

Análise da cobertura florestal do município de São José dos Campos entre 1973 e 2004 utilizando sensoriamento remoto e ecologia de paisagem

Denise Maria Paes Guisard^{1,2}
Tatiana Mora Kuplich¹
Ademir Fernando Morelli²

¹Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12245-970 - São José dos Campos - SP, Brasil
{denise,tmk}@dsr.inpe.br

²Universidade de Taubaté-UNITAU
Rua Exped. Ernesto Pereira, 99 - Centro - Taubaté - SP - Cep: 12020-330- SP,Brasil
afmorelli@uol.com.br

Abstract: Remote sensing data and techniques, coupled with landscape ecology metrics, were used to investigate the fragmentation of forest patches in São José dos Campos municipality over 30 years. 1973 and 2004 Landsat sensors images were classified, generating land use/cover maps. These maps were used to calculate landscape ecology metrics for forest patches in the Fragstats software. Results showed a landscape highly fragmented and with increasing forest degradation throughout the period of study. Number of forest patches increased, along with a decrease in mean patch size, denoting fragmentation and reduction of forest area in São José dos Campos. The remaining metrics were also indicative of forest degradation, such as increasing edge length and reduction of area core for forest patches. Additional studies are needed to refine the analysis presented here, such as to gather data on forest inventories and socio-environmental variables, to better understand the municipality dynamics and to allow attempts on conservation planning.

Palavras-chave: landscape ecology, landscape metrics, remote sensing, São José dos Campos, ecologia de paisagem, métricas de paisagem, sensoriamento remoto, São José dos Campos.

1. Introdução

A paisagem original de São José dos Campos apresentava uma excepcional heterogeneidade ambiental, condicionada por aspectos como extensão em área, localização e posicionamento transversal do município em relação ao Vale do Paraíba (sentido de maior variação das características ambientais). (Morelli, 2002). Esta condição de excepcionalidade é demonstrada por compreender, conforme Mittermeier et al. (2000), um dos oito *hot spots* do planeta em termos de biodiversidade.

As constantes transformações no município de São José dos Campos, decorrentes principalmente das mudanças nas atividades econômicas desenvolvidas, resultaram em diferentes tipos de ocupação e uso da terra, tendo como consequência uma paisagem altamente fragmentada, com constante ameaça de destruição dos remanescentes de florestas (Morelli, 2002).

O município começou seu desenvolvimento econômico com uma produção crescente de café, até seu declínio no final do século XIX. Após esse período, com uma política econômica favorecida principalmente pelas verbas arrecadadas, o município pôde investir em uma infraestrutura voltada para o seu desenvolvimento industrial, que se mantém, juntamente com o comércio e agropecuária, até os dias de hoje.

A vegetação é considerada como um importante indicador das condições ambientais de uma região, pois protege o solo, reduz o transporte de sedimentos e o assoreamento dos recursos hídricos, além de servir de habitat para animais silvestres, contribuindo para manutenção da diversidade biológica (Cemin et al., 2005). Numa paisagem fragmentada os fragmentos remanescentes de mata, por exemplo, podem sofrer os efeitos de borda (processo de erosão) e endocruzamento (ocorrência de maior número de cruzamentos entre indivíduos aparentados) que podem levar à diminuição ou desaparecimento de sua biodiversidade (Forman, 1995).

Para que isso não ocorra são necessários estudos em nível de paisagem para a determinação de áreas prioritárias para preservação e conservação, e em nível de fragmentos, para o inventário e avaliação de sua situação atual (vulnerabilidade, proteção legal, estágio de sucessão vegetal, etc.).

O município de São José dos Campos possui remanescentes florestais significativos, dentre eles os fragmentos de cerrado na área do CTA (Centro Tecnológico Aeroespacial) e a Área de Proteção Ambiental (APA) do Torrão de Ouro. Na Reserva Ecológica “Augusto Ruschi” (Horto Florestal), outro remanescente florestal significativo do município, existem seis espécies de flora e fauna ameaçadas de extinção e uma rara. Visto a importância da vegetação como indicador das condições ambientais e o contexto em que o município está inserido (ser um dos *hot spots* de biodiversidade), estudos destes fragmentos são importantes para auxiliar que estes sejam devidamente protegidos (Silva, 1989).

Por meio da base conceitual e dos métodos da Ecologia de Paisagem, integrados às técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento, as mudanças ocorridas em uma paisagem em diferentes escalas temporais e espaciais, bem como a estrutura e função dos elementos da paisagem podem ser estudadas. O elemento da paisagem normalmente mais sujeito à mudança é a vegetação, em todas as suas formas.

Assim, este trabalho objetiva a análise da cobertura florestal de São José dos Campos em dois períodos de estudo, utilizando dados e técnicas de sensoriamento remoto e métricas de paisagem para avaliar a estrutura e dinâmica dos fragmentos de mata, bem como correlacionar aos possíveis fatores causadores.

2 Material e Métodos

2.1 Área de Estudo

O município de São José dos Campos localiza-se entre as coordenadas geográficas 23°13'53”S e 45°51'21”W, com extensão territorial de 1.118 km² e população de aproximadamente 589.000 habitantes, segundo dados da prefeitura municipal. As principais atividades econômicas estão relacionadas com as indústrias, refino de petróleo, comércio e pecuária.

A vegetação atual é caracterizada pelas manchas de cerrado original que se encontram em áreas próximas ao CTA, fragmentos de matas de várzeas ao longo do rio Paraíba do Sul e seus principais tributários, e por fragmentos de floresta ombrófila e estacional, encontrados em áreas afastadas da zona urbana e no Distrito de São Francisco Xavier. O município localiza-se na região do Vale do Paraíba, que é considerada a segunda maior macro-região do estado de São Paulo em população e arrecadação.

2.2 Materiais

Na realização deste trabalho foram utilizadas imagens dos sensores a bordo dos satélites Landsat de 1973 e 2004. As imagens de 1973 eram do Multi-Spectral Scanner (MSS), correspondentes às órbitas/ponto 234 e 235, de 11/07/1973 e 12/10/1976 (para uma área

coberta de nuvens em 1973), bandas 4 (verde) 5 (vermelho) e 7(infravermelho próximo). As imagens de 2004 eram do Thematic Mapper, correspondentes às órbitas/ponto 219/76 e 218/76, de 31/07/2004 e 08/09/2004, bandas 3 (vermelho), 4 (infravermelho próximo) e 5 (infravermelho médio). Como informações complementares utilizou-se o banco de dados Cidade Viva, desenvolvido pela Prefeitura Municipal de São José dos Campos em 2001. Os dados cartográficos foram um mapa de uso da terra de 1980 elaborado para MAVALE (Macrozoneamento do Vale do Paraíba), em escala 1:100.000; cartas topográficas de São José dos Campos e Monteiro Lobato, de 1973, elaboradas pelo IBGE, em escala 1:50.000, (folhas SF 23Y D II I e SF 23Y B V 3;) e cartas topográficas em formato vetorial elaboradas pelo IGC (Instituto Geográfico e Cartográfico) em 1978, na escala 1:10.000.

Para o processamento digital das imagens, obtenção de métricas de paisagem e localização dos pontos coletados em campo utilizou-se os seguintes sistemas: ENVI versão 3.6, SPRING versão 4.2, FRAGSTATS versão 3.3 e GPSTrackMaker.

2.3 Métodos

Para que fosse possível realizar a análise da estrutura da paisagem e dos fragmentos de mata, foi necessária a elaboração dos mapas temáticos de uso e cobertura do solo dos anos de 1973 e 2004 da área de estudo. As imagens utilizadas já estavam georreferenciadas. Como o município é coberto por duas cenas distintas, primeiramente executou-se o processo de mosaico. Posteriormente ao mosaico foi realizado o recorte da imagem, utilizando como máscara o arquivo vetorial com os limites do município.

A segmentação, que consiste no agrupamento de regiões com respostas espectrais semelhantes, foi realizada como etapa anterior à classificação. Na segmentação definiu-se um limiar de similaridade de 8 níveis de cinza e de 10 pixels de área.

Foram selecionadas sete classes de uso e cobertura do solo: água, nuvem, área urbana, mata/capoeira, reflorestamento, pastagem e campo antrópico e cultura agrícola. Foi realizada uma visita ao campo, onde as classes foram observadas e seu comportamento espectral conferido nas imagens de 2004 em computador portátil. Existem muitas áreas de mata em regeneração, com muitas espécies pioneiras típicas de capoeiras, dada a proximidade do tecido urbano e utilização agro-pecuária muito próxima e durante muitos anos. Acredita-se que poucas áreas vegetadas no município sejam matas “primárias”e, dada a dificuldade de diferenciação nas imagens, optou-se pela inclusão de capoeiras junto à classe mata.

Após a definição das classes, a imagem foi submetida a dois métodos de classificação distintos: classificação supervisionada e não-supervisionada. Para classificação supervisionada, utilizou-se o algoritmo Bhatthacharya e para não-supervisionada o algoritmo ISOSEG, com limiar de aceitação de 95%. Com a realização dos testes com os classificadores, optou-se pelo algoritmo ISOSEG, por gerar menor confusão entre as classes encontradas. Após a classificação utilizou-se da ferramenta da edição matricial, para correção das áreas com erros e a inclusão de polígonos não-classificados. Para facilitar a edição da classificação de 1973 foi realizada a técnica de transformação por componentes principais (TCP) na imagem MSS/Landsat. A TCP foi realizada para realce e facilitação da interpretação das bandas espectrais. A maior vantagem foi o incremento na diferenciação entre as áreas vegetadas, principalmente entre as áreas de mata e reflorestamento.

Para análise das mudanças das métricas de paisagem geradas no FRAGSTATS para os dois períodos foi necessário que ambas as imagens tivessem a mesma resolução espacial. Assim, para compatibilizar a resolução das imagens, degradou-se a resolução da imagem TM Landsat de 30 metros para 80 metros.

Pelo padrão de exatidão cartográfica, o tamanho mínimo de unidades mapeáveis para a escala de 1:250.000 é de 0.5 mm da escala, que corresponde a um tamanho de

aproximadamente 125 metros. Sendo assim, foram descartados os polígonos com tamanho menor que 4 pixels (área 160x160 metros). Posteriormente, os mapas de uso e cobertura do solo foram inseridos em formato ASCII no FRAGSTATS.

3. Resultados e Discussão

Os mapas de uso e cobertura da terra de 1973 e 2004 são apresentados na **Figura 1**. A **Tabela 1** apresenta as áreas das classes apresentadas na Figura 1 (a) e (b).

Tabela 1. Áreas das classes de uso e cobertura do solo em 1973 e 2004.

Classes de uso e cobertura do solo	1973		2004	
	Área (km ²)	Área (%)	Área (km ²)	Área (%)
Pastagem e Campo Antrópico	649.7	58,55	635	57.22
Nuvem	88.8	8.0	0	0
Água	15.3	1.38	15.1	1.35
Cultura agrícola	35.9	3.24	47.2	4.25
Área urbanizada	66.9	6.02	117.8	10.61
Mata/capoeira	246.7	22.23	220.6	19.88
Reflorestamento	6.4	0.59	75	6.75
Total	1110.7	100	1110.7	100

A **Figura 1** permite a visualização das classes no município e sua evolução no período de estudo. Pode ser observado na **Tabela 1** que a classe mata/capoeira representa aproximadamente 22 % da paisagem em 1973 e tem um pequeno decréscimo em 2004, representando 19.88% da paisagem. Das demais classes, reflorestamento teve o maior aumento de área, passando de menos de 1% para quase 7 % do Município, com monoculturas de *Pinus* e *Eucalyptus*. A área urbana também aumentou de aproximadamente 6% para 10 % do Município (**Tabela 1**) entre os períodos de estudo.

Em ambos os períodos, a matriz da paisagem – ou onde as demais classes estão inseridas, a cobertura predominante na área de estudo - é o campo antrópico e a pastagem. Essa configuração é típica das cidades do Vale do Paraíba, caracterizadas pelas constantes modificações das atividades econômicas, como a substituição da cultura cafeeira pela pecuária em pastagens.

O crescimento da área urbanizada se deve principalmente a intensificação do processo de industrialização verificado no município na década de 70 (Oliveira e Costa, 2001). A classe cultura agrícola teve um pequeno acréscimo de área, sendo observado que a maioria das áreas de cultivo continua sendo próxima à várzea do Rio Paraíba do Sul.

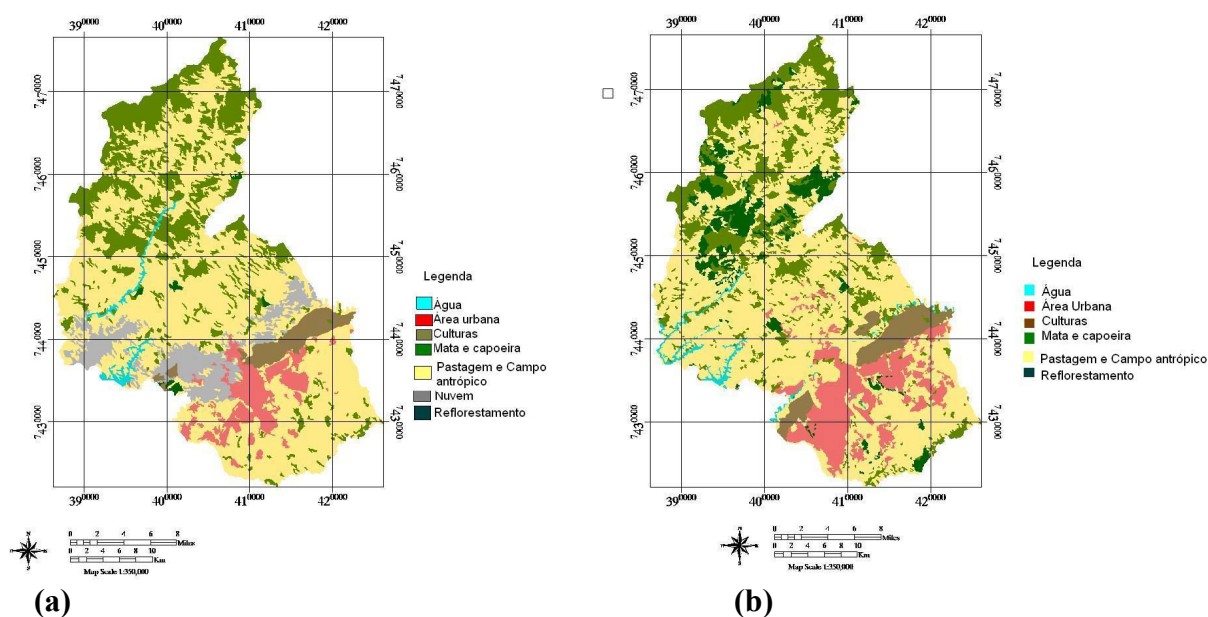


Figura 1. Mapas de uso e cobertura do solo dos períodos de 1973 (a) e 2004 (b) do município de São José dos Campos.

A **Tabela 2** apresenta as métricas de paisagem obtidas para a classe mata/capoeira nos dois períodos de estudo.

Tabela 2: Métricas de paisagem e unidades obtidas para a classe mata/capoeira em 1973 e 2004.

Métricas de Paisagem	1973	2004
PLAND - porcentagem de fragmentos da mesma classe na paisagem (%)	22,15	19,78
NP - número de fragmentos	189	343
PD - densidade de fragmentos em 100 ha de área de paisagem	0,17	0,31
LPI - porcentagem da paisagem ocupada pelo maior fragmento (%)	8,79	5,54
TE - total de bordas (metros)	1.393.040	1.505.040
ED - densidade de bordas (m/ha)	12,52	13,57
AREA_MN - área média dos fragmentos (ha)	287,2	63,96
TCA - total de área central (ha)	24648.3	21938.6
PROX_MN - Mede o grau de isolamento dos fragmentos dentro da vizinhança	121,2	45,21
SHAPE_MN - Índice de forma média	1,83	1,62

Em relação à porcentagem de fragmentos de mata/capoeira (métrica PLAND) observou-se um decréscimo no período analisado, como pôde também ser observado na tabela de medidas de área para a classe (**Tabela 1**). Utilizando a métrica NP (número de fragmentos) observou-se que, entre os dois períodos, surgiram aproximadamente 154 novos fragmentos, o que, conseqüentemente aumentou a densidade (PD) desses, para 0,14 fragmentos em cada 100 hectares de paisagem. Com os resultados da métrica que quantifica a porcentagem ocupada pelo maior fragmento de mata na paisagem (LPI) observou-se diminuição em aproximadamente 3,15%.

A métrica área média dos fragmentos (AREA_MN) permitiu a observação da diminuição da área média entre os dois períodos, com a fragmentação dos polígonos de 1973 (que eram maiores) e a regeneração de pequenos remanescentes no período.

Para calcular a distância entre os fragmentos utilizou-se a métrica PROX_MN e um raio de busca de 180 metros, que em determinadas situações é considerado o limite de dispersão de sementes pelo vento (Janzen 1988, citado por Kramer 1997). Como resultado observou-se uma diminuição no grau de isolamento, que pode ser explicada pelo fato de que em 1973 haviam fragmentos maiores, em menor número e mais isolados e em 2004 fragmentos menores, mas em maior número e, por isso, menos isolados.

Os resultados obtidos nas métricas NP, PD, AREA_MN, AREA_CV e PROX_MN demonstram o processo de fragmentação ocorrido no município. Com a utilização das métricas de área entende-se que o aumento do número de fragmentos, além de estar relacionado com aumento das áreas de mata em regeneração, decorrente do declínio da pecuária e abandono de pastagens, está também relacionado com a fragmentação das grandes áreas de mata. Em situações nas qual a fragmentação cria um grande número de fragmentos a partir de grandes manchas, as espécies que ocupam o interior do fragmento podem sofrer um declínio em suas populações, pois estarão atuando em conjunto os efeitos do tamanho do fragmento e da perda de habitat.

O processo de fragmentação impõe a criação de uma borda de floresta onde esta não existia anteriormente. Neste contexto, é fundamental a análise das métricas de borda. A borda de um fragmento é a área limite entre o interior da mata e outra unidade de paisagem – área urbanizada, pastagem, campo antrópico, cultura, entre outros. Essa área do fragmento é assim denominada por ficar exposta aos fatores externos, como incidência de energia solar, vento e fogo, não sendo todas as espécies que se adaptam nessa área. As métricas utilizadas para analisar o efeito de borda neste estudo foram: total de bordas (TE) e densidade de bordas (ED). Foi utilizado um limite de 50 metros como zona de efeito de borda sobre todos os fragmentos de mata na paisagem. Este limite segundo Murcia (1995), é a distância a partir da qual os efeitos de borda tendem a desaparecer. Mas esta distância é variável e depende do tipo de fragmento e sua biodiversidade.

Com os resultados das métricas observou-se um aumento de bordas entre os dois períodos, o que conseqüentemente aumentou a densidade das mesmas. Entre as conseqüências desse aumento de bordas estão mudanças na composição de espécies, assim como nas relações entre elas (aumento da competição, predação, etc).

Retirando a zona de efeito de borda do fragmento resta a área central (nuclear) conhecida também como área core. Essa área é onde normalmente se concentra a riqueza do fragmento, ou seja, a diversidade de espécies. Para analisar a área central dos fragmentos utilizou-se a métrica de área central total (TCA). Observou-se uma diminuição das áreas centrais dos fragmentos de mata.

Outra métrica utilizada para analisar a estrutura da paisagem e que está diretamente relacionado com a área central e o efeito de borda, é a forma do fragmento (SHAPE_MN). Em ambos os períodos os fragmentos apresentam forma retangular, pois se observa que em

1973 os fragmentos eram maiores, mas mais alongados, com o valor de SHAPE encontrado correspondente aproximadamente a um retângulo de lados L e 10 L (Volotão 1998). Já em 2004 ocorreu uma diminuição deste valor, pois os fragmentos eram menores e menos alongados. Quanto mais alongado, mais fortemente os efeitos de borda podem se fazer sentir, pois diminui a razão interior/margem. A razão entre o interior e a margem impõe restrições à manutenção de populações de determinadas espécies, a medida que mexe com fatores espaciais com forte impacto ecológico (Cemin et al., 2005).

Conclusão

As técnicas utilizadas permitiram o estudo da evolução da paisagem em São José dos Campos num período aproximado de 30 anos. A análise permitiu a observação do decréscimo das áreas de mata e sua fragmentação, assim como a diminuição do tamanho médio dos fragmentos, aumento das áreas de borda e diminuição de área central. Todas estas métricas sinalizam para o aumento da suscetibilidade destas áreas de mata aos efeitos deletérios da fragmentação da paisagem, com possível perda de qualidade de habitats para espécies animais e vegetais e, conseqüentemente, diminuição de biodiversidade.

Observou-se o aumento expressivo nas florestas plantadas, na sua maioria de monoculturas de *Eucalyptus*, depois da chegada de uma grande empresa de produção de celulose no município e arredores. Estas monoculturas parecem representar a mais nova mudança nas atividades econômicas na zona rural de São José dos Campos.

O histórico de atividade econômica de São José dos Campos, que passou por extenso período de cultura cafeeira e posteriormente da pecuária, resultou numa paisagem altamente fragmentada. As métricas relataram que a dinâmica da fragmentação da paisagem já era alta em 1973 e continua crescendo ao longo das décadas.

Mais estudos são necessários para a identificação de áreas prioritárias de conservação no município, assim como para o estabelecimento de conexões (corredores) entre os fragmentos florestais.

Referências Bibliográficas

Cemin, G.; Périco, E.; Rempel, C. Uso de Sistemas de Informações Geográficas para análise de estrutura da paisagem no Município de Arvorezinha, RS. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 12., 2005, Goiânia. **Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE**. Artigos, p. 2113-2120. CD-ROM, On-line. ISBN 85-17-00018-8. Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2004/11.19.21.06/doc/2113.pdf>>. Acesso em: 16 out. 2006.

Cemin, G.; Périco, E.; Rempel, C. Efeitos da fragmentação de habitats sobre comunidades animais: utilização de sistemas de informações geográficas e de métricas de paisagem para seleção de áreas adequadas a testes. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 12., 2005, Goiânia. **Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE**. Artigos, p. 2339-2346. CD-ROM, On-line. ISBN 85-17-00018-8. Disponível em: <http://marte.dpi.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2004/11.18.20.25/doc/2339.pdf>. Acesso em: 16 out. 2006.

Forman, R. T. T. **Land Mosaics: The ecology of landscapes and regions**. Cambridge, Cambridge University Press, 1995.

Kramer, E. (1997). **Measuring landscape changes in remnant tropical dry forests**. In: Laurance, W.F., Bierregaard, Jr., R. O. (Eds.), *Tropical Forest Remnants: Ecology, Management and Conservation of Fragmented Communities*. The University of Chicago Press, Chicago, pp. 386-399.

Mittermeier, R.A., Myers, N., Mittermeier, C.G., Myers, N. **Hotspots: Earth's Biologically Richest and Most Endangered Terrestrial Ecoregions**. Chicago, University of Chicago Press (Trd); 2000, (ISBN: 9686397582).

Morelli, A. F. **Identificação e Transformação das Unidades da Paisagem no Município de São José Dos Campos (SP) de 1500 a 2000**. 2002. 404 p. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas de Rio Claro. Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Rio Claro. 2002.

Murcia, C. (1995). **Edge effects in fragmented forests: implications for conservation**. *Tree* 10, 1995. p. 58-62.

Oliveira, I. M.; Costa, S. M. F. (2001). Monitoramento da Expansão Urbana, Utilizando Dados de Sensoriamento Remoto - Estudo de Caso. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 10.,2001. **Anais X Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Foz do Iguaçu, Brasil, 21-26 abril 2001, INPE**. Artigos, p.1131-1138.

RISSER,P.G., KARR,J.R.,FORMAN,R.T.T.1984. **Landscape Ecology:Directions and Approaches**. Special Publ.nº2. III.Nat.Hist.Surv.,Champaing.III.

Silva, A. F. **Composição florística e estrutura fitosociológica do estrato arbóreo da Reserva Florestal Prof. Augusto Ruschi, São José dos Campos-SP**.1989. 150 p. Tese de Doutorado – UNICAMP, Campinas. 1989.

Volotão, C.F. de Sá. 1998. **Trabalho de análise espacial: Métricas do Fragstats**. INPE, São José dos Campos, São Paulo, SP.