

Notas e Resenhas

A INFLUÊNCIA DA RESOLUÇÃO ESPACIAL NA ESTIMATIVA DA DIMENSÃO FRACTAL DE LINHAS DE COSTA: UM EXEMPLO PARA O ARQUIPÉLAGO DE FERNANDO DE NORONHA – BRASIL

GEOGRAFIA, Rio Claro, v. 28, n. 3, p. 447-454, set./dez. 2003

INTRODUÇÃO

A organização e a representação computacional de mapas em Sistemas de Informação Geográfica é composta basicamente por duas classes: vetorial e matricial

Na classe vetorial, a representação de um elemento ou objeto é uma tentativa de reproduzi-lo o mais exatamente possível. Qualquer entidade ou elemento gráfico de um mapa é reproduzido em três formas básicas; pontos, linhas e polígonos (CÂMARA; MEDEIROS, 1998).

A representação matricial ou raster consiste no uso de uma malha quadriculada regular sobre a qual se constrói, célula a célula, o elemento que está sendo representado. A cada célula, atribui-se um código referente ao atributo estudado de tal forma que o computador saiba que um elemento ou objeto pertence à determinada célula (CÂMARA; MEDEIROS, 1998 e JOHNSTON, 1998).

Neste tipo de estrutura, o espaço é representado como uma matriz $m \times n$ composta de m colunas e n linhas, onde cada célula possui um número de linha, um número de coluna e um valor correspondente ao atributo estudado e cada célula é individualmente acessada pelas suas coordenadas. Desta forma a representação matricial supõe que o espaço pode ser tratado como uma superfície plana, onde cada célula é associada a uma porção do terreno. A resolução do sistema é dada pela relação entre o tamanho da célula no mapa e a área por ela coberta no terreno (CÂMARA; MEDEIROS, 1998).

Segundo Lawrence; Ripple (1996) e Mladenoff (1997), a variação da resolução, ou do nível de detalhe das feições espaciais contidas em um mapa, é responsável por distorções nos valores de área, perímetro, número e forma dos objetos. Conseqüentemente estas distorções podem influenciar as variações da dimensão fractal (D) da linha de costa, objeto de estudo deste trabalho.

Desta maneira, o cálculo da dimensão fractal, à luz dos Sistemas de Informação Geográfica, baseados em mapas estruturados no formato matricial (raster), pode apresentar variações na sua estimativa.

Face a este problema, efetuamos um teste para avaliar o efeito da resolução espacial na estimativa da dimensão fractal (D) da linha de costa localizada na ilha de Fernando de Noronha – litoral de Pernambuco.

REVISÃO DA LITERATURA

Os estudos mais recentes em ecologia de paisagem têm ressaltado que as métricas utilizadas na quantificação da dinâmica da paisagem estão baseadas no nível de detalhe dos arranjos espaciais que as compõem (TURNER et al., 2001).

Desta maneira, muita atenção tem sido dada à resolução espacial dos arranjos espaciais das paisagens, pois quando a resolução ou o nível de detalhe é alterado, diferentes estruturas e feições espaciais podem aparecer (BENSON; MACKENZIE, 1994).

Segundo Turner et al. (2001), estas alterações influenciam diretamente nos valores das métricas utilizadas na quantificação dos padrões espaciais da paisagem. Conseqüentemente estas distorções podem provocar variações também na estimativa da dimensão fractal (D) de elementos lineares, como é o caso das linhas de costa, objeto de estudo deste trabalho.

Young; Chopping (1996), salientam que a utilização de resoluções inadequadas pode ser crucial em estudos geoambientais, pois a supressão ou o aparecimento de novas feições espaciais na paisagem pode ser responsável, por exemplo, pela alteração dos padrões de irregularidade e sinuosidade.

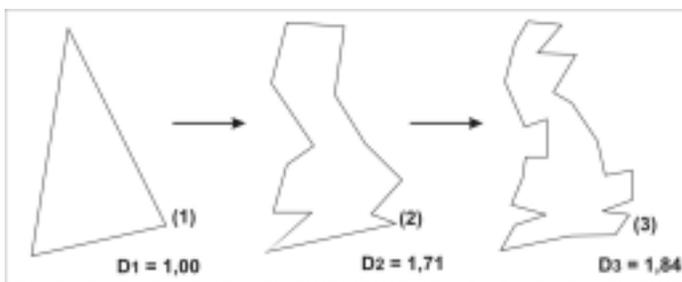
Deste modo, a análise do espaço por meio de técnicas baseadas na geometria euclidiana tem se mostrado insuficiente para identificar a diversidade e a complexidade de fatores que influenciam a forma geometria dos fenômenos espaciais (LOGLEY; BATTY, 1989).

Na tentativa de suprir esta dificuldade Mandelbrot (1983), desenvolveu uma metodologia que permitia descrever formas irregulares e complexas da natureza. Para Jiang; Plotnick (1998), a dificuldade em quantificar formas geometricamente complexas, como linhas de costa, cadeias de montanhas, sistemas fluviais, devia-se à inexistência de um método que pudesse efetuar tais constatações.

A geometria clássica aborda o espaço tendo por base noções euclidianas de n dimensões, examinando a natureza e as relações de figuras abstratas como pontos, linhas e polígonos. Esses objetos são conhecidos como sendo idealizações que não tem comprimento característico e nem tamanho absoluto. Por outro lado à geometria fractal retoma a riqueza original do fenômeno permitindo que ele seja representado em diversas dimensões e visualizado em múltiplas dimensões (LAM; DE COLA, 1993, apud MARQUES; FERREIRA, 2000).

A partir destas premissas, muitos pesquisadores puderam verificar a relação entre a resolução e a estimativa da dimensão fractal (D) de linhas de costa (MULLER, 1986; LONGLEY; BATTY, 1989; KLINBERLBERG, 1994; JIANG; PLOTNICK, 1998), Figura 1.

Figura 1 - Influência da Resolução na estimativa da dimensão Fractal (D)



Fonte: Adaptado de Allen; Hoekstra (1992)

Na Figura 1, a variação do nível de detalhe, faz com que a geometria da linha costeira seja cada vez mais irregular (fragmentada), ou seja, a resolução determina o grau de complexidade da linha costeira, que conseqüentemente influencia nos valores da dimensão fractal (D).

Estas observações mostram a importância do estudo da resolução espacial, uma vez que as descrições de paisagens costeiras com níveis de detalhamento não apropriados podem acarretar em erros que influenciam na quantificação e no diagnóstico ecológico da paisagem.

MATERIALE MÉTODO

Para efetuar os procedimentos metodológicos referentes à avaliação da influência da resolução na estimativa da dimensão fractal de linhas de costa, foi selecionada como área teste a linha de costa localizada entre a ponta da Sapata e a ponta de Santo Antônio, na ilha de Fernando de Noronha (Carta Náutica nº 52), (Figura 2).

Figura 2: Detalhamento da linha de costa da Ilha de Fernando de Noronha estudada



A distância entre os pontos extremos da área de estudo Ponta da Sapata e a Ponta de Santo Antônio, foi determinada pelo método convencional (Teorema de Pitágoras), tendo sido calculado o comprimento (AB) em linha reta (Le) para a linha de costa estudada, utilizando como unidade de referência as coordenadas UTM da carta náutica na escala 1:30.000.

Posteriormente, a linha de costa foi segmentada em arcos onde cada arco é considerado como um passo, ou seja, entre dois pontos coletados na linha de costa existe um passo.

Assim foram efetuadas 06 digitalizações na linha de costa entre a ponta da Sapatá e a ponta de Santo Antônio, da ilha de Fernando de Noronha, no software AutoCadMap-R2 (AUTODESK, 1998), sendo o comprimento de cada passo (ϵ) ou arco, assim definidos: 75, 150, 300, 600, 1200 e 2400m.

Cada uma das 06 curvas geradas no formato digital (medidas em passos diferentes), resultou em um conjunto de dados utilizados para a determinação de medidas específicas ($\epsilon_{0,25'}$, $\epsilon_{0,50'}$, $\epsilon_{1,0'}$, $\epsilon_{2,0'}$, $\epsilon_{4,0'}$, $\epsilon_{8,0'}$).

Para o cálculo de D foi utilizado o procedimento adotado por Lam; De Cola (1993), que consideram o princípio de sinuosidade da curva como um modelo da dimensão fractal. O valor de D para as linhas de costa foi obtido através da relação:

$$D = n\epsilon / L\epsilon$$

Onde:

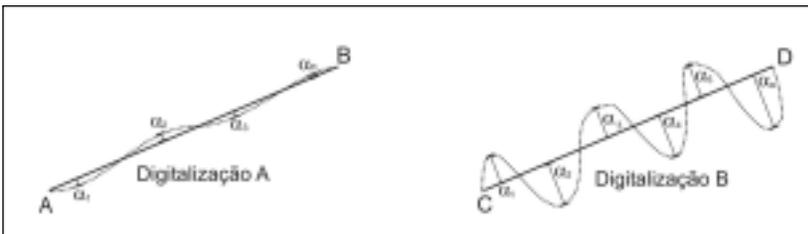
D = Dimensão Fractal

$n\epsilon$ = somatória do comprimento dos segmentos

$L\epsilon$ = comprimento da reta

Este método ajusta um conjunto de dados a uma linha de tendência, mensurando as variações da resolução por meio da flutuação dos padrões de irregularidade das linhas, sobre a reta de tendência (Figura 3).

Figura 3: Sinuosidade de linhas de costas hipotéticas



Para cada curva, este método analisa as n diferenças entre cada valor de α em relação à reta de tendência. As curvas que apresentam menores somas das diferenças α possuem valores de D menores do que as curvas que apresentam somas maiores.

Assim, a dimensão fractal linear (D) foi calculada para cada curva a partir das medidas $L\epsilon$ e a somatória dos segmentos ϵ .

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados sobre a influência da resolução na estimativa de D, para a linha de costa entre a ponta de Sapata e a ponta de Santo Antônio, localizada na ilha de Fernando de Noronha, são apresentadas na Figura 4.

Figura 4: Valores da dimensão fractal (D) da linha de costa da ilha de Fernando de Noronha

Resolução	D. Fractal	Morfologia das Linhas de Costa
75 m	1,31	
150 m	1,24	
300 m	1,14	
600 m	1,07	
1200 m	1,04	
2400 m	1,01	
Média	1,14	
Desvio Padrão	0,1181	
CV %	10,35	

Nesta figura, observamos que a resolução altera a estimativa da dimensão fractal das linhas de costa da ilha de Fernando de Noronha. Essas constatações podem ser observadas pelo coeficiente de variação (CV) da dimensão fractal das linhas de costa, que possui uma variação de 10,35 %. Estes resultados estão em concordância com os estudos efetuados por Leduc et al. (1994), onde o aumento da resolução pode ser responsável pela oscilação de aproximadamente 10% na estimativa da dimensão fractal.

Os resultados também mostram que os valores de D, das linhas de costa, situam-se entre 1,01 a 1,31. Essas amplitudes de variação devem-se à relação entre a distância entre os pontos extremos da área de estudo (L_E) e soma dos segmentos das diferenças α ($n E$), dadas pela resolução (número de passos).

Lawrence; Ripple (1996) salientam que este tipo de padrão deve-se ao fato de que, à medida que aumenta a resolução aumenta também o nível de detalhe dos objetos e, por conseguinte diminuem, os erros associados à estimativa de D dos objetos.

As observações, acima comentadas, nos indicam que as métricas utilizadas para quantificar a estrutura da paisagem, baseadas nas proporções de forma, como por exemplo a dimensão fractal, podem providenciar informações não confiáveis quando utilizamos baixa resolução espacial, apresentando resultados com alto grau de incerteza (erros).

Segundo Muller (1986) e Klinberg (1994), quando o foco de interesse está centrado no estudo das de linhas de costa, rede de drenagem, etc, as resoluções mais adequa-

das para estes estudos são aquelas que apresentam menor grau de incerteza de medida (erros) destas métricas, ou seja, tomadas sob alta resolução.

Isto ocorre por que os valores das métricas utilizadas para quantificar a estrutura da paisagem em baixas resoluções possuem distorções oriundas da generalização dos arranjos espaciais que nada mais é do que a simplificação dos detalhes dos objetos à medida que diminuimos a resolução (MARCEAU et al., 1994 e WOODCOCK; STRAHLER, 1987).

Como podemos observar na figura 4, no processo de generalização das linhas de costa, notamos que a forma do litoral vai se retelinizando, ou seja, a morfologia costeira vai perdendo a irregularidade (tortuosidade) tornando-se geometricamente regular.

A figura 4 também nos mostra que o processo de generalização afeta a estimativa da dimensão fractal, pois à medida que alteramos o nível de detalhe dos objetos, tornando-os retilíneos, ocorre a perda de informação e conseqüentemente, valores imprecisos da dimensão fractal são estimados não condizendo com a realidade encontrada das linhas de costa.

Os erros na estimativa de D , oriundos da utilização de resoluções grosseiras (baixo nível de detalhe), poderiam trazer conseqüências desastrosas, geológicas e geográficas, pois a complexidade das regiões costeiras, dada pela sinuosidade da costa expressa pela dimensão fractal, pode ser um indicador da origem do assoalho oceânico, no estabelecimento de áreas urbanas e portos, etc. Estes erros podem trazer conseqüências ainda maiores em estudos ecológicos.

Por exemplo, o trabalho de Pennycuik; Kline (1986), que relacionaram a área de nidificação de uma espécie de águia (bald eagle) com a dimensão fractal da linha de costa de duas ilhas no Alaska. Os resultados mostram a quantidade de ninhos da águia "bald eagle" é maior na ilha que apresenta o maior valor de dimensão fractal. Para os autores, esta correspondência está relacionada com a complexidade da linha de costa, onde os fiordes (reentrâncias) propiciam uma maior áreas para esta águia nidificar.

Os resultados obtidos por estes autores confirmam as afirmações de Milne (1995), onde uma pequena variação na estimativa da dimensão fractal poderia ser responsável por grandes impactos na biota, pois a ilha que possui dimensão fractal com valor de 1,19 possui menos densidade de ninhos do que a ilha que possui dimensão fractal com valor de 1,21.

Por outro lado, as utilizações de resoluções espaciais grosseiras, com baixo nível de detalhe, podem também ser responsáveis pelas variações na estimativa de D , e influenciar na quantificação da biota, alterando, por exemplo, os padrões de densidade e diversidade de espécies.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

De maneira geral os resultados da análise da influência da resolução na estimativa da dimensão fractal, nos permitem concluir que a dimensão fractal é influenciada pela resolução espacial, pois dependendo do nível de detalhe de um conjunto de objetos a dimensão fractal apresenta valores diferentes.

Estes resultados nos alertam para a importância da resolução espacial em estudos de ecologia da paisagem, pois a utilização de este parâmetro, de forma incorreta, acarreta em erros que impossibilitam a interpretação acurada não só dos processos ecológicos, como também, na quantificação da estrutura ecológica dos ecossistemas.

REFERÊNCIAS

- ALLEN, T. F. H.; HOEKSTRA, T. W. **Toward a unified ecology**. New York (Columbia), University Press, 1992. 384 p.
- AUTODESK, Inc. **AUTOCAD MAP Release 2: user's guide**, USA. 1998.
- BENSON, B.; MACKENZIE Effects of sensor spatial resolution on landscape structure parameters. **Landscape Ecology**, Dordrecht, n 2, v 10, p. 113 – 120, 1994.
- CÂMARA, G.; MEDEIROS, J. S. Mapas e suas representações computacionais. In: Assad, E. D. e Sano E. E. (Ed.) **Sistemas de informação geográfica: aplicações na agricultura**. Brasília, Embrapa, 1998. p. 13 – 30,
- JIANG, J.; PLOTNICK, R. E. Fractal analysis of the complexity of United States Coastlines. **Mathematical Geology**, Portsmouth, n. 5, v. 30, p. 535 – 546, 1998
- JOHNSTON, C. A. **Geographic information systems in ecology**. Blackwell Science, Oxford. 1998, 239 p.
- KLINKBERG, B. A Review of methods used to determine the fractal dimension of linear features. **Mathematical Geology**, Portsmouth, n. 1, v. 26, p. 23 – 46, 1994
- LAM, N. S. N.; DE COLA, L. **Fractals in Geography**. New York. Prentice-Hall, Inc., 1993, 308 p.
- LAWRENCE, R.; RIPPLE, W. Determining patch perimeters in raster image processing and geographic information systems. **International Journal of Remote Sensing**, London, n.6, v. 17, p. 1255 – 1259, 1996.
- LEDUC, A.; PRAIRIE, Y. T.; Bergeron, Y. Fractal dimension estimatives of a fragmented landscape: sources of variability. **Landscape Ecology**, Dordrecht, n.4, v. 9, p. 279 – 286, 1994.
- LONGLEY, P. A.; BATTY, M. Fractal measurement and line generalization. **Computers & Geosciences**, Oxford, n. 2, v 15, p. 167 – 183, 1989.
- MANDELBROT, B. B. **The fractal geometry of nature**. San Francisco, Freeman, 1983, 468 p.
- MARCEAU, D. J.; GRATTON, D. J.; FOURNIER, R. A.; FORTIN, J. P. Remote sensing and the measurement of geographical entities in a forested environment. 2. The optimal spatial resolution. **Remote Sensing of Environment**. New York, v. 49, p. 105 – 117, 1994.
- MARQUES, M. L.; FERREIRA, M. C. – Avaliação preliminar de um procedimento metodológico para o cálculo da dimensão fractal das linhas de costa do litoral paulista. In: SIMPÓSIO DE QUANTIFICAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS, 8., 2000, Rio Claro. **Anais ...** Rio Claro: IGCE/UNESP, 2000. v.1, p. 145 – 149.
- MILNE, B. T. – Applications of fractal geometry in wildlife biology. In: Bissonette, J. A. (Ed.) **Wildlife and landscape ecology: Effects of pattern and scale.**, Portland: Springer Verlag. 1995. p. 31 – 69.
- MLADENOFFI, D. Gerald, J. N.; Mark, A. W. Effects of changing landscape pattern and U.S.G.S. land cover data variability on ecoregion discrimination across a forest-agriculture gradient. **Landscape Ecology**, Dordrecht, v.12, p. 379 – 396, 1997.
- MÜLLER, J. C. Fractal dimension and inconsistencies in cartographic line representations. **The Cartographic Journal**, Leeds, v. 23, p. 123 – 130, 1986.
- PENNYCUICK, C. J.; KLINE, N. C. Units of measurement for fractal extent, applied to the coastal distribution of bald eagle nests in the Aleutian Islands, Alaska. **Oecologia**, Berlin, v. 68, p. 254 – 258 , 1986.
- TURNER, M. G ;GARDNER, R. H.; O'NEILL, R. V.; **Landscape ecology in theory and practice: pattern on process**. New York, Springer Verlag, 2001, 401p.

YOUNG, R.; CHOPPING, M. – Quantifying landscape structure: a review of landscape indices and their application to forested landscapes. **Progress in physical Geography**, Letchworth Hertfordshire, n. 4, v. 20, p. 418 – 445, 1996.

WOODCOCK, C. E.; STRAHLER, A. H. The factor of scale in remote sensing. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 21, p. 311 – 332, 1987.

THIAGO SALOMÃO DE AZEVEDO

Pós-Graduando em Geografia, UNESP. - Rio Claro, BRASIL. E-mail: thiagosa@rc.unesp.br

Recebido em janeiro de 2003

Aceito em setembro de 2003