

Análise factorial aplicada a métricas da paisagem definidas em FRAGSTATS

Paula Couto *

* Grupo de Análise de Sistemas Ambientais (GASA) – Universidade Nova de Lisboa
mpaula@mail.eunet.pt

Abstract

A programme for spatial analysis based on a grid of pixels (FRAGSTATS 3.0) was used and the results of the analysis of 50 maps of land occupation using this programme were presented. 33 metrics of the landscape's structure were used and the properties of the metrics for various landscapes (maps of land occupation in Continental Portugal) were investigated. The metrics of the landscape's structure describe the size and form of the landscapes, the abundance of each type of spot and the spatial distribution of similar or different spots. To overcome the ambiguity of individual metrics and behavioural peculiarities, a varied factorial approach was adopted to describe and compare landscape structures. An analysis of main components for the 33 metrics and 50 landscapes was carried out. The first five factors explain 91.2% of the variation. These factors can be interpreted as an average of compaction of the spot, image texture (distribution of the pixels and proximity), landscape area, number of classes, area-perimeter relation (fractional measures).

Resumo

Um programa de análise espacial baseado numa grelha de pixeis (FRAGSTATS 3.0) foi usado e os resultados da análise de 50 mapas de ocupação do solo usando esse programa são apresentados. Foram usadas 33 métricas da estrutura da paisagem e investigadas as propriedades das métricas para diversas paisagens (mapas de ocupação de solo de Portugal Continental). As métricas da estrutura da paisagem descrevem o tamanho e forma das paisagens, a abundância de cada tipo de mancha e a distribuição espacial de manchas similares ou dissimilares. Para ultrapassar a ambiguidade de métricas individuais e peculiaridades do seu comportamento, foi adoptada uma aproximação factorial multivariada para descrever e comparar estruturas da paisagem. Foi executada uma análise de componentes principais para as 33 métricas e 50 paisagens. Os primeiros cinco factores explicam 91.2% da variação. Estes factores podem ser interpretados como média da compactação da mancha, textura da imagem (distribuição dos pixeis e adjacência), área da paisagem, número de classes, relação área - perímetro (medidas fractais).

Keywords: Landscape structure, Factorial approach, Fragstats

Title: Factorial Analysis applied to landscape metrics defined in FRAGSTATS

1 Introdução

Uma variedade de questões ecológicas requerem presentemente o estudo de largas regiões e a compreensão da heterogeneidade espacial. A investigação na análise de padrões espaciais e a sua comparação pode melhorar a habilidade para simular fenómenos em grande escala, caracterizar modelos espaciais e gerir recursos naturais ao nível da paisagem (Turner et al. 1989(a)).

Embora existam muitas interpretações diferentes do termo “paisagem” todas as definições de paisagem incluem invariavelmente uma área contendo um mosaico de manchas ou elementos da paisagem que interagem e são relevantes para o fenómeno em estudo. O padrão detectado em qualquer mosaico ecológico está relacionado com ambos, extensão e grão (Forman e Godron 1986, Turner et al. 1989(b), Wiens 1989). A extensão é a área global sujeita a investigação ou a área incluída no interior da fronteira da paisagem e grão é o tamanho das unidades individuais de observação.

A ecologia da paisagem envolve o estudo de padrões da paisagem, a interacção entre manchas no interior do mosaico da paisagem, e a forma como padrões e interacções mudam no tempo. Considera ainda o desenvolvimento e dinâmica da heterogeneidade espacial e os seus efeitos nos processos ecológicos. A ecologia da paisagem pode ser analisada considerando três características da paisagem (Forman e Godron 1986):

Estrutura – trata-se das relações espaciais entre ecossistemas distintos ou elementos presentes; mais especificamente, a distribuição de energia, materiais, e espécies, em relação a tamanhos, formas e configurações dos ecossistemas.

Função – corresponde a interacções entre elementos espaciais, ou seja, as transferências de energia, materiais e espécies ao longo das componentes dos ecossistemas.

Mudança – trata-se da alteração na estrutura e função do mosaico ecológico no tempo.

A estrutura da paisagem e a função da paisagem estão intimamente relacionados porque, ao longo do tempo, um influencia o outro (Forman e Godron 1981, Forman e Godron 1986, Turner et al. 1989(b)). Em particular, a função da paisagem é influenciada por padrões espaciais e temporais de temperatura, nutrientes e organismos. Ao contrário a estrutura da paisagem é influenciada pelo fogo, vento, colonização, competição e intervenção humana.

A ecologia da paisagem baseia-se no facto de os padrões espaciais da paisagem influenciarem fortemente os processos ecológicos. A habilidade para quantificar a estrutura da paisagem é um pré-requisito para o estudo da função e mudança da paisagem. Por este motivo muito ênfase tem sido dada ao desenvolvimento de métodos que quantificam a estrutura da paisagem (O’Neill et al. 1988, Turner 1990, Turner and Gardner 1991).

Turner et al. 1989(a) dá-nos uma revisão de várias aproximações para a análise e com-

paração de padrões espaciais. Essa revisão inclui várias medidas como dimensão fractal, probabilidade de menor vizinhança, índice de contágio, orla, previsibilidade espacial e ajustamento com múltipla resolução. Posteriormente têm surgido na literatura uma grande quantidade de métricas; métricas de área, forma, contraste, contágio e diversidade.

Assim, embora a literatura esteja repleta de métricas para descrever o padrão espacial, existem no entanto apenas duas componentes – composição e configuração, e apenas poucos aspectos de cada uma delas. As métricas muitas vezes medem múltiplos aspectos desse padrão. Muitas destas métricas estão de facto correlacionadas entre si (i.e. medem aspectos similares ou idênticos do padrão da paisagem) porque existem poucas medidas primárias que podem ser extraídas das manchas (tipo de mancha, área, orla e tipo de vizinhança) e a maioria das métricas derivam destas medidas primárias. Algumas métricas são redundantes porque são formas alternativas de representar a mesma informação básica (ex. tamanho médio da mancha e densidade da mancha). Em outros casos, as métricas podem ser empiricamente redundantes; não porque medem o mesmo aspecto do padrão da paisagem, mas porque para paisagens particulares em investigação diferentes aspectos do padrão da paisagem estão estatisticamente correlacionados.

Nesta investigação pretendeu-se responder a duas questões importantes: (1) quantos factores independentes do padrão da paisagem e estrutura são medidos pelas métricas típicas da paisagem? (2) quais as métricas ou combinação de métricas são escolhidas para quantificar cada um desses factores? Partindo de um largo conjunto de métricas, calculadas para um conjunto de mapas de ocupação de solo, uma análise factorial multivariada é aplicada para identificar um conjunto de factores independentes.

2 Materiais e Métodos

2.1 Mapas

Foram seleccionados e rasterizados 50 mapas de ocupação do solo de Portugal Continental cedidos no formato vectorial pelo Centro Nacional de Informação Geográfico (CNIG). Através do programa IDRISI os mapas foram transformados para formato ASCII (de forma a ser aceite pelo FRAGSTATS). A selecção dos mapas foi feita de forma a cobrir diferentes regiões fisiográficas (figura 1, tabela 1). Cada mapa corresponde a uma área de 160 Km² numa escala de 1/25000. No formato raster os mapas têm uma extensão de 400x640 pixels (excepto o mapa 109 com uma extensão de 400x87, mapa 122 com 400x665, mapa 133 com 400x505 e mapa 143 com 400x507) com um tamanho de grão de 25m. Cada pixel é classificado como uma das 69 classes definidas (tabela 2).

2.2 Métricas da paisagem

2.2.1 Níveis

As manchas formam a base de mapas categóricos. Dependendo do método para obter as manchas eles podem ser composicionalmente caracterizados em termos das variáveis medidas no interior delas. Isso pode incluir valor médio (ou moda, central ou max) e heterogeneidade

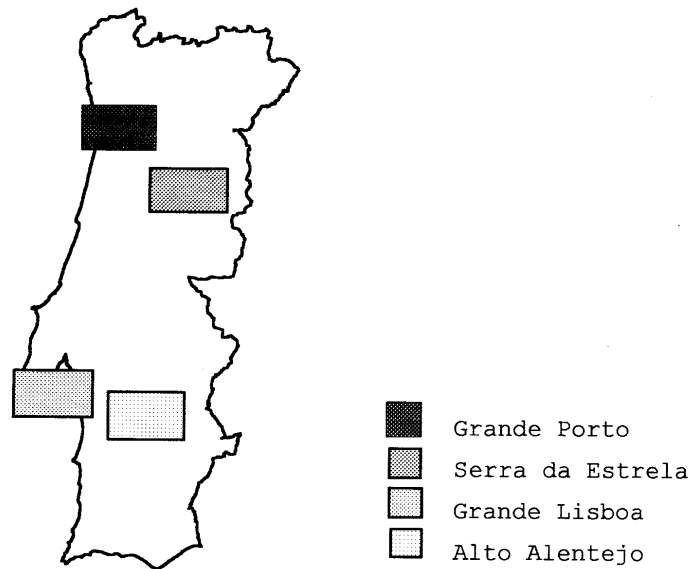


Figura 1: Representação de Portugal Continental e das zonas seleccionadas no estudo.

Tabela 1: Enumeração dos mapas por zonas do país.

Zonas do país			
Grande Porto	Serra da Estrela	Grande Lisboa	Alto Alentejo
109	211	404	456
110	212	417	457
111	213	418	458
112	222	419	459
113	223	429	460
122	224	432	467
123	225	433	468
124	233	441	469
125	234	442	470
133	235	453	471
134	236	454	
135		455	
136		464	
143		466	
144			

Tabela 2: Classes de ocupação de solo para Portugal Continental.

1	Áreas artificiais	
	11	Espaço Urbano
	111	Tecido Urbano contínuo
	112	Tecido Urbano descontínuo
	113	Outros espaços fora do tecido urbano consolidado
	12	Infraestruturas e Equipamentos
	121	Zonas industriais e comerciais
	122	Vias de comunicação
	123	Zonas portuárias
	124	Aeroportos
	125	Outras infraestruturas e equipamentos
	13	Improdutivos
	131	Pedreiras, saibreiras, minas a céu aberto
	132	Lixeiros, descargas industriais e depósitos de sucata
	133	Estaleiros de construção civil
	134	Outras áreas degradadas
	14	Espaços verdes artificiais
	141	Espaços verdes urbanos (florestais)
	142	Espaços verdes (não florestais) para actividades desportivas e de lazer
2	Áreas agrícolas	
	21	Terras aráveis - Culturas anuais
	211	Sequeiro
	212	Regadio
	213	Arrozais
	214	Outros (estufas, viveiros, etc)
	22	Culturas permanentes
	221	Vinha
	222	Vinha + Pomar
	223	Vinha + Olival
	224	Vinha + Cultura anual
	23	Pomar
	231	Citrinos
	232	Pomoideas
	233	Prumoideas (sem a amendoeira)
	234	Amendoeiras
	235	Figueiras
	236	Alfarrobeiras
	237	Outros pomares
	238	Mistos de pomares
	239	Olival
	24	Outras arbustivas
	241	Medronheiro
	242	Outras arbustivas
	25	Prados permanentes
	251	Prados e lameiros
	26	Áreas agrícolas heterogéneas
	261	Culturas anuais + Vinha
	262	Culturas anuais + Pomar
	263	Culturas anuais + Olival
	264	Sistemas culturais e parcelares complexos
	265	Áreas principalmente agrícolas c/espacos naturais importantes
	27	Territórios agro - florestais
	271	Culturas anuais + Espécie florestal
	272	Espécie florestal + Culturas anuais

Tabela 2: Continuação.

3	Floresta	
	31	Folhosas
	311	Sobreiro
	312	Azinheira
	313	Castanheiro bravo
	314	Castanheiro manso
	315	Carvalho
	316	Eucalipto
	317	Outras folhosas
	32	Resinosas
	321	Pinheiro bravo
	322	Pinheiro manso
	323	Outras resinosas
4	Meios semi-naturais	
	41	Ocupação arbustiva e herbácea
	411	Pastagens naturais pobres
	412	Vegetação arbustiva baixa-matos
	413	Vegetação esclerofítica-carrascal
	414	Vegetação arbustiva alta e floresta degradada ou de transição
	415	Áreas descobertas sem ou com pouca vegetação
	416	Olival Abandonado
	417	Praia, dunas, areais e solos sem cobertura vegetal
	418	Rocha nua
	419	Zonas incendiadas recentemente
5	Meios aquáticos	
	51	Zonas húmidas continentais
	511	Zonas pantanosas interiores e paúls
	52	Zonas húmidas marinhas
	521	Sapais
	522	Salinas
	523	Zonas interditaís
6	Superfícies com água	
	61	Áreas continentais
	611	Cursos de água
	612	Lagoas e albufeiras
	62	Águas marítimas
	621	Lagunas e cordões litorais
	622	Estuários
	623	Mar e Oceano

interna (variância, intervalo).

No entanto, em muitas aplicações, assim que as manchas são estabelecidas, a heterogeneidade do interior das manchas é ignorado. As métricas de padrões da paisagem em vez disso focam-se na distribuição espacial das manchas. Enquanto que manchas individuais possuem relativamente poucas características espaciais (ex. área, perímetro e forma), coleções de manchas podem ter uma variedade de propriedades agregadas. Estas propriedades dependem se a agregação é em relação a uma simples classe (tipo de mancha) ou múltiplas classes, e se a agregação é no interior de uma subregião da paisagem ou ao longo da paisagem.

Comummente, métricas da paisagem podem ser definidas em três níveis:

1. Métricas ao nível da mancha são definidas para manchas individuais e caracterizam a configuração espacial e o contexto das manchas. Em muitas aplicações, estas métricas da paisagem servem primeiramente como base computacional para outras métricas da paisagem. Algumas vezes as métricas de mancha podem ser importantes e informativos em investigações ao nível da paisagem.
2. Métricas ao nível da classe são integradas em relação a todas as manchas de um dado tipo. Essas métricas podem ser obtidas por média simples ou média pesada que tenha em conta a área da mancha. Existem propriedades adicionais ao nível da classe que resulta da configuração única das manchas ao longo da paisagem. Em muitas aplicações o interesse principal é a quantidade e distribuição de um tipo particular de mancha.

(3) Métricas ao nível da paisagem são integradas em relação a todos os tipos de mancha ou classes em relação a toda a paisagem. Como as métricas de classe, estas métricas podem ser obtidas por simples média ou média pesada ou podem reflectir propriedades do padrão. Em muitas aplicações, o primeiro interesse é o padrão (i.e. composição e configuração) da paisagem total.

2.2.2 Categorias

O termo “métricas da paisagem” refere-se exclusivamente a índices desenvolvidos para padrões de mapas categóricos. Métricas da paisagem são algoritmos que quantificam características espaciais específicas de manchas, classes de manchas, ou inteiro mosaico da paisagem.

Estas métricas definem-se em duas categorias: as que quantificam a composição do mapa sem referência aos atributos espaciais, ou as que quantificam a configuração espacial do mapa, requerendo informação espacial para os seus cálculos (McGarigal et al. 1995, Gustafson 1998).

A **composição** é facilmente quantificada e refere-se a características associadas com a variedade e abundância de tipos de manchas no interior da paisagem. Porque a composição requer integração em relação a todos os tipos de manchas as métricas de composição são definidas ao nível da paisagem. Existem muitas medidas quantitativas de composição da paisagem, incluindo a proporção da paisagem em cada tipo de mancha, riqueza, uniformidade e diversidade da mancha.

As principais medidas de composição são:

- Proporção da abundância para cada classe.
- Riqueza – corresponde ao n^2 de diferentes tipos de mancha.
- Uniformidade – é abundância relativa de diferentes tipos de mancha.
- Diversidade – as medidas de diversidade tipicamente combinam duas componentes de diversidade: riqueza, que se refere ao número de classes presentes, e uniformidade, que se refere á distribuição da área entre classes. Exemplos de índices de diversidade são Shannon's (Shannon e Weaver 1949), Simpson's (Simpson 1949) e Simpson modificado (Pielou 1975). As componentes de riqueza e uniformidade também podem ser medidas independentemente (Romme 1982).
- Domínio - o domínio é o complemento de uniformidade (uniformidade = 1 - domínio), indicando a extensão em relação ao qual o mapa é dominado por uma ou poucas classes (O'Neill et al. 1988) e tem sido usado largamente na investigação ecológica.

A **configuração espacial** das propriedades do sistema é mais difícil de quantificar e tem como objectivo a descrição das características espaciais de manchas individuais ou as relações espaciais entre múltiplas manchas. Outras métricas avaliam as propriedades de vizinhança sem referência a manchas, usando apenas as representações do pixel.

As características de mancha de uma paisagem inteira são muitas vezes consideradas como um sumário estatístico (por exemplo, média, mediana, variância e distribuição da frequência) para todas as manchas da classe (Baskent and Jordan 1995). Quando a configuração de um tipo de mancha singular é de particular interesse, a análise é conduzida como mapa simples binário, onde existem apenas duas classes, a classe de interesse e as outras classes combinadas.

Os principais aspectos da configuração são:

- Tamanho da mancha e densidade – A medida mais simples de configuração é o tamanho da mancha, que representa o atributo fundamental da configuração espacial da mancha. Muitas métricas da paisagem incorporam directamente informação acerca do tamanho da mancha ou são afectadas por este.
- Complexidade da forma da mancha – A complexidade da forma relaciona-se com a geometria das manchas, se tendem a ser simples e compactas, ou irregulares e convolutas. A forma é um atributo espacial difícil de capturar numa métrica pelo número infinito de possíveis formas de mancha. Assim, as métricas de forma geralmente correspondem a um índice geral da complexidade da forma em vez de atribuir um valor para uma única forma.

As medidas mais comuns da complexidade da forma estão baseadas na quantidade de perímetro por unidade de área, usualmente indexados em termos da razão perímetro – área, como seja a dimensão fractal.

A interpretação varia de acordo com as várias métricas da forma, mas em geral, altos valores significam maior complexidade da forma.

Outros métodos têm sido propostos como raio de giração (Pickover 1990), contiguidade (LaGro 1991), índice de linearidade (Gustafson e Parker 1992), alongação e índices de deformidade (Baskent e Jordan 1995). Mas estes índices não têm sido muito usados (Gustafson 1998).

- Isolamento/Proximidade – Isolamento e proximidade refere-se á tendência para as manchas estarem relativamente isoladas no espaço em relação a outras manchas da mesma classe. Como a noção de isolamento é vaga, existem muitas medidas possíveis dependendo de como a distância é definida entre manchas da mesma classe. Se d_{ij} é a distância de menor vizinhança da mancha i a outra mancha j do mesmo tipo, então o isolamento médio das manchas pode ser sumarizado simplesmente como a distância de menor vizinhança média para todas as manchas.

Alternativamente, isolamento pode ser formulado em termos de ambos, o tamanho e a proximidade de vizinhança de manchas vizinhas, interiores a uma vizinhança local á volta de cada mancha, usando o índice de isolamento de Whitcomb et al. (1981) ou índice de proximidade de Gustafson e Parker (1992). O tamanho de vizinhança é especificado pelo utilizador e de acordo com o processo ecológico em consideração. O índice original de proximidade foi formulado para considerar apenas manchas da mesma classe no interior de uma vizinhança específica.

- Contraste – Contraste refere-se á diferença relativa entre tipos de manchas. Pode ser calculado como densidade de orla com peso de contraste, onde cada tipo de orla (i.e. entre cada par de tipos de manchas) está associado um peso de contraste.
- Contágio e difusão – Contágio refere-se á tendência de tipos de manchas estarem espacialmente agregadas. Contágio ignora as manchas per se e mede a extensão em relação á qual pixels de classes similares são agregados. A difusão, por outro lado, refere-se á mistura de manchas de diferentes tipos e é baseada inteiramente na adjacência de manchas.

Existem diferentes aproximações para medir contágio e justaposição. Um índice popular que inclui ambas dispersão e difusão é o índice de contágio baseado na probabilidade de encontrar um pixel do tipo i junto a um pixel do tipo j (Li e Reynolds 1993). Este índice aumenta de valor quando a paisagem é dominada por poucas e largas manchas (i.e. contíguas) e diminui de valor quando aumenta a subdivisão e difusão de tipos de manchas. Este índice sumariza a agregação de todas as classes e providencia uma medida de agrupamento geral de toda a paisagem.

2.3 Fragstats

Fragstats é um programa de análise de padrões espaciais para mapas categóricos elaborado por Kevin McGarigal e Barbara Marks da Universidade de Oregon. Trata-se, na versão raster, de um programa em C, que aceita ficheiros de imagens ASCII, ficheiros de imagens de 8 e 16 bits, ficheiros Arc/Info, ficheiros de imagens Erdas e ficheiros de imagens IDRISI. O tipo de paisagem a analisar é definido pelo utilizador e pode ser qualquer fenómeno espacial. O Fragstats quantifica a composição e configuração espacial das manchas no interior da paisagem.

As métricas do Fragstats são definidas como:

- Métricas de área/densidade/orla
- Métricas de forma
- Métricas da área do núcleo
- Métricas de proximidade e isolamento
- Métricas de contraste
- Métricas de contágio/difusão
- Métricas de diversidade

No interior de cada um destes grupos as métricas são agrupadas por mancha, classe e paisagem (Tabela 3). A fórmula matemática de cada uma das métricas é descrita no Apêndice 1.

Neste estudo foram seleccionadas 33 métricas (tabela 4) por serem consideradas as mais representativas e estarem disponíveis na versão FRAGSTATS 3.0.

Ao nível da **classe** existem dois tipos básicos de métricas: (1) índices que caracterizam a quantidade e configuração espacial da classe (2) parâmetros estatísticos (providenciam estatísticas sumárias das métricas da mancha para a classe em questão). Esses parâmetros estatísticos definidos para todas as métricas da mancha ao nível da classe, são, a média – MN, média da área pesada – AMN, mediana – MD, intervalo – RA, desvio padrão – SD.

Ao nível da **paisagem** podemos também definir os mesmos parâmetros estatísticos relativos a uma dada métrica.

2.4 Análise factorial

Pretendeu-se efectuar a análise de dados resultantes do cálculo das métricas apresentadas na tabela 4 para os 50 mapas, para isso, foi necessário recorrer a técnicas de tratamento de dados que sintetizam a informação de partida. Essas técnicas, cujo o objectivo é puramente descritivo, permitindo visualizar, num espaço de dimensão reduzida (compatível com a interpretação), os dados de partida, pertencem à família dos métodos factoriais de análise de dados. Estes métodos dizem-se factoriais porque extraem, dos dados de partida, as características estruturais essenciais, designadas por factores (Morrison, 1990).

De entre as técnicas factoriais da análise de dados foi usada a análise em componentes principais. A análise em componentes principais foi a primeira que, historicamente, se baseou num tratamento matemático rigoroso (principio dos anos 30). Do facto, após trabalhos de diferentes investigadores no domínio da psicologia quantitativa (em que se pretendia encontrar os “factores latentes” – tais como “inteligência”, “imaginação”, “criatividade” – subjacentes aos resultados de uma bateria de testes incidindo sobre um conjunto de indivíduos), Hotelling formulou a solução do problema, a partir de uma matriz de similitude ou de distância que relaciona entre si os resultados dos diferentes testes.

Tabela 3: Métricas definidas em FRAGSTATS 3.0.

Métricas de área, densidade e orla	
<i>Métricas de mancha</i>	
M1	Área da mancha (AREA)
M2	Perímetro da mancha (PERIM)
M3	Raio de giração (GYRATE)
<i>Métricas de classe</i>	
C1	Área total (CA)
C2	Percentagem da paisagem (PLAND)
C3	Numero de manchas (NP)
C4	Densidade da mancha (PD)
C5	Orla total (TE)
C6	Densidade da orla (ED)
C7	Índice da forma da paisagem (LSI)
C8	Índice da maior mancha (LPI)
C9-C14	Parâmetros da área da mancha (AREA-MN,-AMN,-MD,-RA,-SD,-CV)
C15-C20	Parâmetros do raio de giração (GYRATE-MN,-AMN,-MD,-RA,-SD,-CV)
<i>Métricas de paisagem</i>	
P1	Área total (TA)
P2	Número de manchas (NP)
P3	Densidade da mancha (PD)
P4	Orla total (TE)
P5	Densidade da orla (ED)
P6	Índice da forma da paisagem (LSI)
P7	Índice da mancha mais larga (LPI)
P8-P13	Parâmetros da área da mancha (AREA-MN,-AMN,-MD,-RA,-SD,-CV)
P14-P19	Parâmetros do raio de giração (GYRATE-MN,-AMN,-MD,-RA,-SD,-CV)
Métricas de forma	
<i>Métricas de mancha</i>	
M4	Razão perímetro-área (PARATIO)
M5	Índice da forma (SHAPE)
M6	Dimensão fractal (FRACT)
<i>Métricas de classe</i>	
C21	Dimensão fractal perímetro-área (PAFRAC)
C22-C27	Parâmetros razão perímetro-área (PARATIO-MN,-AMN,-MD,-RA,-SD,-CV)
C28-C33	Parâmetros do índice de forma (SHAPE-MN,-AMN,-MD,-RA,-SD,-CV)
C33-C38	Parâmetros da dimensão fractal (FRACT-MN,-AMN,-MD,-RA,-SD,-CV)
<i>Métricas de paisagem</i>	
P20	Dimensão fractal perímetro-área (PAFRAC)
P21-P26	Parâmetros razão perímetro-área (PARATIO-MN,-AMN,-MD,-RA,-SD,-CV)
P26-P31	Parâmetros do índice de forma (SHAPE-MN,-AMN,-MD,-RA,-SD,-CV)
P31-P36	Parâmetros da dimensão fractal (FRACT-MN,-AMN,-MD,-RA,-SD,-CV)

Tabela 3: Continuação.

Métricas de área do núcleo	
Métricas de mancha	
M7	Área do núcleo (CORE)
M8	Número de áreas do núcleo (NCA)
M9	Índice de área do núcleo (CAI)
Métricas de classe	
C39	Área total do núcleo (TCA)
C40	Percentagem da área do núcleo relativamente á paisagem (CPLAND)
C41	Número de áreas do núcleo disjuntas (NDCA)
C42	Densidade de áreas do núcleo disjuntas (DCAD)
C43-C48	Parâmetros das áreas do núcleo (CORE-MN,-AMN,-MD,-RA,-SD,-CV)
C49-C54	Parâmetros das áreas do núcleo disjuntas(DCORE-MN,-AMN,-MD,-RA,-SD,-CV)
C55-C60	Parâmetros áreas do núcleo (CAI-MN,-AMN,-MD,-RA,-SD,-CV)
<i>Métricas de paisagem</i>	
P37	Área total do núcleo (TCA)
P38	Número de áreas do núcleo disjuntas (NDCA)
P39	Densidade de áreas do núcleo disjuntas (DCAD)
P40-P45	Parâmetros das áreas do núcleo(CORE-MN,-AMN,-MD,-RA,-SD,-CV)
P46-P51	Parâmetros das áreas do núcleo disjuntas (DCORE-MN,-AMN,-MD,-RA,-SD,-CV)
P52-P57	Parâmetros áreas do núcleo (CAI-MN,-AMN,-MD,-RA,-SD,-CV)
Métricas de isolamento e proximidade	
Métricas de mancha	
M10	Índice de proximidade (PROXIM)
M11	Índice de similaridade (SIMILAR)
M12	Distancia euclidean de menor vizinhança (ENN)
<i>Métricas da classe</i>	
C61-C66	Parâmetros do índice de proximidade (PROXIM-MN,-AMN,-MD,-RA,-SD,-CV)
C67-C72	Parâmetros do índice de similaridade (SIMILAR-MN,-AMN,-MD,-RA,-SD,-CV)
C73-C78	Parâmetros do índice de dist. euclidean (ENN-MN,-AMN,-MD,-RA,-SD,-CV)
<i>Métricas da paisagem</i>	
P58-P63	Parâmetros do índice de proximidade (PROXIM-MN,-AMN,-MD,-RA,-SD,-CV)
P64-P69	Parâmetros do índice de similaridade (SIMILAR-MN,-AMN,-MD,-RA,-SD,-CV)
P70-P75	Parâmetros do índice de dist. euclidean (ENN-MN,-AMN,-MD,-RA,-SD,-CV)
Métricas de contraste	
<i>Métricas da mancha</i>	
M13	Índice do contraste da orla (EDGECON)
<i>Métricas da classe</i>	
C79	Densidade da orla com peso do contraste (CWED)
C80	Índice do contraste da orla total (TECI)
C81-C86	Parâmetros do índice do contraste da orla (EDGECON-MN,-AMN,-MD,-RA,-SD,-CV)

Tabela 3: Continuação.

<i>Métricas da paisagem</i>	
P76	Densidade da orla com peso do contraste (CWED)
P77	Índice do contraste da orla total (TECI)
P78-P83	Parâmetros do índice do contraste da orla (EDGECON-MN,-AMN,-MD,-RA,-SD,-CV)
Métricas de contágio e difusão	
<i>Métricas da classe</i>	
C87	Contágio (CONTAG)
C88	Porcentagem de adjacências semelhantes (PLADJ)
C89	Índice de difusão e justaposição (IJI)
<i>Métricas da paisagem</i>	
P84	Contágio (CONTAG)
P85	Porcentagem de adjacências semelhantes (PLADJ)
P86	Índice de difusão e justaposição (IJI)
Métricas de diversidade	
<i>Métricas de paisagem</i>	
P87	Riqueza das manchas (PR)
P88	Densidade da riqueza das manchas (PRD)
P89	Riqueza relativa das manchas (RPR)
P90	Índice de diversidade de Shannon's (SHDI)
P91	Índice de diversidade de Simpson's (SIDI)
P92	Índice de diversidade modificado de Simpson's (MSIDI)
P93	Índice de uniformidade de Shannon's (SHEI)
P94	Índice de uniformidade de Simpson's (SIEI)
P95	Índice de uniformidade modificado de Simpson's (MSIEI)

Tabela 4: Métricas seleccionadas no estudo para análise de paisagens.

P8	AREA_MN	Média da área das manchas
P52	CALMN	Média das áreas do núcleo
P84	CONTAG	Contágio
P40	CORE_MN	Média das áreas do núcleo
P39	DCAD	Densidade de áreas do núcleo disjuntas
P46	DCORE_MN	Média das áreas de núcleo disjuntas
P5	ED	Densidade da orla
P70	ENN_MN	Média do índice distância euclideana
P31	FRACT_MN	Média da dimensão fractal
P14	GYRATE_MN	Média do raio de giração
P86	IJI	Índice de difusão e justaposição
P7	LPI	Índice da mancha mais larga
P6	LSI	Índice da forma da paisagem
P92	MSIDI	Índice de diversidade modificado de Simpson's
P95	MSIEI	Índice de uniformidade modificado de Simpson's
P38	NDCA	Número de áreas do núcleo disjuntas
P2	NP	Número de manchas
P20	PAFRAC	Dimensão fractal perímetro-área
P21	PARATIO_MN	Média da razão perímetro-área
P3	PD	Densidade da mancha
P85	PLADJ	Percentagem de adjacências semelhantes
P87	PR	Riqueza das manchas
P88	PRD	Densidade da riqueza das manchas
P58	PROXIM_MN	Média do índice de proximidade
P89	RPR	Riqueza relativa das manchas
P26	SHAPE_MN	Média do índice de forma
P90	SHDI	Índice de diversidade de Shannon's
P93	SHEI	Índice de uniformidade de Shannon's
P91	SIDI	Índice de diversidade de Simpson's
P94	SIEI	Índice de uniformidade de Simpson's
P1	TA	Área total
P37	TCA	Área total do núcleo
P4	TE	Orla total

Tabela 5: Estatísticas descritivas para 33 métricas seleccionadas a partir de 50 mapas.

Variável	Média	Desvio Padrão	Coef. Var %
AREA_MN	22.096	17.245	78.0
CALMN	11.699	6.283	53.7
CONTAG	60.206	6.302	10.4
CORE_MN	12.532	13.781	109.6
DCAD	5.938	2.456	41.3
DCORE_MN	11.871	12.206	102.8
ED	84.357	32.628	38.6
ENN_MN	424.540	179.511	42.2
FRACT_MN	1.104	.007	0.6
GYRATE_MN	151.904	47.480	31.2
IJI	62.422	5.200	8.3
LPI	16.721	13.634	81.5
LSI	26.398	10.408	39.4
MSIDI	1.723	.425	24.6
MSIEI	.520	.117	22.5
NDCA	835.7	403.380	48.2
NP	1055.22	752.990	71.3
PAFRAC	1.369	.012	0.8
PARATIO_MN	416.757	63.672	15.2
PD	7.444	5.022	67.4
PLADJ	89.409	4.094	4.5
PR	27.900	5.940	21.2
PRD	.286	.513	179.3
PROXIM_MN	197.832	273.473	138.2
RPR	40.435	8.608	21.2
SHAPE_MN	1.901	.104	5.4
SHDI	2.109	.364	17.2
SHEI	.636	.091	14.3
SIDI	.805	.084	10.4
SIEI	.836	.084	10.0
TA	14509.910	3552.672	24.4
TCA	6815.170	3003.120	44.0
TE	1202146	550616.3	45.8

Para ajudar a interpretar os factores obtidos é comum usar-se métodos que procedem á “rotação” dos eixos seleccionados. Vários métodos têm sido propostos para este propósito, um dos métodos convenientes é o varimax; foi este o método escolhido neste estudo. Os factores sofrem rotação de forma a maximizar a soma do quadrado das variâncias das quantidades no interior de cada coluna da matriz de rotação. O propósito é o de produzir valores grandes ou pequenos e evitar valores intermédios (Kendall, 1980).

3 Resultados e Discussão

São apresentadas estatísticas descritivas para as 33 métricas na tabela 5. Os coeficientes de correlação para todos os pares são apresentados na tabela 6. Muitas destas métricas usadas para

Tabela 6: Matriz de correlação (coeficientes de correlação de Pearson) para as 33 métricas seleccionadas.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32						
1 AREA_MN	1.00																																					
2 CAI_MN	.83	1.00																																				
3 CONTAG	.72	.48	1.00																																			
4 CORE_MN	.99	.77	.72	1.00																																		
5 DCCAD	-.86	-.69	-.87	-.84	1.00																																	
6 DCORE_MN	-.85	.66	.74	.98	-.84	1.00																																
7 ED	-.86	-.84	-.74	-.82	-.92	-.79	1.00																															
8 ENN_MN	-.88	.88	.59	.86	-.76	.79	-.83	1.00																														
9 FRAC_MN	-.10	.03	-.15	-.17	.12	-.22	-.03	-.09	1.00																													
10 GYRATE_MN	-.89	.96	.52	.83	-.73	.74	-.86	.89	.18	1.00																												
11 IUI	-.26	.00	-.58	-.28	.27	-.28	.07	-.05	.21	-.03	1.00																											
12 LPI	.68	.44	.75	.70	.78	.73	-.74	-.58	-.11	.50	-.14	1.00																										
13 LSI	-.75	-.77	-.51	-.71	.76	-.68	.86	-.68	-.22	-.81	-.02	-.65	1.00																									
14 MSIDI	-.52	-.24	-.89	-.93	.69	-.56	.49	.33	.07	.31	.63	-.69	.42	1.00																								
15 MSIEI	-.53	-.23	-.93	-.54	.71	-.58	.51	-.40	.17	-.30	.60	-.69	.32	.96	1.00																							
16 NDCA	-.69	-.62	-.49	-.66	.72	-.64	.73	-.57	-.21	.69	.06	-.63	.94	.50	.37	1.00																						
17 NP	-.69	-.79	-.44	-.63	.70	-.57	.86	-.68	-.31	-.82	-.10	-.57	.96	.29	.22	.86	1.00																					
18 PAFRAC	-.75	-.92	-.42	-.72	.62	-.63	.75	-.82	.33	-.80	-.01	-.41	.62	.16	.19	.45	.62	1.00																				
19 PAFRATIO_MN	-.63	-.92	-.25	-.56	.46	-.44	.71	-.76	-.11	-.86	-.19	-.28	.64	.01	.01	.44	.72	.88	1.00																			
20 PD	-.76	-.83	-.62	-.70	.81	-.65	.86	-.78	-.20	.85	-.02	-.62	.84	.36	.37	.66	.90	.70	.76	1.00																		
21 PLADJ	-.86	.84	.74	.82	-.92	.79	-.10	.83	.03	.85	-.07	.74	-.86	-.49	-.52	-.72	-.86	-.75	-.71	-.96	1.00																	
22 PR	-.22	-.14	-.26	-.21	.23	-.18	.15	.03	-.20	-.16	.39	-.24	.40	.52	-.25	.48	.29	.02	.03	.12	-.15	1.00																
23 PRD	-.13	.04	-.36	-.15	.27	-.16	.09	-.18	.48	.06	.27	-.08	.30	.17	.37	-.35	-.24	.12	-.10	.04	-.10	-.32	1.00															
24 PROXIM_MN	-.42	.22	.65	.40	-.56	.40	-.49	.29	.01	.24	-.42	.70	-.40	-.62	-.62	-.40	-.36	-.17	-.09	-.43	.49	-.30	-.16	1.00														
25 RPR	-.22	-.14	-.26	-.20	.23	-.18	.15	.03	-.20	-.16	.39	-.24	.39	.52	.25	.48	.29	.02	.03	.12	-.15	1.00	-.32	-.30	1.00													
26 SHAPE_MN	.33	.51	.15	.24	-.27	.14	-.46	-.37	.86	.63	.14	.15	-.56	-.09	-.02	.49	-.67	-.16	-.53	-.60	.45	-.19	.34	.16	-.20	1.00												
27 SEDI	-.48	-.21	-.84	-.49	.61	-.51	.43	-.24	.04	-.26	.73	-.59	.39	.96	.86	.47	.26	.12	-.02	.31	-.43	.67	.12	-.60	.67	-.09	1.00											
28 SEHI	-.50	-.20	-.94	-.52	.67	-.56	.46	-.33	.18	-.25	.73	-.61	.25	.94	.97	.30	.16	.16	-.04	.33	-.47	.33	.40	-.61	.33	.01	.91	1.00										
29 SIDI	-.55	-.29	-.91	-.56	.72	-.59	.56	-.40	.06	.35	.53	-.77	.47	.97	.95	.53	.36	.21	.07	.43	-.56	.45	.18	-.69	.45	-.13	.91	.92	1.00									
30 SIEI	-.55	-.28	-.92	-.56	.73	-.60	.56	-.42	.09	.35	.53	-.77	.44	.96	.97	.49	.33	.22	.06	.43	-.57	.37	.23	-.68	.37	-.11	.89	.93	.99	1.00								
31 TA	.16	.04	.45	.18	-.30	.20	-.19	.18	-.45	-.01	-.27	.14	.31	-.22	-.41	.44	.28	-.19	.01	.14	.20	.33	-.77	.19	.33	-.33	-.17	-.46	-.21	-.27	1.00							
32 TCA	.79	.64	.85	.76	-.91	.78	-.87	.72	-.26	.64	-.25	.71	-.54	-.58	-.68	-.42	-.52	-.65	-.47	-.77	.87	-.03	.46	.52	-.03	.12	-.51	-.66	-.63	-.65	.62	1.00						
33 TE	-.67	-.71	-.38	-.62	.64	-.58	.76	-.62	-.27	.75	-.09	-.58	.97	.32	.20	.95	.56	.61	.75	-.76	.38	-.38	-.33	.38	-.58	.29	.13	.38	.48	.48	-.38	-.38	-.38	-.38	-.38	-.38		

Tabela 7: Resultados da aplicação do método de componentes principais e uso da rotação varimax.

EIXO	1	2	3	4	5
VALOR PROPRIO	17.081	6.221	4.040	1.564	1.187
INERCIA ACUMULADA	51.760	70.611	82.853	87.594	91.191
AREA_MN	.859	-.390	-.028	-.113	-.099
CALMN	.966	-.039	-.014	-.114	.103
CONTAG	.450	-.859	.182	-.094	-.010
CORE_MN	.815	-.415	-.029	-.102	-.185
DCAD	-.713	.646	-.027	-.040	.041
DCORE_MN	.734	-.482	-.063	-.040	-.261
ED	-.862	.432	-.090	-.112	-.119
ENN_MN	.903	-.215	-.065	.080	-.021
FRACT_MN	-.057	.075	-.279	-.045	.927
GYRATE_MN	.941	-.125	-.059	-.096	.215
IJI	.063	.550	-.317	.578	.115
LPI	.456	-.735	-.279	.194	-.116
LSI	-.759	.299	.535	.053	-.154
MSIDI	-.159	.918	.0241	.300	.007
MSIEI	-.181	.935	-.168	.084	-.048
NDCA	-.595	.375	.651	.128	-.092
NP	-.785	.193	.439	-.022	-.306
PAFRAC	-.924	-.025	.087	.064	.228
PARATIO_MN	-.899	-.188	-.015	.050	-.199
PD	-.844	.309	.0695	-.136	-.310
PLADJ	.861	-.437	-.081	.113	.115
PR	-.037	.311	.398	.796	-.088
PRD	-.045	.291	-.732	-.205	.249
PROXIM_MN	.169	-.737	-.093	.031	.0859
RPR	-.037	.311	.398	.796	-.088
SHAPE_MN	.420	-.097	-.208	-.051	.866
SHDI	-.116	.855	-.0234	.494	-.008
SHEI	-.141	.917	-.251	.220	.050
SIDI	-.210	.935	-.0622	.170	-.010
SIEI	-.214	.943	.006	.110	.003
TA	.102	-.323	.841	.200	-.188
TCA	.691	-.585	.280	.146	-.101
TE	-.699	.195	.639	.047	-.172

Tabela 8: O valor dos factores associados a cada mapa.

Mapas	Factores				
	1	2	3	4	5
109	-2.26	5.05	-.37	-.24	1.63
110	-4.60	5.77	2.41	2.67	.64
111	-3.04	4.42	1.91	2.51	.82
112	-4.70	5.81	2.42	2.61	.66
113	-3.11	5.23	1.86	2.61	1.01
122	-3.32	5.48	1.76	2.95	.85
123	-2.91	5.00	1.79	2.71	.94
124	-2.51	4.73	1.77	2.55	1.02
125	-2.42	5.23	1.77	2.75	1.09
133	-5.46	6.03	1.95	2.43	.51
134	-3.27	4.31	1.97	2.57	.76
135	-4.16	5.40	2.23	2.72	.69
136	-3.14	5.09	1.98	2.71	.92
143	-3.57	4.86	1.48	2.40	.86
144	-2.19	3.33	1.62	2.27	.90
211	-4.12	4.91	2.27	2.56	.73
212	-3.53	4.77	2.14	2.89	.76
213	-.58	3.34	1.34	2.62	1.21
222	-4.13	4.84	2.33	2.56	.69
223	1.25	.89	.83	2.06	1.28
224	0.04	3.57	1.24	2.73	1.32
225	-2.50	5.05	1.97	2.82	1.07
233	.07	1.33	.92	2.16	1.11
234	.51	1.18	1.10	2.15	1.28
235	-2.30	4.67	1.84	2.97	.96
236	-2.04	4.65	1.74	2.83	1.04
404	1.43	1.54	1.18	2.92	1.15
417	-2.07	5.69	1.87	3.51	1.04
418	3.56	1.31	.72	2.61	1.05
419	1.97	1.21	.84	2.43	1.24
429	-1.36	5.57	-.35	2.52	1.72
432	-.01	4.41	1.44	3.35	1.21
433	.50	3.56	1.20	2.72	1.25
441	-.71	5.42	-1.68	1.74	2.24
442	-1.17	5.06	1.46	3.17	1.21
453	.74	2.18	.72	2.43	1.42
454	-2.53	6.36	1.76	3.45	1.18
455	-.69	5.45	1.31	3.31	1.31
456	1.83	1.53	.90	2.19	1.37
457	.12	3.15	1.22	2.37	1.33
458	-.24	3.31	1.38	2.30	1.32
459	-.14	3.66	1.23	2.60	1.33
460	1.79	.32	.82	2.51	1.18
464	-.16	4.58	.60	2.68	1.67
466	5.02	.51	.41	2.32	1.15
467	2.08	1.97	.94	2.28	1.41
468	1.04	3.25	1.02	2.50	1.41
469	1.56	2.64	1.08	2.26	1.40
470	3.02	.27	.69	1.93	1.31
471	3.62	.15	.73	1.83	1.22

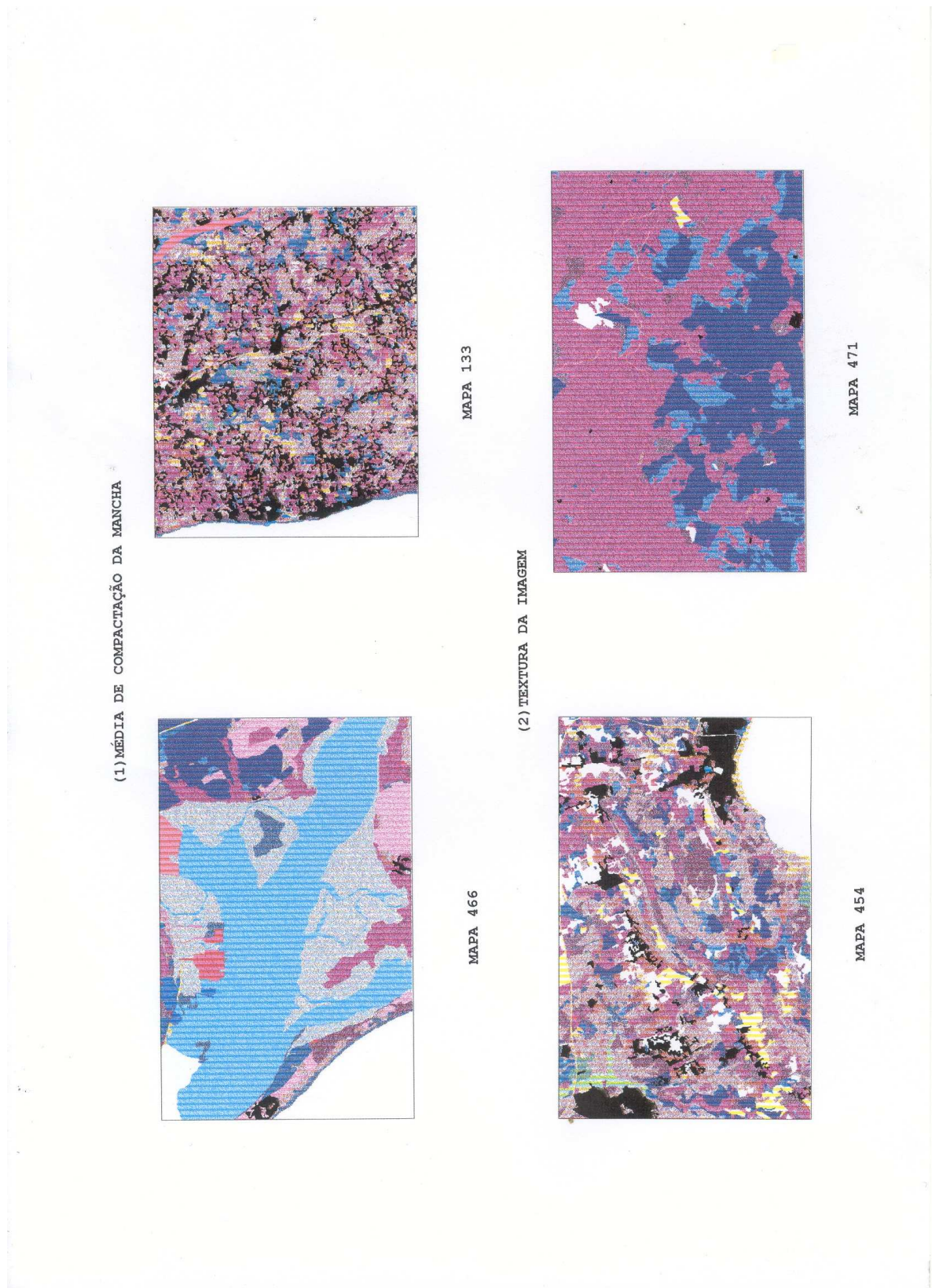
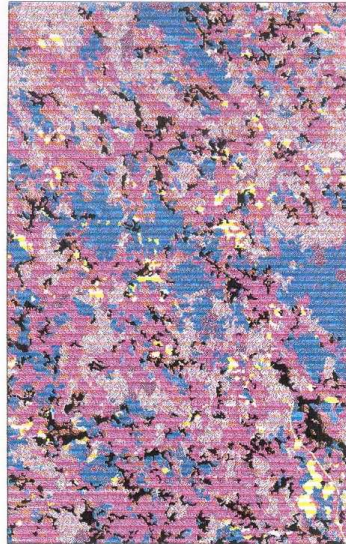
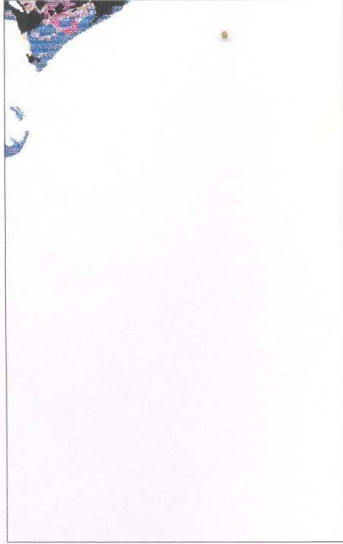


Figura 2: Representação dos mapas com o valor mais elevado e mais baixo de factores relativamente a cada um dos eixos (Tabela 8).

(3) ÁREA DA PAISAGEM

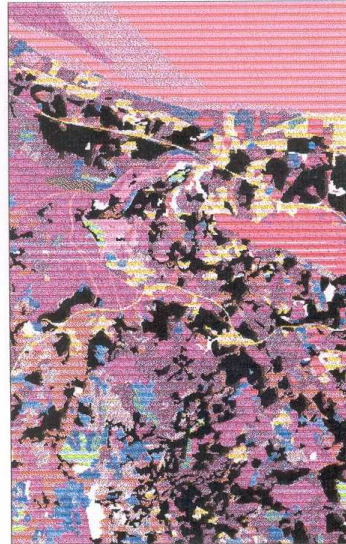


MAPA 112

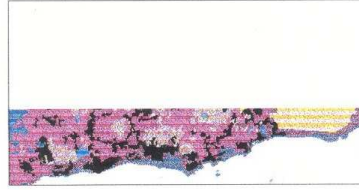


MAPA 441

(4) N° DE CLASSES



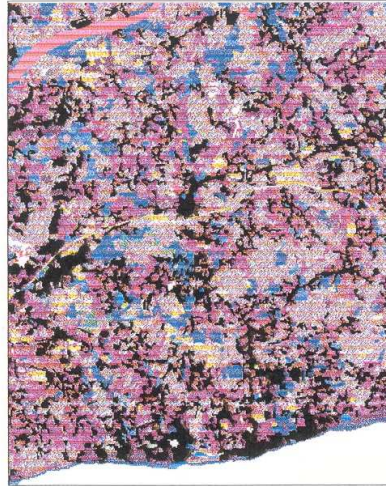
MAPA 417



MAPA 109

Figura 2: Continuação.

(5) MEDIDAS FRACTAIS ÁREA - PERÍMETRO



MAPA 133



MAPA 468

Figura 2: Continuação.

quantificar a heterogeneidade espacial estão correlacionadas e exibem interação estatística entre si o que sugere que uma aproximação factorial multivariada de redução de dados pode conduzir a resultados úteis.

Após a factorização da matriz de correlação pelo método das componentes principais, os primeiros cinco factores explicam 91.2% da variação para as 33 métricas da paisagem (tabela 7). A tabela 7 apresenta os pesos de cada métrica para cada um dos cinco factores após a rotação varimax. O primeiro factor apresenta valores elevados para as métricas AREA_MN, CALMN, CORE_MN, DCAD, DCORE_MN, ED, ENN_MN, GYRATE_MN, LSI, NP, PAFRAC, PARATIO_MN, PD, PLADJ, TCA, TE. O segundo factor apresenta valores elevados para CONTAG, LPI, MSIDI, MSIEI, PROXIM_MN, SHDI, SHEI, SIDI, SIEI. Para o terceiro factor as métricas associadas são NDCA, PRD, TA. Para o quarto factor temos as métricas IJI, PR, RPR. E finalmente para o quinto factor as métricas com maior valor são FRACT_MN e SHAPE_MN.

As dimensões existentes podem ser interpretadas pela análise da correspondência entre as várias métricas e os eixos factoriais. O primeiro eixo é designado por média da compactação da mancha porque está relacionado com medidas compactação da mancha. O segundo eixo está relacionado com distribuição dos pixels e adjacência; estas métricas parecem medir a textura da imagem. O terceiro eixo está correlacionado com a área da paisagem. O quarto eixo está correlacionado com o número de classes. O quinto eixo está correlacionado com medidas fractais, área – perímetro.

Dez mapas que representam extremos relativamente a cada um dos factores são apresentados na figura 2. A escolha dos mapas foi realizada a partir da análise da tabela 8 que representa o peso de cada mapa relativamente a cada um dos factores. A figura 2 providencia uma impressão visual dos tipos de padrão e estrutura correspondentes aos vários factores. Os mapas 466 e 133 têm pesos altos e opostos relativamente ao primeiro eixo e mostram diferenciação na média de compactação das manchas. Os mapas 454 e 471 ilustram diferenças na textura da imagem. Os mapas 112 e 441 têm diferenças na área da paisagem. Os mapas 417 e 109 têm diferença no número de classes. Os mapas 468 e 133 têm diferenças nas medidas fractais área – perímetro.

A análise multivariada pode resultar na transformação de um conjunto de métricas que combinam múltiplos componentes do padrão num valor singular de forma a reduzir o número de variáveis. Neste caso pode conduzir á substituição das 33 métricas por 5 métricas. A escolha das métricas é realizada considerando os valores mais altos para cada um dos factores (tabela 7). Assim as métricas representativas de cada um dos factores são: índice de área do núcleo (CALMN), índice de uniformidade de Simpson's (SIEI), área total (TA), riqueza das manchas (PR) e dimensão fractal (FRACT_MN), respectivamente.

4 Conclusão

A solução proposta é a de descrever os factores fundamentais do padrão espacial que são independentes e extrair um conjunto de índices para medir esses factores. Foi realizada uma análise factorial de 33 índices do padrão espacial para 50 mapas de ocupação do solo e foram identificados cinco factores independentes que podem ser interpretados como (a) média da compactação da mancha (b) textura da imagem (c) área da paisagem (d) número de classes

(e) medidas fractais perímetro – área. O padrão factorial sugere que os cinco factores podem ser adequadamente representados por cinco métricas univariadas: índice de área do núcleo (CALMN), índice de uniformidade de Simpson's (SIEI), área total (TA), riqueza das manchas (PR) e dimensão fractal (FRACT_MN).

É provável que outros factores possam ser identificados se considerarmos mapas da paisagem em diferentes escalas (número de classes atribuídas, tamanho do grão e extensão do mapa), se considerarmos diferentes métricas adicionais que não estão relacionadas com as métricas aqui estudadas, ou ainda, se considerarmos diferentes conjuntos de mapas. Estas observações salientam o uso da análise factorial como uma ferramenta descritiva. Não podemos inferir a partir de uma simples análise factorial todos os factores do padrão da paisagem; no entanto, a experiência do uso da análise factorial em outros trabalhos, tais como, Riitters 1995 e Rogers 1993, aplicados a diferentes mapas e métricas, sugerem resultados semelhantes. Assim o grau de confiança no uso destes resultados é maior.

5 Bibliografia

- Baskent EZ, Jordan GA, 1995, Characterizing spatial structure of forest landscapes. *Can J For Res* 25:1830-1849.
- Forman, R.T.T. e M. Godron, 1981, Patches and structural components for a landscape ecology. *BioScience* 31: 733-740.
- Forman, R.T.T. e M. Godron, 1986, *Landscape Ecology*. John Wiley and Sons, New York, 619 pp
- Gustafson EJ, Parker GR., 1992. Relationship between landcover proportion and indices of landscape spatial pattern. *Landscape Ecology* 7:101-110.
- Gustafson, E.J., 1998. Quantifying landscape spatial pattern: What is the state of the art. *Ecosystems*: 143-156.
- Kendall, 1980, *Multivariate analysis*. Second Edition, Charles Griffin & Company Limited.
- LaGro, J., Jr., 1991, Assessing patch shape in landscapes mosaics. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 57, 285-293.
- Li, H. and Reynolds, J.F., 1993. A new contagion index to quantify spatial patterns of landscapes. *Landscape Ecology* 8: 155-162.
- McGarigal K, McComb WC. 1995. FRAGSTATS: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. Portland (OR): USDA Forest Service, Pacific Northwest Research station; General Technical Report PNW-GTR-351.
- Morrison, D.F., 1990, *Multivariate Statistical Methods*. Third Edition, McGraw-Hill Inc., New York NY.
- O'Neill, R.V., Krummel, J.R., Gardner, R.H., Sugihara, G., Jackson, B., DeAngelis, D.L., Milne, B.T., Turner, M.G., Zygmunt, B., Christensen, S.W., Dale, V.H. and R.L. Graham, 1988. Indices of landscape pattern. *Landscape Ecology* 1: 153-162.
- Pickover CA., 1990, *Computers, pattern, chaos and beauty: graphics from an unseen world*. New York: St Martin's.
- Pielou EC., 1975, *Ecological diversity*. New York: Wiley-Interscience
- Riitters KH, O'Neill RV, Hunsaker CT, Wickham JD, Yankee DH, Timmons SP, Jones KB e Jackson BL, 1995, A factor analysis of landscape pattern and structure metrics. *Landscape Ecology*, 11, 197-202

- Rogers, C., 1993, Describing landscapes: indices of structure. M.S. Thesis, Simon Fraser University, Burnaby, British Columbia, 170 pp.
- Romme WH., 1982, Fire and landscape diversity in Sub-Alpine forests of Yellowstone National Park. *Ecol. Monogr*, 52, 199-221.
- Shannon, C.E., e Weaver, W., 1949, *The mathematical theory of communication* (Urbano University of Illinois Press).
- Simpson E.H., 1949, Measurement of diversity. *Nature*, 163, 688.
- Turner, M.G. and Gardner, R.H. (editors), 1991. *Quantitative Methods in Landscape Ecology*. Springer-Verlag, New York NY.
- Turner, M.G., 1990, Spatial and temporal analysis of landscape patterns. *Landscape Ecology*, 4, 21-30.
- Turner, M.G., Costanza, R. and Sklar, F.H., 1989(a). Methods to evaluate the performance of spatial simulation models. *Ecological Modeling* 48:1-18.
- Turner, M.G., R.V. O'Neill, R.H.Gordon, e B.T.Milne, 1989(b), Effects of changing spatial scale on the analysis of landscape pattern. *Landscape Ecology*, 3, 153-162.
- Whitcomb, R.F., J.F.Lynch, M.K.Klimkiewicz, C.S. Robbins, B.L. Whitcomb, and D.Bystrak, 1981, Effects of forest fragmentation on avifauna of the eastern deciduous forest. *Forest island dynamics in man-dominated landscapes*. Springer-Verlag, New York.
- Wiens, J.A., 1989, Spatial scaling in ecology. *Functional Ecol.*, 3, 385-397.

Apêndice 1 Fórmulas das métricas definidas em FRAGSTATS 3.0.

<p>(M1) Área da mancha - AREA $AREA = a_{ij} \left(\frac{1}{10,000} \right)$ a_{ij} - área (m²) da mancha ij.</p>	<p>(M2) Perímetro da mancha - PERIM $PERIM = p_{ij}$ p_{ij} - perímetro (m) da mancha ij.</p>
<p>(M3) Raio de giração - GYRATE $GYRATE = \frac{\sum_{r=1}^Z h_{ijr}}{Z}$ h_{ijr} - distância (m) entre a célula ijr (localizada no interior da mancha ij) e o centróide da mancha ij baseada na distância centro da célula a centro da célula. Z - número de células na mancha ij</p>	<p>(C1) Área total - CA $CA = \sum_{j=1}^n a_{ij} \left(\frac{1}{10.000} \right)$ a_{ij} - área (m2) da mancha ij.</p>
<p>(C2) Percentagem da paisagem - PLAND $PLAND = p_i = \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}}{A} (100)$ p_i - proporção da paisagem ocupada pela mancha tipo (classes) i. a_{ij} - área (m²) da mancha ij. A - área total da paisagem (m²).</p>	<p>(C3) Número de manchas - NP $NP = n_i$ n_i - número de manchas de tipo (classe) i na paisagem</p>
<p>(C4) Densidade da mancha - PD $PD = \frac{n_i}{A} (10,000)(100)$ n_i - número de manchas de tipo (classe) i na paisagem. A - área total da paisagem (m²).</p>	<p>(C5) Orla total - TE $TE = \sum_{k=1}^m e_{ik}$ e_{ik} - tamanho total da orla entre tipos (classe) de manchas i e k.</p>
<p>(C6) Densidade da orla - ED $ED = \frac{\sum_{k=1}^m e_{ik}}{A} (10.000)$ e_{ik} - tamanho total da orla entre tipos de manchas i e k. A - área (m²) total da paisagem.</p>	<p>(C7) Índice da forma da paisagem - LSI $LSI = \frac{.25 \sum_{k=1}^m e_{ik}^*}{\sqrt{A}}$ e_{ik}^* - tamanho total (m) da orla entre tipos de manchas i e k A - área total da paisagem</p>
<p>(C8) Índice da maior mancha - LPI $LPI = \frac{\max_{j=1}^n(a_{ij})}{A} (100)$ a_{ij} - área (m²) da mancha ij. A - área (m²) total da paisagem.</p>	<p>(P1) Área total -TA $AT = A \left(\frac{1}{10,000} \right)$ A - área (m²) total da paisagem.</p>
<p>(P2) Número de manchas - NP $NP = N$ N - número total de manchas na paisagem.</p>	<p>(P3) Densidade da mancha - PD $PD = \frac{N}{A} (10,000)(100)$ N - número total de manchas na paisagem. A - área (m²) total da paisagem.</p>
<p>(P4) Orla total - TE $TE = E$ E - comprimento (m) total da orla na paisagem.</p>	<p>(P5) Densidade da orla - ED $ED = \frac{E}{A} (10,000)$ E - total do comprimento (m) da orla na paisagem. A - área total da paisagem (m²).</p>

<p>(P6) Índice da forma da paisagem - LSI $LSI = \frac{.25E^*}{\sqrt{A}}$ E* - total do comprimento (m) de orla na paisagem. A - área total da paisagem (m²).</p>	<p>(P7) Índice da mancha mais larga - LPI $LPI = \frac{\max(a_{ij})}{A}(100)$ a_{ij} - área (m²) da mancha ij. A - área total da paisagem (m²).</p>
<p>(M4) Razão perímetro - área - PARATIO $PARATIO = \frac{p_{ij}}{a_{ij}}$ p_{ij} - perímetro (m) da mancha ij. a_{ij} - área (m²) da mancha ij.</p>	<p>(M5) Índice da forma - SHAPE $SHAPE = \frac{.25p_{ij}}{\sqrt{a_{ij}}}$ p_{ij} - perímetro (m) da mancha ij. a_{ij} - área (m²) da mancha ij.</p>
<p>(M6) Índice da dimensão fractal - FRACT $FRACT = \frac{2 \ln(.25p_{ij})}{\ln a_{ij}}$ p_{ij} - perímetro (m) da mancha ij. a_{ij} - área (m²) da mancha ij.</p>	
<p>(C21) Dimensão fractal perímetro-área - PAFRAC $PAFRAC = \frac{\left(n_i \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m (\ln p_{ij} \cdot \ln a_{ij}) \right)^2 - \left(\left(\sum_{j=1}^n \ln p_{ij} \right) \left(\sum_{j=1}^n \ln a_{ij} \right) \right)}{\left(n_i \sum_{j=1}^n \ln p_{ij}^2 \right) \left(\sum_{j=1}^n \ln p_{ij} \right)^2}$ p_{ij} - perímetro (m) da mancha ij. a_{ij} - área (m²) da mancha ij. n_i - n^o de manchas na paisagem de classe i.</p>	
<p>(P20) Dimensão fractal perímetro-área - PAFRAC $PAFRAC = \frac{\left(N \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (\ln p_{ij} \cdot \ln a_{ij}) \right)^2 - \left(\left(\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \ln p_{ij} \right) \left(\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \ln a_{ij} \right) \right)}{\left(N \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \ln p_{ij}^2 \right) \left(\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \ln p_{ij} \right)^2}$ p_{ij} - perímetro (m) da mancha ij. a_{ij} - área (m²) da mancha ij. N - n^o total de manchas na paisagem.</p>	
<p>(M7) Área do núcleo - CORE $CORE = a_{ij}^c \left(\frac{1}{10,000} \right)$ a_{ij}^c - área (m²) do núcleo da mancha ij com um valor de buffer especificado (m).</p>	<p>(M8) Número de áreas do núcleo - NCA $NCORE = n_{ij}^c$ n_{ij}^c - número de áreas de núcleo disjuntas na mancha ij baseada do valor do buffer especificado (m).</p>
<p>(M9) Índice de área do núcleo - CAI $CAI = \frac{a_{ij}^c}{a_{ij}}(100)$ a_{ij}^c - área (m²) do núcleo da mancha ij com um valor de buffer especificado (m). a_{ij} - área (m²) da mancha ij.</p>	<p>(C39) Área total do núcleo - TCA $TCA = \sum_{j=1}^n a_{ij}^c \left(\frac{1}{10,000} \right)$ a_{ij}^c - área (m²) do núcleo da mancha ij com um valor de buffer especificado (m).</p>
<p>(C40) Percentagem da área do núcleo relativamente á paisagem - CPLAND $CPLAND = \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}^c}{A}(100)$ a_{ij}^c - área (m²) do núcleo da mancha ij com um valor de buffer especificado (m). A - área total da paisagem (m²).</p>	<p>(C41) Número de áreas do núcleo disjuntas - NDCA $NDCA = \sum_{j=1}^n n_{ij}^c$ n_{ij}^c - número de áreas do núcleo disjuntas na mancha ij baseada no comprimento do buffer especificado (m).</p>

<p>(C42) Densidade de áreas do núcleo disjuntas - DCAD</p> $DCAD = \frac{\sum_{j=1}^n n_{ij}^c}{A} (10,000) (100)$ <p>n_{ij}^c - número de áreas do núcleo disjuntas na mancha ij baseada no comprimento do buffer especificado (m). A - área total da paisagem (m²).</p>	<p>(P37) Área total do núcleo - TCA</p> $TCA = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n a_{ij}^c \left(\frac{1}{10,000} \right)$ <p>a_{ij}^c - área (m²) do núcleo da mancha ij com um valor de buffer especificado (m).</p>
<p>(P38) Número de áreas do núcleo disjuntas - NDCA</p> $NDCA = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n n_{ij}^c$ <p>n_{ij}^c - número de áreas do núcleo disjuntas na mancha ij baseada no comprimento do buffer especificado (m).</p>	<p>(P39) Densidade de áreas do núcleo disjuntas - DCAD</p> $DCAD = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n n_{ij}^c}{A} (10,000) (100)$ <p>n_{ij}^c - número de áreas do núcleo disjuntas na mancha ij baseada no comprimento do buffer especificado (m). A - área total da paisagem (m²).</p>
<p>(M10) Índice de proximidade - PROXIM</p> $PROXIM = \sum_{s=1}^n \frac{a_{ijs}}{h_{ijs}^2}$ <p>a_{ijs} - área (m²) da mancha ijs no interior da vizinhança especificada (m) da mancha ij. h_{ijs} - distância (m) entre mancha ijs (localizada no interior de uma distância especificada da mancha ij) e a mancha ij baseada na distância orla a orla.</p>	<p>(M11) Índice de similaridade - SIMILAR</p> $SIMILAR = \sum_{s=1}^n \frac{a_{ijs} d_{ik}}{h_{ijs}^2}$ <p>a_{ijs} - área (m²) da mancha ijs no interior da vizinhança especificada (m) da mancha ij. d_{ik} - similaridade entre as manchas de tipo i e k. h_{ijs} - distância (m) entre mancha ijs (localizada no interior de uma distância especificada da mancha ij) e a mancha ij baseada na distância orla a orla.</p>
<p>(M12) Distância euclideana de menor vizinhança - ENN</p> $ENN = h_{ij}$ <p>h_{ij} - distância da mancha ij á mancha de vizinhança mais próxima com o mesmo tipo de classe, baseada na distância orla a orla (a partir do centro da célula ao centro de outra célula).</p>	<p>(M13) Índice do contraste da orla - EDGECON</p> $EDGECON = \frac{\sum_{k=1}^m (p_{ijk} \cdot d_{ik})}{p_{ij}} (100)$ <p>p_{ijk} - comprimento da orla entre a mancha ij e a mancha adjacente de tipo (classe) k. d_{ik} - peso do contraste da orla entre manchas tipo i e k. p_{ij} - perímetro (m) da mancha ij.</p>
<p>(C79) Densidade da orla com peso de contraste - CWED</p> $CWED = \frac{\sum_{k=1}^m (e_{ik} \cdot d_{ik})}{A} (10,000)$ <p>e_{ik} - comprimento total da orla na paisagem entre manchas tipo i e k. d_{ik} - peso do contraste da orla entre manchas tipo i e k. A - área (m²) total da paisagem.</p>	<p>(C80) Índice do contraste da orla total -TECI</p> $TECI = \frac{\sum_{k=1}^m e_{ik} d_{ik}}{\sum_{k=1}^m e_{ik}^*} (100)$ <p>e_{ik} - comprimento total da orla na paisagem entre manchas tipo i e k e_{ik}^* - total do comprimento da orla na paisagem entre classes de manchas de tipo i e k d_{ik} - peso do contraste da orla entre manchas tipo i e k</p>
<p>(P76) Densidade da orla com peso do contraste - CWED</p> $CWED = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{k=i+1}^m (e_{ik} d_{ik})}{A} (10,000)$ <p>e_{ik} - comprimento total da orla na paisagem entre manchas tipo i e k. d_{ik} - peso do contraste da orla entre manchas tipo i e k. A - área (m²) total da paisagem.</p>	<p>(P77) Índice do contraste da orla total (TECI)</p> $TECI = \frac{\sum_{j=1}^m \sum_{k=i+1}^m e_{ik} \cdot d_{ik}}{E^*} (100)$ <p>e_{ik} - comprimento total da orla na paisagem entre manchas tipo i e k. d_{ik} - peso do contraste da orla entre manchas tipo i e k. E^* - Total da orla (m) na paisagem.</p>

<p>(C87) Contágio – CONTAG</p> $CONTAG = \frac{\frac{g_{ii}}{m} - 2P_i + 1}{\sum_{k=1}^m g_{ik}} (100)$ <p>g_{ii} – número de ligações entre pixeis de mancha classe i. g_{ik} – número de ligações entre pixeis de tipos de manchas i e k. P_i – proporção da paisagem ocupada por manchas do tipo i.</p>	<p>(C88) Percentagem de adjacências semelhantes - PLADJ</p> $PLADJ = \left(\frac{g_{ii}}{\sum_{k=1}^m g_{ik}} \right) (100)$ <p>g_{ii} – número de ligações entre pixeis de mancha classe i. g_{ik} – número de ligações entre pixeis de tipos de manchas i e k.</p>
<p>(C89) Índice de difusão e justaposição - IJI</p> $IJI = \frac{-\sum_{k=1}^m \left[\left(\frac{e_{ik}}{\sum_{k=1}^m e_{ik}} \right) \ln \left(\frac{e_{ik}}{\sum_{k=1}^m e_{ik}} \right) \right]}{\ln(m-1)} (100)$ <p>e_{ik} – comprimento total da orla na paisagem entre tipos de manchas i e k. m – tipos de manchas.</p>	<p>(P85) Percentagem de adjacências semelhantes (PLADJ)</p> $PLADJ = \left(\frac{\sum_{i=1}^m g_{ii}}{\sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^m g_{ik}} \right) (100)$ <p>g_{ii} – número de ligações entre pixeis de mancha classe i. g_{ik} – número de ligações entre pixeis de tipos de manchas i e k.</p>
<p>(P84) Contágio - CONTAG</p> $CONTAG = \left[1 + \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^m \left[(p_i) \left(\frac{g_{ik}}{\sum_{k=1}^m g_{ik}} \right) \ln(p_i) \left(\frac{g_{ik}}{\sum_{k=1}^m g_{ik}} \right) \right]}{2 \ln(m)} \right] (100)$ <p>g_{ik} – número de adjacências entre pixels do tipo i e k. p_i – proporção da paisagem ocupada por manchas tipo i. m – numero de tipos de mancha (classes).</p>	
<p>(P86) Índice de difusão e justaposição - IJI</p> $IJI = \frac{-\sum_{i=1}^m \sum_{K=i+1}^m \left[\left(\frac{e_{ik}}{E} \right) - \ln \left(\frac{e_{ik}}{E} \right) \right]}{\ln(1/2[m(m-1)])} (100)$ <p>e_{ik} – comprimento total da orla na paisagem entre tipos de manchas i e k. e – total do comprimento de orla na paisagem. m – tipos de manchas.</p>	
<p>(P87) Riqueza das manchas - PR</p> $PR = m$ <p>m – n^o tipos de manchas.</p>	<p>(P88) Densidade da riqueza da mancha - PRD</p> $PRD = \frac{m}{A} (10.000) (100)$ <p>m – diferentes tipos de manchas. A – área total da paisagem.</p>
<p>(P89) Riqueza relativa das manchas - RPR</p> $RPR = \frac{m}{m_{max}} (100)$ <p>m – diferentes tipos de manchas. m_{max} – máximo número tipos de manchas presentes na paisagem.</p>	<p>(P90) Índice de diversidade de Shannon's - SHDI</p> $SHDI = - \sum_{i=1}^m (p_i \ln p_i)$ <p>p_i – proporção da paisagem ocupada por um tipo de mancha i.</p>
<p>(P91) Índice de diversidade de Simpson's - SIDI</p> $SIDI = 1 - \sum_{i=1}^n p_i^2$ <p>p_i – proporção da paisagem ocupada por um tipo de mancha i.</p>	<p>(P92) Índice de diversidade modificado de Simpson's - MSIDI</p> $MSIDI = - \ln \sum_{i=1}^m p_i^2$ <p>p_i – proporção da paisagem ocupada por um tipo de mancha i.</p>

<p>(P93) Índice de uniformidade de Shannon's - SHEI</p> $SHEI = \frac{-\sum_{i=1}^m p_i \ln(p_i)}{\ln m}$ <p>p_i - proporção da paisagem ocupada por um tipo de mancha i. m - nº tipos de manchas diferentes.</p>	<p>(P94) Índice de uniformidade de Simpson's - SIEI</p> $SIEI = \frac{1 - \sum_{i=1}^m p_i^2}{1 - (\frac{1}{m})}$ <p>p_i - proporção da paisagem ocupada por um tipo de mancha i. m - nº tipos de manchas diferentes.</p>
<p>(P95) Índice modificado de uniformidade de Simpson's - MSIEI</p> $MSIEI = \frac{-\ln \sum_{i=1}^m p_i^2}{\ln m}$ <p>p_i - proporção da paisagem ocupada por um tipo de mancha m - nº tipos de manchas</p>	