

Aplicação da tecnologia LIDAR para a determinação do padrão fractal de rede de drenagem

Fernanda Simoni Schuch¹
Carlos Loch²

¹ Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Santa Catarina - IFSC
CEP: 88020-300 - Florianópolis - SC, Brasil
fernandass@ifsc.edu.br

² Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC
CEP: 88040-900 – Florianópolis - SC, Brasil
loch@ecv.ufsc.br

Abstract. This paper presents the results of a research concerning to the determination of the fractal dimension of a drainage network obtained with airborne LIDAR data. To achieve that, the box-counting method was applied in drainage networks, extracted with ArcGIS 9.1 software, from the digital terrain model (MDT) generated with LIDAR data. During the process is necessary to use a different number of group cells (pixels) which can generate a different and more complex drainage network. Intending to achieve a better result and a more consistent analysis it was generated two different drainage networks, extracted with a 10000 group cells (pixel) and other with 5000. The study area is the Cachoeira's River basin and sub-basins, located in Joinville municipality at Santa Catarina's State, Brazil. The results showed the drainage network self-similarity and presented a 2,25% standard deviation to the 10000 pixels network and 7,51% to the 5000 pixel network. To the River basin and sub-basins the minimum and maximum fractal dimension value calculated are: 1,087 e 1,268 respectively.

Palavras-chave: LIDAR, fractal dimension, Box-counting ; LIDAR, dimensão fractal, Box-counting

1. Introdução

Durante as últimas décadas com o advento de novos sensores e técnicas computacionais as possibilidades de análise do território e dos elementos que o compõem tiveram um incremento significativo. As análises espaciais em especial ficam facilitadas com a implementação de modelos matemáticos e a facilidade no cruzamento de dados.

Neste caminho de busca por novas informações acerca do espaço geográfico estava Benoît Mandelbrot, matemático francês nascido na Polônia, ao descobrir a geometria fractal na década de 50 do século XX (Almeida, 2006). Esta teoria dá uma nova visão acerca dos elementos e suas características espaciais relacionando o elemento com o espaço em que ele ocupa. A geometria fractal fornece as ferramentas adequadas para quantificar a rugosidade ou textura existente acerca de um objeto natural em diferentes escalas. Os modelos fractais são projetados para descrever a textura da superfície mostrando a similaridade existente nas feições que se propagam num determinado leque de escalas espaciais. (Pachepsky et al, 1997).

Os objetos tidos como fractais possuem como atributo a auto-similaridade, o que quer dizer que, se olharmos cada vez mais detalhadamente a imagem fractal de um objeto, verificaremos que as formas observadas em uma escala são similares às formas vistas em detalhe, em outra escala. Para se realizar as análises e determinar a característica fractal dos objetos calcula-se o valor da sua dimensão fractal.

A determinação da dimensão fractal de rede de drenagem ocorre a partir da aplicação do método Box-counting deste trabalho, utilizando para tal, dados do sensor laser scanning aerotransportado Leica ALS 60, gentilmente cedidos pela empresa Aeroimagem S/A em

concordância com a Prefeitura Municipal de Joinville (PMJ), onde a área de estudos está localizada.

2.0 Revisão de Literatura

Para um melhor entendimento das técnicas abordadas neste trabalho, faz-se necessário discorrer brevemente sobre o sensor laser scanning e a teoria fractal.

O objeto de análise deste artigo é a rede de drenagem na forma vetorial obtida através do Modelo Digital do Terreno (MDT) obtido através do perfilamento a laser realizado com o sensor laser aerotransportado Leica ALS60.

Sloboda (2005) diz que o Laser Scanner Aerotransportado (LSA) conhecido mundialmente como LIDAR (Light Detection and Ranging), apresenta-se para o mercado mundial como uma nova concepção de produção cartográfica, e seu emprego possui várias terminologias. Segundo a classificação dos sensores LIDAR apresentados por Brandalize (2004) citando Fowler (2001) este sistema determina as coordenadas tridimensionais absolutas de pontos e/ou objetos situados sobre a superfície do terreno recebe o nome de LIDAR topográfico. O LIDAR topográfico é um sistema ativo que envolve o uso de uma radiação laser emitida em direção à superfície do terreno e que tem por objetivo a determinação das elevações da mesma. (Brandalize, 2004 citando Lillesand & Kiefer, 2000).

Visando compreender um pouco mais sobre a teoria fractal é necessário discorrer a respeito. O que vem a ser um fractal? Para Mandelbrot (1982), os fractais são conjuntos (elementos) cuja dimensão de Hausdorff, ou simplesmente dimensão fractal, é estritamente superior à sua dimensão euclidiana (1D, 2D e 3D). A geometria clássica euclidiana considera que uma linha reta possui uma dimensão; uma superfície plana possui duas dimensões; um ponto possui dimensão zero e um sólido possui três dimensões. Já a dimensão fractal quantifica a complexidade ou irregularidade de um objeto fractal, mas não sua forma. Portanto, um objeto com menor dimensão fractal é menos complexo do que um objeto com uma maior dimensão fractal.

Para Christofolletti e Christofolletti (1994), a significância dos fractais residuiu em possibilitar concepções mais amplas a propósito da dimensionalidade de um objeto. Os pesquisadores enquadraram os valores da dimensão fractal de modo genérico em:

- a) 0 e 0,99: neste intervalo encontram-se as estruturas com base em pontos como, por exemplo, o fractal de uma série temporal de dados sobre a precipitação em determinado lugar;
- b) 1,0 e 1,99: neste intervalo incluem-se as estruturas espaciais de lineamentos, no caso curvas irregulares, como as tortuosidades e as sinuosidades das linhas costeiras e os meandros dos cursos fluviais. Neste intervalo se enquadram os valores a ser obtidos para esta pesquisa.
- c) 2,0 e 2,99: inserem-se as estruturas espaciais de representação bidimensional que uma superfície irregular possui. Incluem-se aqui a análise do formato de bacias hidrográficas e a modelagem digital do terreno;
- d) 3,0 e 3,99: correspondem às estruturas espaciais de representação volumétrica de uma categoria de ocorrência no interior de outro conjunto volumétrico. Por exemplo, servindo como aplicação para o cálculo de reservas em jazidas minerais em determinada unidade espacial ou para determinar o volume total de nuvens em uma unidade volumétrica (local ou regional) da atmosfera.

Para se chegar ao valor da dimensão fractal de um objeto muitos métodos foram desenvolvidos. O box-counting é apontado por alguns autores como o mais simples de ser utilizado e um dos que propiciam melhores resultados nas análises. Este será o método utilizado neste trabalho para o cálculo da dimensão fractal como descreve o item 4.2 deste artigo.

3. Área de Estudo

A área de estudos está localizada no município de Joinville no Estado de Santa Catarina.

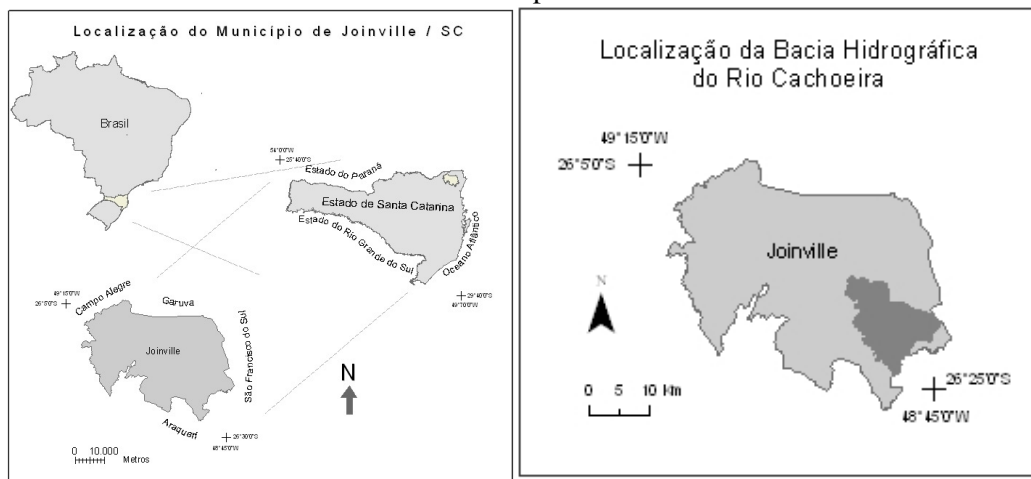


Figura 01: Localização do Município de Joinville e da Bacia Hidrográfica do Rio Cachoeira

Fonte dos dados: IBGE, 2008

Joinville é o município com a maior população do Estado de Santa Catarina. Segundo a contagem populacional realizada pelo IBGE em 2007 estima-se que o município possua aproximadamente 487 mil habitantes (IBGE, 2008). Está localizado na Região Norte do Estado de Santa Catarina como pode ser visto na figura acima.

Na região oeste do município observa-se a Serra do Mar com montanhas alcançando altitudes de até 1.325 metros. No leste, há uma área de sedimentação costeira, recortada por manguezais. A região de planície, onde se desenvolve a ocupação urbana, é coberta por morros que mantêm intactas áreas da mata atlântica. A vegetação predominante pode ser classificada de uma forma geral como Floresta Ombrófila Densa, é parte integrante do domínio da Floresta Atlântica. O relevo da cidade é considerado plano com poucas elevações possuindo montanhas elevadas no entorno da cidade, o clima é o subtropical e seu rio principal é o Rio Cachoeira (IBGE, 2008).

Para análise dos dados mais aprofundada subdividiu-se a área de estudo em sub-bacias. O método descrito a seguir mostra o cálculo da dimensão fractal como forma de análise fractal para a Bacia hidrográfica do Rio Cachoeira (BHRC) e sub-bacias: Boa Vista, Bucareim, Cachoeira e Itaum.

4. Materiais e métodos

Segue abaixo uma breve descrição dos materiais e método utilizados na pesquisa que originou este artigo.

4.1 Material

Os dados ora utilizados se originaram da partir da aplicação do sensor laser scanning Leica ASL 60, gentilmente cedidos pela empresa Aeroimagem S/A em consonância com prefeitura de municipal de Joinville, onde se localiza a área de estudos acima caracterizada.

O arquivo *.txt contendo as coordenadas dos pontos acerca da superfície da bacia hidrográfica foram manipulados no software ArcGIS 9.1 e, os resultados obtidos forma analisados em planilha eletrônica (Excel 2007).

4.2 Método

Inicialmente foi necessário manipular os dados laser de modo a gerar o modelo digital do terreno (MDT). A partir do MDT obtido pelo sistema laser scanning foi extraída a rede de drenagem a partir das ferramentas disponíveis no software ArcGIS 9.1 em: Spatial Analyst>Conditional>CON e Spatial Analyst_Hidrology.

O modelo matemático do software utiliza um número determinado de células (pixel) para geração da rede de fluxo e conseqüente rede de drenagem. Em função da variação deste número de células a rede de drenagem extraída pode apresentar variação na quantidade de informação apresentada como pode ser observado na imagem abaixo:

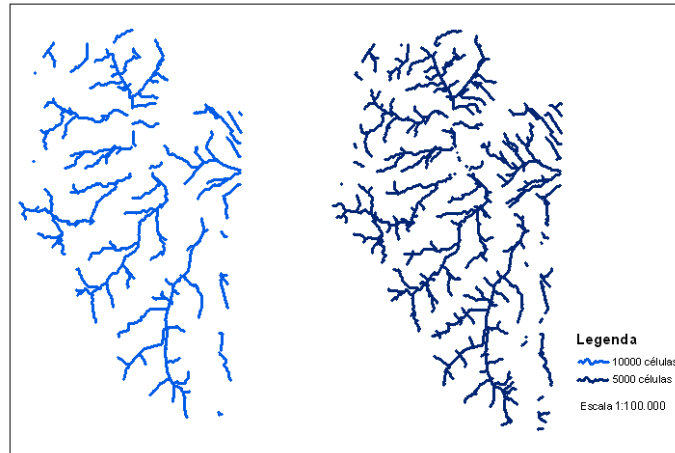


Figura 02: Comparação entre redes extraídas do Laser Scanning
Fonte de dados: LIDAR – Aeroimagem S/A e PMJ

Observa-se claramente na figura acima a diferença entre a rede gerada com um grupo de 10.000 células e outra gerada com 5.000 células. Sendo assim, visando-se realizar uma análise mais aprofundada, optou-se por calcular o padrão fractal em ambas as redes de drenagem.

Após a obtenção da rede de drenagem foi determinado o padrão fractal da rede de drenagem utilizado o método Box-counting. Para estimar a dimensão fractal com o método Box-counting cobre-se o objeto (a imagem) com um gride de tamanho 'r' e conta-se o número de grides (de quadros) que contém alguma parte do objeto. O valor de 'r' (dimensão do grid) é progressivamente reduzido até se obter uma série de tamanhos cada vez menores. À medida que o valor de 'r' tender à zero veremos que o gráfico $\log N(r)/\log (1/r)$ converge para valores infinitos definindo assim a dimensão fractal do objeto pelo método Box-counting. Este método é freqüentemente utilizado quando se tratam das ciências naturais (Rodrigues-Iturbe & Inacio, 2001).

Após calculados os valores de D_f para as bacias hidrográficas foram analisados os resultados estatisticamente com o cálculo da média e desvio padrão..

5. Resultados e análises

Aplicando-se a metodologia acima descrita para as redes de drenagem extraídas com um grupo de 10000 e 5000 células obtiveram-se os valores apresentados nas tabelas e gráficos que seguem:

5.1 Rede de drenagem obtida com 10.000 células

Para a rede de drenagem extraída de um conjunto de 10.000 células temos:

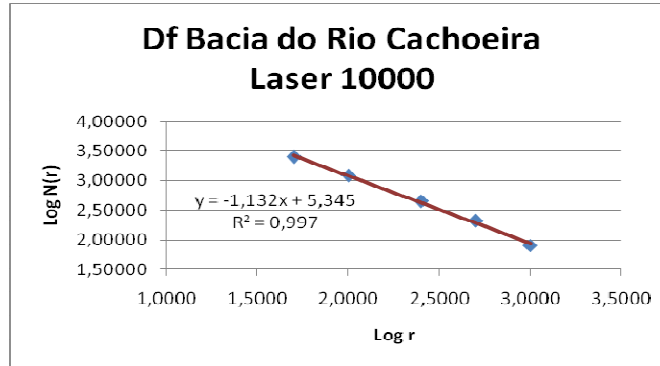
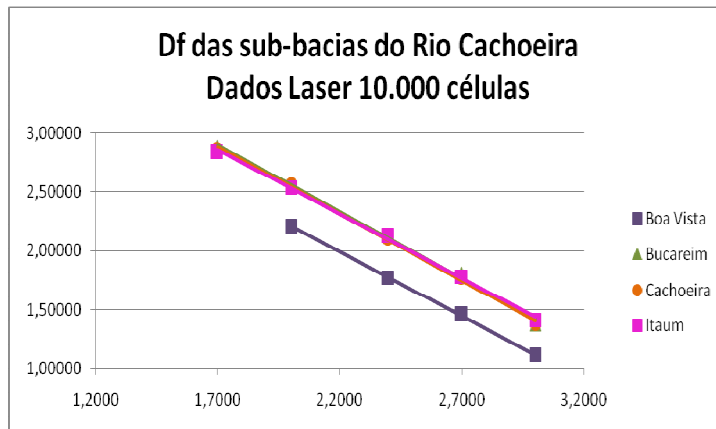


Figura 03: Dimensão Fractal da Bacia Hidrográfica do Rio Cachoeira 10.000

O valor do coeficiente angular da reta acima representada nos dá um valor de Df igual a 1,132 para a BHRC.

Para as sub-bacias temos:



Sub-bacia	Df
Rio Boa Vista	1,088
Rio Bucareim	1,134
Rio Cachoeira	1,136
Rio Itaum	1,087

Figura 4: Dimensão Fractal das sub-bacias - 10.000

5.2 Rede de drenagem obtida com um conjunto de 5.000 células

Para a rede de drenagem obtida a partir do laser scanning por um conjunto de 5000 células temos para a Bacia Hidrográfica do Rio Cachoeira os seguintes resultados:

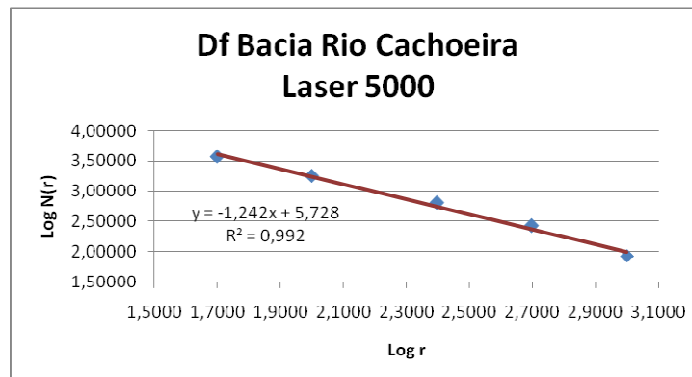
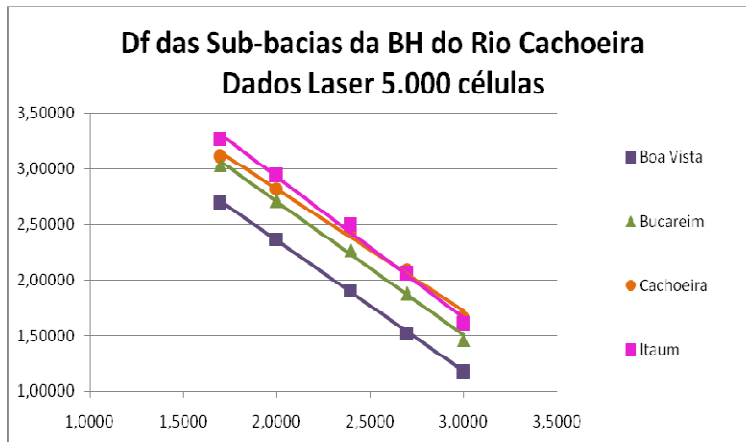


Figura 5: Dimensão Fractal da Bacia Hidrográfica do Rio Cachoeira - 5.000

A equação do gráfico acima nos dá uma Df de 1,242 para a BHRC.

Para as sub-bacias temos:



Sub-bacia	Df
Rio Boa Vista	1,174
Rio Bucareim	1,201
Rio Cachoeira	1,095
Rio Itaum	1,268

Figura 6: Dimensão Fractal das sub-bacias - 5.000

5.3 Análise dos resultados

Para comparar os valores de dimensão fractal das redes de drenagem calculou-se:

- a) a variação ocorrida para a BHRC e sub-bacias entre os valores obtidos para a rede obtida com 5000 e 10000 células respectivamente (ΔDf : 5000-10000);
- b) a média da Df obtida para as sub-bacias;
- c) o desvio da média para as sub-bacias;
- d) a diferença entre a Df da BHRC e cada sub-bacia.

Tabela 1: Variação da Dimensão Fractal

Bacia Hidrográfica	10000	5000	ΔDf	desvio da média 10000	desvio da média 5000	diferença da BHRC 10000	diferença da BHRC 5000	
Bacia do Rio Cachoeira	1,132	1,242	0,110					
Sub-bacias	Boa vista	1,088	1,174	0,086	0,023	0,011	0,044	0,068
	Bucareim	1,134	1,201	0,067	-0,023	-0,017	-0,002	0,041
	Cachoeira	1,136	1,095	-0,041	-0,025	0,089	-0,004	0,147
	Itaum	1,087	1,268	0,181	0,024	-0,084	0,045	-0,026
media	1,111	1,185	0,073	0,000	0,000	0,021	0,057	

A tabela acima mostra que os valores de Df para 10000 e 5000 células possui uma variação máxima de 0,181 para a Sub-bacia do Rio Itaum e uma variação mínima para a Sub-bacia do Rio Cachoeira com 0,041.

As sub-bacias ficaram com um desvio da média muito próximos entre si (0,023 a 0,025) para a rede de 10000 células enquanto que para a 5000 variou mais: de 0,011 a 0,084. Isto pode ser confirmado analisando-se a diferença entre os valores de Df das sub-bacias para com a BHRC. Para a rede 10000 as maiores diferenças ocorreram para as sub-bacias do Itaum (0,045 ou 4,14%) e Boa Vista (0,044 ou 4,04%) cujos valores ficaram muito próximos. Para a rede 5000 a maior diferença ocorreu na sub-bacia do Rio Cachoeira (0,147 ou 12,94%).

Para uma rede de drenagem mais complexa é esperado que o valor da Df fractal seja mais elevado. Neste estudo de caso é esperado, portanto, que a rede obtida com 5000 células possua um valor de Df maior do que a rede de 10000 células. Isto ocorreu em 4 das 5 bacias hidrográficas analisadas, somente a sub-bacia do Rio Cachoeira não seguiu o padrão esperado o que pode ser confirmado pelo gráfico abaixo:

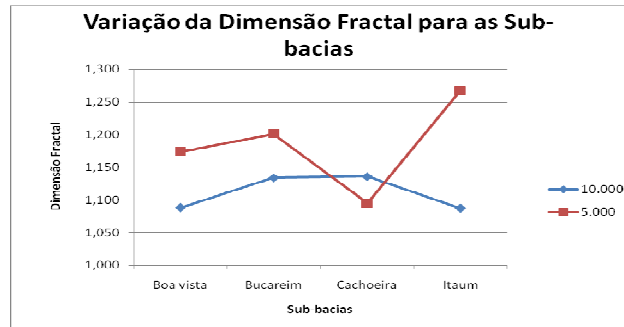


Figura 7: Gráfico da variação da Dimensão Fractal das sub-bacias

6. Conclusões

Os valores obtidos de dimensão fractal para a rede de drenagem da bacia hidrográfica do rio cachoeira mostram que há auto-similaridade entre os elementos analisados na Bacia do Rio Cachoeira como um todo e das sub-bacias para as duas redes de drenagem analisadas.

Verifica-se um desvio máximo da média de 2,25% para a rede de 10000 células e de 7,51% para a de 5000 células.

Para estas bacias obteve-se o menor e também o maior valor, ambos, para a sub-bacia do Rio Itaum com 1,087 e 1,268 respectivamente. Os valores estão entre os definidos por Christofolletti & Christofolletti (1994) de 1,00 a 1,99 e consistentes com os observados por outros pesquisadores como os descritos por Babadagli (2001) para o trabalho de Barton e Larsen (1985) que, ao aplicar o método box-counting na Região de Yuka Mountain, obtiveram valores de dimensão fractal na ordem de 1,12 a 1,16. Outros autores, no entanto, encontraram valores diferenciados. Kobiyama (2002) encontrou o valor de 1,3773 ao analisar sob a ótica fractal a rede de drenagem de uma bacia hidrográfica extraída de uma base cartográfica na escala 1:50 000. Já Gomes (1987) encontrou para rede de drenagem de três diferentes bacias hidrográficas os valores de 1,42 , 1,45 e 1,60.

O método aplicado mostrou-se eficiente para caracterizar o padrão fractal da rede de drenagem e verificou-se haver variações que podem ocorrer em função dos diferentes arranjos obtidos através da extração automática de rede de drenagem do MDT gerado a partir dos dados laser scanning, ou seja, o número de pixels utilizados para extrair a rede de drenagem influenciou na variação do valor da Df e por conseguinte o padrão fractal por este valor representado.

7. Referências Bibliográficas

ALMEIDA, Arlete Aparecida Oliveira de, Os fractais na formação docente e sua prática em sala de aula, Dissertação de Mestrado apresentada à Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, 142p, São Paulo, 2006.

BABADAGLI, T., Fractal Analysis of 2-D fracture networks of geothermal reservoirs in South-Western Turkey, Journal of Volcanology and Geothermal Research v. 112 p. 83 – 103, 2001.

BACKES, Andre R. et al, Análise da complexidade de texturas em imagens urbanas utilizando dimensão fractal, In.: IX Brazilian Symposium on GeoInformatics, Campos do Jordão, Brazil, November 25-28, 2007, INPE, p. 215-220.

BRANDALIZE, Maria Cecília Bonato. A qualidade cartográfica dos resultados do laserscanner aerotransportado. Florianópolis, SC, 2004. 1 v. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.

CHRISTOFOLETTI, A. L. H. Análise Fractal e Multifractal de Estações Chuvosas em Localidades do Estado de São Paulo. São Paulo, 1997. 263f. Tese de Doutorado - UNESP, Rio Claro.

CHRISTOFOLETTI, A. L. H.; CHRISTOFOLETTI, A. O Uso dos Fractais na Análise Geográfica. Geografia. Rio Claro-SP, v. 19, p. 79-112, 1994.

DA SILVEIRA, Nara de Fátima Quadros, Análise Fractal de Bacias Hidrográficas de Região de Encosta e Região de Planalto com base em cartas topográficas e fotografias aéreas, Tese de doutorado apresentada á UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, 188p, 2006.

GOMES, M. H. R. Análise Fractal de Redes de Canais de Bacias hidrográficas na Escala 1:50.000. São Paulo, 1997.83f. Dissertação de Mestrado Escola de Engenharia de São Carlos. USP.

IBGE, Contagem da População 2007, disponível na URL://http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/defaulttab_indicadores.shtm, acessado em 27/10/2008.

RODRIGUEZ-ITURBE, Ignacio & INACIO, Andrea, Fractal River Basins – Chance and Self-Organization, 2001, University of Cambridge, USA, 547pg., 2001.

KOBIYAMA, M; BUENO JUNIOR, J. Multifractal Characteristics of Drainage Network of Marumbi River Watershed, Paraná State. In: XXXI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola – CONBEA- 2002, Salvador/BA. Anais ... Salvador/BA, 2002.

KOJIMA Naoko, LABA Magdeline, LIENDO X. M. Velez, BRADLEY Andrew V., MILLINGTON Andrew C., BAVEYE Philippe, Causes of the apparent scale independence of fractal indices associated with forest fragmentation in Bolivia, ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, vol. 61, p. 84-94, Ed. Elsevier, 2006.

MANDELBROT, B, B. The Fractal Geometry of Nature. Rev. ed. of: Fractals, 1977. San Francisco: W. H. Freeman and Company, 2006. 468p.

MIRANDA, E. E. de; (Coord.). Brasil em Relevo. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005. Disponível em: <<http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>>. Acesso em: 1 nov. 2009.

PACHEPSKY, Y. A., RITCHIE, J.C., GIMENEZ, D., Fractal Modeling of Airbone Laser Altimetry Data, Remote Sensing of Environment, v. 61:150-161. Ed. Elsevier, NY/ New York, 1997.

SERRA, C. P.; KARAS. W. E. Fractais Gerados por Sistemas Dinâmicos Complexos. Champagnat, Curitiba, 1997. 190p.

SLOBODA, Luana. Proposta metodológica para confecção de base cartográfica a partir de dados oriundos do Sistema Laser Scanner. Florianópolis, 2005. 89 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.

TARBOTON, D. G.; BRAS. R. L.; ITURBE, I. R. The Fractal Nature of Networks. Water Resources Research. v. 24, n. 8, p. 1317-1322, 1988.