade dos produtos *Level-1*, possuindo garantias de registro, ortorretificação e calibragem radiométrica. Isso assegura que as mudanças verificadas nas respostas espectrais, ao longo do tempo e do espaço, sejam decorrentes, unicamente, das modificações no uso e cobertura da terra, e não de possíveis alterações nos instrumentos de medição, possibilitando a realização de comparações entre os dados oriundos dos diferentes sensores (USGS, 2019a).

O mapeamento das categorias de uso e cobertura empregou as composições RGB (*red*, *green*, *blue*) 4-5-3 e 5-6-4, referentes às bandas dos satélites Landsat 5 e 8, respectivamente. A classificação das imagens foi implementada no aplicativo *ArcGIS Desktop 10.6*, utilizando-se o algoritmo *Maximum Likelihood*. Para esse procedimento, foram previamente definidas as categorias: floresta, culturas temporárias, pastagem, corpos d'água, áreas urbanizadas e áreas descobertas, em conformidade com a tipologia sugerida pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2013).

Além das imagens Landsat, a estimativa do albedo demanda o uso de um Modelo Digital de Elevação (MDE), tendo sido adotada a terceira versão dos dados derivados da *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM). O produto é nomeado como SRTM3 SRTMGL1 e está igualmente disponível no sítio eletrônico da plataforma *EarthExplorer*.

A geração das imagens de albedo foi automatizada através da construção de um modelo no aplicativo *ArcGIS Desktop 10.6* (ferramenta *ModelBuilder*). As bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7 do satélite Landsat 5 foram submetidas aos processamentos descritos a seguir.

A radiância espectral (L) em cada banda ($_\lambda$), designada como L_λ, é dada em W/(m^2·sr·µm) e calculada conforme a Equação 1 (WATERS *et al*., 2002):

$$L_\lambda = \left(\frac{LMAX - LMIN}{255}\right) \cdot DN + LMIN \quad , \tag{1}$$

em que "LMAX" e "LMIN" se referem, respectivamente, às constantes de calibração máxima e mínima, para cada banda; e "DN" ao número digital de cada pixel. Os valores de LMAX e LMIN estão disponíveis nos arquivos de metadados das imagens, equivalendo aos parâmetros "RADIANCE_MAXIMUM" e "RADIANCE_MINIMUM", ambos em W/(m^2·sr·µm).

A reflectância planetária em cada banda (ρ_λ) é expressa em valores adimensionais, podendo ser obtida por meio da Equação 2, modificada a partir de Waters *et al*. (2002), Chander e Markham (2003), e USGS (2019b):

$$\rho_\lambda = \frac{\pi \cdot L_\lambda \cdot {d_{e-s}}^2}{ESUN_\lambda \cdot sen\ \theta_{SE}} \quad , \tag{2}$$

na qual "$d_{e\text{-}s}$" se refere à distância relativa entre a Terra e o Sol, em unidades astronômicas, informada no parâmetro "EARTH_SUN_DISTANCE" dos metadados; "$ESUN_\lambda$" diz respeito aos valores da irradiância solar exoatmosférica

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

média em cada banda, apresentados na Tabela 1; e "θ_{SE}" representa o ângulo de elevação solar, cujo valor consta, em graus, no metadado "SUN_ELEVATION".

O albedo no topo da atmosfera (α_{toa}), dado em valores adimensionais, é determinado por intermédio da Equação 3, modificada a partir de Waters *et al*. (2002) e Batista *et al*. (2013):

$$\alpha_{toa} = (\omega_1 \cdot \rho_1) + (\omega_2 \cdot \rho_2) + (\omega_3 \cdot \rho_3) + (\omega_4 \cdot \rho_4) + (\omega_5 \cdot \rho_5) + (\omega_7 \cdot \rho_7) \quad , \qquad (3)$$

sendo "ω_λ" correspondente aos coeficientes de peso para cada uma das bandas, de acordo com a Tabela 1.

Tabela 1 – Valores de $ESUN_\lambda$ e ω_λ para as bandas do satélite Landsat 5

Banda espectral (λ)	$ESUN_\lambda$ – em W/(m²·µm)	ω_λ
1	1957	0,293
2	1826	0,274
3	1554	0,233
4	1036	0,155
5	215	0,032
7	80,67	0,012

Fonte: $ESUN_\lambda$: Chander e Markham (2003); ω_λ: autoria própria, a partir da divisão de cada valor individual de $ESUN_\lambda$ pelo somatório de todos os valores de $ESUN_\lambda$, segundo o proposto por Waters *et al*. (2002).

A transmissividade da atmosfera para ondas curtas (τ_{SW}), expressa em valores adimensionais, é estimada mediante a Equação 4 (WATERS *et al*., 2002):

$$\tau_{SW} = 0{,}75 + 2 \cdot 10^{-5} \cdot z \quad , \qquad (4)$$

em que "z" representa os valores de altitude (em metros) de cada pixel pertencente ao MDE (BEZERRA; SILVA; BEZERRA, 2011).

Por fim, o albedo da superfície (α), dado em valores adimensionais, deve ser calculado em conformidade com a Equação 5 (WATERS *et al*., 2002):

$$\alpha = \frac{\alpha_{toa} - 0{,}03}{{\tau_{SW}}^2} \quad . \qquad (5)$$

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

Com relação à imagem do satélite Landsat 8, foram utilizadas as bandas 2, 3, 4, 5, 6 e 7, sendo seus valores de DN diretamente convertidos em reflectância planetária, de acordo com a Equação 6, modificada a partir de Silva *et al*. (2016) e USGS (2019b):

$$\rho_\lambda = \frac{M_\rho \cdot Q_{cal} + A_\rho}{sen\ \theta_{SE} \cdot \left(\frac{1}{d_{e-s}}\right)^2} \quad , \tag{6}$$

na qual "M_ρ" e "A_ρ" equivalem, respectivamente, aos fatores de escalonamento multiplicativo e aditivo da reflectância, em cada banda, disponíveis nos parâmetros "REFLECTANCE_MULT_BAND" e "REFLECTANCE_ADD_BAND"; enquanto "Q_{cal}" se refere aos valores de cada pixel (DN).

Os demais procedimentos seguiram a mesma metodologia empregada no processamento da imagem do satélite Landsat 5. A única diferença diz respeito aos valores dos coeficientes de peso (ω_λ) usados no cômputo do albedo no topo da atmosfera, informados na Tabela 2.

Tabela 2 – Valores de ω_λ para as bandas do satélite Landsat 8

Banda espectral ($_\lambda$)	ω_λ
2	0,300
3	0,277
4	0,233
5	0,143
6	0,036
7	0,012

Fonte: Silva *et al*. (2016).

A técnica de subtração pixel a pixel foi aplicada às imagens de albedo da superfície das duas diferentes datas, visando à detecção dos impactos decorrentes das mudanças espaço-temporais no uso e cobertura da terra. Segundo Meneses e Almeida (2012), operações de subtração entre imagens são empregadas para realçar as diferenças espectrais entre os alvos, sendo um recurso de grande praticidade na detecção de alterações ao longo do tempo. De acordo com Robinove (1983), quando uma imagem de albedo referente a um momento anterior é subtraída de outra referente a um momento posterior, o resultado é um mapa de variação do albedo, cujos pixels de sinal positivo indicam os locais nos quais os valores desse parâmetro foram submetidos a um incremento, enquanto os pixels de sinal negativo atestam o contrário. O procedimento foi implementado conforme a Equação 7:

$$Diferença\ de\ albedo = \alpha_{\ ano\ 2018} - \alpha_{\ ano\ 2008} \quad . \tag{7}$$

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

A proximidade entre os dias sequenciais do ano em que as imagens foram registradas garantiu a redução na variação dos seus ângulos de elevação solar, tal como considerado por Oliveira, Moraes e Rudorff (2014). Pelo mesmo motivo, é necessário que não haja uma grande diferença entre os horários de passagem dos satélites. Tais fatores interferem no registro dos valores de albedo, devendo ser levados em conta, juntamente com a ocorrência de possíveis eventos pluviométricos em datas anteriores, uma vez que, conforme Oliveira *et al*. (2012), precipitações promovem a redução da radiação refletida pelo solo.

Quanto aos dados pluviométricos, esses foram analisados no intuito de identificar alguma possível influência de eventos chuvosos sobre a variabilidade do albedo. Os registros de precipitação diária acumulada (DAEE, 2019) derivaram das estações E4-047 (localizada na área urbana de Ibiúna, extremidade norte da bacia) e E4-131 (situada próxima à bacia, nas imediações do seu limite nordeste). Foi avaliado o período correspondente aos sete dias anteriores às datas de captura das imagens. Eventos pluviométricos ocorridos antes desse período não exerceriam efeitos significativos sobre o albedo da superfície, dado o tempo suficiente para a evaporação de grande parte da água, ou para a sua infiltração nas camadas inferiores do solo.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A variação espaço-temporal das classes de uso e cobertura da terra é apresentada nos mapas da Figura 2. A verificação da acurácia da classificação das imagens obteve valores de índice Kappa iguais a 0,81 e 0,86, referentes às cenas dos dias 18/08/2008 e 30/08/2018, respectivamente.

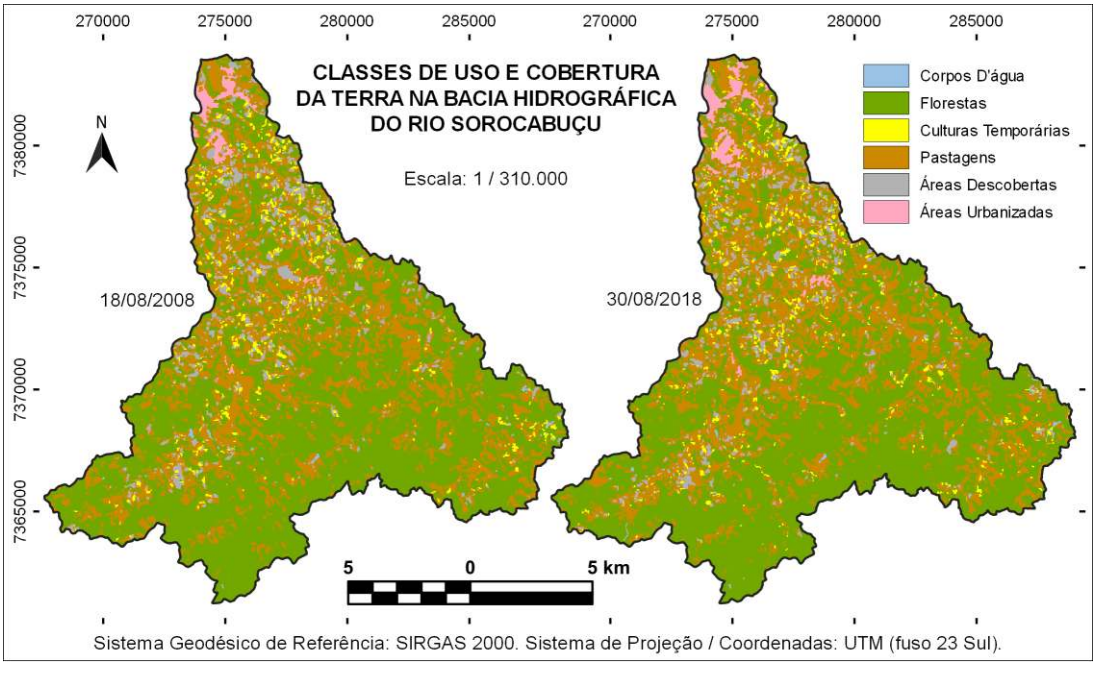


Figura 2 – Mapeamento das classes de uso e cobertura da terra em 18/08/08 e 30/08/18.

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

Grande parte das florestas se mantém no médio e alto cursos da bacia, sobre áreas de maior declividade, o que impõe dificuldades à incorporação desses espaços pelas atividades agropecuárias. Fragmentos florestais menores encontram-se dispersos no trecho do baixo curso. Nas áreas de declividade reduzida, ao longo dos vales escavados pelos principais cursos d'água, predomina a classe de pastagens, intercalada com espaços dedicados à agricultura. As áreas urbanizadas prevalecem na porção norte da bacia, sobre os terrenos com altimetria ligeiramente mais elevada, integrando parte da cidade de Ibiúna.

Os quantitativos das áreas ocupadas por cada classe e a sua variação ao longo do período de estudo constam na Tabela 3.

Tabela 3 – Áreas das classes de uso e cobertura da terra em 18/08/08 e 30/08/18

Classes de uso e cobertura da terra	Área aproximada				Variação	
	18/08/2008		30/08/2018			
	km^2	%	km^2	%	km^2	%
Corpos d'água	0,91	0,45	0,69	0,34	-0,22	-24,2
Florestas	118,76	58,60	114,03	56,26	-4,73	-4,0
Culturas temporárias	5,06	2,50	5,61	2,77	0,55	10,9
Pastagens	64,38	31,76	68,60	33,85	4,22	6,6
Áreas descobertas	11,35	5,60	10,64	5,25	-0,71	-6,3
Áreas urbanizadas	2,21	1,09	3,10	1,53	0,89	40,3
Total	202,67	100	202,67	100	0,0	-

A categoria cuja área teve o maior ganho absoluto foi a de pastagens (4,22 km^2), enquanto a de maior ganho percentual correspondeu às áreas urbanizadas (40,3%). Mostrando a maior perda absoluta (-4,73 km^2), a classe de florestas teve uma redução aproximadamente compatível com a área de expansão das pastagens. Em termos relativos, as maiores perdas foram verificadas nas categorias de áreas descobertas (-6,3%) e corpos d'água (diminuição de -24,2% na superfície dos reservatórios). A redução das áreas descobertas decorre da variabilidade momentânea entre terrenos que apresentam o solo preparado para o cultivo e terrenos com culturas já em desenvolvimento, no interior das glebas destinadas à agricultura. A retração das áreas descobertas (-0,71 km^2) foi relativamente próxima ao incremento na área da classe de culturas (0,55 km^2). Já a diminuição da superfície dos reservatórios deriva dos menores totais pluviométricos (≈ -200 mm) acumulados no período dos 12 meses anteriores à data de registro da imagem em 2018, comparativamente ao período correspondente, relativo à imagem do ano de 2008 (DAEE, 2019).

A variação espaço-temporal do albedo da superfície é apresentada nos mapas da Figura 3.

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

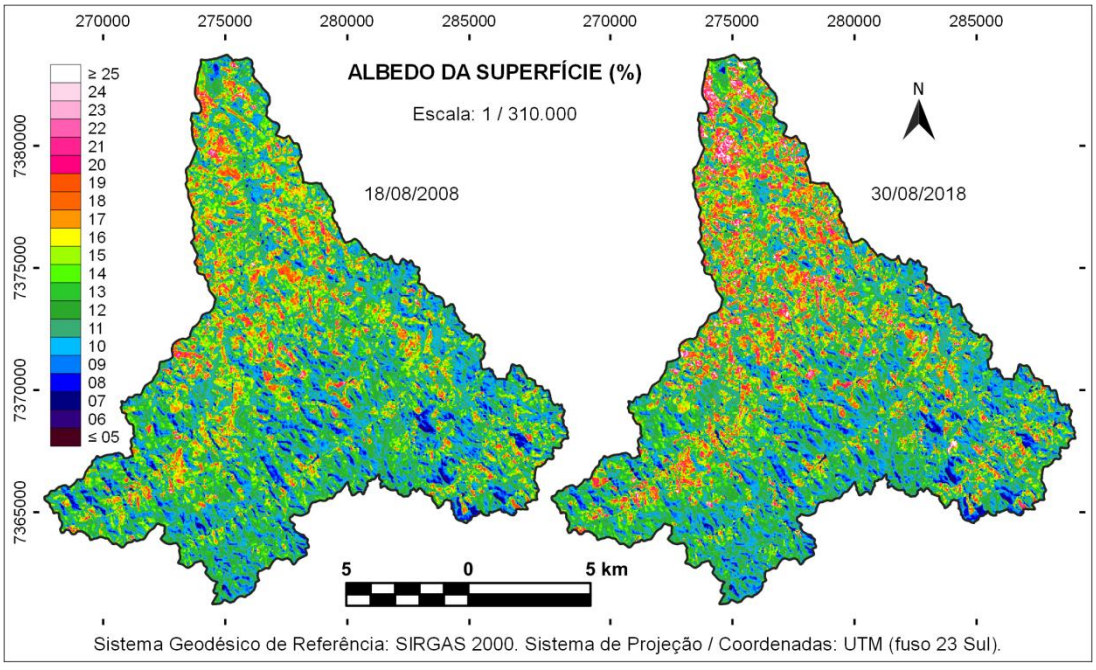


Figura 3 – Mapeamento do albedo da superfície em 18/08/2008 e 30/08/2018.

Os dados pluviométricos dos sete dias anteriores à captura das imagens indicaram a ocorrência de eventos chuvosos esparsos e pouco significativos, os quais não afetaram a dinâmica do albedo da superfície.

Em ambos os mapas da Figura 3 é possível constatar uma concordância aproximada entre a distribuição espacial de determinadas faixas de valores de albedo e as principais categorias de uso e cobertura da terra. As manchas mais escuras, na metade sul das imagens, correspondem a áreas de sombra, provocadas por porções mais elevadas do relevo; e a algumas áreas de silvicultura, no setor sudeste da bacia. Na imagem do ano de 2018 nota-se o aumento na ocorrência dos pixels possuidores de maiores valores de albedo, representados pelos tons que variam da cor laranja à branca, como consequência das mudanças no uso e cobertura.

A Tabela 4 apresenta a variabilidade estatística dos valores de albedo da superfície.

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

Tabela 4 – Variabilidade estatística do albedo da superfície em 18/08/2008 e 30/08/2018

Variável estatística	Data de captura das imagens	
	18/08/2008	30/08/2018
Valor máximo (%)	44,09	67,66
Valor médio (%)	12,48	13,00
Valor mínimo (%)	3,14	2,43
Amplitude (ponto percentual)	40,95	65,23
Coeficiente de variação (%)	23,12	26,53

Comparando-se o comportamento das variáveis entre os anos de 2008 e 2018 percebe-se a elevação do valor médio, acompanhada de um aumento na amplitude, sendo esse último resultante, principalmente, do incremento no valor máximo. Tais resultados também decorrem das alterações promovidas sobre a superfície, discutidas anteriormente. Quanto ao crescimento do valor do coeficiente de variação, expressa a redução da homogeneidade dos dados de albedo, o que está associado a uma maior heterogeneidade na distribuição espacial das classes de uso e cobertura da terra.

A tendência a maiores valores de albedo da superfície também está manifesta nos histogramas das imagens desse parâmetro (Figura 4).

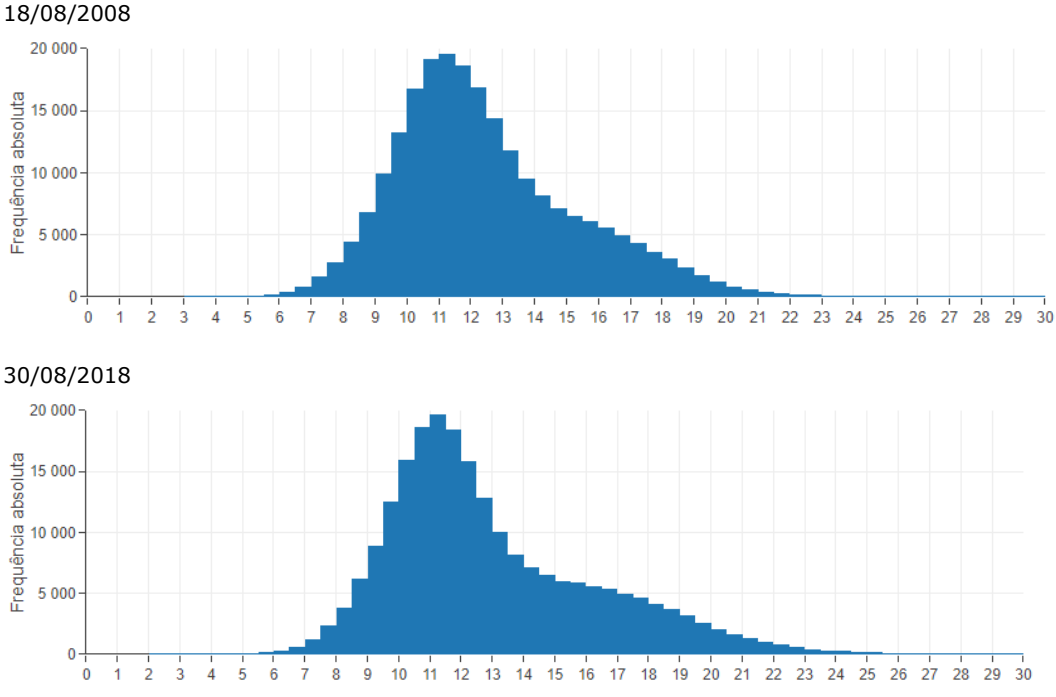


Figura 4 – Histogramas das imagens de albedo da superfície (%) em 18/08/08 e 30/08/18. Nota: classes com valores extremos (de baixa frequência) foram suprimidas.

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

O histograma da imagem de 2008 já apresentava assimetria positiva, ou seja, comparativamente a uma distribuição do tipo normal, há um aumento na frequência dos pixels de maior valor, incluídos nas classes à direita do pico do gráfico. No histograma da imagem de 2018, as mudanças no uso e cobertura da terra induzem a um incremento da assimetria, com a elevação da frequência dos pixels inseridos nas classes situadas na extremidade direita do gráfico; além de um aumento na dispersão dos dados, expresso na distensão horizontal do histograma.

A Tabela 5 apresenta a média do albedo da superfície no interior das diferentes categorias de uso e cobertura.

Tabela 5 – Média do albedo da superfície (%) nas classes de uso e cobertura da terra

Classes	Datas	
	18/08/2008	30/08/2018
Corpos d'água	7,82	6,93
Florestas	10,61	10,70
Culturas temporárias	17,52	18,02
Pastagens	14,66	14,80
Áreas descobertas	17,63	19,31
Áreas urbanizadas	17,80	20,93

Os valores foram progressivamente maiores de acordo a seguinte sequência de classes: corpos d'água, florestas, pastagens, culturas, áreas descobertas e áreas urbanizadas. Dentre os componentes naturais da superfície, a água possui a maior capacidade de absorção da radiação de onda curta incidente, e, portanto, o menor albedo. Em relação aos tipos de cobertura vegetal, suas alturas apresentam uma relação inversa com os valores de albedo, de tal forma que esses são tanto menores quanto maior o porte da vegetação, em função das reflexões múltiplas no interior do dossel, responsáveis pelo aumento na absorção da radiação (MONTEIRO *et al*., 2014). Isso explica as médias menores verificadas na classe de florestas, bem como as maiores nas áreas de pastagens e de culturas. Por corresponderem a superfícies de baixa rugosidade, bastantes homogêneas, as áreas de culturas assumiram valores de albedo ainda mais elevados. Quanto à categoria de áreas descobertas, apresentou valores ligeiramente superiores, na medida em que os solos expostos constituem superfícies de cores mais claras, sendo, inclusive, possuidoras de menores teores de umidade. As maiores médias foram observadas nas áreas urbanizadas, devido à presença de materiais altamente refletivos.

A classe de florestas apresentou a maior constância nos valores médios de albedo. A única variação negativa esteve associada à categoria dos corpos d'água (-0,89 ponto percentual), possivelmente, em virtude de alterações na turbidez da água dos reservatórios presentes na bacia. As classes de pastagens e culturas mostraram variações positivas não muito significativas. As maiores

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

variações positivas se deram nas categorias de áreas descobertas (1,68 p. p.) e áreas urbanizadas (3,13 p. p.). A despeito da diminuição das áreas descobertas, o incremento na média de albedo dessa classe deriva da abertura de uma lavra mineral, visível como uma grande mancha de cor branca, na porção sudeste da imagem de 2018 (Figura 3). No que se refere às áreas urbanizadas, com o crescimento e a consolidação desses espaços entre 2008 e 2018, torna-se perceptível o aumento na frequência dos pixels de albedo mais elevado, conforme também demonstraram os mapas da Figura 3.

O resultado da subtração entre as imagens de albedo da superfície em diferentes datas é mostrado na Figura 5.

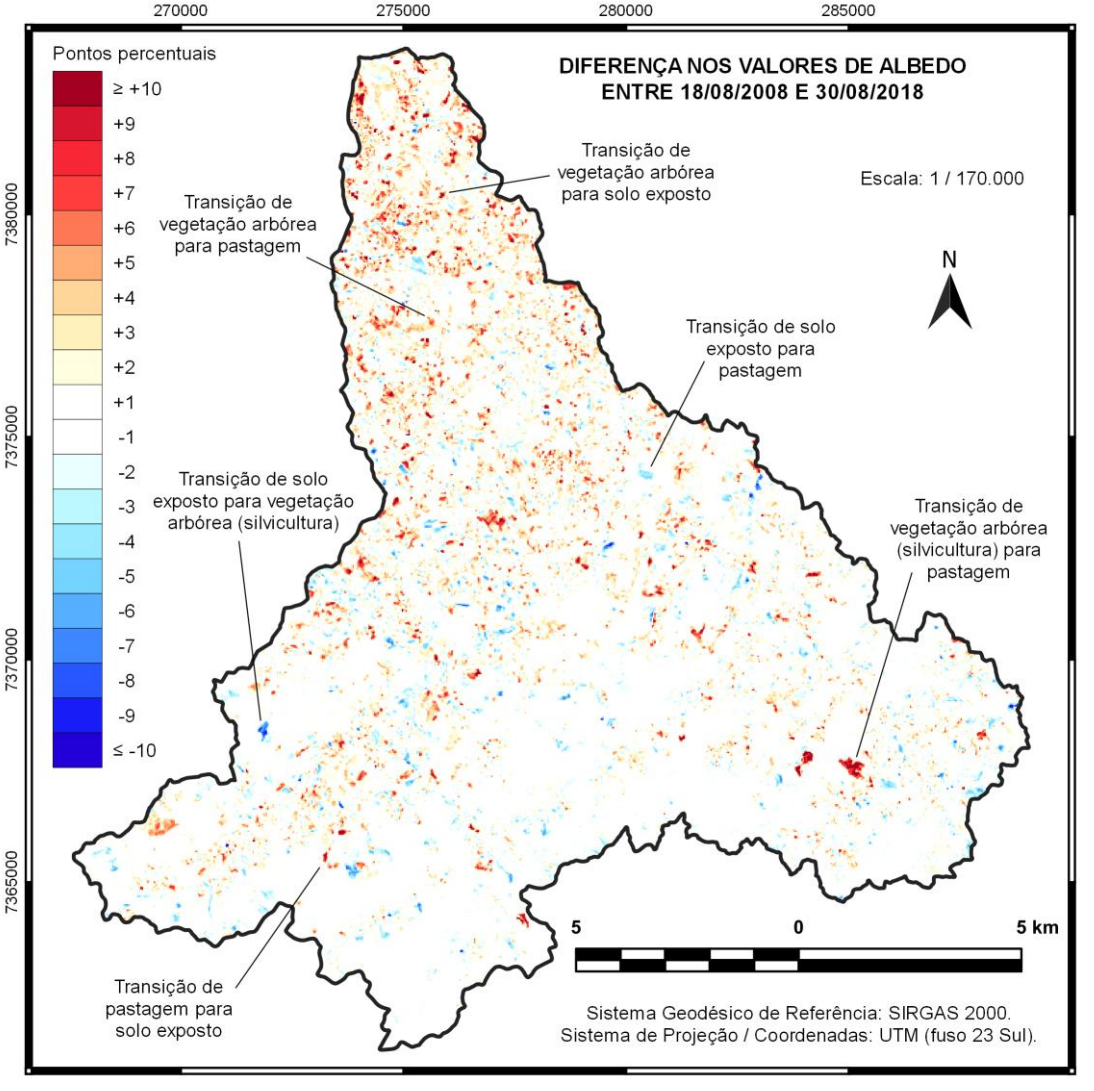


Figura 5 – Diferença entre as imagens de albedo da superfície em 18/08/08 e 30/08/18.

O mapa evidencia o sentido e a intensidade das alterações no comportamento energético da superfície, por efeito das mudanças no uso e

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

cobertura da terra. O sentido de variação do albedo é indicativo da tipologia das modificações ocorridas sobre a superfície terrestre. As áreas representadas na cor vermelha evidenciam o aumento nos valores de albedo, com a consequente elevação da perda energética, em função da redução na densidade da cobertura vegetal e/ou no conteúdo hídrico local; enquanto as áreas representadas na cor azul manifestam o comportamento oposto. A intensidade de variação do albedo expressa o grau de alteração impingido à cobertura vegetal e/ou ao teor de umidade local, representada nos diferentes tons assumidos pelas cores vermelha e azul. Variações de pequena magnitude (representadas, principalmente, pela cor branca e, eventualmente, pelos tons mais claros das outras cores) provavelmente estão associadas à variabilidade natural das diferentes categorias de uso e cobertura da terra, não indicando, necessariamente, a ocorrência de intervenções antrópicas.

A imagem resultante da subtração entre os valores de albedo da superfície, utilizada na elaboração do mapa da Figura 5, tem o seu histograma apresentado na Figura 6.

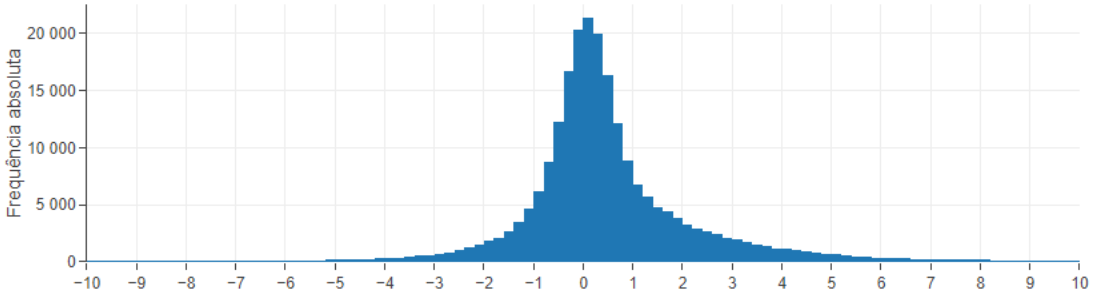


Figura 6 – Histograma da imagem-diferença entre valores de albedo da superfície (pontos percentuais). Nota: classes com valores extremos (de baixa frequência) foram suprimidas.

O gráfico mostra que a maioria dos pixels não sofreu variações significativas de albedo, o que está expresso no posicionamento da classe modal em torno do valor zero, atestando que a maior parte da área da bacia não foi submetida a modificações no seu uso e cobertura. No entanto, a sutil assimetria positiva demonstra que, dentre os pixels que tiveram seus valores alterados, a maioria o foi no sentido dos valores mais elevados de albedo, denotando a redução da cobertura vegetal, além da ampliação das pastagens e áreas urbanizadas.

CONCLUSÕES

No período compreendido entre agosto de 2008 e agosto de 2018, o padrão espacial de uso e cobertura da terra na BHRS não foi submetido a alterações significativas. As principais mudanças correspondem à redução da área ocupada pela vegetação nativa, e ao avanço dos espaços dedicados à agropecuária. Apesar de pouco extensivas, tais modificações assumem certo grau de relevância, tendo em conta o papel dos fragmentos florestais locais na conservação dos recursos hídricos, da biodiversidade e do equilíbrio climático.

Ainda que restritas, as alterações no uso e cobertura efetivamente promoveram impactos sobre o comportamento do albedo da superfície. No período considerado, foi possível constatar a ampliação espacial da ocorrência de pixels com valores mais elevados. O valor médio, máximo, a amplitude e o coeficiente de variação também experimentaram um aumento no período. Adicionalmente, o histograma da imagem de 2018 apresentou incrementos em suas dispersão e assimetria, relativamente ao histograma da imagem de 2008.

Devido ao fato de o albedo constituir-se num parâmetro climático sensível às mudanças implementadas sobre a superfície, seu monitoramento também pôde ser empregado como uma ferramenta indicativa das modificações no uso e cobertura da terra. A técnica de subtração entre imagens de albedo permitiu a análise da variabilidade espaço-temporal dessas modificações, evidenciando, além disso, o sentido e a intensidade das alterações no comportamento energético da superfície. Embora já existam, há muito tempo, referências ao procedimento (ROBINOVE, 1983), na atualidade ainda é rara a utilização da ferramenta (PEREIRA; PASCHOAL; ARAÚJO, 2014). A eficiência na obtenção do produto final, mediante a automação dos processamentos em sistemas de informações geográficas, e a significância dos resultados, eventualmente até dispensando a execução de classificações de imagens, deveriam justificar a adoção mais extensiva da técnica.

A verificação da substituição dos remanescentes florestais por áreas destinadas às atividades agropecuárias, no interior da BHRS, evidencia o descumprimento da Lei Estadual n° 10.100, que institui a APA Itupararanga e aponta para a obrigatoriedade do respeito às normas do seu Plano de Manejo. Dentre essas normas está o zoneamento da APA, que prevê o disciplinamento do uso e ocupação do solo, paralelamente à preservação e conservação dos fragmentos de vegetação nativa (FUNDAÇÃO FLORESTAL, [2010]). A tendência à progressão do desmatamento implicará em danos à quantidade e qualidade das águas responsáveis pelo abastecimento de um montante superior a 1.000.000 de pessoas, além de outros prejuízos ambientais, como a perda de biodiversidade, degradação do solo, alterações microclimáticas e emissão de gases do efeito estufa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, V. P. de; CARVALHO, R. B.; CATHARINO, E. L. M. Flora. *In*: BEU, S. E.; SANTOS, A. C. A. dos; CASALI, S. (org.). **Biodiversidade na APA Itupararanga**: condições atuais e perspectivas futuras. 1. ed. São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente, 2011. *E-book*. cap. 6, p. 72-90. Disponível em: http://apaitupararanga2.blogspot.com/2011/10/biodiversidade-na-apa-itupararanga.html. Acesso em: 5 mar. 2018.

ALVARES, C. A. *et al*. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Stuttgart, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013. Disponível em: https://www.ipef.br/geodatabase/. Acesso em: 15 nov. 2019.

BATISTA, W. R. M. *et al*. Determinação do balanço de radiação com auxílio de imagens orbitais na Bacia Hidrográfica do Rio Jacaré, Sergipe. **Scientia Plena**, São Cristóvão, v. 9, n. 4, p. 1-10, 2013. Disponível em: https://www.scientiaplena.org.br/sp/article/view/1102/724. Acesso em: 5 maio 2018.

BERNARDI, I. **A implantação da APA de Itupararanga e seus reflexos nas políticas públicas e na conservação dos recursos naturais**. 2011. Dissertação (Mestrado em Diversidade Biológica e Conservação) – Centro de Ciência e Tecnologia para a Sustentabilidade, Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba, 2011. Disponível em: https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/1513. Acesso em: 3 abr. 2018.

BEU, S. E.; MISATO, M. T.; HAHN, C. M. APA de Itupararanga. *In*: BEU, S. E.; SANTOS, A. C. A. dos; CASALI, S. (org.). **Biodiversidade na APA Itupararanga**: condições atuais e perspectivas futuras. 1. ed. São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente, 2011. *E-book*. cap. 3, p. 33-56. Disponível em: http://apaitupararanga2.blogspot.com/2011/10/biodiversidade-na-apa-itupararanga.html. Acesso em: 5 mar. 2018.

BEZERRA, M. V. C.; SILVA, B. B. da; BEZERRA, B. G. Avaliação dos efeitos atmosféricos no albedo e NDVI obtidos com imagens de satélite. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 7, p. 709-717, 2011. Disponível em: http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v15n7/v15n07a09.pdf. Acesso em: 4 jun. 2018.

CHANDER, G.; MARKHAM, B. L. Revised Landsat-5 TM radiometric calibration procedures and postcalibration dynamic ranges. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, New York, v. 41, n. 11, p. 2674-2677, nov. 2003. Disponível em: https://landsat.usgs.gov/sites/default/files/documents/L5_TM_Cal_2003.pdf. Acesso em: 2 maio 2018.

CHINAQUE, F. F. **Avaliação da efetividade de gestão das áreas de proteção ambiental**: o caso da APA de Itupararanga. 2017. Dissertação (Mestrado em Sustentabilidade na Gestão Ambiental) – Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba, 2017. Disponível em: https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/9207. Acesso em: 3 dez. 2019.

DAEE. [**Acumulados diário e mensal de precipitação nas estações pluviométricas Ibiúna (E4-047) e Mato do Gado (E4-131)**]. [*S. l.*]: DAEE, 2019. 1 base de dados. Disponível em: http://www.hidrologia.daee.sp.gov.br/. Acesso em: 23 jan. 2019.

FUNDAÇÃO FLORESTAL (São Paulo). **Plano de manejo da área de proteção ambiental (APA) Itupararanga**. São Paulo: Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente, [2010]. Disponível em: https://www.infraestruturameioambiente.sp.gov.br/fundacaoflorestal/planos-de-manejo/planos-de-manejo-planos-concluidos/plano-de-manejo-apa-itupararanga/. Acesso em: 2 dez. 2019.

GOMES, W. APA Itupararanga completa 20 anos com programação comemorativa. [Entrevista cedida a] Larissa Pessoa. **Jornal Cruzeiro do Sul**, [Sorocaba], 1 dez. 2018. Disponível em: https://www.jornalcruzeiro.com.br/sorocaba/apa-itupararanga-completa-20-anos-com-programacao-comemorativa/. Acesso em: 20 jan. 2020.

IBGE. **Biomas e sistema costeiro-marinho do Brasil**: compatível com a escala 1:250.000. Rio de Janeiro: IBGE, 2019. *E-book*. Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101676.pdf. Acesso em: 25 nov. 2019.

IBGE. **Manual técnico de uso da terra**. 3. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2013. Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv81615.pdf. Acesso em: 14 maio 2020.

INSTITUTO FLORESTAL (São Paulo). **Inventário florestal da vegetação nativa do estado de São Paulo**. São Paulo: Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente, 2009. 1 mapa. Disponível em: https://smastr16.blob.core.windows.net/sifesp/2013/12/mapainventario.pdf. Acesso em: 30 nov. 2019.

IPCC. **Climate Change and Land**: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems. [*S. l.*]: IPCC, 2019. Disponível em: https://www.ipcc.ch/srccl/. Acesso em: 3 dez. 2019.

MARIN, F. R.; ASSAD, E. D.; PILAU, F. G. **Clima e ambiente**: introdução à Climatologia para Ciências Ambientais. Campinas: Embrapa, 2008. *E-book*. Disponível em: https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/31891. Acesso em: 28 jul. 2019.

MENDONÇA, F; DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Climatologia**: noções básicas e climas do Brasil. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. de. Aritmética de bandas. *In*: MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. de (org.). **Introdução ao processamento de imagens e Sensoriamento Remoto**. Brasília, DF: UnB, 2012. *E-book*. cap. 9, p. 138-153. Disponível em: http://memoria.cnpq.br/documents/10157/56b578c4-0fd5-4b9f-b82a-e9693e4f69d8. Acesso em: 4 mar. 2017.

MESQUITA, F. L. L. de. **Monitoramento do balanço de radiação na Região Metropolitana do Rio de Janeiro**. 2012. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: https://meteorologia.igeo.ufrj.br/pos/pesquisa/dissertacao. Acesso em: 23 ago. 2019.

MONTEIRO, P. F. C. *et al*. Estimativa dos componentes do balanço de energia e da evapotranspiração para áreas de cultivo de soja no sul do Brasil utilizando imagens do sensor TM Landsat 5. **Bragantia**, Campinas, v. 73, n. 1, p. 72-80, 2014. Disponível em: http://www.scielo.br/pdf/brag/v73n1/aop_bragantia_aag2144.pdf. Acesso em: 12 abr. 2018.

OLIVEIRA, G. de; MORAES, E. C.; RUDORFF, B. F. T. Balanço de radiação em áreas de expansão da cana-de-açúcar no estado de São Paulo com uso de dados orbitais MODIS/Aqua. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, v. 66, n. 3, p. 419-431, maio/jun. 2014. Disponível em: http://www.seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/view/44752/23764. Acesso em: 4 jun. 2019.

OLIVEIRA, L. L. de; VIANELLO, R. L.; FERREIRA, N. J. **Meteorologia fundamental**. Erechim: EdiFAPES, 2001.

OLIVEIRA, L. M. M. de *et al*. Análise quantitativa de parâmetros biofísicos de bacia hidrográfica obtidos por sensoriamento remoto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 47, n. 9, p. 1209-1217, set. 2012. Disponível em: http://www.scielo.br/pdf/pab/v47n9/05.pdf. Acesso em: 18 abr. 2018.

PAVÃO, V. M. *et al*. Impacto da conversão da cobertura natural em pastagem e área urbana sobre variáveis biofísicas no sul do Amazonas. **Revista Brasileira de Meteorologia**, [São José dos Campos], v. 32, n. 3, p. 343-351, 2017. Disponível em: http://www.scielo.br/pdf/rbmet/v32n3/0102-7786-rbmet-32-03-0343.pdf. Acesso em: 10 out. 2019.

PEREIRA, A. C. L.; PASCHOAL, S. S. L.; ARAÚJO, P. C. de. Análise espaço-temporal da desertificação no semiárido do Nordeste do Brasil através de imagens de satélite LANDSAT 5. **Sociedade e Território**, Natal, v. 26, n. 2, p. 181-196, jul./dez. 2014. Disponível em: https://periodicos.ufrn.br/sociedadeeterritorio/article/view/5294/4328. Acesso em: 2 set. 2019.

ROBINOVE, C. J. Space platform albedo measurements as indicators of change in arid lands. **Advances in Space Research**, Great Britain, v. 2, n. 8, p. 31-35, 1983.

ROSSI, M. **Mapa pedológico do estado de São Paulo**: revisado e ampliado. São Paulo: Instituto Florestal, 2017. *E-book*. Disponível em: https://www.infraestruturameioambiente.sp.gov.br/institutoflorestal/2017/09/mapa-pedologico-do-estado-de-sao-paulo-revisado-e-ampliado/. Acesso em: 26 nov. 2019.

SABESP. **Relatório anual de qualidade da água 2018**: município de Ibiúna. [São Paulo]: Sabesp, 2018. Disponível em: http://www.sabesp.com.br/calandraweb/toq/2018/IBIUNA.pdf. Acesso em: 20 jan. 2020.

SALLES, M. H. D. *et al*. Avaliação simplificada de impactos ambientais na bacia do Alto Sorocaba (SP). **Revista de Estudos Ambientais**, [Blumenau], v. 10, n. 1, p. 6-20, jan./jun. 2008. Disponível em: https://proxy.furb.br/ojs/index.php/rea/article/view/897/677. Acesso em: 12 nov. 2019.

SÃO PAULO (Estado). Instituto Geológico; Coordenadoria de Planejamento Ambiental. **UBC_v2**. São Paulo: Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente, 2014a. 1 arquivo *shapefile*. Disponível em: https://www.infraestruturameioambiente.sp.gov.br/cpla/unidades-basicas-de-compartimentacao-do-meio-fisico-do-estado-de-sao-paulo/. Acesso em: 20 nov. 2019.

SÃO PAULO (Estado). Instituto Geológico; Coordenadoria de Planejamento Ambiental. **Unidades Básicas de Compartimentação do Meio Físico (UBC)**. São Paulo: Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente, 2014b. Disponível em: http://s.ambiente.sp.gov.br/cpla/Ficha_Tecnica_UBC_v2.pdf. Acesso em: 20 nov. 2019.

SÃO PAULO (Estado). **Lei n° 10.100, de 1 de dezembro de 1998**. Declara Área de Proteção Ambiental o entorno da represa de Itupararanga. São Paulo: Assembleia Legislativa do Estado de São Paulo, 1998. Alterada pela Lei n° 11.579, de 2 de dezembro de 2003. Disponível em: https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/lei/1998/alteracao-lei-10100-01.12.1998.html. Acesso em: 5 dez. 2019.

SEADE (São Paulo). **População**. São Paulo: SEADE, 2019a. 1 base de dados. Disponível em: https://portalgeo.seade.gov.br/download-de-dados/#. Acesso em: 15 fev. 2020.

SEADE (São Paulo). **Taxa de urbanização (em %)**. São Paulo: SEADE, 2019b. 1 base de dados. Disponível em: https://portalgeo.seade.gov.br/download-de-dados/#. Acesso em: 15 fev. 2020.

SILVA, B. B. da *et al*. Procedures for calculation of the albedo with OLI-Landsat 8 images: application to the brazilian semi-arid. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 20, n. 1, p. 3-8, 2016. Disponível em: http://www.agriambi.com.br/revista/v20n01/v20n01a01.pdf. Acesso em: 15 abr. 2018.

SILVA, B. B. da; LOPES, G. M.; AZEVEDO, P. V. de. Determinação do albedo de áreas irrigadas com base em imagens Landsat 5-TM. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, [*s. l.*], v. 13, n. 2, p. 11-21, 2005. Disponível em: http://www.dca.ufcg.edu.br/DCA_download/ISR/UFPE/Artigo%20002-004%20-%20Determina%E7%E3o%20Albedo.pdf. Acesso em: 12 jul. 2019.

THOMPSON, D.; BARBOSA, I.; OLIVEIRA, R. A. A. C. Avaliação da variação do albedo de superfície por tipologias de uso e cobertura terrestre. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, v. 69, n. 2, p. 375-387, 2017. Disponível em: http://www.seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/view/44024/23275. Acesso em: 28 jun. 2019.

USGS. **Landsat collection 1 level 1 product definition**. Version 2.0. Sioux Falls: EROS, 2019a. Disponível em: https://www.usgs.gov/media/files/landsat-collection-1-level-1-product-definition. Acesso em: 9 jul. 2019.

USGS. **Landsat 8 (L8) data users handbook**. Version 4.0. Sioux Falls: EROS, 2019b. Disponível em: https://prd-wret.s3-us-west-2.amazonaws.com/assets/palladium/production/atoms/files/LSDS-1574_L8_Data_Users_Handbook_v4.pdf. Acesso em: 14 ago. 2019.

WATERS, R. *et al*. **SEBAL Surface Energy Balance Algorithms for Land**: advanced training and users manual. Version 1.0. Nelson: The Idaho Department of Water Resources, 2002. Disponível em: http://www.posmet.ufv.br/wp-content/uploads/2016/09/MET-479-Waters-et-al-SEBAL.pdf. Acesso em: 12 maio 2018.