
Dinâmica da Cobertura Florestal na Serra da Mantiqueira entre 1999 e 2017

Forest Coverage Dynamics in the Serra da Mantiqueira between 1999 and 2017

Dinámica de la Cobertura Forestal en la Serra da Mantiqueira entre 1999 y 2017

Caio Arlanche Petri¹

Daniel Andrade Maciel²

Rogério Flores Junior³

RESUMO: Apesar da extensa cobertura florestal nativa, usos como pastagem extensiva e cultivo florestal também estão presentes na Área de Proteção Ambiental da Serra da Mantiqueira (APA-SM). Além disto, há também ausência de um plano de manejo, com pouco estudo ambiental sobre sua dinâmica de uso e ocupação. Este trabalho buscou avaliar a variação temporal da cobertura florestal para a APA-SM entre os anos de 1999 e 2017 utilizando interpretação de imagens orbitais dos sensores Landsat-5/TM e Landsat-8/OLI. A imagem de 1999 foi classificada com posterior atualização manual até o ano de 2017. Em seguida, buscando avaliar o nível de fragmentação das florestas nativas, foram adotadas métricas de paisagem nas imagens classificadas. Como resultado, foi diagnosticado um aumento da cobertura florestal (floresta nativa com floresta plantada) pela expansão e surgimento de novos fragmentos, enquanto que a conversão de florestas para outros usos foi baixa. Apesar disso, as florestas nativas apresentaram uma redução de seu percentual de cobertura em relação à cobertura florestal total e as métricas de paisagem evidenciaram fragmentação da floresta nativa. O significativo número de novos fragmentos de pequena extensão pode indicar, em determinados casos, prognóstico positivo para a classe de cobertura florestal nativa em crescimento, apesar da fragmentação do habitat.

PALAVRAS-CHAVE: Unidades de conservação. Cobertura florestal. Sensoriamento remoto.

ABSTRACT: *Despite its extensive native forest cover, land uses such as extensive pasture and forest cultivation are present in the Environmental Protection Area of the Serra da Mantiqueira (EPA-SM). Also noteworthy is the absence of a management plan, with a lack of environmental studies on its dynamics of land use and land cover. This paper aimed to evaluate the temporal variation of the forest cover for the EPA-SM, through Landsat-5/TM and Landsat-8/OLI orbital images classification and interpretation, between the years of 1999 and 2017. 1999 image was classified with a posterior manual actualization until 2017. Subsequently, landscape metrics were adopted to evaluate the fragmentation of native forests. As a result, an increase in forest cover (native and forest cultivation) was diagnosed by the expansion and emergence of new fragments, while the conversion of forests to*

¹ INPE, Av. dos Astronautas, 1.758 - Jardim da Granja, São José dos Campos - SP, 12227-010. caioarlanchepetri@gmail.com.

² INPE, Av. dos Astronautas, 1.758 - Jardim da Granja, São José dos Campos - SP, 12227-010. daniel.maciel@inpe.br.

³ INPE, Av. dos Astronautas, 1.758 - Jardim da Granja, São José dos Campos - SP, 12227-010. rogerio.junior@inpe.br.

other uses was low. In spite of this, native forests showed a reduction of their coverage percentage in relation to the total forest cover, and the landscape metrics showed fragmentation of the native forest. The significative number of new fragments of small extension may indicate, in certain cases, a positive prognosis for the class of native forest cover in growth, despite habitat fragmentation.

KEYWORDS: *Conservation units. Forest coverage. Remote sensing.*

RESUMEN: *A pesar de una extensa cobertura de bosque nativo, están presentes usos de la tierra, como pastos extensivos y cultivos forestales en el Área de Protección Ambiental de la Serra da Mantiqueira (APA-SM). Además, hay también ausencia de un plan de manejo, con pocos estudios ambientales sobre su dinámica de cobertura y usos de la tierra. Así, este artículo tuvo como objetivo evaluar la variación temporal de la cobertura forestal para el APA-SM, por medio de la clasificación e interpretación de imágenes orbitales de los sensores Landsat-5/TM y Landsat-8/OLI, entre los años de 1999 y 2017. Fue clasificada la imagen de 1999 y después se hizo una actualización manual hasta 2017. Posteriormente, en las imágenes clasificadas se adoptaron métricas del paisaje para evaluar la fragmentación de los bosques nativos. Como resultado, se diagnosticó un aumento en la cobertura forestal (bosques nativos y cultivos forestales) mediante la expansión y la aparición de nuevos fragmentos, mientras que la conversión de los bosques a otros usos fue baja. A pesar de esto, los bosques nativos mostraron una reducción de su porcentaje de cobertura en relación con la cobertura forestal total, y las métricas de paisaje resaltaron una fragmentación del bosque nativo. Sin embargo, la significativa cantidad de nuevos fragmentos de extensión pequeña puede indicar, en ciertas ocasiones, un pronóstico positivo para la clase de cobertura de bosque nativo en desarrollo, a pesar de la fragmentación del hábitat.*

PALABRAS-CLAVE: *Unidades de conservación. Cobertura forestal. Detección remota.*

INTRODUÇÃO

Áreas de Proteção Ambiental (APAs) são unidades de conservação (UCs) de uso sustentável, regulamentadas pelos órgãos federais e regidas pelo Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC) (BRASIL, 2000). Nestes locais é permitida, com restrições, ocupação e atividades humanas. Criadas em função de atributos – bióticos, físicos, estéticos ou culturais – estas unidades de conservação têm como objetivos a proteção de diversidade biológica, o ordenamento do processo de ocupação e a garantia da sustentabilidade do uso dos recursos naturais (BRASIL, 2010). Apesar das restrições quanto ao uso e ocupação nessas áreas, a preservação da diversidade biológica de forma integral muitas vezes fica comprometida, devido a ações antrópicas como o desmatamento, expansão urbana e mineração (SPÓSITO; STEHMANN, 2006).

A APA da Serra da Mantiqueira foi criada em 1985 para garantir a proteção ambiental e cultural de uma das principais cadeias montanhosas do sudeste brasileiro. A região apresenta significativa importância ecológica, abrangendo o bioma Mata Atlântica juntamente com formações de campos, florestas e matas de araucária, com áreas localizadas em três estados brasileiros (Minas Gerais, São Paulo e Rio de Janeiro) (BRASIL, 2010). Além disso, está situada em um importante corredor ecológico, o Corredor da Serra

do Mar, que inclui outras 26 unidades de conservação (VALERI; SENÔ, 2004) e é abrigo de diversas espécies ameaçadas, sendo considerada a 8ª área mais insubstituível do planeta (LE SAOUT *et al.*, 2013).

Considerando a possível fragilidade das UCs enquadradas na categoria de uso sustentável, identificar as mudanças em função da presença humana é fundamental para definir estratégias de ação e controle. Um importante ponto de vista para a análise das alterações de uso e cobertura da terra é a dinâmica de paisagens, uma vertente da ecologia de paisagens que visa diagnosticar, através de métricas definidas, como os processos de ocupação influenciam características de interesse em um determinado uso ou cobertura, como a cobertura florestal (HAINES-YOUNG; GREEN; COUSINS, 1993). Destaca-se, ainda, que outro elemento de relevância para tal abordagem é o componente temporal, visto que toda e qualquer ação conduzida sobre o ambiente estará associado a esta componente (FERREIRA *et al.*, 2013; LIMA *et al.*, 2004). De forma fundamental, a base de informação para tais estudos se encontra, em boa parte dos casos, na obtenção e interpretação de imagens orbitais em diferentes datas para um local de interesse.

Neste contexto, o uso de técnicas de Sensoriamento Remoto para analisar, mensurar e monitorar os processos que ocorrem na superfície terrestre constitui uma ferramenta sólida em estudos ambientais (JENSEN, 2009), incluindo aqueles cujo interesse é mensurar dinâmicas temporais em processos de ocupação. A ocupação humana, de forma geral, é comumente descrita como ambientalmente nociva (MILLER JUNIOR, 2014), porém é necessário compreender que, em algum nível, a interação com o ambiente deve ser entendida como necessária para a manutenção da qualidade de vida humana. O monitoramento da dinâmica de uso e cobertura da terra através de sensoriamento remoto vem a constituir uma importante ferramenta de diagnóstico desta interação para avaliar a dinâmica espaço-temporal de ocupação do solo.

No escopo de abordagem do sensoriamento remoto, há um conjunto de técnicas consolidadas para identificar e mapear o uso e cobertura da terra de uma dada região, que, no processo de classificação, podem ser divididas em visual, supervisionadas, não-supervisionadas ou mistas (MOREIRA, 2005). A diferença da primeira técnica para as outras se encontra no fato de que a classificação dos elementos da cena se dá de forma totalmente manual, enquanto as classificações supervisionadas e não-supervisionadas utilizam algoritmos computacionais para identificar pixels ou regiões com atributos semelhantes. De forma geral, as técnicas automatizadas possuem o potencial de reduzir drasticamente o tempo de trabalho envolvido na classificação de imagens (JENSEN, 2009; MOREIRA *et al.*, 2007). Porém, devido à dificuldade de se classificar objetos com resposta espectral semelhantes em áreas próximas, é interessante utilizar a interpretação visual de imagens como procedimento complementar à classificação automatizada, identificando erros de

classificação e refinando o resultado de procedimentos automáticos (GONÇALVES *et al.*, 2008; MOREIRA, 2005; SHIBA *et al.*, 2005).

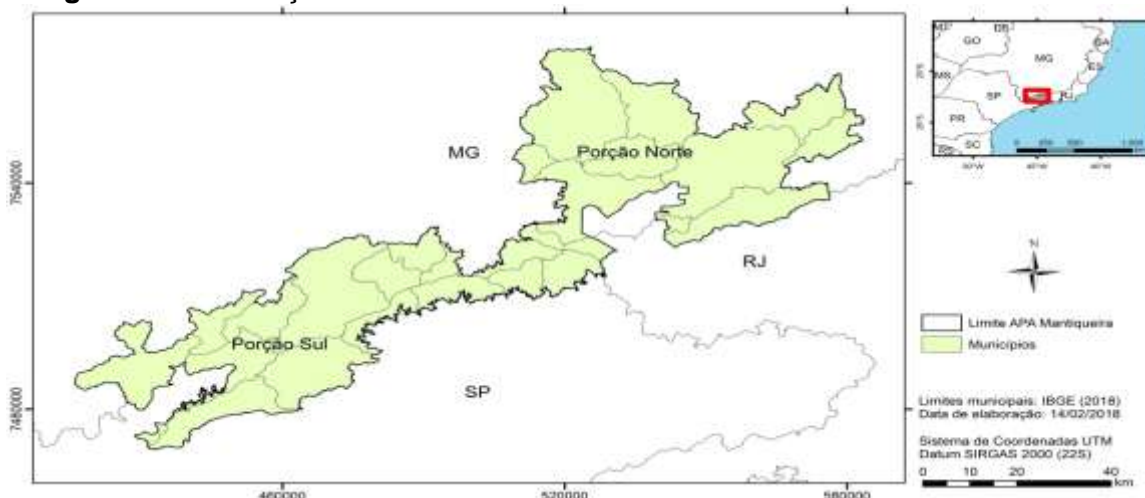
Considerando o exposto, torna-se pertinente o monitoramento da dinâmica de uso e cobertura da terra em APAs, especialmente em termos da cobertura da vegetação nativa, monitorada *in-situ* por órgãos responsáveis e por métodos essencialmente *ex-situ*, como os de sensoriamento remoto, para identificar tendências em escala geral da área em questão. Assim, este trabalho teve por objetivo analisar a dinâmica da cobertura florestal na APA Serra da Mantiqueira no período entre 1999 e 2017. Mais especificamente, buscou-se identificar e caracterizar as mudanças na cobertura florestal com o emprego de técnicas de sensoriamento remoto, aliadas à análise por métricas de paisagem. Pretendeu-se, com isso, fornecer subsídios para discutir o efeito da implantação de APAs na preservação da cobertura florestal, bem como identificar locais prioritários para ações de controle e mitigação de impactos ambientais.

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de Estudo

A área de estudo corresponde a APA Serra da Mantiqueira, localizada entre os estados de São Paulo, Minas Gerais e Rio de Janeiro (Figura 1).

Figura 1 - Localização da área de estudo



Fonte: Os autores.

A APA-SM apresenta uma área correspondente a 437.192 hectares, com predominância do bioma Mata Atlântica, e abrange 27 municípios nos três estados (Quadro 1). Sua criação aconteceu, originalmente, pelo decreto 91.204 de 03 de junho de 1985

(BRASIL, 2010). Nas regiões abaixo de 1.100 metros, predomina a Floresta Ombrófila Densa Montana e entre 1.100 a 2.000 metros encontram-se a Floresta Ombrófila Densa Altomontana e florestas mistas, com a presença de araucárias (*Araucaria angustifolia*). Na transição para as regiões mais altas aparecem os bosques de candeias (*Eremanthus spp*) e, acima de 1.800 metros, encontram-se os campos de altitude (campos limpos e campos rupestres).

O relevo pertence ao compartimento das faixas de dobramentos e coberturas metassedimentares associadas e ao conjunto dos planaltos e serras do Leste-Sudeste, que apresenta, nas áreas interioranas, serras acidentadas com picos de mais de 2.000 metros de altitude (BRASIL, 2010).

Em contraste às florestas nativas, podem ser observados cultivos florestais para a celulose (eucaliptos). Além disso, a principal atividade econômica desenvolvida na APA da Serra da Mantiqueira refere-se à agropecuária praticada com técnicas tradicionais de manejo do solo (BRASIL, 2010), o que muitas vezes acarreta impactos ambientais, como o desmatamento e a erosão laminar (BOUMANNNS *et al.*, 2010).

Quadro 1 - Municípios abrangidos pela APA Serra da Mantiqueira, mesorregiões e seus respectivos estados

Município	Mesorregião	Estado
Aiuruoca	Sul/Sudoeste de Minas	MG
Alagoa	Sul/Sudoeste de Minas	MG
Baependi	Sul/Sudoeste de Minas	MG
Bocaina de Minas	Sul/Sudoeste de Minas	MG
Bom Jardim de Minas	Sul/Sudoeste de Minas	MG
Brasópolis	Sul/Sudoeste de Minas	MG
Carvalhos	Sul/Sudoeste de Minas	MG
Delfim Moreira	Sul/Sudoeste de Minas	MG
Gonçalves	Sul/Sudoeste de Minas	MG
Itajubá	Sul/Sudoeste de Minas	MG
Itamonte	Sul/Sudoeste de Minas	MG
Itanhandu	Sul/Sudoeste de Minas	MG
Liberdade	Sul/Sudoeste de Minas	MG
Maria da Fé	Sul/Sudoeste de Minas	MG
Marmelópolis	Sul/Sudoeste de Minas	MG
Paraisópolis	Sul/Sudoeste de Minas	MG
Passa Quatro	Sul/Sudoeste de Minas	MG
Passa-Vinte	Sul/Sudoeste de Minas	MG
Piranguçu	Sul/Sudoeste de Minas	MG
Pouso Alto	Sul/Sudoeste de Minas	MG
Sapucaí-Mirim	Sul/Sudoeste de Minas	MG
Virgínia	Sul/Sudoeste de Minas	MG
Wenceslau Braz	Sul/Sudoeste de Minas	MG
Santa Rita de Jacutinga	Zona da Mata	MG
Itatiaia	Sul Fluminense	RJ
Quatis	Sul Fluminense	RJ
Resende	Sul Fluminense	RJ
Campos do Jordão	Vale do Paraíba Paulista	SP
Cruzeiro	Vale do Paraíba Paulista	SP
Guaratinguetá	Vale do Paraíba Paulista	SP
Lavrinhas	Vale do Paraíba Paulista	SP
Lorena	Vale do Paraíba Paulista	SP
Pindamonhangaba	Vale do Paraíba Paulista	SP
Piquete	Vale do Paraíba Paulista	SP
Queluz	Vale do Paraíba Paulista	SP
Santo Antônio do Pinhal	Vale do Paraíba Paulista	SP
São Bento do Sapucaí	Vale do Paraíba Paulista	SP
Tremembé	Vale do Paraíba Paulista	SP

Fonte: Os autores.

Base de Dados

As imagens selecionadas para este trabalho pertencem à missão Landsat (UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY, 2017), correspondentes às órbitas/ponto 218/75 e 218/76 e com a utilização dos sensores *Thematic Mapper* (TM)/Landsat 5 datadas de 1999 (20/06) e 2010 (13/05) e *Operational Land Imager* (OLI)/Landsat 8 datada de 2017 (05/09). O critério de seleção considerou um intervalo interanual consistente entre datas, com imagens na estação seca de cada ano que não se posicionam em períodos de anomalias pluviométricas. Foram utilizadas, em cada imagem, as bandas respectivas à região espectral do vermelho, infravermelho próximo e infravermelho médio (SWIR 1), em uma combinação falsa-cor de Azul, Vermelho e Verde, respectivamente. A técnica de realce linear do contraste por histograma foi aplicada no conjunto de imagens, a fim de ressaltar os alvos de interesse para o procedimento de interpretação visual, minimizando ainda possíveis alterações sazonais na iluminação de encostas. O software utilizado para o desenvolvimento do trabalho, incluindo os mosaicos entre cenas, foi o SPRING 5.2.2 (CAMARA *et al.*, 1996).

Identificação da Cobertura Florestal

Após o realce, procedeu-se a classificação das cenas, cujo método adotado foi classificar a cena do primeiro período (1999) e depois identificar as alterações que ocorreram nos períodos seguintes na área de floresta. Para isso, realizou-se uma segmentação através do método de crescimento de regiões, com parâmetros de similaridade 15 e área de busca de 20 pixels. Para a classificação da imagem, foi adotado o método Bhattacharya, que se mostrou eficiente para o conjunto de dados. Este método utiliza a separabilidade estatística entre pares de classes espectrais a partir da distância Bhattacharya (LEÃO *et al.*, 2007; OLIVEIRA; MATAVELI, 2013). Duas classes foram definidas e treinadas, sendo elas “floresta” e “não floresta”. A classificação binária, apesar de limitada em termos de representação do espaço da área de estudo de forma realista, é capaz de separar uma classe de especial interesse de outras classes de forma mais objetiva e com maior precisão. Considerando que esta fase do trabalho visou analisar apenas a dinâmica de cobertura florestal, tal escolha se justifica. É importante destacar que esta metodologia diferencia as formações florestais de outros tipos de cobertura, mas não diferencia a vegetação nativa de cultivos florestais.

A classificação inicial foi aprimorada por interpretação visual, identificando visualmente inconformidades como a presença de regiões não enquadradas nas classes (MOREIRA, 2005; MOREIRA *et al.*, 2007). Estas regiões ocorrem como consequência da adoção de um limiar de aceitação para o classificador, sendo importante observar se são passíveis de

enquadramento em uma classe (área de interesse) ou não pertencem a nenhuma classe (nuvens, por exemplo). Neste trabalho, o limiar adotado foi de 95%.

Para identificar mudanças no uso e cobertura da terra, é pertinente que a diferença entre datas de uma imagem não cause influência direta na classificação. Ao realizar múltiplas classificações para diferentes datas, principalmente quando se utilizam imagens de sensores diferentes, diferenças entre as condições de observação e iluminação para cada momento podem criar produtos distintos, mesmo que mantidas as resoluções espacial, radiométrica e espectral. Assim, para este trabalho, foi adotada a edição matricial por identificação visual de mudanças baseada na classificação da imagem mais antiga, de 1999. A interpretação visual das datas de 2010 e 2017 foi realizada com a sobreposição das máscaras da cobertura florestal da data imediatamente anterior, na escala de 1:50.000. O mesmo procedimento foi realizado com máscaras equivalentes à classe “não floresta” a fim de identificar as áreas onde a cobertura florestal regrediu. Finalmente, a subtração das máscaras para as duas classes, por data, gerou as classes finais e o diagnóstico de cobertura florestal para os anos de 2010 e 2017.

Diferenciação entre Florestas Nativas e Plantadas

Em uma nova etapa, foi adotada outra classificação, desta vez apenas dentro da classe “floresta”. A finalidade foi distinguir a cobertura florestal entre “floresta nativa” e “floresta plantada”, seguindo o mesmo padrão metodológico da etapa anterior, com o classificador Battacharya (LEÃO *et al.*, 2007; OLIVEIRA; MATAVELI, 2013) e o mesmo limiar de aceitação para o classificador, bem como os parâmetros de similaridade e busca na segmentação. Da mesma forma, procedeu-se com a classificação da primeira imagem e a atualização, por interpretação visual, das datas subsequentes em escala fixa de 1:50.000.

Análise da Paisagem

Finalmente, foram adotadas duas métricas relativas à dinâmica da paisagem: área e perímetro dos fragmentos. Estas medidas possuem a funcionalidade de diagnosticar, de forma simples, se há algum processo de fragmentação de habitats naturais associado às mudanças de uso e cobertura da terra (HAINES-YOUNG *et al.*, 1993; LIMA *et al.*, 2004). Assim, uma tendência de redução das métricas, ou seja, a diminuição ou separação de fragmentos da classe “floresta nativa” indica a fragmentação desta classe em relação à data anterior. Por outro lado, um aumento nas métricas pode indicar que a classe está se

desenvolvendo, com ganho de importantes atributos para a conservação da biodiversidade, ao longo do tempo (LIMA *et al.*, 2004).

Avaliação da Dinâmica por Municípios

A dinâmica da cobertura florestal também foi avaliada para cada um dos 27 municípios dentro dos limites da APA. Como esta área não abrange a totalidade das áreas municipais, esta análise se ateve apenas às áreas pertencentes à APA dentro de cada município. Com esta análise pretende-se inferir sobre possíveis fatores de regionalização municipal na recuperação ou degradação de florestas nativas, bem como sobre a dinâmica de cobertura das florestas plantadas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Cobertura Florestal Indiscriminada

Ao analisar os resultados, algumas regiões não classificadas (fora do limiar adotado) foram introduzidas manualmente às classes “floresta” e “não floresta”. Além disso, uma região ao sul da APA deixou de ser classificada por conter nuvens, observada em apenas um ano de análise. Devido à metodologia adotada, essa região foi desconsiderada nas imagens das datas subsequentes, pois a inclusão dessa área em alguma classe poderia criar um falso diagnóstico na dinâmica de cobertura florestal.

Após identificar a dinâmica de cobertura florestal para os anos de 2010 e 2017, a partir do ano-base de 1999, observou-se que a cobertura florestal cresceu ao longo da APA (Tabela 1). Este crescimento pode ser descrito como difuso devido ao pequeno tamanho dos fragmentos e sua distribuição ao longo de toda a área (Figura 2). Os maiores incrementos foram observados no ano de 2017, na porção norte da APA, tendo sua ampliação ocorrida entre o momento da aquisição da imagem de 2010 e a aquisição de 2017.

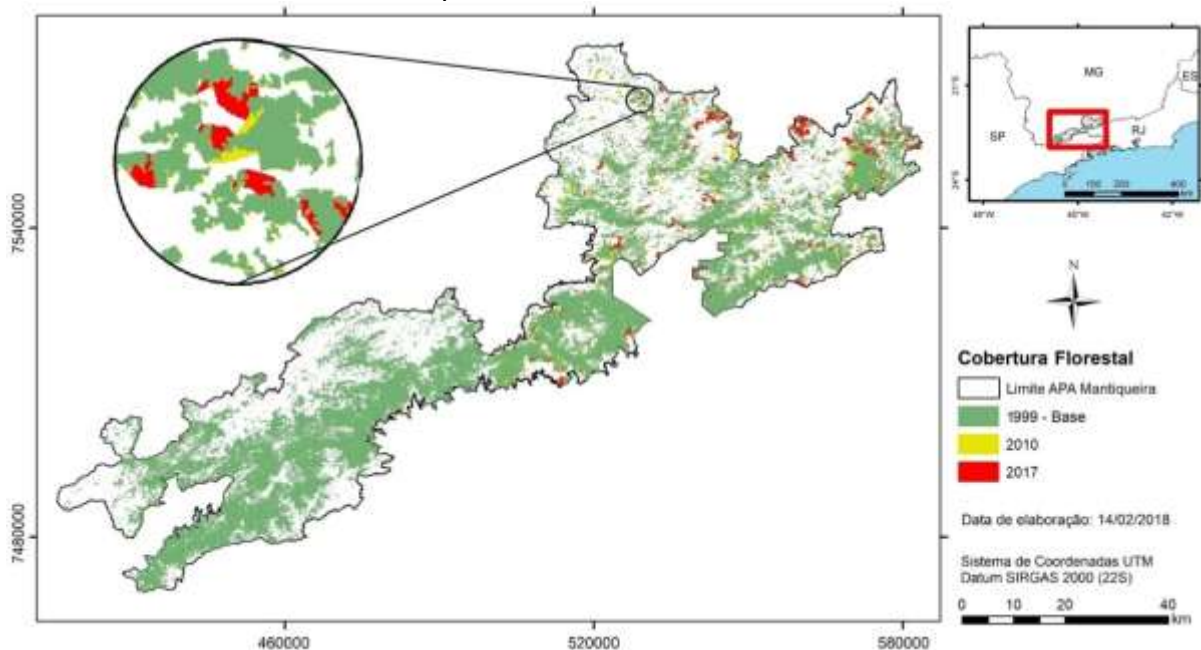
Ao separar apenas a dinâmica da classe “não floresta”, foi possível observar que esta classe apresentou a maior parte de sua área na porção sul da APA, coincidindo com a região que apresentou menor quantidade de área de evolução da área de cobertura florestal (Figura 3).

Tabela 1 - Área e porcentagem ocupada pelas classes “floresta” e “não floresta” - cada classe nos anos de 1999, 2010 e 2017 na APA Serra da Mantiqueira

	1999	2010	2017
Floresta (ha)	205.354	208.099	214.680
Floresta (%)	47.06	47.69	49.20
Não Floresta (ha)	230.950	228.205	221.624
Não Floresta (%)	52.94	52.31	50.80
Área Total APA:	437192 ha	Área de nuvens (1999): 887 ha	

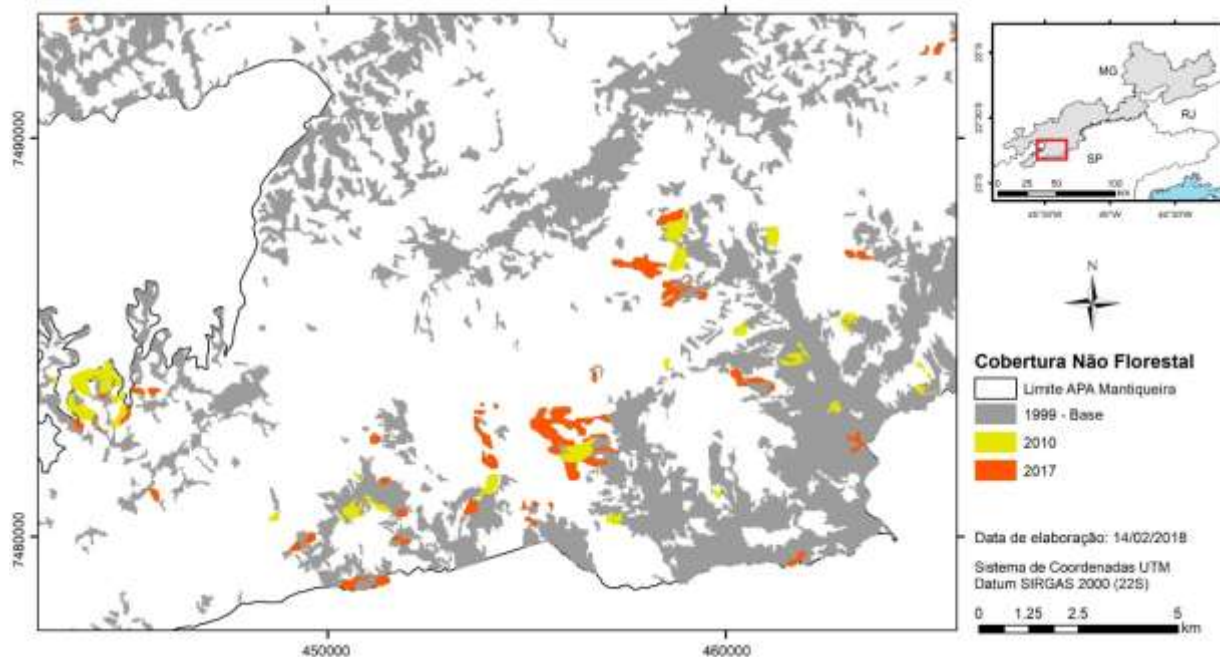
Fonte: Os autores.

Figura 2 - Expansão da cobertura florestal entre 1999, 2010 e 2017 e localização da APA Serra da Mantiqueira



Fonte: Os autores

Figura 3 - Expansão da classe “não floresta” entre os anos de 1999, 2010 e 2017 para a porção sul da APA Serra da Mantiqueira



Fonte: Os autores.

Cobertura Florestal Nativa e Plantada

Ao caracterizar o tipo de cobertura florestal foi possível observar que as florestas plantadas representam uma fração pequena da cobertura florestal total (Tabela 2). Porém, ao longo dos anos abordados no trabalho, e apesar do crescimento da área total para ambas as classes, foi possível observar que a porcentagem de cobertura das florestas nativas em relação à cobertura florestal total sofreu uma pequena redução (de 92,97% para 92,04%). Este dado pode representar um reflexo de um maior crescimento, apesar das baixas taxas de remoção de cobertura vegetal, do cultivo de florestas plantadas sobre a recuperação de ambientes naturais.

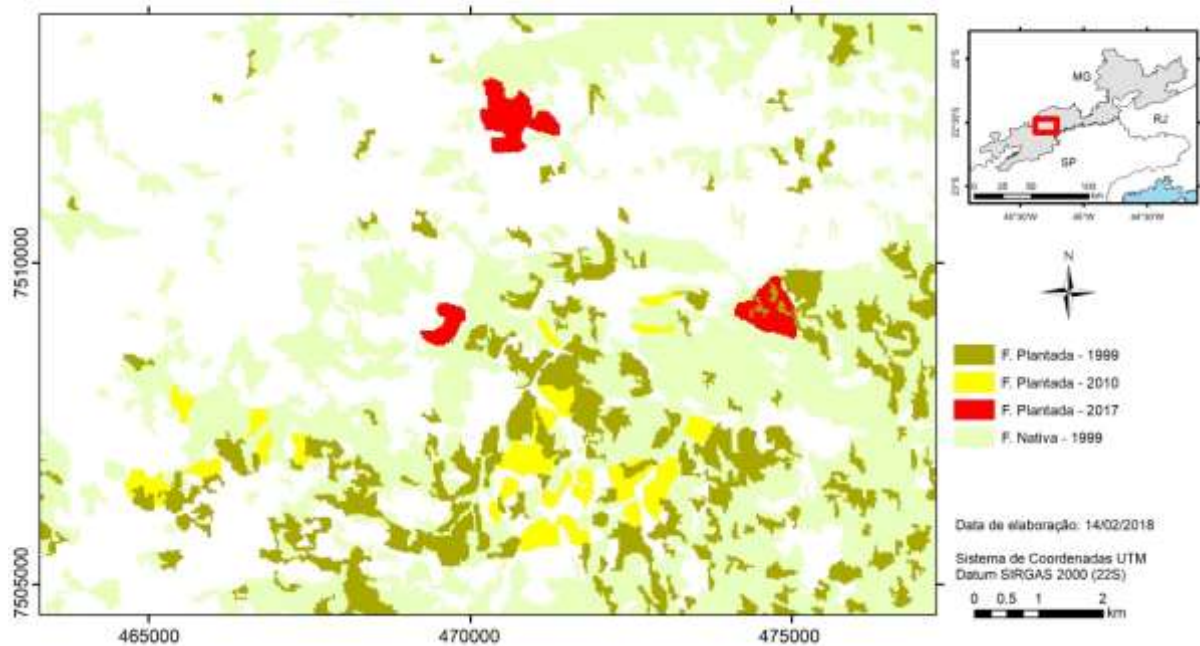
Tabela 2 - Área, em hectares, e porcentagem ocupada pelas classes “floresta nativa” e “floresta plantada” nos anos de 1999, 2010 e 2017 na APA Serra da Mantiqueira

Classe	1999		2010		2017	
	Área (ha)	%	Área (ha)	%	Área (ha)	%
Nativa	190.099,7	92,57	191.818,6	92,18	197.582,4	92,04
Plantada	15.254,4	7,43	16.281	7,82	17.097,8	7,96
Total	205.354,1	100	208.099,6	100	214.680,2	100

Fonte: Os autores.

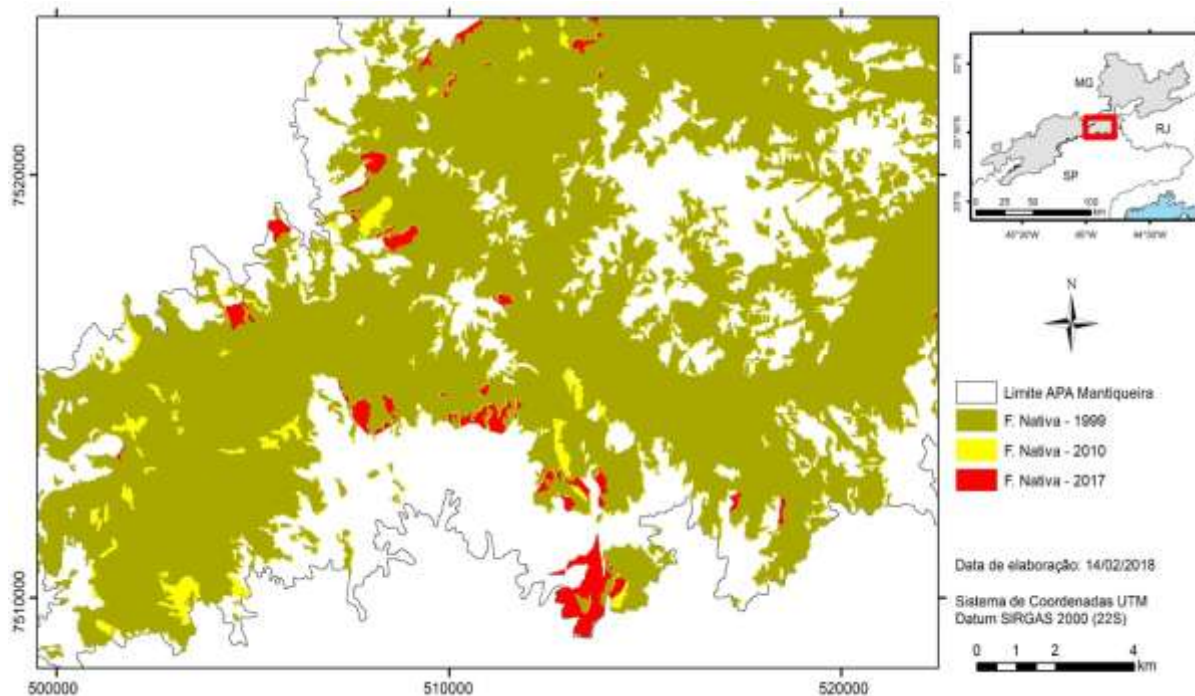
A comparação dos padrões de crescimento de cada classe permite observar, além do evidenciado aumento em área, uma diferenciação entre as florestas nativas e plantadas. A classe “floresta plantada” (Figura 4), quando observada em detalhe, revela o surgimento de novos fragmentos, por vezes relativamente extensos em comparação com os já existentes. Esta dinâmica, de forma geral, representa o crescimento e variação desta classe em um padrão de ocupação não gradual, com plantio em fragmentos antes desconectados da classe. Por outro lado, o crescimento da classe “floresta nativa” (Figura 5) se apresenta na maior parte das vezes conectado a fragmentos já existentes, representando um crescimento por expansão dos limites da área nativa anterior e com poucos novos fragmentos. A presença dos dois padrões distintos fomenta a necessidade de uma discussão voltada à dinâmica de paisagem, questionando a hipótese de que o crescimento observado nas florestas nativas é por si só uma medida sólida de aumento de condições propícias para a conservação da biodiversidade na APA.

Figura 4 - Expansão da classe “floresta plantada” entre os anos de 1999, 2010 e 2017, em recorte na porção centro-sul da APA Serra da Mantiqueira



Fonte: Os autores.

Figura 5 - Expansão da classe “floresta nativa” entre os anos de 1999, 2010 e 2017, em recorte na porção central da APA Serra da Mantiqueira



Fonte: Os autores.

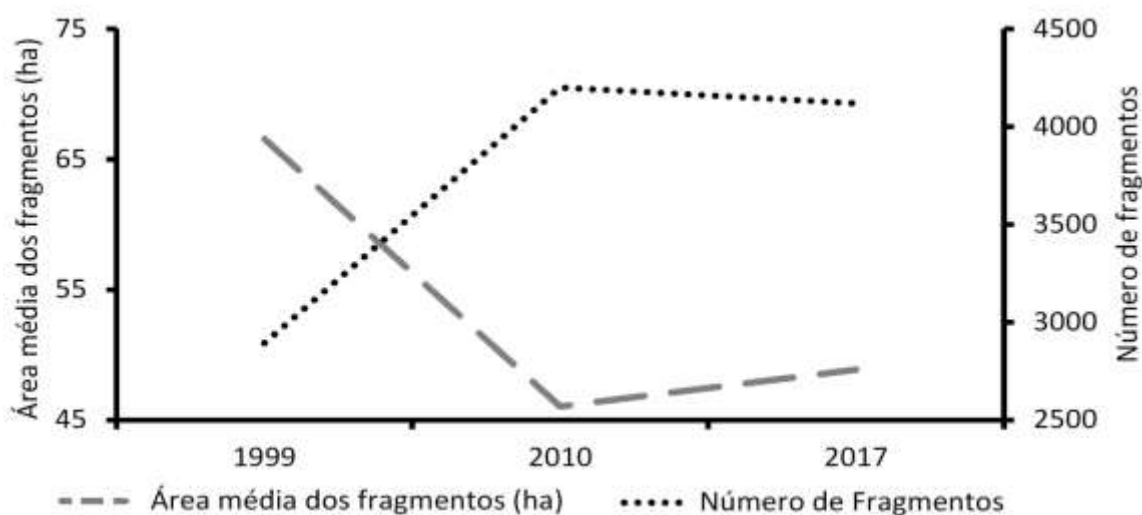
Métricas da Paisagem

As métricas da paisagem adotadas (Tabela 3 e Figura 6) apresentam uma tendência geral de fragmentação dos habitats, com a redução da área média dos fragmentos (de 66,56 para 48,86 hectares) e do perímetro médio dos fragmentos (de 5,95 para 4,08 quilômetros), aliados ao aumento do número de fragmentos (de 2894 para 4120). O desvio padrão de cada métrica segue a mesma tendência dos dados médios. Estas taxas de mudança podem ser interpretadas, apesar do crescimento absoluto da cobertura florestal nativa, como um processo de fragmentação causado pelo aumento das áreas de floresta plantada entre fragmentos florestais nativos. Mesmo o crescimento se dando de forma discreta, sua distribuição associada ao surgimento de novos fragmentos acaba por indicar métricas negativas, sem necessariamente ser representado por uma alta taxa de desmatamento ou alteração direta de classes de cobertura. Em geral, estas características não possuem um viés negativo na recuperação de áreas naturais, significando apenas um padrão local de expansão. Por sua vez, o relacionamento deste padrão com o de outras classes em expansão torna-se uma evidência da sensível fragmentação observada.

Tabela 3 - Número de fragmentos, tamanho mínimo, máximo e médio de fragmentos e desvio padrão da média do tamanho dos fragmentos

Ano	Perímetro (km)			Área (ha)		
	1999	2010	2017	1999	2010	2017
N. Fragmentos	2.894	4.200	4.120	2.894	4.200	4.120
Mínimo	0,54	0,47	0,32	1,80	0,77	0,63
Máximo	6.283,98	4.539,93	4.509,05	100.357,00	72.141,70	71.641,60
Média	5,95	4,08	4,08	66,56	46,05	48,86
Desv. Padrão	122,19	79,64	82,82	1.937,01	1.267,74	1.342,03

Fonte: Os autores.

Figura 6 - Variação da área média e do número de fragmentos entre os anos de 1999, 2010 e 2017

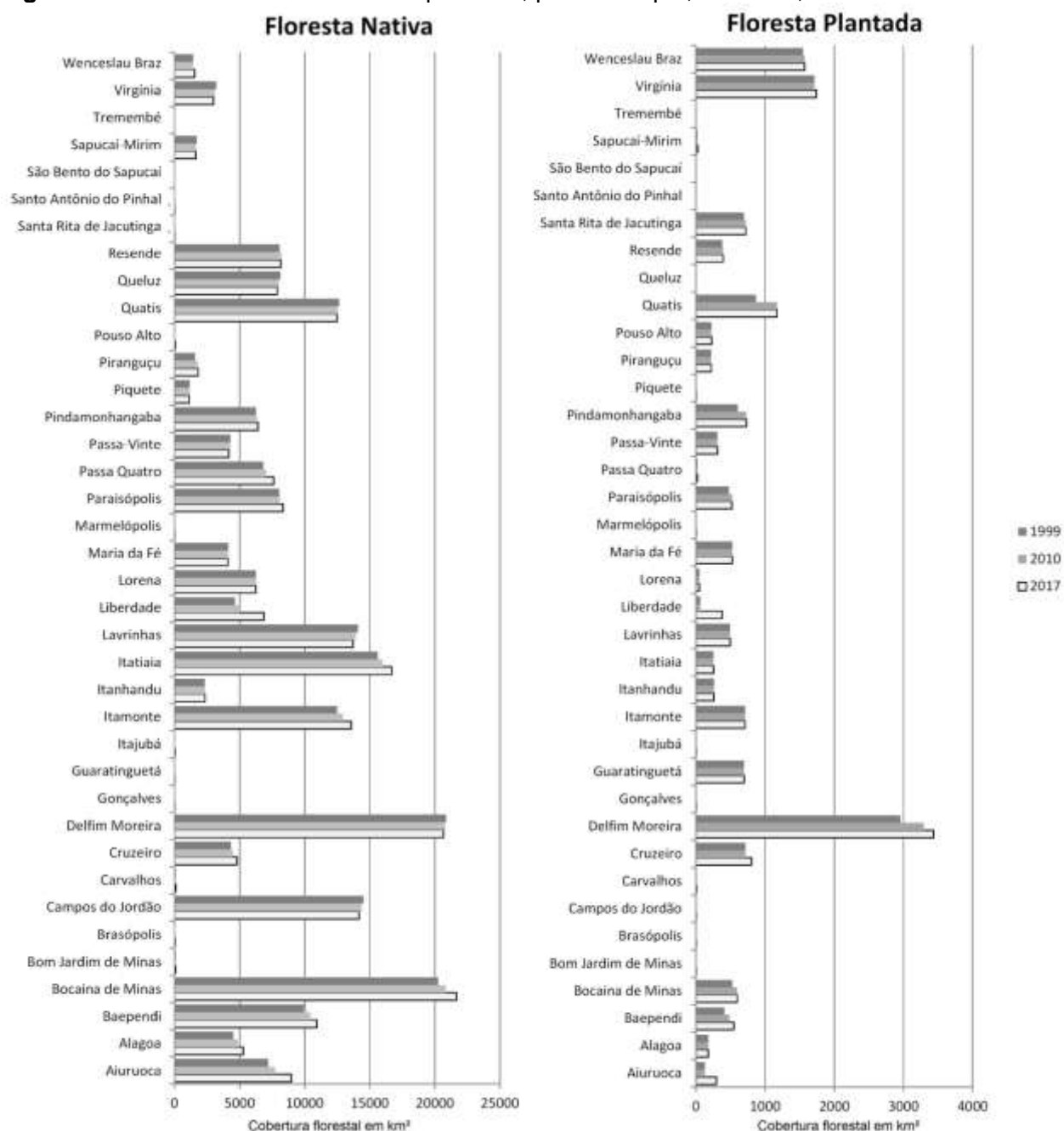
Fonte: Os autores.

Dinâmica por Município

Na avaliação da dinâmica de distribuição de florestas nativas e plantadas por município, foi constatado que a área do município contida na APA não estabelece uma relação causal com as áreas de floresta em geral, quando todos os municípios são avaliados (Figura 7). A distribuição entre florestas plantadas e nativas, entretanto, estabelece uma relação temporal dentro dos municípios: quando constatado um aumento ou redução em área de cobertura, a tendência é que o padrão se repita para a próxima data. Este diagnóstico evidencia tendências diferenciadas dentro dos municípios, o que justifica a adoção da divisão da cobertura florestal da APA por município. Ao mesmo tempo, porém, o aumento da cobertura florestal total pode também ser observado como tendência majoritária nesses dados. Entretanto, não há uma relação direta entre as áreas de floresta nativa e plantada em presença nos municípios: os que contêm grandes áreas nativas não possuem,

necessariamente, grandes áreas de floresta plantada, sendo que podem ser observados comportamentos variados quando adotado esse princípio.

Figura 7 - Cobertura florestal nativa e plantada, por município, em 1999, 2010 e 2017



Fonte: Os autores.

CONCLUSÃO

Considerando os resultados obtidos, foi possível observar um aumento da cobertura florestal na APA Serra da Mantiqueira entre os anos de 1999 e 2017. Este aumento, entretanto, de acordo com a metodologia adotada para a primeira classificação, não

apresentou uma base concreta para afirmar que houve um aumento real na cobertura vegetal nativa na APA, garantindo apenas a confirmação de que a integração de todos os tipos florestais presentes na área sofreu incremento ao longo dos anos. Porém, ao observar a sensível taxa de transformação da classe “floresta” para “não floresta”, o prognóstico para a conservação ambiental na APA é positivo. O segundo procedimento de classificação, em concordância, indicou aumento tanto de florestas nativas quanto de florestas plantadas, classes antes enquadradas como cobertura florestal geral. Apesar de positivo, este resultado é confrontado pela observação de que a porcentagem de florestas nativas em relação às florestas plantadas sofreu redução ao longo do tempo, um forte indício de que a recuperação de florestas propícias para a conservação da biodiversidade se deu de forma mais sensível, em uma escala geral, do que o avanço das culturas florestais.

No mesmo sentido, a análise das métricas da paisagem adotadas indica que houve, ao longo do tempo, uma fragmentação da classe “floresta nativa”. Esta fragmentação, embora temporalmente associada a um crescimento da classe, indica que os fragmentos existentes se tornaram menores em área e em perímetro, porém com substancial aumento em sua quantidade. Esta constatação permite concluir que a expansão da floresta nativa, com influência da expansão das florestas cultivadas, se deu em um processo de crescimento disperso. Geralmente, a presença de fragmentação do ambiente ao longo do tempo é associada à perda de qualidade dos fragmentos. Porém, quando o número de fragmentos está em crescimento, observar este resultado em medidas de tendência central é comum, e pode ser interpretado como consequência da expansão da classe em um contexto global.

Para a divisão por municípios presentes na APA, é possível concluir que existem dinâmicas diferenciadas de acordo com o limite administrativo, instigando a necessidade de um estudo específico sobre as políticas públicas de cada município abordado pela APA quanto à conservação, recuperação de áreas naturais e o plantio para cultivo florestal. Em concordância, observou-se que os municípios se comportaram com tendências consistentes ao longo do tempo, com crescimento ou redução de áreas de cobertura florestal nativa e/ou plantada.

Finalmente, é importante considerar que, na APA estudada, as áreas naturais presentes não se restringem às formações florestais diagnosticadas. De acordo com Ministério do Meio Ambiente (BRASIL, 2010), há uma quantidade considerável de campos de altitude, formações florísticas campestres altamente vulneráveis ao avanço de usos como a pastagem e agricultura. Assim, destaca-se a necessidade de um diagnóstico de outras classes de vegetação nativa presentes na APA com a finalidade de compreender a dinâmica completa do comportamento destas classes em relação às pressões antrópicas presentes.

REFERÊNCIAS

- BOUMANN, R. *et al.* Modelagem dinâmica do uso e cobertura das terras para o controle da erosão na bacia hidrográfica do Rio Mogi-Guaçu e Pardo – São Paulo – Brasil. **Revista Iberoamericana de Economía Ecológica**, Rio de Janeiro, RJ, v. 14, n. 1, p. 1-12, 2010.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Cadastro Nacional de Unidades de Conservação. **Relatório parametrizado**: unidade de conservação. Área de Proteção Ambiental: Serra da Mantiqueira. Brasília, DF: MMA, 2010. Disponível em: <http://sistemas.mma.gov.br/cnuc/index.php?ido=relatorioparametrizado.exibeRelatorio&relatorioPadrao=true&idUc=11>. Acesso em: 1 dez. 2017.
- BRASIL. Presidência da República. **Lei Nº 9.985, de 18 de julho de 2000**. Regulamenta o art. 225, § 1º, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. Brasília, DF: Congresso Nacional, 2000. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9985.htm. Acesso em: 1 dez. 2017.
- CÂMARA, G.; SOUZA, R. C. M.; FREITAS, U. M.; GARRIDO, J. SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling. **Computers & Graphics**, New York, US, v. 20, n. 3, p. 395-403, 1996.
- FERREIRA, E.; DANTAS, A. A. A.; OLIVEIRA, A.; MACHADO, R. V. Dinâmica do uso e cobertura da terra no campus da Universidade Federal de Lavras de 1964 a 2009. **Cerne**, Lavras, MG, v. 19, n. 1, p. 35-42, 2013.
- GONÇALVES, M. L., ANDRADE NETTO, M. L., ZULLO JUNIOR, J.; COSTA, J. A. F. Classificação não-supervisionada de imagens de sensores remotos utilizando redes neurais auto-organizáveis e métodos de agrupamentos hierárquicos. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, RJ, v. 60, n. 1, p. 17-29, 2008.
- HAINES-YOUNG, R.; GREEN, D. R.; COUSINS, S. H. **Landscape ecology and GIS**. New York: Taylor and Francis, 1993.
- JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente**: uma perspectiva em recursos terrestres. São José dos Campos, SP: Parêntese, 2009.
- LE SAOUT, S.; HOFFMANN, M.; SHI, Y.; HUGHES, A.; BERNARD, C.; BROOKS, T. M. Protected areas and effective biodiversity conservation. **Science**, Washington, DC, v. 342, n. 6160, p. 803-805, 2013.
- LEÃO, C.; KRUG, L. A.; KAMPEL, M.; FONSECA, L. M. G. Avaliação de métodos de classificação em imagens TM/Landsat e CCD/CBERS para o mapeamento do uso e cobertura da terra na região costeira do extremo sul da Bahia. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis, SC. **Anais [...]**. São José dos Campos, SP: INPE, 2007. p. 939-946. Disponível em: <http://urlib.net/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.15.01.10>. Acesso em: 1 dez. 2017.
- LIMA, E. D. C.; SANQUETTA, C. R.; KIRCHNER, F. F.; FERRETTI, E. R. Qualidade da paisagem: estudo de caso na Floresta Ombrófila Mista. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 34, n. 1, p. 45-56, 2004.

MILLER JUNIOR, T. **Ciência ambiental**. São Paulo: Cengage Learning, 2014.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. Viçosa: UFV, 2005.

MOREIRA, M. A.; BARROS, M. A.; FARIA, V. D.; ADAMI, M. Tecnologia de informação: imagens de satélite para o mapeamento de áreas de café de Minas Gerais. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, MG, v. 28, n. 241, p. 27-37, 2007.

OLIVEIRA, B. S.; MATAVELI, G. A. V. Avaliação do desempenho dos classificadores Ioseg e Bhattacharya para o mapeamento de áreas de cana-de-açúcar no município de Barretos-SP. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 16., 2013, Foz do Iguaçu. **Anais [...]**. São José dos Campos, SP: INPE, 2013. p. 89-96. Disponível em: <http://urlib.net/3ERPFQRTRW34M/3E7GGEM>. Acesso em: 1 dez. 2017.

SHIBA, M. H.; SANTOS, R. L.; QUINTANILHA, J. A.; KIM, H. Y. Classificação de imagens de sensoriamento remoto pela aprendizagem por árvore de decisão: uma avaliação de desempenho. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., 2005, Goiânia, GO. **Anais [...]**. São José dos Campos, SP: INPE, 2005. p. 4319-4326. Disponível em: <http://urlib.net/ltid.inpe.br/sbsr/2004/11.23.11.44>. Acesso em: 1 dez. 2017.

SPÓSITO, T. C.; STEHMANN, J. R. Heterogeneidade florística e estrutural de remanescentes florestais da Área de Proteção Ambiental ao sul da região metropolitana de Belo Horizonte (APA Sul-RMBH), Minas Gerais, Brasil. **Acta Botanica Brasílica**, Porto Alegre, RS, v. 20, n. 2, p. 347-362, 2006.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY - USGS. **Earth explorer**. Washington, DC: USGS, 2017. Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em: 12 nov. 2017.

VALERI, S. V.; SENÔ, M. A. A. F. A importância dos corredores ecológicos para a fauna e a sustentabilidade de remanescentes florestais. *In*: CONGRESSO INTERNACIONAL DE DIREITO AMBIENTAL, 8., 2004, São Paulo. **Anais [...]**. São Paulo: Imprensa Oficial, 2004. p. 699-709. Disponível em: <http://www.saoluis.br/revistajuridica/arquivos/005.pdf>. Acesso em: 1 ago. 2018.

Recebido: abril de 2019.

Aceito: agosto de 2019.