

## **Análise fractal aplicada à fragmentação florestal no município de Viçosa – MG**

Marcos Cicarini Hott<sup>1</sup>  
Vicente Paulo Soares<sup>2</sup>  
Carlos Antônio Álvares Soares Ribeiro<sup>2</sup>  
James Jackson Griffith<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Centro Nacional de Pesquisa de Monitoramento por Satélite - EMBRAPA  
Av. Dr. Júlio Soares de Arruda, 803 – Parque São Quirino  
13088-300– Campinas – SP – Brasil  
marcos@cnpm.embrapa.br

<sup>2</sup>Departamento de Engenharia Florestal – Universidade Federal de Viçosa  
36571-000 – Viçosa – MG – Brasil  
{vicente, cribeiro, griffith}@ufv.br

**Abstract.** This study used a digital TM/Landsat-5 image obtained in October 1994, of an area of approximately 235 Km<sup>2</sup> at Viçosa, Minas Gerais state, Brazil. The area is subject to intense human interference, and the principal geographic landscape phenomena are urban, forest and agrarian. The objective of this study was to analyse the relation between the fractal dimension of imaged forest fragment boundaries and field phenomena. The digital processing of remote sensing data used the Idrisi 2.0 geographic information system and the Fractor 1.0 program. It is calculated the fractal dimensions of the fragment outlines through perimeter-area relation method, and the overall fractal dimension as measure of fragmentation and diversity with the use of linear regression of the area log versus  $\frac{1}{4}$  of the perimeter log from the fragment outlines. Analysis of the fractal dimensions as measures of fragmentation and diversity showed correlation between the fractal dimension of the fragment and field cover, and this also helped better understand the previous fractal scaling. Based on these results, it is concluded that it is possible to develop automated instruments for studies of human intervention by combing fractal analysis and classification of images.

**Palavras-chave:** Forest fragmentation, Remote Sensing, fractal analysis, fragmentação florestal, sensoriamento remoto, análise fractal

### **1. Introdução**

A geometria fractal, introduzida na década de 70 pelo matemático polonês Benoit Mandelbrot com o objetivo de descrever e tratar as estruturas irregulares e descontínuas da natureza, é uma ferramenta qualitativa e quantitativa capaz de lidar, eficientemente, com os dados espaciais ou temporais, descrevendo com maior precisão sua complexidade.

De acordo com Mandelbrot (1983) e Russ (1995), um fractal ou uma estrutura fractal é por definição uma estrutura na qual partes da mesma se assemelham ao todo, ou seja, existem partes auto-similares, estatisticamente, dentro da estrutura global. Isto indica a presença do fenômeno de escala e de um nível de tendência, preponderante em um fractal, e aleatoriedade, os quais podem ser medidos através da dimensão fractal, que é uma medida de complexidade.

Segundo Russ (1995), existem métodos diferenciados para a realização do cálculo da dimensão fractal, tais como o expoente de Hurst, “plot” ou gráfico de Richardson, contagem de caixas (“box-counting”), método de Minkowski, espectro de potência, etc.

A dimensão fractal pode ser usada para escalonar séries de dados, como por exemplo dados de sensoriamento remoto. Verifica-se se a série de dados espaciais ou temporais seguem um passeio ao acaso, puramente, ou um passeio ao acaso viesado, o qual predomina nos processos naturais. As séries podem ser transectos de valores de brilho em uma imagem digital (Russ, 1995).

Mandelbrot (1983) mostrou que o expoente de Hurst é o inverso da dimensão fractal em alguns fenômenos antrópicos ou naturais.

Os fragmentos individuais podem apresentar tendência direcional em sua complexidade, cuja presença de  $D_F$ 's mais simples pode ser uma indicação de ação antrópica.

As classes de fragmentos naturais, ou seja, aqueles fragmentos que surgiram de um processo natural, sem a interferência antrópica racional ou sem manejo, apresentam  $D_F$ 's maiores em suas entidades individuais.

Similarmente aos processos naturais de fragmentação, como a de florestas naturais, a ação humana pode produzir formas com  $D_F$ 's maiores. Isto pode ocorrer quando o homem se comporta de forma intuitiva, reportando-se à natureza do seu próprio ser e de suas próprias necessidades, ou seja, preservando ou reconstituindo classes de fenômenos geográficos fragmentados, “irracionalmente”, o que seria a antítese da interferência antrópica racional.

A  $D_F$  de fragmentos individuais é uma medida de irregularidade ou complexidade, e a  $D_F$  global de uma classe de fragmentos é uma medida simultânea de fragmentação, irregularidade e diversidade. A existência de fragmentos de tamanhos discrepantes, normalmente, produz uma maior  $D_F$  global. Em relação aos segmentos de curvas possíveis em cada fragmento,  $D_F$  pode ser considerada global.

No caso de fragmentos florestais naturais, a forma, o tamanho e o perímetro do fragmento podem acarretar conseqüências ecológicas inerentes à fauna e flora, e aos tratamentos silviculturais (Bettinger et al., 1996).

A dimensão fractal é amplamente utilizada para a determinação da rugosidade da superfície terrestre, devido a sua eficiência na separabilidade das áreas de texturas diferentes, e a qual fornece importantes informações sobre as propriedades e história das superfícies (Russ, 1995). Ela também é útil na classificação de imagens (Chen et al., 1997), na distinção entre tipos de paisagens, na detecção de bandas espectrais ruidosas (Qiu et al., 1999), na determinação da escala operacional dos fenômenos naturais em imagens digitais (Emerson et al., 1999), na análise da diversidade da paisagem (Olsen et al., 1993) e dos efeitos na conversão de dados em sistemas de informações geográficas (Bettinger et al., 1996), e no escalonamento aplicado às extensões espaciais, em sensoriamento remoto (Pachepsky et al., 1997), para inferência na administração, evolução, ecologia, antropia, amostragem dos recursos e simulação.

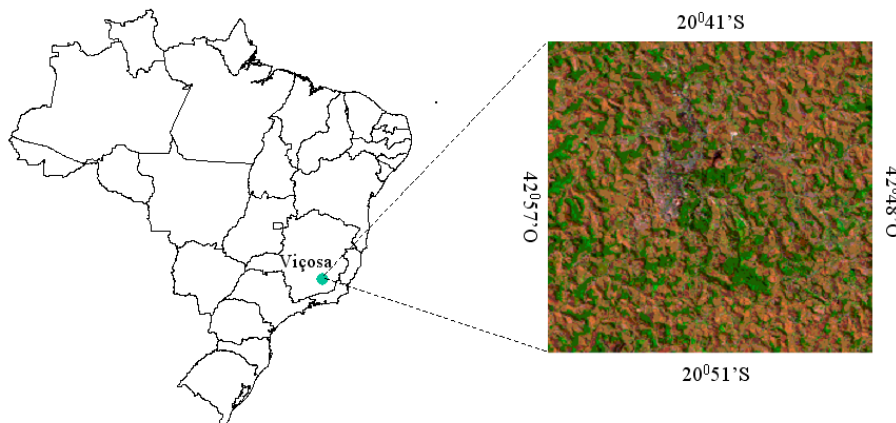
Os processos ou variáveis que podem influenciar a construção de fenômenos geográficos que apresentam dinâmica não-linear são inúmeros, mas se apenas algumas poucas variáveis, com poucos graus de liberdade, contribuem de modo efetivo para a dinâmica do fenômeno, esta poderá ser caracterizada com maior facilidade (Abarbanel et al., 1996). O mesmo é válido para o fenômeno da fragmentação.

Este trabalho teve como objetivo principal analisar a relação entre a dimensão fractal de contornos de fragmentos florestais e os fenômenos retratados na superfície terrestre no município de Viçosa – MG, através de uma imagem TM/Landsat-5.

## 2. Materiais e métodos

### 2.1. Área de estudo

A área de estudo engloba o município de Viçosa - MG, compreendida entre as coordenadas geográficas 20°41'S, 42°48'O e 20°51'S, 42°57'O, abrangendo uma área de aproximadamente 235 km<sup>2</sup> (**Figura 1**). Ela caracteriza-se por uma topografia fortemente acidentada, apresentando porções reduzidas de áreas planas. As áreas de uso/ocupação são predominantemente formadas por área urbana, agrícola e florestal com espécies nativas e exóticas.



**Figura 1** – Localização da área de estudo.

## 2.2. Imagem digital e programas utilizados

As análises foram feitas em uma imagem digital TM/Landsat-5 obtida pelo sensor TM (“Thematic Mapper”) do satélite LANDSAT-5, em outubro de 1994, com resolução de 30 m. A imagem digital é formada pela composição RGB das bandas espectrais 3 (Vermelho), 4 (IV-Próximo) e 5 (IV-Intermediário), respectivamente, as quais proporcionaram boa distinção visual (**Figura 2**), utilizando-se o Sistema de Informações Geográficas Idrisi for Windows, versão 2.0 (Eastman, 1998).

Para a realização das estimativas e cálculos das dimensões fractais dos contornos dos fragmentos florestais retratados na imagem digital foi utilizado o programa Fractor, versão 1.0, desenvolvido para este trabalho.



**Figura 2** - Composição colorida da imagem TM/Landsat-5 original com as bandas 3, 4 e 5, mostrando três classes principais que são a área urbana, florestal e agrícola, no município de Viçosa – MG.

### 2.3. Dimensão fractal de contornos de fragmentos florestais

Analisam-se através de dimensões fractais a natureza da irregularidade, diversidade e fragmentação da classe de fragmentos de floresta. Apesar do objetivo ser a análise da influência antrópica sobre os remanescentes florestais através de seus contornos, a existência de espécies exóticas em meio às nativas não demandaram distinção entre os fragmentos (nativos ou plantados), pois a escala proporcionada pela imagem não permite essa caracterização, sendo predominantemente fragmentos de floresta nativa na área de estudo.

Inicialmente foram delimitadas na imagem cinco extratos e, a seguir, selecionados visualmente dois fragmentos em cada extrato, num total de dez fragmentos (**Figura 3**).

Os fragmentos foram individualizados através da geração de arquivos vetoriais para cada fragmento sobre a imagem orbital e rasterizados na resolução de 30 m.

A dimensão fractal  $D_F$  para cada contorno do fragmento individual foi calculada pela relação perímetro-área desenvolvida por OLSEN et al. (1993), a qual é denotada por

$$\text{Perímetro} = 4 * \text{Área}^{Df/2}$$

Como as feições estudadas se encontravam em um sistema “raster”, houve a necessidade do cálculo de uma constante de proporcionalidade entre a área e o perímetro para uma célula individual, isto é:

$$P = K * \text{Área}^{Df/2}$$

em que

$K$  = constante de proporcionalidade para a célula

$A = 1$  (área da célula)

$P = 4$  (perímetro da célula)

$Df = 1$  (dimensão da célula individual).

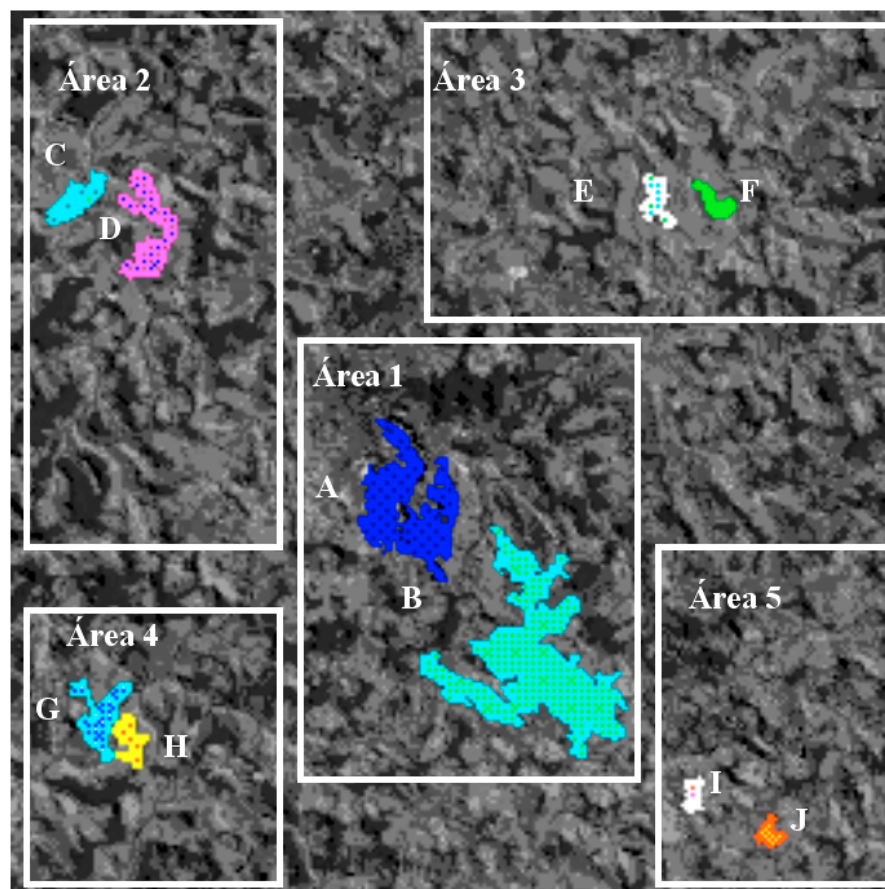
Ao solucionar a equação acha-se que  $K = 4$ . Assim, a dimensão fractal de um contorno individual é calculada pela equação:

$$D_F = 2 * \ln (\text{Perímetro}/4) / \ln (\text{Área}).$$

Como medida de fragmentação e diversidade da classe de fragmentos de floresta usou-se a  $D_F$  global da classe. O ajuste por regressão linear do log da área do fragmento contra o log de  $1/4$  do perímetro do fragmento fornece uma reta ajustada, cuja inclinação divide o número 2 é a  $D_F$  global. Utilizaram-se os dez fragmentos representativos para o cálculo da fragmentação e diversidade.

A diferença no tamanho dos vários fragmentos e sua relação perímetro-área demarcam a inclinação na reta ajustada, portanto na  $D_F$  global, e por conseguinte no nível de fragmentação e diversidade.

Para o ajuste da  $D_F$  global, a existência de contornos de fragmentos que apresentem grandes perímetros, ou seja, contornos providos de reentrâncias, tenderá a produzir altos valores de  $D_F$ 's globais. Em oposição, a existência de contornos de fragmentos que apresentem perímetros pequenos tenderá a resultar em baixa  $D_F$  global.



**Figura 3** - Delimitação dos cinco extratos e dos fragmentos de cada área: A e B (Área 1), C e D (Área 2), E e F (Área 3), G e H (Área 4), I e J (Área 5).

Teoricamente, quanto maior o número de pares de  $\frac{1}{4}$  de perímetros com as suas respectivas áreas totais, em imagens de sensoriamento remoto, melhor é o ajuste da regressão linear. Porém, como os fragmentos podem assumir infinitos formatos, vários fragmentos de formas e tamanhos semelhantes, podem ter aproximadamente a mesma  $D_F$ , promovendo a sobreposição dos pares da relação observada no gráfico log-log, tornando o uso de um grande número de pares muitas vezes redundante, todavia podendo melhorar o ajuste.

Portanto, na observação de padrões de fragmentação em uma classe de fragmentos, podem-se selecionar áreas representativas e fragmentos representativos de cada área porque o que determina a medida de fragmentação, neste método, é o formato dos fragmentos, ou seja, a diversidade de formas.

As várias  $D_F$ 's obtidas trazem indicações sobre a ação antrópica na paisagem e relação da geometria das feições com a topografia.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na **Tabela 1** estão os valores utilizados na estimação das  $D_F$ 's dos contornos dos fragmentos e fragmentação, bem como os resultados das estimações das  $D_F$ 's dos fragmentos individuais, sendo o perímetro e área dimensionados em lados e células.

Nas áreas 1 e 2 as dimensões fractais dos contornos dos fragmentos foram maiores para os fragmentos A, B e D (1,362, 1,331 e 1,317, respectivamente), demonstrando uma tendência de menor influência antrópica exploratória, ou seja, próximo a áreas urbanas a influência antrópica foi de preservação dos recursos florestais, havendo em alguns casos recomposição

com espécies exóticas, como o eucalipto, conforme detectado por observação de campo. Isso ocorre devido a proximidade dessas áreas com entidades que promovem a fiscalização e proteção dos recursos florestais, as quais se localizam na área urbana.

Nas áreas agrícolas, a influência antrópica exploratória se mostrou intensa em relação aos fragmentos florestais, e portanto, as dimensões fractais dos contornos dos fragmentos individuais são menores, indicando menor complexidade. Os fragmentos localizados em áreas agrícolas C, F, I e E exibiram os menores valores de dimensão fractal, as quais foram 1,183, 1,210, 1,214 e 1,215, respectivamente. Entretanto, nos topos de morros e margens de córregos ou rios as dimensões fractais tendem a aumentar devido à preservação das matas.

As dimensões fractais apresentadas nos contornos dos fragmentos individuais nas cinco regiões ou extratos confirmam os resultados obtidos na modelagem fractal, devido à relação inversa da ação antrópica com os valores de  $D_F$ 's para séries espaciais de perfis de superfícies e para contornos de fragmentos florestais.

**Tabela 1** - Valores usados no cálculo das dimensões fractais dos fragmentos individuais e na estimação da  $D_F$  global.

Fragmento	Localização	Perímetro (lados)	1/4 do Perímetro (lados)	Área (células)	$D_F$
A	Área 1	722	180,5	2.062	1,362
B	Área 1	1.082	270,5	4.523	1,331
C	Área 2	134	33,5	378	1,183
D	Área 2	314	78,5	753	1,317
E	Área 3	118	29,5	263	1,215
F	Área 3	90	22,5	172	1,210
G	Área 4	236	59,0	539	1,297
H	Área 4	124	31,0	277	1,221
I	Área 5	72	18,0	117	1,214
J	Área 5	82	20,5	141	1,221

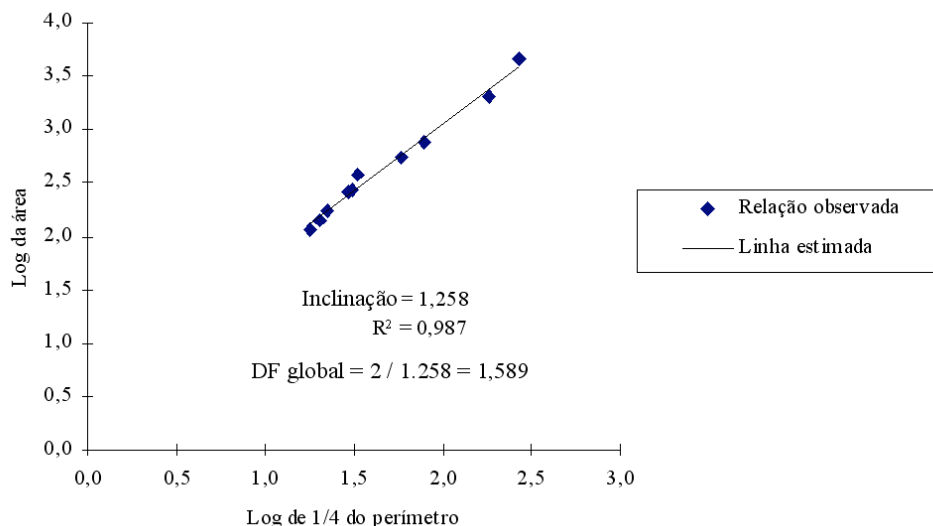
Os valores de  $D_F$ 's estimados para os fragmentos florestais quantificam e qualificam sua complexidade, indicando os processos de formação dos mesmos, e estudos adicionais podem relacionar os valores de  $D_F$ 's à informações ecológicas como microclima, biodiversidade, etc.

A fragmentação de classes de fragmentos pode ser medida pela dimensão fractal. As diferenças na forma e tamanho dos fragmentos indicam um nível de diversidade pela geometria fractal, e a existência de diversidade, em se tratando de fragmentos, sugere fragmentação. A  $D_F$  global dos fragmentos individuais é considerada uma medida de fragmentação e diversidade.

A  $D_F$  global para a classe de fragmentos de florestas é 1,589 (**Figura 4**), indicando uma fragmentação medianamente pronunciada. Porém, indica também um médio grau de auto-similaridade na forma dos fragmentos que foram utilizados na estimação. Pode-se destacar o fato que a  $D_F$  global estimada detém característica bidimensional, própria de uma área de influência antrópica urbana e agrícola. Em áreas de influência essencialmente urbana a fragmentação florestal poderá apresentar características unidimensionais, e em áreas essencialmente de pequenas propriedades agrícola, com mosaicos bastantes diversificados, apresentar características tridimensionais.

Os valores de  $D_F$ 's para os fragmentos individuais podem ser tratados como globais se analisados cada um separadamente. O contorno do fragmento C com  $D_F$  igual a 1,183 é formado por segmentos de curvas com um nível maior de auto-similaridade que as curvas do

contorno do fragmento A com  $D_F$  igual a 1,362, considerando, desta forma,  $D_F$  de C e A como globais.



**Figura 4** - Gráfico da relação log-log da área versus  $\frac{1}{4}$  do perímetro de 10 fragmentos representativos da classe de fragmentos de florestas da superfície imageada. A inclinação da linha de tendência ajustada por regressão linear da relação observada orienta o cálculo da  $D_F$  global, que é uma medida de fragmentação e diversidade.

#### 4. CONCLUSÕES

A análise fractal dos contornos dos fragmentos florestais forneceu introspecção sobre o avanço urbano e agrícola, bem como a visualização de suas características em várias situações.

As dimensões dos fragmentos individuais confirmaram a relação inversa dos valores de dimensões fractais diante da ação antrópica para os fragmentos florestais (monofractal) e dos perfis da superfície imageada (multifractais), ou seja, as dimensões fractais menores indicaram maior ação antrópica nos fragmentos florestais, enquanto que para a superfície imageada correspondente observou-se uma dimensão fractal maior, indicando maior complexidade devido à dimensionalidade superior nesta última (observação feita por meio de escalonamento fractal realizado previamente, segundo Hott et al. (2001)).

A ação antrópica de preservação ou de recomposição gera fragmentos florestais com dimensões fractais maiores. O relevo também é um parâmetro responsável pelo comportamento fractal da relação perímetro-área dos fragmentos florestais, pois o mesmo influencia o processo de antropização, tornando irregular a forma dos fragmentos, como na ação de preservação de matas ciliares ou de florestas nos topos de morros.

A análise fractal aliada à técnicas de geoprocessamento possibilita a automatização do processo de análise da ação antrópica usando dados de sensoriamento remoto, ou seja, permite padronizar e agilizar essas análises. Obtendo-se informação textural através de operadores fractais pode-se melhorar os resultados de classificação de imagens, associado ao uso das bandas adequadas, e, com a automatização de processos como a vetorização de feições ou classes específicas, tornar-se possível a obtenção de resultados e diagnósticos da ação antrópica com rapidez.

A automatização dessas análises pode ser realizada com a confecção de macros em sistemas de informações geográficas ou programas computacionais.

Os resultados da análise fractal da fragmentação florestal pode subsidiar zoneamentos econômico-ecológicos, monitoramento e a tomada de decisão no manejo dos recursos florestais.

## 5. Referências

Abarbanel, H. D. I., Lall, U. Nonlinear dynamics of the Great Salt Lake: system identification and prediction. **Climate Dynamics**, 12:287-297, 1996.

Bettinger, P., Bradshaw, G. A., Weaver, G. W. Effects of geographic information system vector-raster-vector data conversion on landscape indices. **Canadian Journal of Forest Research**, 26(8):1416-1425, 1996.

Chen, K. S., Yen, S. K., Tsay, D. W. Neural classification of SPOT imagery through integration of intensity and fractal information. **International Journal of Remote Sensing**, 18(4):763-783, 1997.

Eastman, J. R. Idrisi for Windows - versão 2: manual do usuário. Porto Alegre, UFRGS Centro de Recursos Idrisi, 1998. 240p.

Emerson, C. W., Lam, N. S., Quattrochi, D. A. Multi-Scale fractal analysis of image texture and pattern. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, 65(1):51-61, 1999.

Hott, M. C.; Soares, V. P., Ribeiro, C. A. A. S. Modelagem fractal de uma imagem TM/Landsat-5 no município de Viçosa – MG. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 10., 2001, Foz do Iguaçu. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2001. Artigos, p. 1265-1272. CD-ROM. ISBN 85-17-00016-1

Mandelbrot, B. **The fractal geometry of nature**. New York, W. H. Freeman & Co., 1983. 550p.

Olsen, E. R., RAMSEY, R. D., WINN, D. S. A Modified fractal dimension as a measure of landscape diversity. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, 59(10):1517-1520, 1993.

Pachepsky, Y. A., RITCHIE, J. C., GIMENEZ, D. Fractal modeling of airborne laser altimetry data. **Remote Sensing of Environment**, 61:150-161, 1997.

Qiu, H., Lam, N. S., Quattrochi, D. A., Gamon, J. A. Fractal characterization of hyperspectral imagery. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, 65(1):63-71, 1999.

Russ, J. C. **The image processing handbook**. New York, CRC Press, 1995. 674p.