

Departamento de Geografia
Centro de Estudos em Geografia e Ordenamento do Território

Cadernos de Geografia



Nº 26/27 - 2007/08

Modelação Geográfica de Métricas de Paisagem: Efeito de Escala e Efeito de Contexto

Lénia Duarte

lenia_duarte@hotmail.com

Nuno Neves

Universidade de Évora, Departamento de Planeamento Biofísico e Paisagístico. nneves@uevora.pt

1. Introdução

A caracterização da paisagem é um processo complexo e frequentemente subjectivo, uma vez que inclui considerações estéticas, históricas e culturais do indivíduo. A forma dos elementos (fragmentos) que a constituem é responsável pela sua configuração espacial a diferentes escalas, admitindo que a escala da paisagem refere-se não apenas à dimensão da sua área (extensão), mas também à dimensão da menor unidade de paisagem que pode ser visualizada (resolução) (BRIDGE *et al.*, 2000). Considerando que esses elementos variam, o mais provável é que os estudos dos processos ecológicos que ocorrem na paisagem possam ser afectados.

A Convenção Europeia da Paisagem, em 2000, definiu o conceito de paisagem como "uma parte do território, tal como é apreendida pelas populações, cujo carácter resulta da acção e da interacção de factores naturais e ou humanos". Mas a definição deste conceito é complexa.

Segundo CANCELA D'ABREU *et al.* (2002) a paisagem é um sistema complexo e dinâmico, que pressupõe a interacção e evolução conjunta de diferentes factores naturais e culturais, determinando e sendo determinados pela estrutura global, de que resulta a configuração particular, nomeadamente quanto à morfologia, uso do solo, coberto vegetal, ocupação edificada e presença de água, à qual corresponde um determinado carácter.

A distinção entre paisagem e espaço geográfico implica uma hierarquia, sendo que a paisagem é entendida como um subconjunto definido dentro do universo referencial que é o espaço. Esta consideração funcional introduz no espaço duas características essenciais: diversidade local e interconectividade espacial (FERNANDES, 1991).

A noção de paisagem, como estrutura complexa, apresenta e concebe uma organização que se reflecte

numa expressão espacial que se pode descrever como um mosaico num contexto de integração e complementaridade sistémica. As suas unidades agrupam-se de forma organizada, orientadas pelos padrões de interconectividade que determinam os fluxos e as relações, quer dos factores de cada local, quer dos fluxos que o afectam. Deste modo, começa a compreender-se ser possível, definir um padrão de organização e manchas funcionalmente coesas, cuja distribuição define a globalidade do espaço terrestre, organizando-o em paisagens (FERNANDES, 1991).

Ecologia da paisagem

A Ecologia da Paisagem constitui uma área de conhecimento, que surgiu nos anos de 1930-40, na Europa (especialmente Alemanha e Holanda), cujo enfoque inicial se baseava na percepção, no uso e no ordenamento do espaço de vida do homem. Tendo sido concebida principalmente por geógrafos, a Ecologia da Paisagem surgiu com forte influência da Geografia Humana e da Biogeografia, preocupada em definir padrões em macro-escala, sob a perspectiva do homem (TURNER, 2005, *in* PIVELLO *et al.*, 2006).

Nos anos de 1980, investigadores norte-americanos atribuíram um enfoque mais biológico à Ecologia da Paisagem, com a preocupação de relacionar esses padrões espaciais com os processos ecológicos em ambientes naturais ou modificados, percebidos por qualquer espécie biológica e não apenas pelo homem (METZGER, 2001; TURNER *et al.*, 2001; TURNER, 2005; WIENS e MOSS, 2005; *in* PIVELLO *et al.*, 2006).

Dentro desse contexto, a Ecologia da Paisagem é definida como uma ecologia espacialmente explícita, que estuda os padrões da paisagem, a interacção entre manchas no interior do mosaico da paisagem, e a forma como os padrões e as interacções mudam no tempo. Além disso, considera o desenvolvimento e as

dinâmicas da heterogeneidade e sua influência nos processos ecológicos, no reconhecimento de que estes processos influenciam e são influenciados pela interação dinâmica entre os ecossistemas (HERNANDEZ, 2005).

A Ecologia da Paisagem pretende, assim, evidenciar as abordagens e metodologias clássicas da Ecologia, mas numa perspectiva de análise à escala da paisagem, entendendo-a como um todo (MACHADO, 2008).

As paisagens distinguem-se pelas relações espaciais que se estabelecem entre os seus componentes, e podem caracterizar-se tanto pela sua composição como pela sua configuração, podendo estes dois aspectos, independentemente ou em conjunto afectar os processos ecológicos e os organismos. A composição refere-se à variedade e abundância de elementos de paisagem, independentemente da sua localização ou colocação no mosaico paisagístico. A configuração refere-se à distribuição física ou às características espaciais dos diferentes elementos que constituem a paisagem (DUNNING *et al.*, 1992, *in* COUTO, 2004).

A Ecologia da Paisagem pode ser analisada considerando três características fundamentais da paisagem (FORMAN e GODRON, 1986):

1. *Estrutura* - a relação espacial entre ecossistemas distintos ou os *elementos* presentes na paisagem, mais especificamente, a distribuição de energia, materiais, e espécies em relação à dimensão, forma, número, tipo e configuração dos ecossistemas;
2. *Função* - a interação entre os elementos espaciais, isto é, os fluxos de energia, materiais e espécies entre os ecossistemas que a constituem;
3. *Mudança* - a alteração na estrutura e função do mosaico ecológico ao longo do tempo.

A capacidade para quantificar a estrutura da paisagem é um pré-requisito para o estudo da função e mudança da paisagem. Por este motivo, muita ênfase tem sido dada ao desenvolvimento de métodos para quantificar a estrutura da paisagem (O'NEILL *et al.*, 1988; TURNER, 1990; TURNER e GARDNER, 1991), sobretudo no que diz respeito a programas computacionais que procuram realizar a inclusão de métodos analíticos personalizados e ligações fáceis entre outros programas e modelos de simulação espacial, ainda que geralmente não tenham as capacidades avançadas de gráficos que estão presentes nos Sistemas de Informação Geográfica.

Na última década, diversos autores como TURNER (1989) e O'NEILL (1994) reconheceram e afirmaram que

a avaliação da estrutura da paisagem, por aplicação de métricas da paisagem é, talvez, o método de maior eficácia para a avaliação das condições ecológicas locais e regionais.

Métricas de paisagem

No que respeita à caracterização e avaliação da estrutura da paisagem, o limitado conhecimento e capacidade de apreensão do homem leva quase sempre a uma abordagem simplificada da mesma. Sendo a ocupação do solo a componente da paisagem que apresenta um conjunto de metodologias de maior precisão para a sua caracterização, acaba por adoptar-se indubitavelmente, de uma forma geral e comum, a ocupação do solo como a componente da paisagem através da qual se representa a sua estrutura (CARRÃO, 2002).

É muito vasto o conjunto de referências bibliográficas ao conceito de métricas de paisagem. Inegavelmente predominante na literatura anglo-saxónica, tem vindo nos últimos anos a alargar a sua esfera de influência a um conjunto de escolas europeias.

Métricas ou indicadores de paisagem são medidas quantitativas da composição da paisagem que permitem, dentro de um determinado contexto de avaliação e classificação, descrever através de indicadores de natureza numérica, componentes de um contexto multidimensional complexo, associado à noção de paisagem (CARRÃO, 2002).

As métricas de paisagem 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 relacionadas 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, uma vez que 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 (GUSTAFSON, 1998).

As principais medidas de composição são: proporção da abundância para cada classe; riqueza (que corresponde ao número de diferentes tipos de mancha); uniformidade (que é abundância relativa de diferentes tipos de mancha); e diversidade (é a medida que tipicamente combina duas componentes

de diversidade: riqueza, que se refere ao número de classes presentes e a uniformidade). A métrica que define o domínio de determinado habitat 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 e Jordan, 1995; *in* CARRÃO, 2002).

Níveis de métricas de paisagem

As métricas de paisagem podem ser definidas em três níveis (COUTO, 2004):

1. Métricas ao nível da mancha são definidas para manchas individuais e caracterizam espacialmente a configuração e o contexto das manchas. Estas métricas de paisagem servem de base para outras métricas de paisagem. Algumas vezes as métricas de mancha podem ser importantes e informativas 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 através de valores médios que tenham em conta a área da mancha. Em muitas aplicações, o interesse principal é a quantidade e distribuição de um tipo específico 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. Tanto como as métricas de classe, estas métricas podem ser obtidas por simples média ou podem reflectir propriedades do padrão. Em muitas aplicações, o primeiro interesse é o padrão (i.e. composição e configuração) da paisagem total.

As manchas formam a base de mapas categóricos, ou seja, associa-se um valor de um conjunto nominal (uma classe de um mapa, por exemplo) a cada ponto do espaço, de determinada região geográfica. 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 máximo) e heterogeneidade 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 as manchas individuais possuem relativamente poucas características espaciais (ex. área, perímetro e forma), o conjunto de manchas pode 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 sub-região da paisagem ou ao longo da paisagem (COUTO, 2004).

2. Análise espacial e modelação geográfica

A Análise Espacial em ambiente de sistemas de informação geográfica assenta largamente na exploração de relações e propriedades dos dados espaciais, tendo em conta a localização espacial do fenómeno em estudo, ou seja, todas as medidas estatísticas, que revelam um certo grau de complexidade.

A complexidade das relações espaciais e dos cenários constitui um desafio para a formulação de modelos que procuram a identificação e representação de elementos sistémicos, relações e processos.

A modelação geográfica, mais do que constituir um ambiente de representação de conhecimento espacial, pode estabelecer-se como um método de procura de regularidades e padrões, sustentando uma atitude de *explicação, previsão e replicabilidade* frequentemente associada à abordagem científica e que constitui uma acentuada transformação na abordagem epistemológica em que, normalmente, integramos a Geografia (NEVES e FREIRE, 2006).

Base informativa de análise espacial

As métricas de paisagem, enquanto classificadores quantitativos de uma dimensão interpretativa inerentemente qualitativa e subjectiva, ajudam a compreender a estrutura complexa da paisagem e a forma como esta influencia determinadas relações ecológicas.

A classificação de unidades no espaço é marcada por uma dimensão de escala, patente na desagregação dos dados espaciais e por uma dimensão de contexto, patente na localização da área de estudo. A definição destas duas dimensões de análise, bem como de outras variáveis de caracterização é marcadamente subjectiva, sendo difícil a

definição de procedimentos *standard* de avaliação, fundamentais para a normalização dos processos de classificação.

A variação da escala afecta inevitavelmente a estrutura da paisagem. Portanto, espera-se que também condicione a quantificação através de métricas de paisagem. Assim, uma avaliação de métricas de paisagem em diferentes enquadramentos de resolução e posicionamento, permite criar uma base comparativa dos efeitos de escala e de contexto, que mais do que uma questão de classificação e avaliação da paisagem, constituem um factor determinante na maioria dos processos de análise geográfica.

A informação espacial digital base utilizada para testar o efeito de escala e o efeito de contexto nas métricas de paisagem foi a Carta de Ocupação do Solo, produzida no âmbito do Plano Municipal do Ambiente de Vendas Novas, por uma equipa da Universidade de Évora coordenada pelo Prof. Doutor João Paulo de Almeida Fernandes.

A produção desta Carta foi baseada na verificação, correcção e adequação de legenda para a área do Concelho de Vendas Novas, da Carta de Ocupação do Solo (COS'90) produzida por interpretação da fotografia aérea em filme de infravermelho colorido, cobrindo todo o território de Portugal Continental, pelo Centro Nacional de Informação Geográfica (CNIG), com uma unidade mínima de 1 ha, em 1990.

As operações de verificação e correcção foram efectuadas a partir de interpretação de fotografia aérea, multispectral, com resolução de 1 m., de 2003.

Características Gerais	Descrição
Título	Carta de Ocupação de Solo
Resumo	Informação Cartográfica à escala 1: 25 000
Temas	Ocupação de Solo
Formato	ArcView Shape file
Sistema de Projectão	Gauss
Elipsóide de referência	Hayford (Internacional)
Unidades	Metros
Datum Planimétrico	Datum Lisboa
Datum Altimétrico	Marégrafo de Cascais
Coordenadas regulares máxima e mínima (metros)	X _{mín} ; Y _{mín} : 197 146; 152 652 X _{máx} ; Y _{máx} : 250 442; 290 141
Origem das coordenadas	Ponto Fictício (W Cabo S. Vicente)
Modelo de dados	Vectorial

Tabela 1

Características técnicas da Carta de Ocupação do Solo.

A área de estudo foi definida artificialmente como um quadrado de 100 Km² localizando-se no Concelho de Vendas Novas conforme mapa de enquadramento da Figura 1.

A disponibilidade de informação em formato digital da área foi condicionante para a sua escolha. Para além disso, o facto de apresentar características morfoes-truturais interessantes, transitando do Maciço Hespérico para as Bacias Cenozóicas Tejo-Sado confere à paisagem alguma originalidade, pelo que se considerou importante caracterizá-la no contexto deste trabalho e na perspectiva de desenvolvimentos futuros que possam

alargar o âmbito deste estudo.

Avaliação de métricas de paisagem

Numa primeira fase do processo, foram geradas duas grelhas regulares de base, uma com 5 Km e outra com 1 Km, em cada quadrícula.

Na grelha de 5 Km x 5 Km seleccionaram-se quatro quadrículas numa área que reunia vários tipos de ocupação e uso do solo. Efectuou-se o mesmo procedimento para a grelha 1 Km x 1 Km, considerando-se os limites da grelha anterior. Esta opção permite testar e demonstrar o efeito escala dentro dos mesmos limites territoriais, os 100 Km².

As matrizes criadas permitem a caracterização integrada das classes avaliadas isoladamente no programa *Patch Analyst*. Esta avaliação síntese constituiu um incremento das possibilidades do programa, permitindo uma avaliação dos efeitos de escala e de contexto numa dimensão multi-classe.

Considerando que o efeito de contexto decorre de uma alteração do posicionamento das unidades de análise, nomeadamente o posicionamento espacial dos limites de cada "célula" vectorial, uma translação desses limites implicaria uma alteração na caracterização e avaliação de métricas de paisagem.

Assim, foram efectuadas duas translações recorrendo a uma operação de ajustamento espacial:

- a primeira com uma orientação SW (225°) e uma distância 707 m. (aprox. $(\sqrt{2}/2) * 1000$), à qual se dá o nome de Grelha 1000 - Contexto 1;
- a segunda com uma orientação SE (135°) e uma distância 707 m. (aprox. $(\sqrt{2}/2) * 1000$), que se denomina Grelha 1000 - Contexto 2.

Depois seleccionaram-se cada uma das grelhas individualmente, para se proceder ao geoprocessamento em união, de modo a limitar a carta de ocupação de solo para cada uma das grelhas. O resultado é visível na Figura 2.

Na Figura 3a está representado o fluxograma analítico, ou seja, todo o processo de concepção e desenvolvimento de um modelo de análise espacial para comparação de métricas de paisagem.

De seguida são ilustrados e descritos em maior detalhe os procedimentos analíticos e de visualização implementados.

O cálculo das métricas de paisagem foi efectuado através do programa *Patch Analyst* (ELKIE *et al.* 1999). Este programa é uma versão modificada do *FRAGSTATS*, que foi concebida para ser aplicada no *software ArcView3.x* (ou superior) da ESRI. A extensão *Patch Analyst* calcula estatísticas espaciais que provêm de ficheiros vectoriais e de ficheiros matriciais.

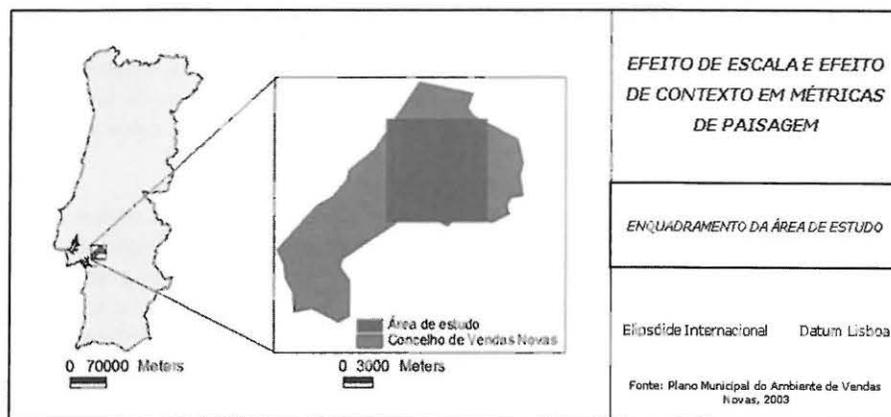


Figura 1
Mapa de enquadramento da área de estudo

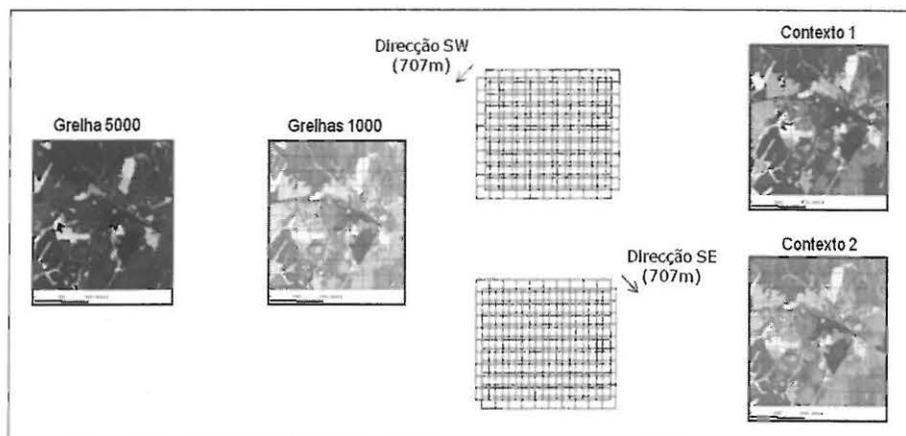


Figura 2
Esquematisação do processo de criação da base informativa

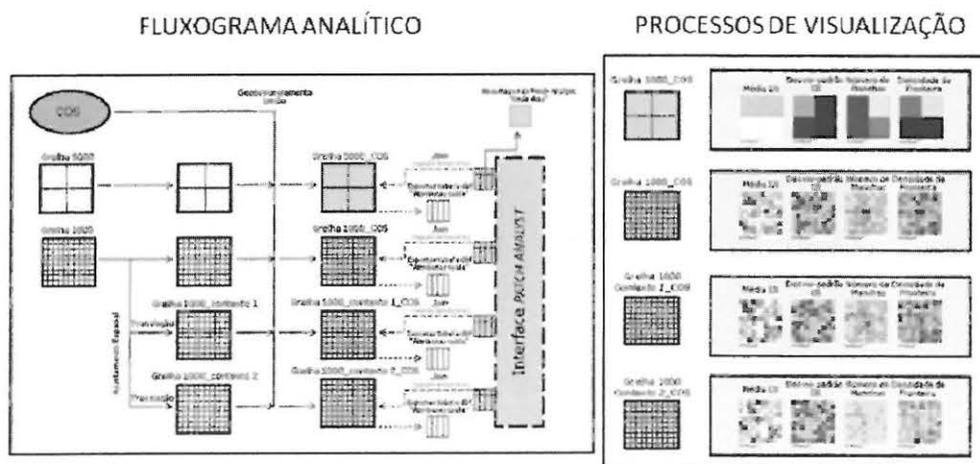
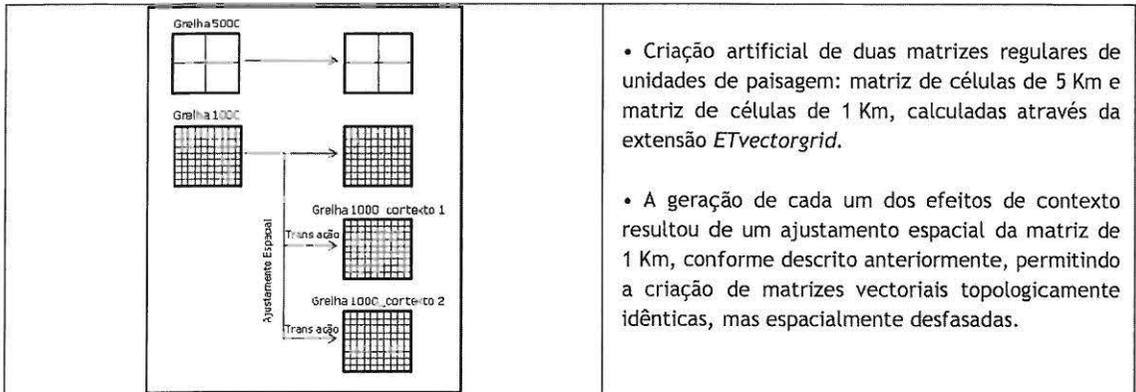
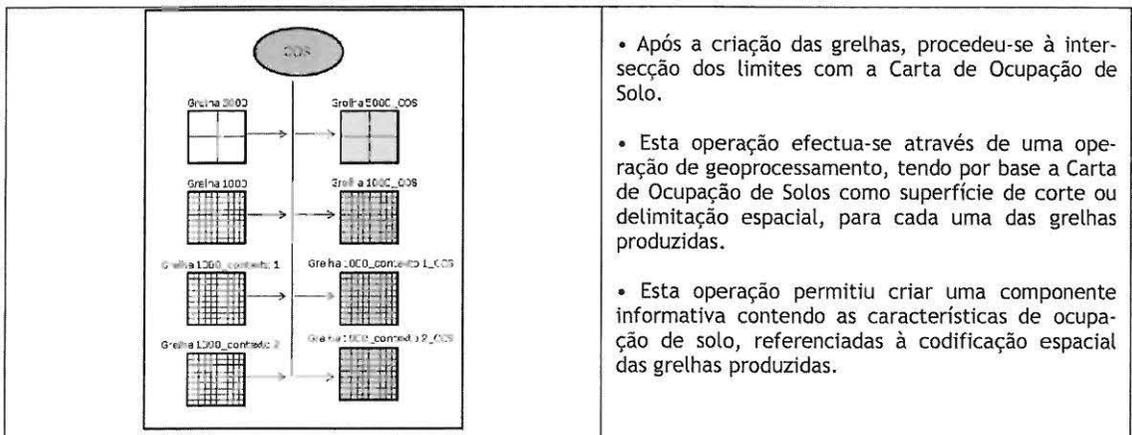


Figura 3
a) Fluxograma analítico e b) processo de visualização do percurso metodológico.



- Criação artificial de duas matrizes regulares de unidades de paisagem: matriz de células de 5 Km e matriz de células de 1 Km, calculadas através da extensão *ETvectorgrid*.
- A geração de cada um dos efeitos de contexto resultou de um ajustamento espacial da matriz de 1 Km, conforme descrito anteriormente, permitindo a criação de matrizes vectoriais topologicamente idênticas, mas espacialmente desfasadas.

Figura 4
Primeira fase do processo analítico



- Após a criação das grelhas, procedeu-se à intersecção dos limites com a Carta de Ocupação de Solo.
- Esta operação efectua-se através de uma operação de geoprocessamento, tendo por base a Carta de Ocupação de Solos como superfície de corte ou delimitação espacial, para cada uma das grelhas produzidas.
- Esta operação permitiu criar uma componente informativa contendo as características de ocupação de solo, referenciadas à codificação espacial das grelhas produzidas.

Figura 5
Segunda fase do processo analítico

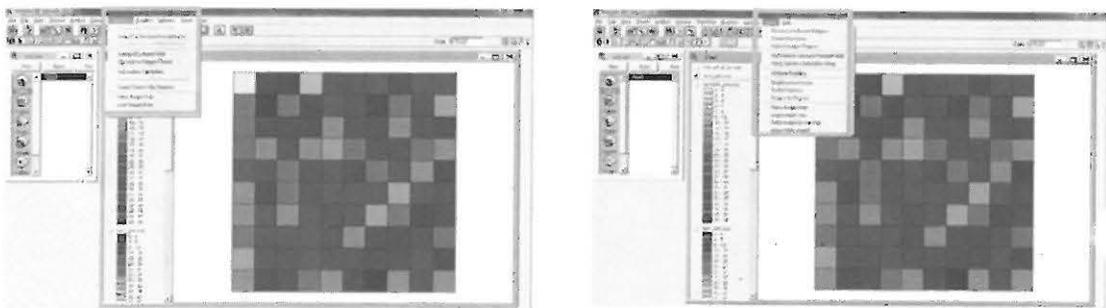


Figura 6
Ilustração da extensão *Patch Analyst* utilizada para o desenvolvimento de resultados das métricas de paisagem

Na Figura 7, pode-se visualizar uma tabela de métricas de paisagem gerada pelo *PATCH ANALYST*. Neste estudo efectuaram-se 4 tabelas deste género para avaliar as células de cada grelha isoladamente.

Para a obtenção das tabelas de métricas neste estudo, as células de cada matriz foram consideradas como classes baseadas no código de cada área ("*Code Area*"), o que permitiu uma espacialização efectiva das métricas baseadas nas unidades espaciais e não num atributo de codificação categórica (legenda COS por exemplo) conforme usualmente este procedimento é implementado.

Os processos de visualização, presentes na Figura 3b, ilustram estatísticas descritivas das métricas seleccionadas (média e o desvio-padrão do índice de dispersão e de

justaposição; número médio de manchas e densidade média de fronteiras) para cada uma das grelhas. É possível constatar, nas imagens de detalhe, as diferenças quer para o efeito de escala, quer para o efeito de contexto, que por sua vez, se espera, influenciem a caracterização da estrutura complexa da paisagem.

As legendas utilizadas para a representação do índice de dispersão e de justaposição (JIJ) variam de cores frias (valores baixos) para cores quentes (valores elevados), sendo que as células brancas apresentam valores intermédios de adjacência.

O número de manchas e a densidade de fronteiras são representados por uma graduação do claro para o escuro, com o aumento dos valores.

Figura 7
Visualização de uma tabela de métricas de paisagem relativamente a cada célula para a grelha 1000.

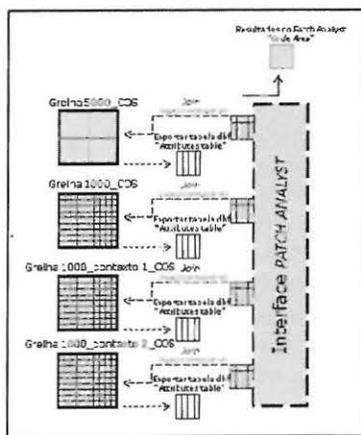


Figura 8
Terceira fase do processo analítico

- A intersecção do COS com as grelhas, originou a criação de novas tabelas de atributos para cada grelha.
- Tabelas estas, que foram exportadas para o *Patch Analyst*.
- Foi calculado o conjunto de métricas seleccionadas, referenciadas à informação de ocupação de solo, associada a cada célula das grelhas.
- Esta informação foi ligada temporariamente, através de uma *junção tabular*, às tabelas de cada grelha.

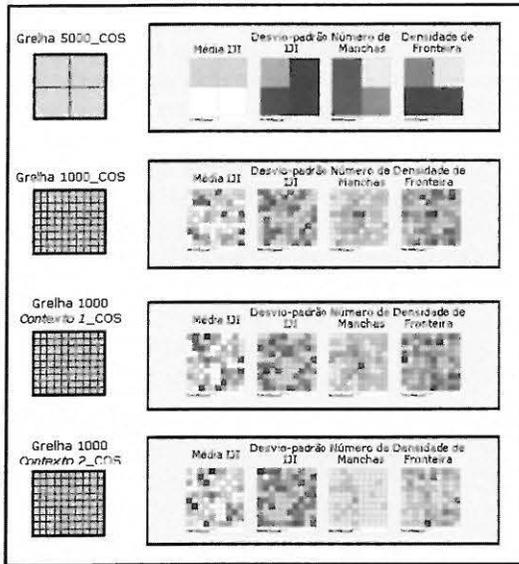


Figura 9
Visualização da aplicação das métricas de paisagem seleccionadas.

3. Análise de resultados

Neste ponto serão descritos os princípios subjacentes à caracterização da paisagem utilizando métricas de paisagem. Serão representados os efeitos de escala, os efeitos de contexto e os resultados obtidos no cálculo das três métricas de paisagem.

O cálculo das métricas de paisagem foi efectuado através do programa *Patch Analyst* (ELKIE *et al.* 1999). Este programa é uma versão modificada do *FRAGSTATS*, que foi concebida para ser aplicada no *software* ArcView3.x (ou superior) da ESRI. A extensão *Patch Analyst* calcula estatísticas espaciais que provêm de ficheiros vectoriais e de ficheiros matriciais.

3.1. Índice de dispersão e de justaposição

O índice de dispersão e de justaposição foi desenvolvido por McGarigal e Marks (1995), pertence ao grupo de métricas de contágio e dispersão, e visa a quantificação da configuração da paisagem como um todo, em relação à disposição das classes na paisagem, incidindo essencialmente nas características individuais dos elementos e das relações espaciais entre eles.

O índice de dispersão e de justaposição refere-se ao nível de adjacência dos fragmentos e leva em consideração as classes dos fragmentos vizinhos. No caso, de se ter uma paisagem com determinada área, composta por quatro

- Após a ligação das tabelas, obtiveram-se resultados das métricas de paisagem para cada uma das grelhas representadas.

- Seguidamente à geração da tabela de métricas, seleccionaram-se os indicadores, que se consideraram mais relevante na configuração da paisagem - índice de dispersão e de justaposição, número de manchas e densidade de fronteira.

- Cada uma destas métricas de paisagem foi representada através de estatísticas descritivas permitindo a posterior comparação com a mesma célula de outro contexto.

grandes classes distintas e um fragmento por classe, e uma segunda paisagem com a mesma área, as mesmas classes, mas com centenas de fragmentos por classe, o índice de dispersão e justaposição será igual. O mesmo não se verifica para os valores do índice de contágio que serão, muito diferentes. Esta diferença revela que enquanto, este último mede a sobreposição ou agregação dos elementos da paisagem, o primeiro mede a justaposição desses elementos.

O índice de contágio torna-se interessante pela interpretação intuitiva de sua probabilidade: probabilidade de uma célula tomada ao acaso de pertencer a uma dada classe; e probabilidade condicional em que, dado que a célula pertence a uma classe, uma de suas células vizinhas pertence a uma outra dada classe. O produto é a probabilidade de duas células adjacentes, tomadas ao acaso, pertencerem às duas dadas classes. Varia com o número, o tamanho, a contiguidade e a dispersão dos fragmentos da paisagem (VOLOTÃO, 2006).

Equação para o cálculo do índice de dispersão e de justaposição (MCGARIGAL *et al.*, 1995):

O índice em estudo calcula a dispersão observada sobre a máxima dispersão possível para um dado número de fragmentos da classe. Este indicador varia entre 0% (zero por cento), quando um tipo de fragmento está adjacente apenas a um outro tipo, e 100% (cem por cento), quando um tipo de fragmento é igualmente adjacente a todos os outros tipos de fragmentos.

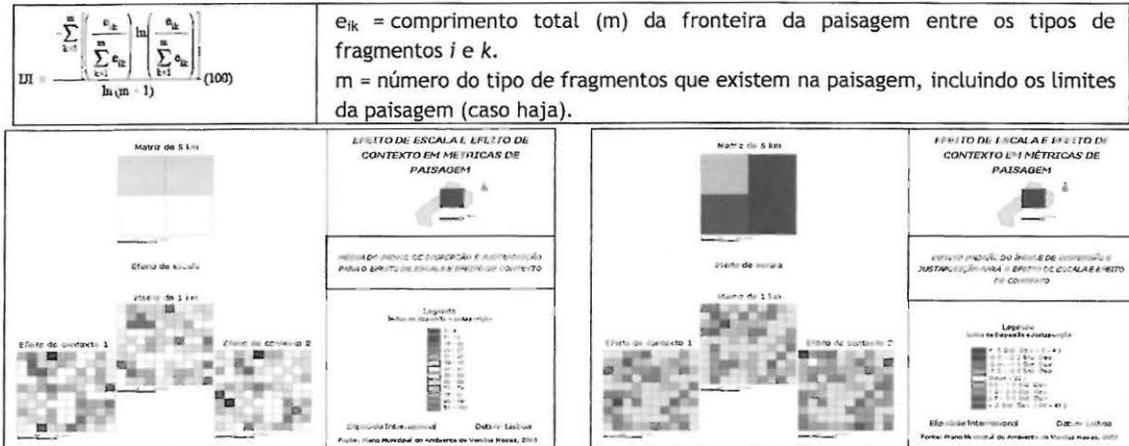


Figura 10
Visualização dos efeitos de escala e dos efeitos de contexto para a média e desvio-padrão do índice de dispersão e de justaposição.

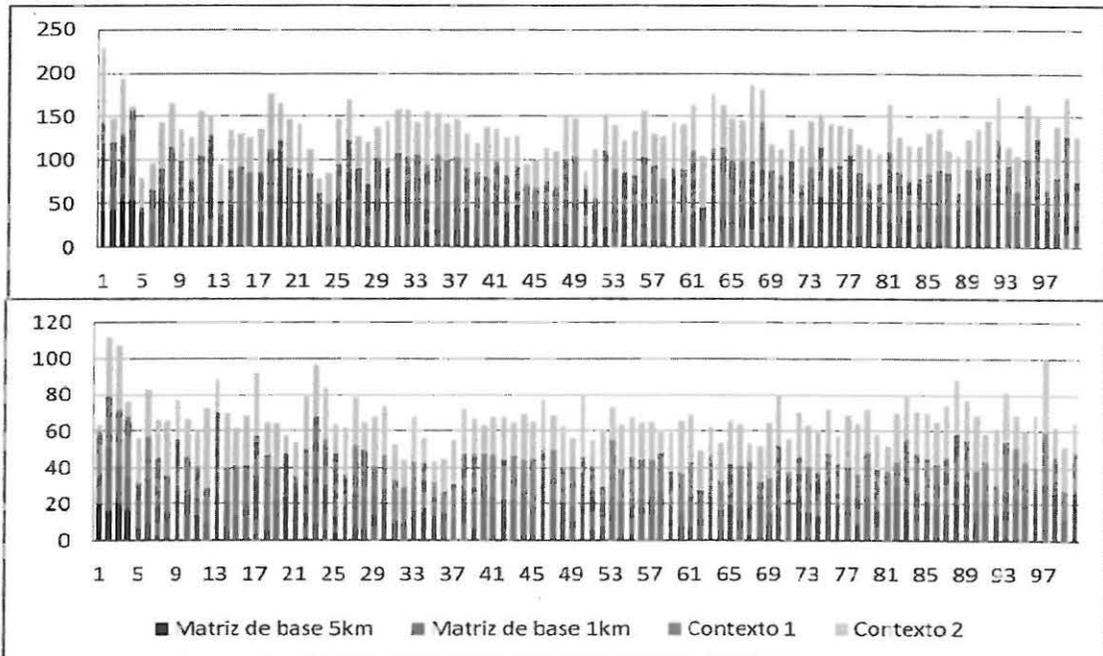


Tabela 2
Resultados obtidos da média (gráfico superior) e do desvio-padrão (gráfico inferior) para o índice de dispersão e de justaposição, para cada ID e para todas as grelhas de análise.

3.2. Número de manchas

O número das manchas não representa uma medida explicitamente espacial, mas pode-se considerar, que um indicador de natureza directa e simples que representa a configuração da paisagem. Este indicador permite que se ordene por grau de fragmentação, heterogeneidade de fragmentos, ou outros aspectos relacionados aos fragmentos na paisagem.

Equação para o cálculo do número de manchas (MCGARIGAL *et al.*, 1995):

$NP = n_i$	n_i = número de fragmentos que existem na paisagem do tipo i .
------------	--

Como se pode constatar na Figura 11, ao alterarmos a escala de análise, a média de número de manchas diminui substancialmente para cada quadrícula, comparando as duas grelhas de base.

Equação para o cálculo do índice de densidade de fronteiras (MCGARIGAL *ET AL.*, 1995).

$ED = \frac{\sum_{i=1}^m e_{ik}}{A} \cdot (10,000)$	e_{ik} = Comprimento total (m) de orla na paisagem envolvendo tipos de manchas i ; incluindo os limites da paisagem e segmentos envolvidos no tipo de mancha i . A = Área total da paisagem (m^2).
---	---

Esta métrica é uma medida da geometria fractal da paisagem um número decimal que traduz a ocupação da paisagem pelos seus elementos, estimado pela regressão da área dos elementos da paisagem em oposição ao seu perímetro. De uma forma geral, elementos de formas complexas são aqueles cuja razão perímetro/área é bastante elevada, enquanto os de forma simples são aqueles que apresentam uma baixa razão (CARRÃO, 2002).

A *Dimensão Fractal* é um indicador largamente utilizado para medições, simulações e como ferramenta analítica nas ciências geográficas (FROHN, 1998; *in* CARRÃO, 2002). Além disso, foi também utilizado para caracterizar a complexidade da paisagem (O'NEILL *et al.*, 1988).

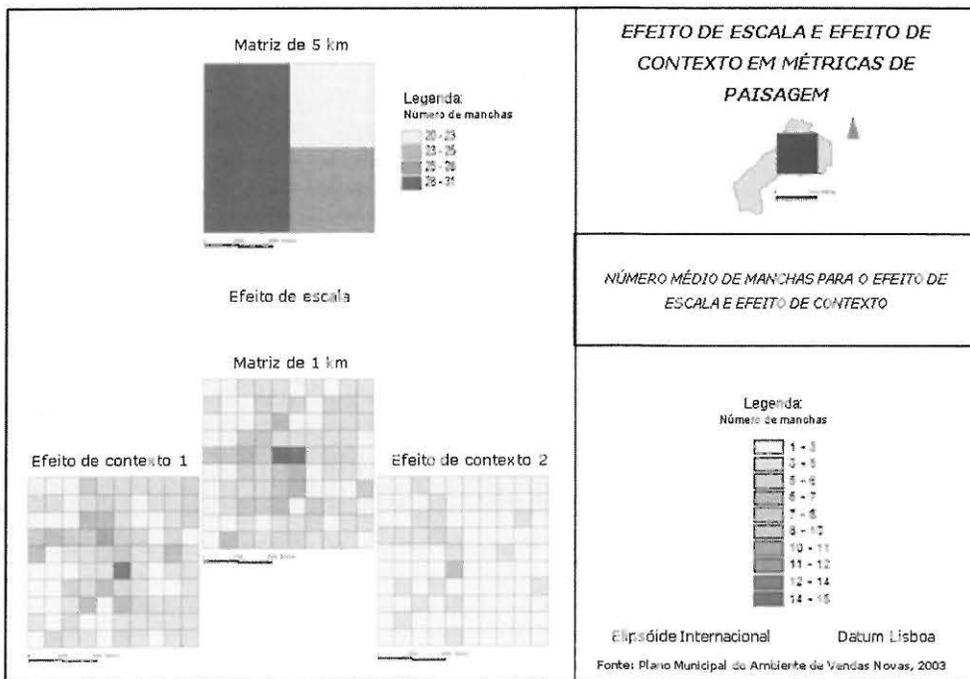


Figura 11
Visualização dos efeitos de escala e dos efeitos de contexto para o número médio de manchas.

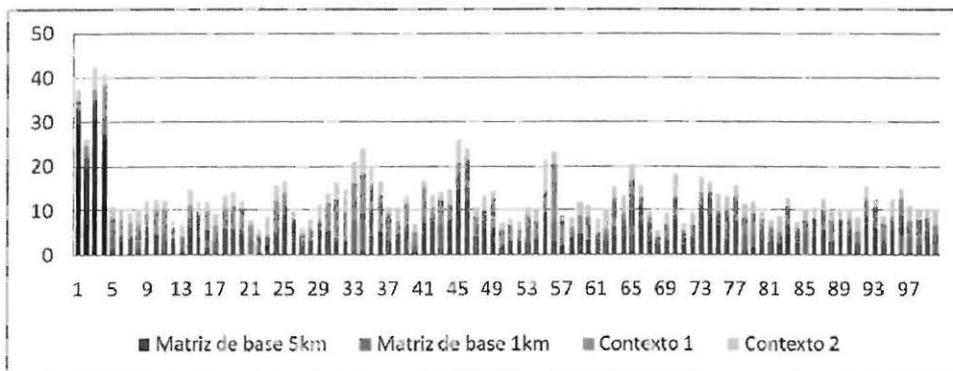


Tabela 3
Resultados obtidos da média do índice de número de manchas, para cada ID e para todas as grelhas de análise

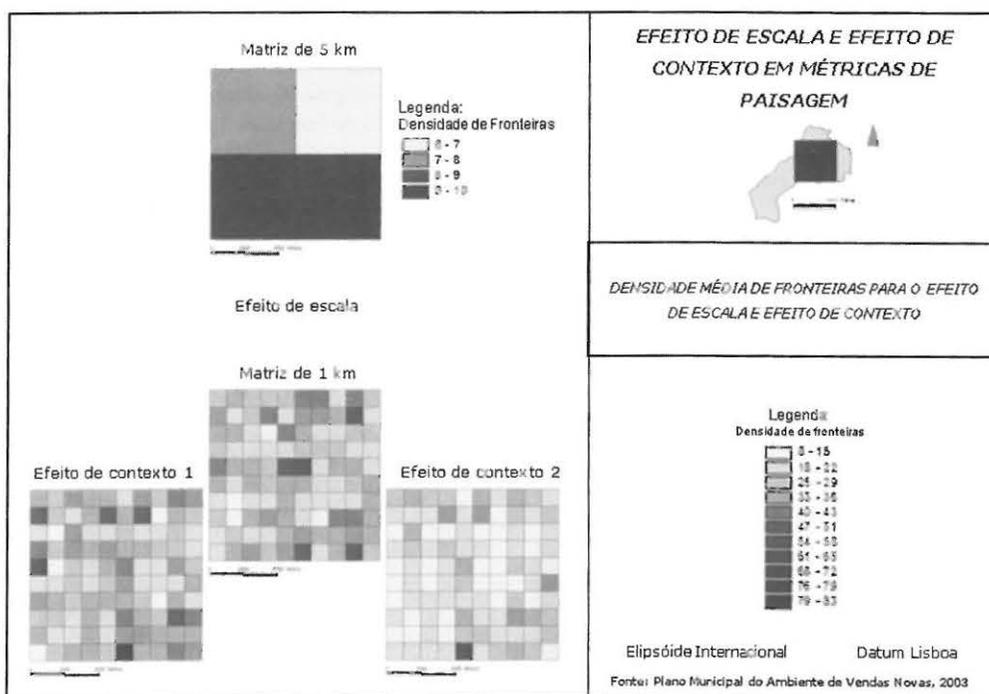


Figura 12
Visualização dos efeitos de escala e dos efeitos de contexto para a densidade média de fronteiras.

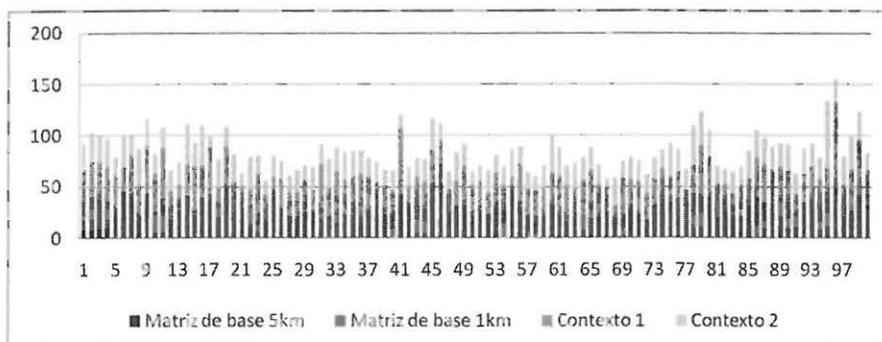


Tabela 4
Resultados obtidos para a média do índice de densidade de fronteiras, para cada ID e para todas as grelhas de análise.

4. Nota final e desenvolvimentos futuros

Na última década, diversos autores como TURNER (1989) e O'NEILL (1994) reconheceram e afirmaram que a avaliação da estrutura da paisagem, por aplicação de métricas de paisagem é, talvez, o método de maior eficácia para a avaliação das condições ecológicas locais e regionais.

As métricas de paisagem são uma tentativa de mensurar a complexidade do sistema que, no entanto se poderá considerar limitada em virtude de não ser inteiramente possível capturar de uma forma normalizada os seus elementos caracterizadores, mas interessante enquanto ponto de partida para novos processos de avaliação da estrutura da paisagem e a sua mutação ao longo do tempo.

Os processos de modelação geográfica desenvolvidos neste estudo permitiram o estabelecimento de uma base informativa de suporte a processos de análise espacial em que foi possível: analisar os diferentes tipos de métricas da paisagem e a sua representação espacial na área de estudo; e avaliar o efeito de escala e o efeito do contexto nas métricas de paisagem seleccionadas.

Este estudo possibilitou constatar, representar e quantificar as variações das métricas de paisagem: índice de dispersão e justaposição, número de manchas e densidade de fronteiras, para o efeito de escala e para o efeito de contexto e os impactos inerentes na caracterização e avaliação da paisagem.

Os resultados alcançados demonstram claramente que a variação da escala afecta inevitavelmente a estrutura da paisagem e, portanto, também condiciona a quantificação de métricas de paisagem. Assim, uma avaliação de métricas de paisagem em diferentes enquadramentos de resolução e posicionamento, permite criar uma base comparativa dos efeitos de escala e de contexto, que mais do que uma questão de classificação e avaliação da paisagem, constituem um factor determinante na maioria dos processos de análise geográfica.

Considerando que o efeito de contexto decorre de uma alteração do posicionamento das unidades de análise, nomeadamente o posicionamento espacial dos limites de cada "célula" vectorial, uma translação desses limites implica uma alteração na caracterização e avaliação de métricas de paisagem.

Considerando que um dos desenvolvimentos futuros que se afiguram mais interessantes assenta na procura de explicações para as variações das métricas decorrentes do efeito de contexto, foi testada uma nova forma de visualização dos resultados, tentando identificar padrões de comportamento das métricas utilizadas conforme a sua deslocação ou alteração de contexto.

Assim, foi desenvolvido um processo de visualização em que foi quantificada a diferença de valores entre dois cenários ou contexto para uma das métricas utilizadas - média do índice de dispersão e de justaposição - e representada a orientação do mapa/diferença segundo um modelo de orientação de encostas clássico.

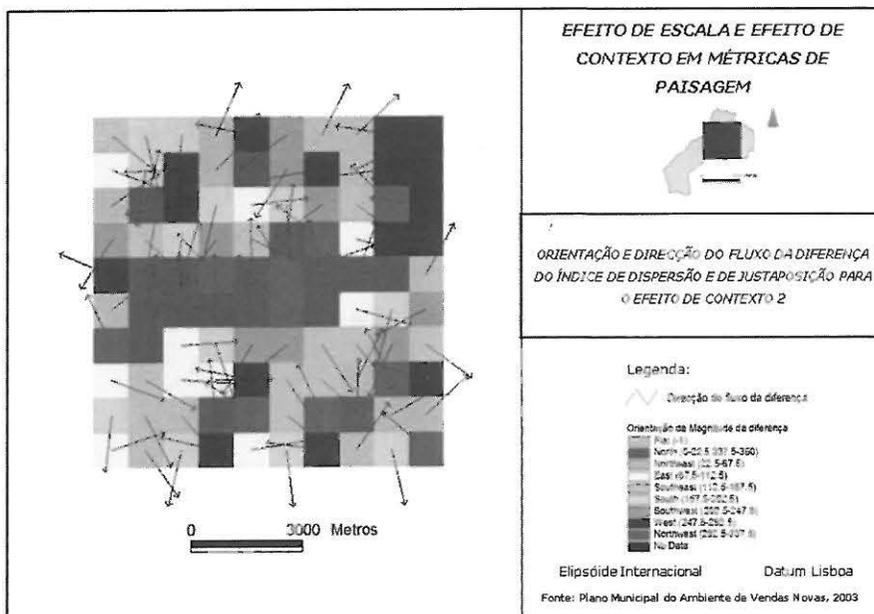


Figura 13 Visualização de Orientação e direcção do fluxo da diferença do Índice de dispersão e de justaposição para o contexto 2.

A ilustração do mapa/diferença através das cores associadas a cada uma das 8 direcções principais foi complementada por uma representação de vectores direccionais, naturalmente referente a cada direcção presente em cada célula.

O processo de ilustração desenvolvido constitui uma primeira aproximação na busca de possíveis variáveis derivadas associadas ao comportamento das métricas em função da alteração posicional das unidades de caracterização ou efeito de contexto.

Considera-se que esta abordagem permitirá identificar factores ou variáveis influentes no efeito de contexto e contribuir para o desenvolvimento de métodos que permitam a sua normalização e consequente possibilidade de realização de análises verdadeiramente comparáveis na avaliação e caracterização da paisagem.

Considera-se ainda, que o aperfeiçoamento dos métodos desenvolvidos e sua aplicação a outras métricas de caracterização de paisagem se afiguram muito importantes para uma melhor caracterização quantitativa e qualitativa do sistema paisagem.

Bibliografia

- BRIDGE, S.; WATT, R.; LUCKING, G. e NAYLOR, B. (2000) - *Landscape analysis for forest management planning in boreal northeastern Ontario*. OMNR, Northeast Science & Technology.
- CANCELA D'ABREU, A; PINTO-CORREIA, T. e OLIVEIRA, R. (2002) - *Contributos para a Identificação e Caracterização das Unidades de Paisagem em Portugal Continental*. DGOTDU.
- CARRÃO, H. (2002) - *Os Efeitos da Escala na Caracterização da Paisagem: Modelação e Avaliação das Transformações na Representação da Ocupação de Solo*. Trabalho Fim de Curso. Universidade de Évora. Évora.
- COUTO, P. (2004) - *Análise factorial aplicada a métricas da paisagem definidas em FRAGSTATS*. Investigação Operacional. 24, pp. 109-137. Grupo de Análise de Sistemas Ambientais. Universidade Nova de Lisboa. Lisboa.
- ELKIE, P.; REIMPEL, R. e CARR, A. (1999) - *Patch Analyst User's Manual - A Tool for Quantifying Landscape Structure*. Ontario Ministry of Natural Resources. Northwest Science & Technology. Thunder Bay. Ontario.
- FERNANDES, J. (1991) - *Modelo de Caracterização e Avaliação Ambiental Aplicável ao Planeamento (ECOGIS/ECOSAD)*. Tese de Doutoramento. FCT. Universidade Nova de Lisboa. Lisboa.
- FORMAN, R. e GODRON, M. (1981) - "Patches and structural components for a landscape ecology". *BioScience* 31, pp. 733-740.
- FORMAN, R. e GODRON, M. (1986) - *Landscape Ecology*. John Wiley and Sons. 619 p. New York.
- FROHN, R. (1998) - *Remote Sensing for Landscape Ecology - New Metric Indicators for Monitoring, Modeling, and Assessment of Ecosystems*. Department of Geography. University of Cincinnati. Cincinnati, Ohio.
- GUSTAFSON, E. (1998) - "Quantifying Landscape Spatial Pattern: What is the State of the Art?" *Ecosystems*, vol. 1, pp. 143-156.
- HERNÁNDEZ, A. (2005) - *Landscape Metrics & Ecological Processes. Concepts and Applications*.
- LEITÃO, A.; MILLER, J.; AHERN, J. e MACGARIGAL, K. (2006) - *Measuring Landscapes: A Planner's Handbook*. Island Press.
- LI, H. e REYNOLDS, J. (1993) - "A new contagion index to quantify spatial patterns of landscapes". *Landscape Ecology*, vol. 8, n.º 3, pp. 155-162.
- MACHADO, R. (2008) - *Proposta Metodológica para a Avaliação de Impactes da Fragmentação do Habitat na Biodiversidade*. Trabalho Fim de Curso. Universidade de Évora. Évora.
- MCGARIGAL, K. e MCCOMB, W. (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. U. S. Department of Agriculture.
- NEVES, N. e FREIRE, M. (2006) - *Representação geográfica, modelos de dados espaciais e estruturas de dados*. Módulo 1. Apontamentos da disciplina de Análise Espacial. Universidade de Évora. Évora.
- O'NEILL, R.; HUNSAKER, C.; JACKSON, B.; JONES, K.; RITTERS, K. e WICKHAM, J. (1996) - "Scale problems in reporting landscape pattern at regional scale". *Landscape Ecology*, vol.11, nº 3, pp. 169-180.
- O'NEILL, R.; KRUMMEL, J.; GARDNER, R.; SUGIHARA, G.; JACKSON, B.; MILNE, B.; TURNER, M.; ZYGMUNT, B.; CHRISTENSEN, S.; DALE, V. e GRAHAM, R. (1988) - "Indices of landscape pattern". *Landscape Ecology*, vol. 1, nº 3, pp. 153-162.
- O'NEILL, R.; TURNER, S.; CULLINAN, V.; COFFIN, D.; COOK, T.; CONLEY, W.; BRUNT, J.; THOMAS, J.; CONLEY, M. e GOSZ, J. (1991) - "Multiple landscape scales: An intersite comparison". *Landscape Ecology*, vol. 5, nº 3, pp. 137-144.
- PIVELLO, V. e METZGER, J. (2006) - *Diagnóstico da pesquisa em ecologia de paisagens no Brasil (2000-2005)*. São Paulo, Brasil.
- RIITTERS, K.; O'NEILL, R.; HUNSAKER, C.; WICKHAM, J.; YANKEE, D.; TIMMONS, S.; JONES, K.; JACKSON, B. (1995) - "A factor analysis of landscape pattern and structure metrics". *Landscape Ecology*, 11, pp. 197-202.
- ROCCHINI, D. (2005) - "Resolution Problems in Calculating Landscape Metrics". *Spatial Science*. Vol. 50, nº. 2, Dezembro. Itália.
- TURNER, M. (1990) - "Spatial and temporal analysis of landscape patterns". *Landscape Ecology*, 4, pp. 21-30.
- TURNER, M. e GARDNER, R. (1991) - *Quantitative Methods in*

- Landscape Ecology*. Springer-Verlag, New York.
- TURNER, M.; O'NEILL, R.; GARDNER, R. e MILNE, B. (1989) - "Effects of changing spatial scale on the analysis of landscape pattern". *Landscape Ecology*, vol. 3, n° 3/4, pp. 153-162.
- VOLOTÃO, C. (1998) - *Métricas do FRAGSTATS*. Trabalho de Análise Espacial. INPE. São José dos Campos. Brasil.
- WIENS, J. (1989) - "Spatial scaling in ecology". *Functional Ecol.*, 3, pp. 385-397.