

Técnicas de sensoriamento remoto e métricas de ecologia da paisagem aplicadas na análise da fragmentação florestal no município de Juiz de Fora – MG em 1987 e 2008.

Ricardo Neves de Souza Lima ¹
César Henrique Barra Rocha ¹

¹ Universidade Federal de Juiz de Fora - UFJF/EAA
CEP – 36036-900 - Juiz de Fora - MG, Brasil
ricneves80@yahoo.com.br
cezar.barra@ufjf.edu.br

Abstract. The application of landscape ecology index through the use of Geographic Information Systems and Remote Sensing enables quickly and efficiently multitemporal analysis of forest fragmentation, allowing the generation of essential information for decision making in developing conservation plans and environmental recovery. In the municipality of Juiz de Fora, MG fragmentation of remaining forest is the result of the method of predatory use of natural resources over time, as a result of the historical process of occupation and the recent expansion of the urban municipality, making it necessary to quantify and monitor the progress of ecological conditions of forest cover. In this context, the objective of this study is to quantify and monitor the fragmentation of forest cover in the municipality of Juiz de Fora in 1987 and 2008 using metrics of Landscape Ecology from the Landsat TM 5 images classification. The classification of Landsat images was performed using the maximum likelihood algorithm in ENVI software, while the calculation of the metrics of the fragments was performed in ArcGIS GIS, through the tool V-LATE. The major changes observed in the period indicated a decrease in the number of fragments and increase in occupied area (-9.22% and +11% respectively) and increased of the isolation degree (+7.13%), which can significantly influencing the ecological vulnerability degree of forest cover.

Palavras-chave: geographical information systems, spatial analysis, ecological vulnerability, forest cover, sistemas de informação geográficas, análise espacial, vulnerabilidade ecológica, cobertura florestal

1. Introdução

As técnicas de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento constituem um instrumental indispensável na avaliação e monitoramento ambiental e para a geração de informações que possam orientar o gerenciamento dos recursos naturais visando o desenvolvimento sustentável. A cobertura florestal é um importante indicador das condições ambientais, principalmente por sua função reguladora dos processos hidrológicos e do ecossistema, além do importante serviço ambiental prestado a sociedade como manutenção da qualidade das águas, do solo, do ar, e pela redução dos riscos a desastres ambientais. Por isso, o monitoramento de áreas florestais assume um papel preponderante nas ações de planejamento, conservação e recuperação ambiental.

A Ecologia da Paisagem fornece indicadores espaciais relacionados às condições ecológicas de fragmentos florestais, as quais podem ser analisadas através do uso de Sistemas de Informação Geográfica e de imagens de satélites orbitais, permitindo agilizar a extração e análise das características ambientais da superfície terrestre. A Ecologia da Paisagem tem se firmado como uma importante área do conhecimento para análise dos padrões espaciais e funcionais dos ecossistemas, através da obtenção de métricas ou índices de paisagem que permitem avaliações em diferentes escalas espaciais e temporais, o que tem contribuído de forma eficaz para o entendimento dos padrões e processos envolvidos na manutenção de paisagens fragmentadas, e no estabelecimento de estratégias para a conservação da biodiversidade. (Almeida, 2008)

Segundo Volotão (1998) estes índices possibilitam a descrição do nível de uniformidade ou fragmentação espacial de uma paisagem, e são agrupadas de acordo com o nível da análise. Dessa forma as métricas são agrupadas em três níveis: fragmentos, classes e paisagem. As

diversas métricas existentes por sua vez podem ser classificadas nas seguintes categorias: métricas de área, de fragmentos, de bordas, de forma, de área nuclear (“core”), de contágio e mistura, de vizinho mais próximo e de diversidade.

A fragmentação florestal representa um dos principais impactos ambientais provenientes da exploração excessiva e desordenada do solo, onde o crescimento urbano e a expansão da fronteira agrícola têm gerado enormes pressões sobre os ecossistemas florestais, intensificando os processos de fragmentação e perda da diversidade biológica. O município de Juiz de Fora, em Minas Gerais, apresenta em seu território as marcas deste processo, onde, como em grande parte do sudeste brasileiro, as atividades agrícolas em conjunto com o processo de urbanização levaram à intensa redução e fragmentação dos remanescentes florestais, tornando-se necessário desenvolver formas de avaliar e monitorar as vulnerabilidades ecológicas da cobertura florestal do município, visando à adoção de estratégias para a conservação e recuperação da biodiversidade.

Neste contexto a proposta do presente trabalho é realizar uma análise espaço-temporal da fragmentação florestal no município de Juiz de Fora num intervalo de 21 anos (1987-2008) através da utilização das métricas de ecologia da paisagem extraídas de imagens do satélite Landsat TM5, que possibilitará identificar as transformações no grau de fragmentação da cobertura florestal neste período.

2. Metodologia de Trabalho

2.1 Área de Estudo

O município de Juiz de Fora está localizado na mesorregião da Zona da Mata do estado de Minas Gerais entre as coordenadas 21°41' e 21°57' de latitude Sul e 43°20' e 43°45' de longitude Oeste (**figura 1**). Juiz de Fora possui uma localização privilegiada do ponto de vista econômico, situando-se entre as três maiores regiões metropolitanas do Brasil – São Paulo, Rio de Janeiro e Belo Horizonte. Segundo o Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano (Prefeitura Municipal de Juiz de Fora, 2004) o município ocupa uma área total aproximada de 1.435 km², sendo que da população total do município, 99,16% é considerada urbana, ultrapassando a marca dos 513 mil habitantes, de acordo com as estimativas do IBGE em 2007.

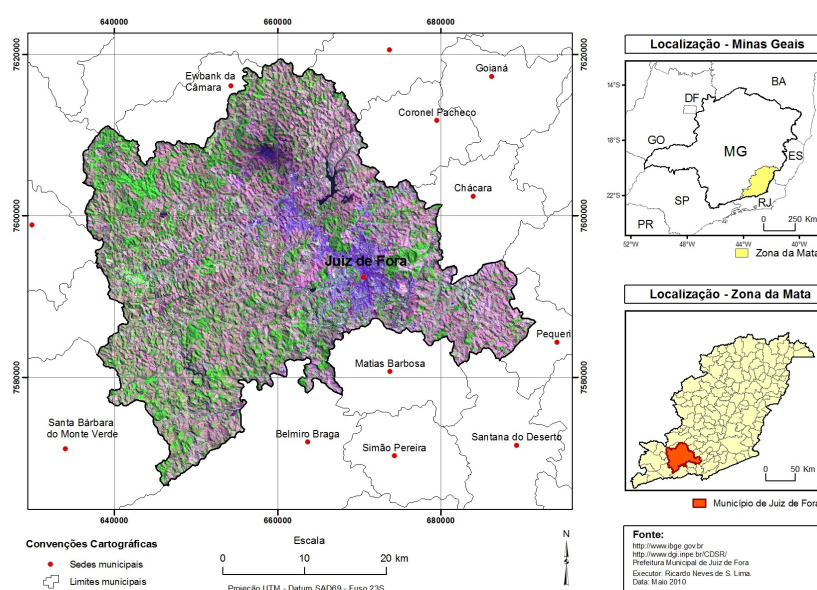


Figura 1. Localização do município de Juiz de Fora sobre composição colorida RGB/543 do satélite Landsat-5 TM.

A paisagem do município de Juiz de Fora se encontra no domínio dos mares de morros florestados (Ab' Sáber, 2003), que é caracterizado por apresentar um relevo movimentado com vertentes convexas ou côncavo-convexas e planícies meândricas, que eram recobertos, de modo predominante, por vegetação de floresta Estacional Semidecidual Sub-montana (IBGE, 1992), um subtipo fisionômico da Mata Atlântica. Atualmente a cobertura florestal do município apresenta-se fragmentada, principalmente em decorrência do histórico de ocupação da região, onde as atividades baseadas na cafeicultura e pecuária leiteira foram as responsáveis pela intensa supressão da cobertura vegetal e pela formação de grandes áreas de pastagem. O crescimento urbano e a especulação imobiliária têm sido, nas últimas décadas, os principais agentes de pressão sobre os ecossistemas florestais do município.

2.2 Materiais

Os materiais utilizados na elaboração deste trabalho consistiram em imagens do satélite Landsat-5 TM, cenas 217/75, contendo as bandas espectrais 1, 2, 3, 4, 5 e 7, nas datas de passagem de 27/08/1987 e 05/09/2008, que foram obtidas gratuitamente do INPE através do site: <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>. As cenas das datas selecionadas foram as que apresentaram melhores condições para o estudo em razão da baixa cobertura de nuvens, inferior a 20% da cena, e por serem do mesmo período do ano, o que reduziu as variações na resposta espectral dos alvos. Também foram utilizadas imagens Landsat ortorretificadas obtidas do mosaico GeoCover disponíveis na base de dados do *Global Land Cover Facility* (GLCF). Estas imagens serviram como referência para o georreferenciamento das cenas obtidas do INPE, pois consistem num mosaico de imagens Landsat que foram ortorretificadas e processadas com um alto padrão de qualidade (*GeoCover Technical Guide*) e, comumente são adotados para a execução do georreferenciamento (Tavares Júnior et al, 2009).

Para a delimitação da área de estudo foi utilizado o arquivo vetorial em formato *shape* do município de Juiz de Fora adquirido junto a Prefeitura Municipal de Juiz de Fora.

Para o processamento digital das imagens foram utilizados os softwares ArcGis 9.2 e ENVI 4.6. A análise espacial dos fragmentos florestais foi realizada através da utilização da extensão V-LATE (*Vector-based Landscape Analysis Tools Extension*), disponível para o software ArcGis.

2.3 Metodologia

Para a identificação dos fragmentos florestais, foi necessário elaborar mapas de uso e cobertura da terra do município de Juiz de Fora nos anos de 1987 e 2008. Para isso foi realizado inicialmente o pré-processamento das imagens Landsat obtidas do INPE, que consistiu na execução do registro ou georreferenciamento de cada cena usando como referência imagens Landsat ortorretificadas do mosaico GeoCover, através da identificação e seleção de pontos de controle (*Ground Control Points*) tanto na imagem de ajuste como na de referência. Este procedimento foi necessário em razão do deslocamento das imagens originais com relação a posição real no terreno. Para padronizar a referência espacial utilizada no trabalho as imagens de referência (GeoCover) foram reprojetaadas para o Datum SAD-69 e Fuso 23 Sul. Em seguida foram selecionados 22 pontos de controle para cada cena obtendo-se um Erro Médio Quadrático (RMS) de 0,36 pixel (10,8m) para a imagem de 1987 e 0,27 pixel (8,1m) para a imagem de 2008. Os pontos de controle consistiram basicamente em cruzamento de estradas e confluência de rios.

Após o georreferenciamento, as imagens Landsat foram recortadas utilizando como máscara o arquivo vetorial com os limites do município. Posteriormente, foi executada a classificação supervisionada das imagens de 1987 e 2008 através do algoritmo de Máxima Verossimilhança (MaxVer), escolhendo-se sete classes temáticas: solo exposto, floresta, capoeira, pastagem, área urbana, corpo d'água e queimada. Cada classe temática foi

identificada através de interpretação visual sobre as imagens Landsat na composição colorida RGB/ 543 e em seguida delimitadas amostras de treinamento sobre cada uma, utilizando a função ROI (*Region of interest*) disponível no software ENVI. Após a delimitação das amostras de treinamento foi aplicado no software ENVI a classificação supervisionada pelo algoritmo MaxVer, que utilizou as médias e covariâncias dos níveis de cinza das amostras para associar cada pixel da imagem às classes temáticas pré-definidas.

As imagens classificadas de 1987 e 2008 foram exportadas em formato *geotiff* (raster) para o software ArcGis, onde foi aplicada uma filtragem através da ferramenta *majority filter* que realizou uma varredura em toda a imagem para reduzir o número de pixels isolados e dessa forma “suavizar” as imagens classificadas. Em seguida foi realizado um procedimento pós-classificatório com intuito de corrigir alguns erros temáticos observados nas imagens. Para isso os pixels classificados erroneamente foram identificados e corrigidos através da ferramenta *Raster Editor* que permitiu redefinir a classe temática de cada pixel.

Para o cálculo das métricas dos fragmentos florestais, as imagens classificadas em formato raster foram convertidas para o formato *shape* (vetorial), e em seguida selecionados os polígonos referentes à classe temática “floresta”. Esta conversão foi executada, pois o formato *shape* é a geometria exigida pela extensão V_LATTE como entrada para o cálculo das métricas. Como o número de polígonos da classe floresta gerados durante a conversão se mostrou extremamente elevado foi necessário selecionar aqueles mais representativos com relação a área de estudo, afim de permitir o processamento computacional mais eficiente dos dados. Para isso foi calculada a área dos fragmentos florestais e em seguida selecionados aqueles maiores do que 1 hectare. Este valor de área foi arbitrado após testes com outros valores, sendo este o valor a partir do qual foi possível processar os cálculos de forma eficiente. Estes fragmentos foram então utilizados pela extensão V_LATTE para o cálculo das métricas referentes ao tamanho, índice de forma, área nuclear (core) e grau de isolamento. Segundo Basile (2006) o tamanho do fragmento tem influência direta na capacidade de suprir as necessidades de habitat das espécies que a utilizam, relacionando-se também à variabilidade genética destas comunidades. O índice de forma indica o quanto o fragmento está vulnerável a influência externa, ou seja, está relacionado à intensidade do efeito de borda. A área nuclear estima a partir de uma distância linear de fora para dentro do fragmento, o quanto de área central está ecologicamente protegida dos efeitos de borda em cada fragmento. E o grau de isolamento indica, a partir do cálculo da distância euclidiana do vizinho mais próximo, o quanto o fragmento é capaz de manter a diversidade biológica através do intercâmbio genético entre os fragmentos vizinhos.

3. Resultados e Discussão

Os mapas de Uso e Cobertura da terra do município de Juiz de Fora em 27/08/1987 e 05/09/2008 podem ser observados na **figura 2**. A **tabela 1** apresenta as áreas das classes apresentadas na **figura 2**.

Tabela 1. Áreas das classes de uso e cobertura da terra em 1987 e 2008.

Classes de uso e cobertura da terra	1987		2008	
	Área (km ²)	Área (%)	Área (km ²)	Área (%)
Área Urbana	65,87	4,59	73,84	5,14
Capoeira	82,55	5,75	162,61	11,33
Corpo D'água	6,25	0,44	6,95	0,48
Floresta	294,8	20,53	315,79	22,00
Pastagem	969,26	67,52	856,49	59,66
Queimada	13,72	0,96	5,44	0,38
Solo exposto	3,17	0,22	14,5	1,01
TOTAL	1435,62	100	1435,62	100

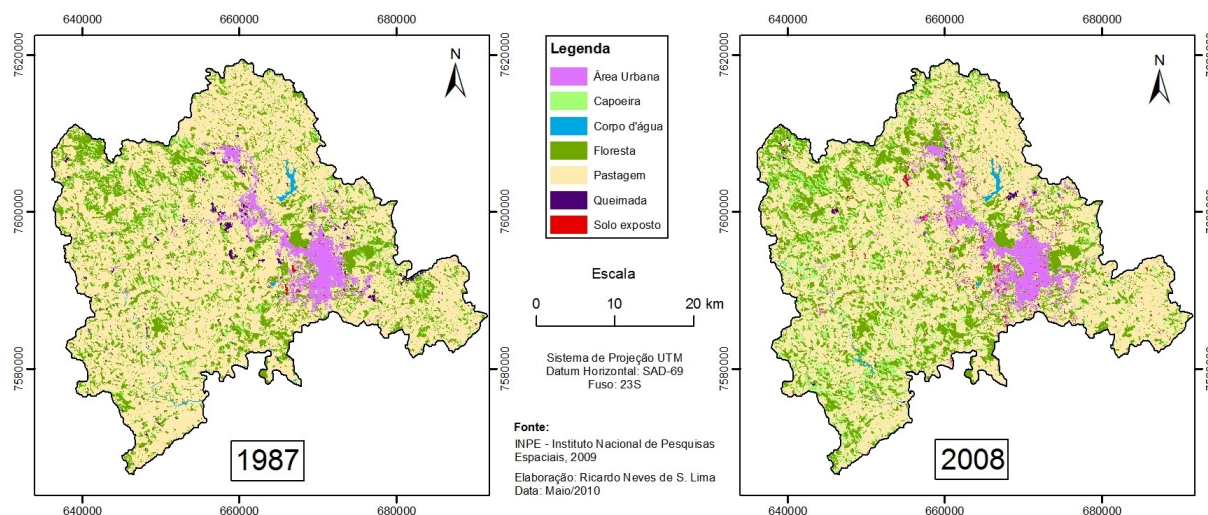


Figura 2. Mapas de uso e cobertura da terra no município de Juiz de Fora em 1987 e 2008.

A partir da análise dos mapas de uso e cobertura da terra notam-se algumas alterações na paisagem do município. Houve um aumento significativo nas áreas de solo exposto, que passaram de 0,22% para 1,01% da área do município. Este aumento é explicado pela intensificação da urbanização da cidade de Juiz de Fora no período e consequentemente a presença de novos loteamentos e atividades que envolvem a exposição do solo. As áreas ocupadas por capoeira passaram de 5,75% para 11,33% da área, o que pode estar ligado ao aumento do processo de regeneração em áreas rurais e também ao possível aumento de reflorestamentos comerciais de eucalipto e pinus, visto ser uma atividade em amplo crescimento na região e por estas formações apresentarem respostas espectrais similares. Também houve pequeno incremento nas áreas ocupadas por corpos d'água, de 0,44% para 0,48% no período, o que foi causado pelo aumento da construção de reservatórios artificiais, e barragens para produção de energia elétrica. Com relação a classe floresta observa-se igualmente um pequeno aumento, visto que em 1987 esta classe ocupava 20,53% e em 2008 passou a ocupar 22% da área do município. Este aumento pode estar relacionado a recuperação de algumas áreas e também a presença de reflorestamentos comerciais (Pinus e Eucalipto), que em estágios mais avançados de sucessão apresentam resposta espectral muito similar as áreas de florestas nativas. As áreas urbanas também cresceram, passando de 4,6% para 5,14% como resultado do aumento da população e de edificações no período. A classe temática pastagem sofreu redução no período, pois em 1987 ocupava cerca de 68% da área do município enquanto em 2008 passou a ocupar 60%. Esta redução é devido principalmente a transformação de algumas áreas de pastagem em capoeira e áreas urbanas. As áreas de queimada recente também reduziram, passando de 0,96% para 0,38%. No entanto devido ao caráter esporádico e sazonal desta classe, não foi possível deduzir sobre a relação causal para o seu aumento no período estudado.

Os fragmentos selecionados para o estudo (maiores do que 1 ha) totalizaram em 1987 2430 fragmentos ocupando uma área total de 268,30 km², enquanto em 2008 totalizaram 2206 fragmentos ocupando 297,80 km² (**figura 3**).

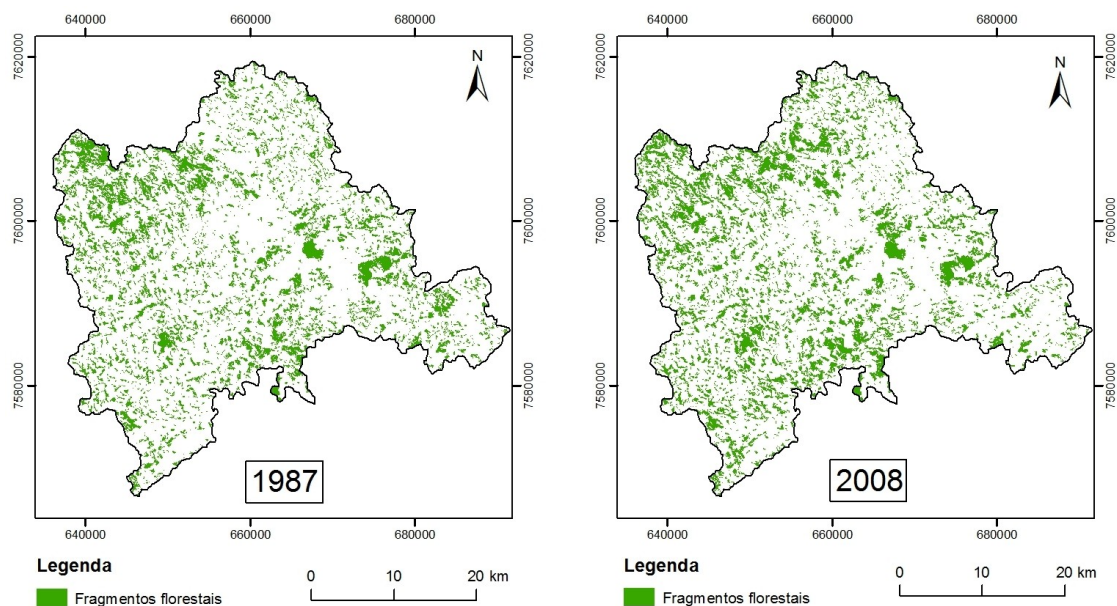


Figura 3. Fragmentos florestais acima de 1 ha no município de Juiz de Fora em 1987 e 2008.

O agrupamento das métricas obtidas em 1987 e 2008 em classes pode ser observado na **figura 4**. Com relação a distribuição das classes de tamanho dos fragmentos florestais observa-se que os fragmentos menores, com tamanho entre 1 e 10 ha permanecem dominantes na paisagem do município, representando cerca de 78% do total de fragmentos analisados em ambas as datas, o que representa uma tendência negativa para a conservação da biodiversidade nestes locais, principalmente para espécies de maior porte que geralmente necessitam de habitats mais extensos. Os maiores fragmentos, acima de 50 ha, ainda limitam-se a um número reduzido, dos quais alguns vêm sofrendo sérios impactos provenientes da especulação imobiliária e da expansão urbana. Os fragmentos com formato mais regular (ou mais circulares), com índice de forma entre 1 e 2 (adimensional) também predominam na paisagem, devido em grande parte a situação topográfica do terreno no qual as áreas de topos de morro, pouco favoráveis a ocupação, permitiram uma relativa conservação e regeneração da vegetação. As áreas centrais dos fragmentos (Área nuclear), calculados a partir de uma profundidade de borda de 50m, caracterizam-se por apresentarem tamanhos reduzidos, representando mais de 90% do total de áreas nucleares obtidas. Observa-se que a quantidade destas áreas supera em muito o número de fragmentos, devido principalmente a irregularidade do formato dos fragmentos maiores, o que não permite a interligação das áreas centrais entre si no interior destes fragmentos, gerando um maior número delas. Com relação ao grau de isolamento, indicado pela distância entre os vizinhos mais próximos, nota-se uma predominância de fragmentos menos isolados, com distância entre 0 e 100m, que representam mais de 60% do total. Estes geralmente apresentam as maiores áreas, que permitem maior proximidade com outros fragmentos. Por outro lado os mais isolados, com distância acima de 500m, apresentam número e tamanho reduzidos, localizando-se em sua maioria próximo as áreas urbanizadas do município.

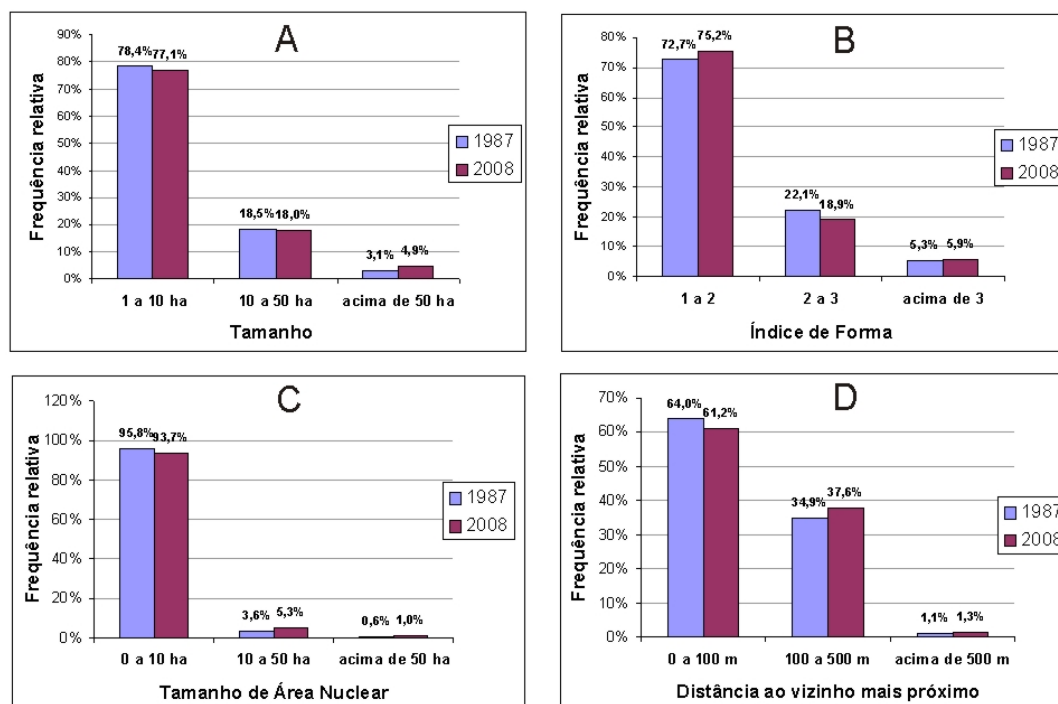


Figura 4. Classificação das métricas dos fragmentos florestais em 1987 e 2008: (A) Tamanho; (B) Índice de Forma; (C) Tamanho de área nuclear, e (D) Distância ao vizinho mais próximo.

A **tabela 2** apresenta o resumo da variação das métricas dos fragmentos florestais selecionados obtidas em 1987 e 2008.

Tabela 2. Métricas dos fragmentos florestais do município de Juiz de Fora em 1987 e 2008.

Métrica		1987	2008	Varição %
Área total dos fragmentos (ha)		26830,12	29780,64	11,00
Número de fragmentos		2430	2206	-9,22
Tamanho médio dos fragmentos (ha)		11,04	13,49	22,19
Índice de Forma médio (≥ 1 , sem limite – adimensional)		1,84	1,82	-1,09
Área Nuclear	Nº de Áreas Nucleares	3141	3114	-0,86
	Nº de fragmentos com área nuclear	1413	1364	-3,47
	Nº de fragmentos sem área nuclear	1017	842	-17,21
	Tamanho médio de área nuclear (ha)	2,50	3,26	30,22
Distância média ao fragmento mais próximo (m)		105,54	113,07	7,13

Observa-se no período estudado que em 2008 houve uma redução de cerca de 9% do número de fragmentos florestais com relação a 1987, enquanto que a área total destes fragmentos aumentou em 11%, o que repercutiu no aumento de 22,19% no tamanho médio dos fragmentos no período. Com relação ao índice de forma, não houve alterações significativas no intervalo, com uma pequena redução de 1% no valor médio do índice de forma. Houve uma redução de cerca de 17% do número de fragmentos sem área nuclear no período, no entanto estes ainda predominam na paisagem devido ao formato irregular e ao tamanho reduzido de alguns fragmentos. O grau de isolamento médio dos fragmentos

florestais sofreu um sensível aumento, indicado pelo aumento da distância média ao fragmento mais próximo que passou de 105,5m em 1987 para 113m em 2008, uma variação de 7,13%.

4. Conclusões

A utilização das imagens Landsat TM5, após o pré-processamento e a classificação supervisionada e a utilização da extensão V-LATE para o cálculo automático das métricas, possibilitaram o mapeamento e análise das características espaciais dos fragmentos florestais do município de Juiz de Fora em 1987 e 2008 de forma rápida e eficiente.

As comparações entre os resultados obtidos permitem concluir que houve algumas modificações no padrão espacial da cobertura florestal no município e que podem resultar em alterações na diversidade biológica e na vulnerabilidade ecológica dos fragmentos florestais. Observa-se que ainda persiste um elevado grau de fragmentação, mais acentuada nos últimos anos pela expansão urbana e pela especulação imobiliária, colocando em risco importantes fragmentos que são repositórios de considerável diversidade de espécies da fauna e flora da Mata Atlântica e de inúmeras nascentes que abastecem os mananciais da cidade de Juiz de Fora.

Deve-se destacar neste trabalho que apesar do aumento da cobertura florestal no período estudado, a classe floresta abrangeu os remanescentes florestais nativos assim como plantios comerciais de Eucalipto e Pinus, devido à dificuldade de distinção destas fisionomias utilizando apenas a informação espectral ao nível do pixel, o que pode ter superestimado a área ocupada pela vegetação natural. Desta forma recomenda-se em futuros trabalhos a utilização de outras metodologias a partir de classificações orientada a objetos, para permitir uma melhor distinção da cobertura florestal.

Referências Bibliográficas

- Ab' Saber, A. N. **Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas**. 2. ed. São Paulo: Ateliê Editorial, 2003. 160 p.
- Almeida, C. G. **Análise espacial dos fragmentos florestais na área do Parque Nacional dos Campos Gerais, Paraná**. 2008. 74p. Dissertação (Mestrado em Gestão do Território) – Departamento de Geociências, Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2008.
- Basile, A. **Caracterização estrutural e física de fragmentos florestais no contexto da paisagem da Bacia do Rio Corumbataí, SP**. 2006. 86 p. Dissertação (Mestrado em Ecologia Aplicada) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, **Manual Técnico da Vegetação Brasileira**. Manuais Técnicos em Geociências – número 1. Rio de Janeiro: IBGE, 1992. 92 p.
- Prefeitura Municipal de Juiz de Fora. **Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano de Juiz de Fora**. Juiz de Fora: FUNALFA Edições. 2004.
- Tavares Júnior, J. B.; Santos, D. R.; Hayakawa, E. H.; Prado, B. R.; Martins, V. A.; Antunes, M. A. H. Avaliação dos dados GeoCover a partir de dados de campo coletados com receptores GPS. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 14., 2009, Natal. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2009. Artigos, p. 1889-1896. DVD, On-line. ISBN 978-85-17-00044-7. Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.18.00.27>>. Acesso em: 13 nov. 2009.
- Volotão, C.F. de Sá. **Trabalho de análise espacial: Métricas do Fragstats**. São José dos Campos: INPE, 1998. 45 p.