

Índices de paisagem aplicados à análise do Parque Estadual Morro do Diabo e entorno

MARIA DE LOURDES B. TRINDADE GALO¹
EVLYN M. LEÃO DE MORAES NOVO²

¹ FCT/Unesp - Campus de Presidente Prudente - Dep. de Cartografia
Caixa Postal 957, 19060-900 Presidente Prudente, SP, Brasil
mlourdes@prudente.unesp.br

Doutoranda no Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada - CRHEA/EESC/USP

² INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Caixa Postal 515, 12202-097 São José dos Campos, SP, Brasil
evlyn@ltd.inpe.br

Abstract. The textural analysis of the remote sensing imagery may provide some indications about landscape composition due to internal variability of the land-cover types. In order to assess fragmentation and spatial diversity measures used in Landscape Ecology in 'Parque Estadual Morro do Diabo' Reserve and its surrounding region were performed a thematic classification in land-cover types and applied digital image processing techniques for remote sensing data. The landscape indices were derived from multispectral data transformed in NDVI image and first principal component. Statistics obtained by this indices for each land-cover class were matched in landscape categories, according to an hierarchical scheme of human-derived disturbance in study area.

Keywords: textural analysis; landscape pattern measures; spatial diversity; landscape fragmentation.

Introdução

A ecologia, assim como a história natural tem, tradicionalmente, mostrado interesse no modelamento espacial e distribuição geográfica dos organismos. Existe um longo histórico de estudos ecológicos mostrando a dinâmica de muitos distúrbios naturais e seus efeitos sobre o mosaico espacial. Estes estudos fornecem a base para a análise dos padrões espaciais e os processos que ocorrem ao nível da paisagem (Turner, 1989).

A maioria das paisagens é influenciada pela ação do homem e o mosaico de paisagens resultante é uma mistura de elementos naturais e antrópicos que variam em tamanho, forma e arranjo (Turner, 1989), de modo que medidas usadas para descrever os padrões de paisagem podem ser aplicadas na análise de sua estrutura. Nesse contexto, o autor relaciona uma série de medidas utilizadas para quantificar os padrões de paisagem e ressalta o potencial dos dados de sensoriamento remoto na análise da estrutura da paisagem, a partir das medidas de padrões espaciais. De uma série de medidas relacionadas por Turner (1989), os índices de diversidade espacial e fragmentação da paisagem parecem refletir, adequadamente, o grau de variabilidade da paisagem e, conseqüentemente, revelar as tendências gerais da influência das atividades humanas sobre o mosaico da paisagem.

Para avaliar a separabilidade entre categorias de cobertura da terra ao longo de um seção transversal, em um ecossistema montanhoso, Frohn e Menz (1996) usaram medidas de padrão de

paisagem extraídas de dados de sensoriamento remoto, derivadas de índices tradicionais de fragmentação da paisagem (contágio) e complexidade de formas (dimensão fractal) e concluíram que a análise das texturas que compõem os elementos da paisagem pode ser apropriada para indicar o grau de interferência antrópica nas diferentes categorias mapeadas.

A utilização da textura como um indicador da variabilidade da paisagem tem sido difundida em vários trabalhos. Gulinck et al. (1993) relatam a utilização de uma técnica simples, a qual consiste de uma análise da frequência de diferentes categorias presentes em uma matriz quadrada de pixels, para a avaliação das heterogeneidades na composição da paisagem.

Por outro lado, conforme relata Lobo (1997), uma das maiores dificuldades no mapeamento temático realizado a partir de imagens digitais de sensoriamento remoto decorre das heterogeneidades das categorias de cobertura da terra, as quais apresentam uma aparência texturada. Como resultado, os elementos da paisagem não se caracterizam por um valor uniforme de reflectância, mas por uma distribuição marcada pela autocorrelação espacial. Assim, a importância da textura para discriminar categorias em cenas naturais tem sido reconhecida já a algum tempo e têm sido desenvolvidos vários métodos para sua análise.

Enquanto Marceau (1990), citado por Lobo (1997), classifica a análise da textura em métodos estruturais (nos quais as texturas são definidas por regras de inter-relações espaciais de unidades texturais primitivas) e em métodos estatísticos (que consideram a dependência espacial dos atributos dos pixels, para uma área local), Gonzalez e Woods (1993) distinguem uma terceira abordagem, denominada espectral, onde os padrões globais de textura são descritos e analisados no domínio de frequências espaciais definidas através de transformada de Fourier. Aparentemente, como ressalta Lobo (1997), as texturas naturais são melhor definidas e identificadas pela análise estatística, devido à sua inerente componente estocástica.

As primeiras tentativas de aplicar uma abordagem estatística na análise textural consideravam, simplesmente, os momentos do histograma de níveis de cinza de uma imagem ou região. Porém, segundo Gonzalez e Woods (1993), medidas de textura computadas usando apenas histogramas não guardam nenhuma informação sobre as relações de vizinhança entre pixels. Assim, as medidas de textura passaram a incorporar essa informação no processo de análise, com a utilização de operadores de contexto (também chamados operadores locais ou de vizinhança).

Para analisar o conteúdo de uma matriz de co-ocorrência de níveis de cinza, de modo a categorizar a textura da região para a qual esta matriz foi calculada, Gonzalez e Woods (1993) apresentam um conjunto de descritores. Alguns desses descritores guardam grande similaridade com as medidas tradicionalmente utilizadas em Ecologia da Paisagem, como é o caso do entropia (uma medida de aleatoriedade), e a diversidade da paisagem, conforme definida em Turner (1989), a qual expressa a proporção de habitats encontrados em uma dada região.

Diante do exposto, percebe-se que o conteúdo textural de uma imagem pode fornecer alguns indicadores da composição dos elementos da paisagem, principalmente sua variabilidade. Considerando que apenas a informação multispectral inerente aos dados de sensoriamento remoto muitas vezes não é suficiente para discriminar as diferentes categorias de uso da terra, pressupõe-se que a utilização de indicadores texturais que tenham um significado ecológico

(como o índice de fragmentação e a diversidade da paisagem), pode oferecer uma contribuição nesse sentido.

Assim, o objetivo geral do presente trabalho é utilizar índices de textura, que tenham significado em Ecologia da Paisagem, tais como medidas de fragmentação e de diversidade espacial, derivados de dados multiespectrais de sensoriamento remoto, a fim de avaliar seu potencial na discriminação entre categorias de paisagem naturais e submetidas a diferentes níveis de intervenção antrópica. Especificamente, pretende-se: a) verificar adequação dos indicadores texturais na análise do nível de interferência antrópica em uma área teste conhecida e; b) procurar estabelecer níveis de hierarquia, em função do grau de modificação antrópica na área, usando os índices de paisagem.

Área de estudos e dados utilizados

A área de estudos está inserida no Pontal do Paranapanema, Oeste do Estado de São Paulo e engloba, predominantemente, o Parque Estadual Morro do Diabo e arredores. O Parque, administrado pelo Instituto Florestal de São Paulo, é limitado ao Sul pelo Rio Paranapanema e constitui-se em uma das mais significativas áreas de floresta natural do interior do Estado, e de um local onde ainda são preservados os ecossistemas originais da região. O entorno do Parque é ocupado, na sua maior parte, por pastagens e inclui a área urbana da cidade de Teodoro Sampaio.

Os dados multiespectrais de sensoriamento remoto da área de interesse referem-se a segmentos georreferenciados de imagem TM/Landsat, definidos pelas coordenadas UTM: 354.000 a 384.000 E e 7.490.350 a 7.528.000 N. A imagem TM/Landsat utilizada corresponde à data de passagem de 30 de julho de 1985 e foi adquirida pela FCT/Unesp - Campus de Presidente Prudente, junto ao INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, nas bandas TM3, TM4 e TM5.

Além dos dados multiespectrais, foram utilizados outros tipos de dados espaciais referentes a: mapa de vegetação do Parque Estadual Morro do Diabo, elaborado em 1970 na escala 1:25.000 (Campos e Heinsdijk, 1970); mapa mostrando a visão geral da vegetação do Parque de 1975 (Deshler, 1975), ambos editados pelo Instituto Florestal de São Paulo; e cartas topográficas na escala 1:50.000 do IBGE, referentes às folhas Ribeirão das Pedras, Santo Antônio do Caiuá e Teodoro Sampaio (IBGE, 1973). Foram usados, ainda, dados descritivos de referência que constaram, basicamente, de estudos sobre a vegetação do Parque (Campos e Heinsdijk, 1970; Guillaumon et al., 1983).

Metodologia Adotada

O fluxograma, mostrado na **figura 1** relaciona as atividades desenvolvidas com a finalidade de avaliar a contribuição dos índices texturais de diversidade e fragmentação na discriminação de categorias da paisagem. Para isso, os dados multiespectrais foram submetidos a dois tipos de análise, uma delas visando a identificação das classes de cobertura da terra, e outra com a finalidade de gerar imagens transformadas adequadas à avaliação do grau de fragmentação e diversidade espacial da paisagem. Todas as operações envolvendo processamento digital de imagens multiespectrais foram realizadas usando o software Idrisi for Windows, versão 2.0.

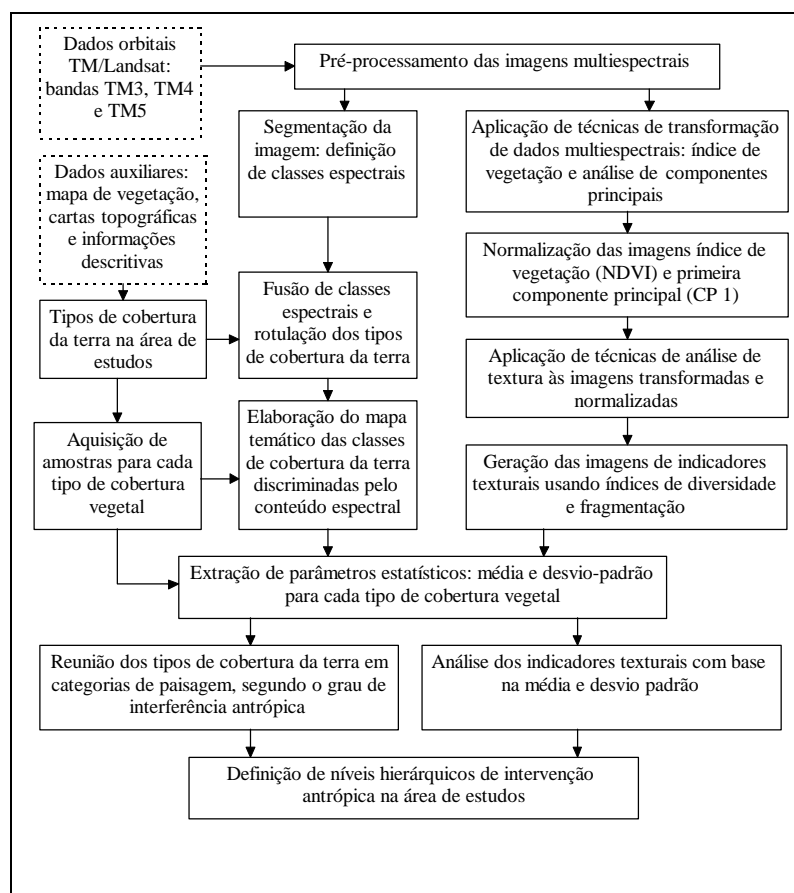


Fig. 1 - Fluxograma das atividades desenvolvidas.

Inicialmente, a imagem multiespectral foi submetida a uma série de processamentos prévios, comuns a ambas as abordagens, os quais constaram de: a) delimitação da imagem em segmentos de 1.000 X 1.255 pixels, de modo a incluir toda a área do Parque, seu entorno e a área urbana da cidade de Teodoro Sampaio; b) ampliação linear de contraste de todas as bandas e; c) georreferenciamento da imagem, a fim de facilitar sua comparação com os demais dados espacializados.

Em seguida, foram realizados procedimentos específicos para a geração do mapa temático representando as classes de cobertura da terra e para a análise da textura. A definição dos tipos de cobertura da terra foi precedida pela classificação não-supervisionada das imagens multiespectrais. A imagem resultante foi reclassificada, mediante a fusão de *clusters* em classes consistentes com os fenômenos registrados na cena, e sua posterior rotulação, com base nos dados de referência disponíveis: mapas da vegetação do Parque Estadual Morro do Diabo, tipos de uso da terra identificados nas cartas topográficas do IBGE, no conhecimento da região e; nas informações descritivas da área.

Este procedimento culminou com a geração de um mapa temático representando as classes de cobertura da terra, o qual foi também utilizado como referência para a aquisição de um conjunto de amostras para os tipos de cobertura da terra que não puderam ser discriminados espectralmente, mas que apresentaram uma definição espacial ou textural característica.

As transformações de dados multiespectrais aplicadas às bandas originais foram o índice de vegetação da diferença normalizada - NDVI, por se constituir em um indicador das variações na densidade da vegetação, e a análise de componentes principais (CP). Optou-se por utilizar também a imagem transformada em CPs devido à sua característica de preservar a maior parte da informação presente na cena em um conjunto de dados com menor dimensionalidade e reter a maior quantidade de informação nas primeiras componentes geradas. Para efeito de comparações posteriores, imagem NDVI e a primeira componente principal (CP 1), cujos dados estavam representados em valores reais e inteiros, respectivamente, foram convertidas para bytes e reescaladas linearmente no intervalo radiométrico entre 0 e 255.

A análise da textura foi realizada usando as imagens NDVI e CP 1 normalizadas, e constou da aplicação de operadores de contexto que calculam um índice numérico com base na variabilidade espectral observada em uma janela de, no presente caso, 3X3 pixels. Os índices utilizados, implementados na versão 2.0 do Idrisi for Windows, referem-se a medidas comumente usadas em Ecologia da Paisagem e são designados como índice de diversidade da paisagem e índice de fragmentação. A diversidade da paisagem (H) é calculada pela expressão:

$$H = -\sum [p \cdot \ln(p)]$$

onde p é a proporção de cada atributo (número digital atribuído ao pixel) na janela 3X3.

O índice de fragmentação (F) é definido por:

$$F = (n - 1) / (c - 1)$$

onde n é o número de pixels com diferentes atributos, presentes em uma janela de dimensão igual a c (no caso, janela 3X3, então c é igual a 9).

A medida de diversidade da paisagem indica que, se um atributo não se repete na janela, o valor calculado para o pixel central corresponderá ao maior índice de diversidade possível (H=2,44), enquanto que, se todos os pixels da janela tiverem o mesmo atributo, não haverá diversidade na região analisada de 3X3 pixels (H=0 para o pixel central). Para o índice de fragmentação é válido o mesmo raciocínio, ou seja, máximo valor (F=1,0) para o pixel central quando todos os pixels da janela tiverem atributos diferentes.

A utilização destes operadores de contexto produziu quatro imagens dos índices de paisagem, derivadas da aplicação dos índices de diversidade espacial e fragmentação às imagens NDVI e CP 1. Estas imagens dos indicadores texturais, assim como as próprias imagens transformadas, foram submetidas a um cruzamento espacial com os classes representadas no mapa temático e com as amostras adquiridas para as classes que não foram separadas espectralmente, o que possibilitou a extração de parâmetros estatísticos (média e desvio padrão) para cada um dos tipos de cobertura da terra.

Os parâmetros estatísticos obtidos a partir das imagens de indicadores texturais foram utilizados para agrupar os tipos de cobertura da terra em categorias de paisagem mais abrangentes, e para estabelecer níveis hierárquicos de interferência antrópica para as categorias da paisagem definidas na área de estudos.

Resultados e Discussão

As classes de cobertura da terra estabelecidas a partir da correspondência entre os tipos de vegetação e uso da terra identificados nos dados de referência e as feições registradas na imagem resultante da segmentação espectral, foram designadas Mata Primitiva Densa (MPD), Mata Primitiva (MP), Mata Residual e Vegetação Invasora (MRVI), Vegetação em Regeneração/ Macega (VR/Mac), Brejo (Br), Vegetação Secundária/ Culturas Agrícolas (VS/Ct), Campo Antrópico (CA), Áreas de Atividade Antrópica/Urbanas (AA/Urb), Solo Exposto (SE) e Corpos D' Agua (Ag).

O mapa temático representando as classes de cobertura da terra definidas para a área de estudos é mostrado na **figura 2**. Em relação à elaboração deste mapa, cabe ressaltar a dificuldade encontrada em estabelecer a referida correspondência entre os mapa de referência e as variações espectrais observadas na imagem. Além disso, algumas classes de cobertura da terra, bem definidas nos dados de referência, não puderam ser espectralmente diferenciadas.

A observação do mapa temático e respectiva legenda, na **figura 2**, evidencia as classes que não foram desmembradas na segmentação espectral: VR/Mac; VS/Ct e; AA/Urb. Apesar de não ocorrer com a classe mista VS/Ct, as classes VR/Mac e AA/Urb têm uma definição espacial/textural característica. A Macega se diferencia da Vegetação em Regeneração pela sua ocorrência espacial limitada à margens de rios, lagos e lagoas; enquanto que Áreas Urbanas representam uma paisagem antrópica levada ao extremo e, por isso, mostram uma textura diferenciada do contexto.

TIPOS DE COBERTURA DA TERRA

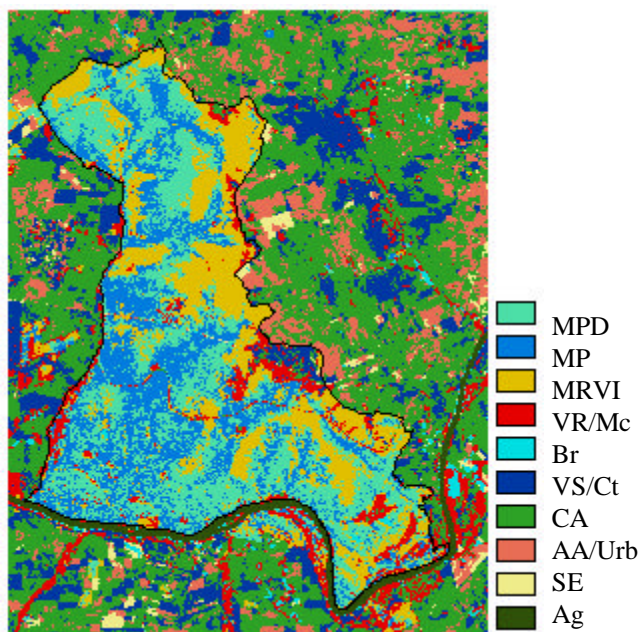


Fig. 2. Representação temática resultante da segmentação espectral.

Considerando a possibilidade de diferenciar estas duas últimas categorias mistas (VR/Mac e AA/Urb) é que foram adquiridos conjuntos de amostras para cada uma das ocorrências (VR, Mac, AA, Urb) e usada uma outra abordagem a fim de avaliar a contribuição dos índices de paisagem na discriminação das classes de cobertura da terra. Esse procedimento foi iniciado pela

geração da imagem índice de vegetação (NDVI) e a seleção da primeira componente (CP 1) resultante de uma análise de componentes principais, as quais são mostradas na **figura 3**.

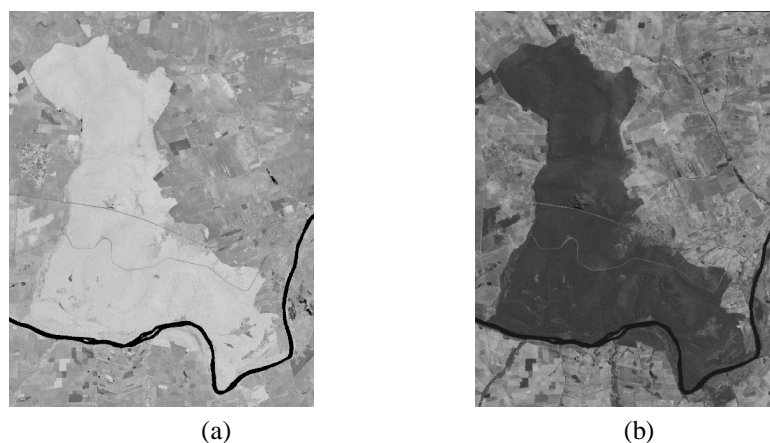


Fig. 3. Imagens resultantes da transformação dos dados multiespectrais em: (a) índice de vegetação - NDVI e; (b) primeira componente principal - CP 1.

A característica das imagens índice de vegetação de realçar as áreas florestadas fica explícita na **figura 3a**, na qual é mostrada a imagem resultante da transformação dos dados multiespectrais em índice de vegetação (NDVI), e onde se destaca o Parque Estadual Morro do Diabo. Por outro lado, a primeira componente principal (CP 1) apresentada na **figura 3b**, revela as variações que ocorrem no entorno do Parque e que são, notadamente, marcadas por diferentes graus de intervenção antrópica.

A maior variabilidade textural e, conseqüentemente, maior fragmentação e diversidade espacial da paisagem que ocorre na área externa ao Parque fica evidenciada na **figura 4**, a qual mostra as imagens resultantes da aplicação do índice de fragmentação (tomado como exemplo para ilustrar as imagens de textura) às cenas NDVI e CP 1.

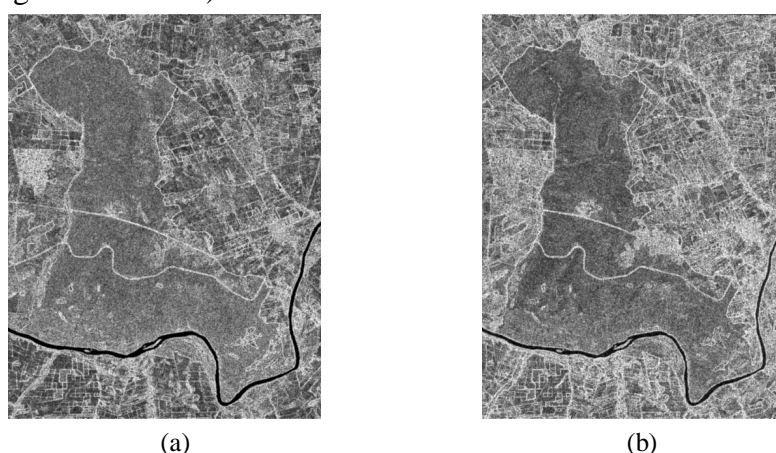


Fig. 4. Imagens derivadas dos índices de fragmentação das cenas (a) NDVI e (b) CP 1.

A comparação visual dessas duas imagens, indica que CP 1 gera indicadores texturais mais variados em decorrência da intensa fragmentação da área externa ao Parque. Esse fato torna este

produto mais útil à discriminação textural entre *paisagens naturais* e paisagens sujeitas à intervenção *antrópica*. Entretanto, a imagem derivada da cena NDVI, parece definir com mais propriedade as regiões de textura homogênea que ocorrem no entorno, minimizando a confusão visual provocada pela intensa fragmentação perceptível na imagem derivada de CP 1.

Do cruzamento dos tipos de cobertura da terra definidas no mapa temático com as imagens transformadas foram extraídos os parâmetros estatísticos referentes a média e desvio padrão por classe. Para as classes VR, Mac, AA e Urb, que não foram separadas na segmentação espectral, a extração destes parâmetros foi feita a partir das amostras adquiridas. Os valores obtidos são mostrados na **tabela 1**.

Sobre os valores mostrados na **tabela 1** cabem algumas considerações. Em relação ao NDVI, onde valores mais elevados estão associados à vegetação de maior porte e biomassa verde, observa-se que, para a vegetação natural, as médias são menores para as classes MPD e MP do que para MRVI, o que pode ser explicado pela rugosidade do dossel que aumenta o sombreamento e diminui a radiação média dos pixels. Percebe-se ainda um aumento do desvio padrão para as classes relacionadas com atividade antrópica, porém maior para as classes Br e Ag, sugerindo uma grande variabilidade interna nestas classes. As médias das classes referentes à CP 1 mostram uma situação inversa, ou seja, elas são maiores nas classes mais submetidas à atuação antrópica, quando comparadas com as áreas de vegetação natural. O alto desvio padrão para Br se mantém na CP 1, o que pode revelar alguma inconsistência na identificação e mapeamento desta classe.

Tabela 1. Média e desvio padrão dos tipos de cobertura da terra obtidos para as imagens transformadas.

TIPOS DE COBERTURA DA TERRA		NDVI		CP 1	
		média	desvio padrão	média	desvio padrão
Mata Primitiva Densa	MPD	198,427	11,792	62,543	7,348
Mata Primitiva	MP	195,112	5,617	61,767	4,462
Mata Residual e Veget. Invasora	MRVI	200,848	6,311	71,578	5,746
Vegetação em Regeneração	VR	181,652	8,246	84,666	8,094
Macega	Mac	170,604	12,551	81,436	8,437
Brejo	Br	109,655	43,201	72,938	19,211
Veget. Secundária/ Cult. Agrícolas	VS/Ct	172,254	10,624	119,662	16,139
Campo Antrópico	CA	153,026	8,691	130,481	18,149
Área de Atividade Antrópica	AA	137,962	10,939	144,413	12,123
Área Urbana	Urb	144,424	11,146	135,219	19,140
Solo Exposto	SE	119,125	15,828	107,101	10,217
Corpos D' Agua	Ag	5,330	25,167	28,886	7,369

As imagens resultantes da utilização de índices de diversidade espacial e fragmentação aplicados às cenas transformadas foram também submetidos a uma análise similar. Os parâmetros estatísticos (média e desvio padrão) calculados a partir dos tipos de cobertura da terra da classificação temática e das áreas amostradas para aqueles tipos espectralmente indistintos, obtidos para as imagens representando esses indicadores texturais, são mostrados na **tabela 2**.

Tabela 2. Média e desvio padrão dos tipos de cobertura da terra obtidos a partir das imagens de indicadores texturais.

CLASSES	ÍNDICE DE DIVERSIDADE				ÍNDICE DE FRAGMENTAÇÃO			
	NDVI		CP 1		NDVI		CP 1	
	média	desvio padrão	média	desvio padrão	média	desvio padrão	média	desvio padrão
MPD	1,772	0,241	1,698	0,258	0,689	0,148	0,643	0,154
MP	1,763	0,218	1,694	0,244	0,681	0,141	0,639	0,149
MRVI	1,772	0,224	1,713	0,245	0,687	0,145	0,651	0,152
VR	1,870	0,207	1,882	0,210	0,754	0,140	0,763	0,144
Mac	1,890	0,214	1,829	0,236	0,769	0,147	0,728	0,155
Br	1,892	0,304	1,941	0,222	0,785	0,179	0,808	0,152
VS/Ct	1,784	0,263	1,811	0,256	0,699	0,169	0,718	0,167
CA	1,712	0,273	1,828	0,245	0,653	0,169	0,728	0,161
AA	1,578	0,268	1,774	0,285	0,568	0,155	0,657	0,154
Urb	1,981	0,170	2,030	0,150	0,833	0,123	0,869	0,112
SE	1,750	0,329	1,801	0,278	0,686	0,199	0,714	0,178
Ag	0,329	0,491	0,935	0,569	0,094	0,192	0,317	0,239

O que chama atenção em relação às médias apresentadas é o elevado valor obtido para a classe Urb, mediante a aplicação de qualquer um dos índices de paisagem utilizados, derivados tanto da imagem NDVI quanto da CP 1. A partir dessa maior média para área urbana são observadas médias decrescentes para as classes relacionadas com algum tipo de interferência ou atividade humana. Nas imagens resultantes da CP 1 a seqüência decrescente de valores para as classes é: VR, CA, AA e VS/Ct, desconsiderando as classes Mac e Br, que apresentaram uma alta variabilidade textural em todas as situações consideradas. Os indicadores texturais calculados para a imagem NDVI indicam uma ordenação de classes ligeiramente diferente: as médias das classes com pouca ou nenhuma indicação de intervenção humana recente (mata, em geral) têm médias superiores àquelas constatadamente de atuação humana (VS/Ct, CA e AA), ainda que com as mesmas exceções observadas para CP 1: Mac e Br.

Outro aspecto sugerido pelos valores apresentados na **tabela 2** e reforçado pela observação da **figura 5**, na qual as médias dos indicadores texturais para cada tipo de cobertura da terra são mostradas graficamente, é que os dois índices de paisagem utilizados mostram valores redundantes. De fato, a correlação entre as imagens derivadas da aplicação dos índices de diversidade e fragmentação é próxima de 1,0 (são altamente correlacionadas, com coeficiente de correlação espacial entre imagens igual a 0,9947), tanto para os índices gerados a partir de NDVI, como para CP 1. Essa constatação, entretanto, era um resultado previsto, uma vez que, para uma maior fragmentação da paisagem, espera-se uma maior diversidade espacial.

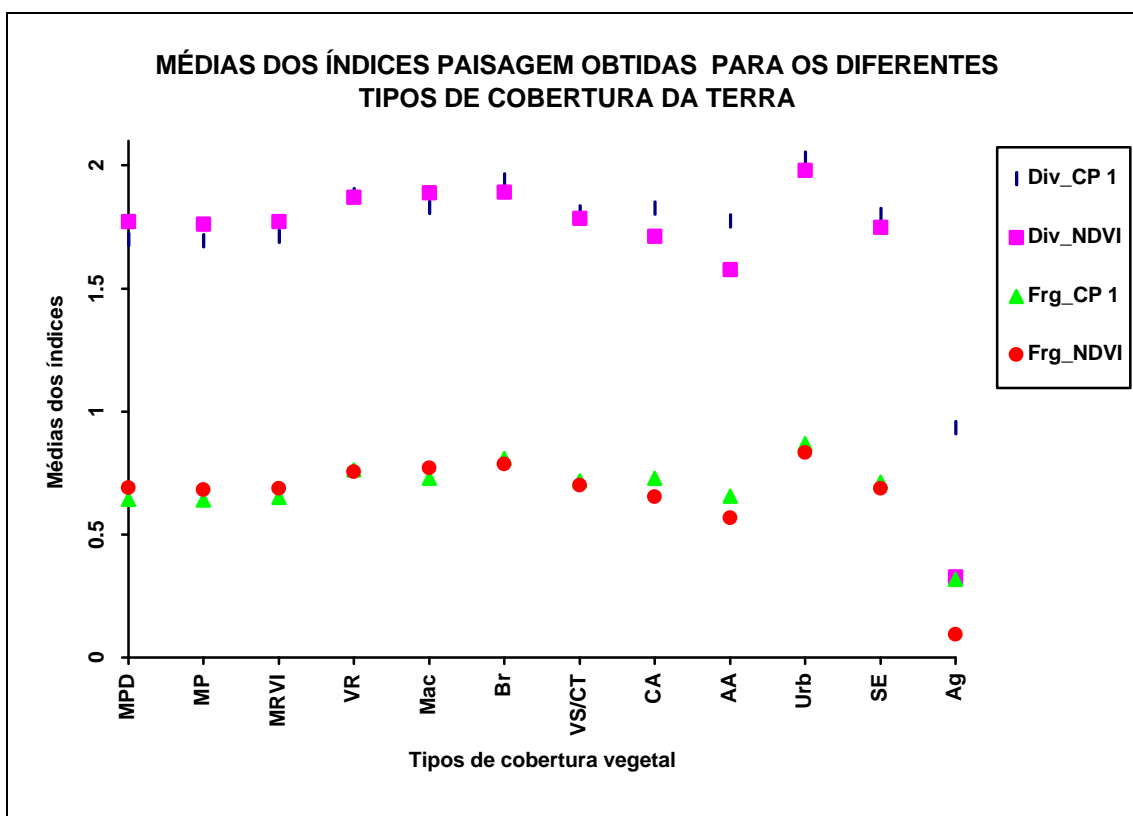


Fig. 5. Representação gráfica das médias dos índices de diversidade e fragmentação, obtidas para os diferentes tipos de cobertura da terra.

Os valores apresentados na **tabela 2** e na **figura 5** sugerem que os índices de diversidade espacial e de fragmentação podem ser usados como referência, através de sua médias, para agrupar as classes de cobertura da terra em categorias genéricas de paisagem e para ordenar estas categorias segundo uma hierarquia de intervenção antrópica na área de estudos. Assim, a categoria designada paisagem natural (PN) engloba os tipos de cobertura da terra sem evidências de intervenção humana recente e inclui as classes MPD, MP, MRVI e Ag; a categoria paisagem semi-natural (PSN) inclui as classes de característica mista, como VS/Ct; aquelas que indicam a ocorrência de atividade antrópica no passado, como VR e; os tipos de cobertura da terra que ocorrem sob condições fisiográficas específicas, como Mac e Br. As classes caracterizadas pelo desenvolvimento atual de atividades agropecuárias, como CA, AA e SE, são agrupadas na categoria paisagem antrópica de atividade moderada (PAM); enquanto que a área urbana (Urb) da cidade de Teodoro Sampaio, constitui a categoria paisagem antrópica de atividade intensa (PAI).

Tendo em vista que os índices utilizados refletem a diversidade espacial e a fragmentação dos padrões de paisagem, e portanto, têm significado textural similar, pode-se considerar que as diferenças verificadas na ordenação das categorias de paisagem, visando estabelecer níveis hierárquicos de intervenção antrópica, resultam do tipo de imagem transformada usada para gerar os índices. Assim, para os índices calculados a partir da imagem NDVI, a seqüência decrescente de intervenção humana fica: PAI>PSN>PN>PAM; enquanto os índices resultantes da CP 1 sugerem a seguinte ordenação: PAI>PSN>PAE>PN, para ambos os índices. Como citado anteriormente, a diferença observada na ordenação deve-se às características da imagem usada

para calcular os índices, ou seja, enquanto a imagem NDVI realça a variabilidade da cobertura florestal, a CP 1 destaca as variações que ocorrem no entorno do Parque e que são, notadamente, marcadas por diferentes graus de intervenção antrópica.

Por outro lado, ao se analisar as categorias de paisagem sob um enfoque de manutenção da biodiversidade, a ordenação anterior deveria ser invertida, pois paisagens com uma menor diversidade espacial e, conseqüentemente menos fragmentadas, estariam em um nível hierárquico superior. Nesse sentido, é possível estabelecer pesos para as diferentes paisagens e ponderá-las segundo um critério de preservação da vida selvagem, visando identificar os ambientes mais favoráveis para o propósito de manutenção da diversidade biológica. Por este critério de valoração, os ambientes naturais teriam maior peso e, como a categoria que se refere a tais paisagens inclui as classes MPD, MP, e MRVI, as quais estão presentes no interior do Parque Estadual Morro do Diabo, a análise apontaria essa área de conservação como aquela favorável à manutenção da biodiversidade.

Conclusões

Os resultados da utilização dos índices de fragmentação e de diversidade espacial obtidos a partir de dados de sensoriamento remoto, demonstram o seu potencial na análise da composição da paisagem e, especialmente, permitem discriminar entre os ambientes naturais daqueles submetidos a diferentes graus de intervenção antrópica. Para a área de estudos em questão, foi possível associar o comportamento destes índices com os padrões espaciais resultantes da atuação e interferência humana na paisagem.

Os dois índices utilizados discriminaram nitidamente ambientes muito fragmentados, caracterizados por uma intensa atividade antrópica, o que era esperado, uma vez que o conteúdo multiespectral dos dados de sensoriamento remoto não é, muitas vezes, suficiente para separar classes de uso da terra espectralmente similares, porém com uma alta variabilidade interna. Por outro lado, o tamanho da janela utilizada para calcular os índices texturais foi mantido fixo em 3X3 pixels, o que não permitiu avaliar a influência da dimensão da janela na definição desses indicadores. Trata-se de uma questão que merece ser avaliada criteriosamente, uma vez que o tamanho da janela está relacionado com o fenômeno de variação observado.

Na análise dos índices de paisagem, um outro fator a ser considerado é o tipo de produto usado para calcular os indicadores texturais. Apesar da CP 1 produzir uma seqüência hierárquica mais consistente com o grau decrescente de intervenção antrópica, o NDVI preserva o significado “físico” dos dados multiespectrais e por isso é mais facilmente interpretado em termos de densidade e vigor da vegetação. Essa possibilidade de compreensão e associação com os fenômenos ambientais permite que, com base em critérios bem definidos, sejam feitas inferências sobre a adequação dos ambientes a diferentes propósitos. Nesse contexto, o NDVI pode se mostrar mais adequado para a análise.

Quanto à correlação observada entre as medidas de paisagem utilizadas, isto também é coerente com a noção de distribuição espacial e variabilidade dos padrões de paisagem, ou seja, espera-se que ambientes mais fragmentados apresentem uma maior diversidade espacial, independente do índice de paisagem usado. Vale acrescentar que esta diversidade espacial tem relação inversa com a biodiversidade (diversidade biológica) que é uma característica de

ambientes naturais e pouco fragmentados. No contexto apresentado, tanto fragmentação como diversidade espacial são decorrentes da maior intervenção humana na paisagem.

De um modo geral, pode-se considerar que os índices utilizados refletem o que se espera dos ambientes ou categorias de paisagem. A expectativa é que ocorra uma maior diversidade espacial e um nível mais elevado de fragmentação da paisagem em ambientes urbanos, onde coexistem, em sua tensão máxima, elementos naturais (atmosfera, relevo, vegetação, etc.) totalmente transformados pela ação do homem, criando uma outra “paisagem” sobreposta à paisagem natural, formada por arruamentos, prédios, construções, etc. Esta característica os resultados da aplicação mostraram satisfatoriamente.

Referências

- Campos, J. C.; Heinsdijk, D. 1970. A floresta do Morro do Diabo. *Silvicultura em São Paulo*, 7:43-58.
- Frohn, R.C.; Menz, G. Spatial Separability of Land-cover Classes Along a Vertical Transect in the Sierra Nevada Using Landscape Pattern Metrics and Remote Sensing. In: Annual Convention and Exposition, Baltimore, April 22-25, 1996. *Tecnical Papers*, Baltimore, ASPRS/ACSM, 1996, pp. 19-28.
- Gonzalez, R. C.; Woods, R. E. Recognition and Interpretation. In: *Digital Image Processing*. Reading, Mass. Addison-Wesley, 1992, pp. 571-661.
- Guillaumon, J. R.; et al. 1983. *Estudos para Manejo da Reserva Estadual Morro do Diabo*. Instituto Florestal (Documento apresentado ao WWF/IUCN em novembro de 1993). São Paulo. 110 p.
- Gulinck, H.; Walpot, O.; Janssens, P. Landscape Structural Analysis of Central Belgium Using SPOT data. In: Haines-Young, R.; Green, D.R.; Cousins, S.H. (Eds), *Landscape Ecology and GIS*, London, Taylor & Francis, 1993, pp.129-139.
- Lobo, A. 1997. Image Segmentation and Discriminant Analysis for the Identification of Land Cover Units in Ecology. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 35(5):1136-1145.
- Turner, M. G. 1989. Landscape Ecology: the effect of pattern on process. *Annu. Rev. Ecol. Syst.*, 20:171-197.