

# **Análise da forma em imagens temáticas**

**Jorge Silva Centeno, Andréa Tedesco, Andréa Faria, (1)**

**Cristina Q.T. Maffra, Eduardo G.G. Augusto, Francisco R.R. de Silva, (1)**

**Naíssa B. da Luz (2)**

(1) Curso de pós graduação em Ciências Geodésicas - UFPR  
**Curso de pós graduação em Engenharia Florestal – UFPR**

## **1 INTRODUÇÃO**

A análise de imagens de satélite, em grande parte, é realizada utilizando-se das propriedades espectrais dos objetos presentes na cena. Isto se justifica a partir da facilidade que as imagens obtidas de sensoriamento remoto oferecem para expandir a capacidade de percepção visual do ser humano, pela medição da energia eletromagnética em regiões do espectro imperceptíveis a olho nu. Essa análise é realizada estudando-se a variação espacial ou temporal das propriedades espectrais da superfície do objeto.

Mas a análise visual das imagens não se restringe às propriedades espectrais. Entre outros aspectos que podem ser explorados encontram-se a textura, o tamanho e a forma dos objetos, bem como a associação espacial entre os objetos que compõem a cena.

## **2 OBJETIVOS**

O presente trabalho objetiva abordar a descrição da forma de regiões presentes em imagens temáticas, resultantes da classificação ou segmentação de imagens de satélite.

Pretende-se discutir a influência que o formato “raster” de representação pode ter nas estimativas dos descritores de forma e apresentar experiências comparativas utilizando imagens sintéticas e de satélite de diferentes regiões do Brasil.

## **3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **3.1 FORMA**

A análise de forma e tamanho é uma poderosa ferramenta para a discriminação de objetos que possuem a mesma aparência espectral. Considerando, por exemplo, duas regiões de uma imagem ocupadas por mata ciliar e agricultura, dependendo das espécies encontradas, ambas podem apresentar resposta espectral muito similar nas bandas usadas para captar a imagem, de maneira que sua discriminação não seja possível. Isto, no entanto, pode se tornar mais fácil se for levado em consideração que campos agrícolas possuem uma forma regular, ao contrário da mata ciliar.

Assim como a análise espectral baseia-se nos valores digitais das bandas, é necessário dispor de um parâmetro de forma e tamanho para descrever a forma dos objetos. Para analisar

a forma é necessário conhecer os limites dos objetos nas imagens, algo que a princípio é desconhecido. Por isto, os algoritmos de análise de forma partem de uma imagem temática, se possível binária, onde os objetos se encontrem mais definidos. A imagem temática pode ser o resultado de uma classificação supervisionada ou da segmentação da imagem.

O parâmetro de forma ideal não deve depender de variações de escala, nem de rotação da imagem. Entre os parâmetros utilizados como descritores da variação espacial do objeto encontram-se (Bässman e Kreys, 1998):

- Área (A);
- Perímetro (P);
- Coeficiente de compacidade (cc);  
$$cc = P^2 / 4\pi A$$
- Distância polar ao centro de gravidade.

Normalmente, os fatores de forma são definidos para variar entre 0 e 1, assumindo valor máximo para objetos com formas geométricas específicas. O valor do coeficiente de compacidade de uma circunferência é 1. Este valor cresce na medida em que o contorno do objeto se torna irregular, ou seja, menos compacto. Isto pode ser verificado desenhando diferentes objetos, com a mesma área, mas com contornos diferentes. O maior perímetro corresponde ao maior valor do coeficiente de compacidade.

Para os cálculos da distância polar, é necessário primeiramente determinar a origem do sistema. Como padrão, costuma-se usar o centro de gravidade da figura. Para cada pixel do contorno da imagem é então medida a distância à origem e esta variação é armazenada sob a forma de uma série de números ou representada como um gráfico (ângulo versus distância ou pixel versus distância).

Uma maneira alternativa de descrever a variação da forma dos objetos é através da teoria dos fractais.

### 3.2 FRACTAL

Fractais foram definidos por MANDELBROT (1977) como “um padrão formado por partes similares ao todo de alguma forma” (FEDER *apud* DE COLA, 1989). A “Análise Fractal seria o

estudo de fenômenos complexos manifestando auto-similaridade em muitas escalas” (DE COLA, 1989). Um objeto é um fractal se a dimensão Hausdorff-Besicovitch excede a dimensão Euclidiana, sendo fractal um objeto que possui detalhes em todas as escalas espaciais (PALMER, 1988).

Uma Dimensão Fractal (D) constante em diferentes escalas indica auto-similaridade dos objetos (MILNE *apud* LAGRO, 1991), ou seja, cada porção pode ser considerada uma imagem em escala reduzida do todo (LAM, 1990) e mudanças significativas na forma deveriam refletir em mudanças na Dimensão Fractal (KRUMMEL *et al.* *apud* LAGRO, *op.cit.* e WENS *apud* LAGRO, 1986).

VEDYUSHKIN (1994) relacionou alguns métodos para a estimativa da Dimensão Fractal dos objetos (para uma revisão completa, ver BURROUGH, 1986), como por exemplo:

- 1) ‘*box-counting*’ (baseado na relação área-perímetro);
- 2) relação área-perímetro e suas generalizações;
- 3) método do variograma, baseado na proporcionalidade  $g(h)=h^{4-2D}$  para a semivariância  $g(h)$  de fractais “planares”;
- 4) método do “*power spectrum*” (para “*power spectrum*” de fractais “planares” considerar  $p(w)=w^{2D-5}$ , onde  $w$  é a frequência (VOSS, 1988 *apud* VEDYUSHKIN, 1994);
- 5) análise de limite e desvio-padrão (para fractais “planares” considerar  $R(x)/S(x) = x^{2-D}$ , onde  $R$  é o limite e  $S$  é o desvio-padrão); e
- 6) método da função de correlação (para correlação  $C(r)$  considerar  $C(r)=r^{D-E}$ , onde  $r$  é a variável espacial e  $E$  é a dimensão contendo o espaço euclidiano  $K$ ).

Estudos empíricos demonstraram que a dimensão fractal de formas naturais como linhas costeiras e superfícies não apresentam um comportamento fractal puro, com um valor de dimensão fractal constante, e sim uma dimensão fractal variável em uma faixa de escalas (LAM, *op.cit.*).

Segundo PALMER (*op.cit.*), a dimensão fractal pode ser utilizada como um índice da dependência espacial de uma variável. A geometria fractal vem sendo muito utilizada por permitir a descrição de padrões ecológicos que não são facilmente descritos pela geometria Euclidiana, como linhas, planos, esferas e cubos (PALMER, 1988). Formas mais complexas

deveriam produzir uma dimensão fractal próxima de 2, enquanto quadrados e círculos ou formas geométricas simples apresentariam dimensão fractal igual a 1 (LAGRO JR, 1991).

DE COLA (1989) observou que regiões de alto valor da dimensão fractal são regiões de perímetro mais complexo, como florestas, e as regiões de perímetro menos complicado, com menor D, seriam as áreas agrícolas, intensamente cultivadas, acreditando ser possível associar padrões de cobertura do solo com medidas fractais. As classes de cobertura com períodos suaves deveriam ter uma dimensão fractal próxima de 1 e coberturas com perímetro complicado deveriam ter dimensão fractal maior do que 1 (DE COLA, *op.cit.*).

Uma fórmula modificada para o cálculo da dimensão fractal que dispensa o uso de regressão linear foi utilizada por OLSEN (1993), para estimar a diversidade de paisagens, considerando-se que para áreas pequenas, com um número reduzido de fragmentos, não existiriam pares de valores de área e perímetro para o ajuste do modelo de regressão.

## **4 METODOLOGIA**

### **4.1 PROGRAMA**

A fim de viabilizar o cálculo da dimensão fractal das feições utilizadas nos experimentos, foi desenvolvido um programa utilizando o software MatLab versão 5.3. Este aplicativo recebe a imagem binária da feição a ser analisada e fornece como resultado o valor da dimensão fractal da feição.

O algoritmo implementado divide-se em três rotinas principais:

- 1) reconhecimento dos Componentes Conexos;
- 2) cálculo da Área e do Perímetro de cada região; e
- 3) cálculo da Dimensão Fractal.

O reconhecimento dos componentes conexos pode ser dividido em três subrotinas: numeração dos pixels não nulos; identificação dos componentes conexos; e renumeração das regiões. A primeira subrotina numera, em ordem crescente, todos os pixels com nível de cinza igual a 255 (feição em estudo) a partir do canto superior esquerdo da imagem binária, varrendo cada linha da esquerda para a direita. A Figura 1 apresenta o exemplo de uma imagem sintética ao final da execução desta subrotina.

[illegible]

2.

[illegible]

programa.

[illegible]

Com os componentes conexos identificados e numerados, o programa calcula a área e o perímetro de cada região. A área corresponde ao número de pixels de cada região. O cálculo do perímetro é um pouco mais complexo, pois é necessário analisar a vizinhança de cada pixel da região. Considerando a vizinhança quatro, o algoritmo verifica com quantos pixels nulos cada pixel faz fronteira. O número total de fronteiras com pixels nulos é o perímetro da região. A Tabela 1 apresenta os valores da área e do perímetro de cada região mostrada na Figura 3.

Tabela 1. Área e perímetro das regiões

Região	Área	Perímetro
1	7	16
2	4	10
3	6	14
4	1	4
5	3	8
6	2	6

Após o cálculo da área e do perímetro de cada região, o programa calcula a Dimensão Fractal da feição em estudo. A Dimensão Fractal (D) foi calculada através do ajuste do modelo de Regressão Linear (DE COLA, *op.cit.*):

$$\ln (p_i) = \ln (c) + D \ln (S_i^{1/2}) + \varepsilon \quad (1)$$

onde:

$p_i$  = perímetro das regiões

$c$  = índice de forma

$D$  = dimensão fractal

$S_i$  = área das regiões

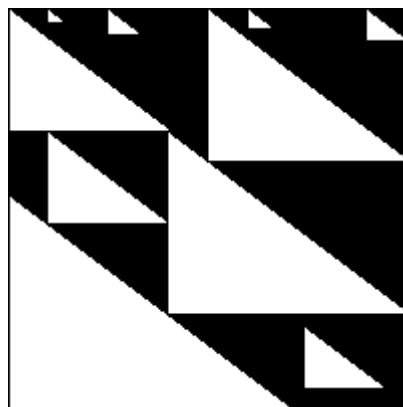
Segundo DE COLA (1989), cada feição natural ou artificial existente no terreno possui uma dimensão fractal característica, que permite diferenciá-la de outras feições. Para confirmar esta conclusão do autor foram realizados dois tipos de experimentos: um com imagens sintéticas construídas com figuras geométricas; e outro sobre imagens LANDSAT de capitais dos estados brasileiros.

#### 4.2 EXPERIMENTO COM IMAGENS SINTÉTICAS

O objetivo do experimento com as imagens sintéticas foi observar a influência da rotação de uma feição sobre o valor da sua dimensão fractal. Foram criadas seis imagens sintéticas a


partir das seguintes figuras: retângulo; triângulo; paralelogramo; letra “t” (maiúsculo); asterisco; e Koch. Cada imagem, de 200 x 200 *pixels*, apresentava uma única figura repetida dez vezes com diferentes tamanhos. A Figura 4 mostra o exemplo do triângulo.

Figura 4. Imagem sintética (exemplo)



Na Tabela 2 observa-se que as áreas dos triângulos variaram de 24 a 7.350 pixels. Cada uma das imagens sofreu rotações para 10°, 20°, 30°, 40° e 45°. Foi calculada a dimensão fractal para cada figura nas seis posições (posição original e as cinco rotações).

Tabela 2. Características dos triângulos

	Base	Altura	Área	Perím.
1	140	105	7.350	420
2	120	90	5.400	360
3	100	75	3.750	300
4	80	60	2.400	240
5	60	45	1.350	180
6	40	30	600	120
7	20	15	150	60
8	16	12	96	48
9	12	9	54	36
10	8	6	24	24

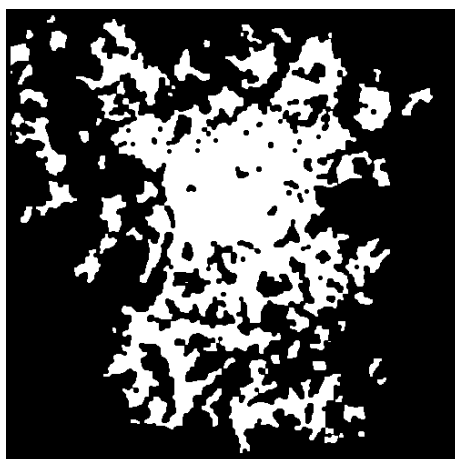
#### 4.3 EXPERIMENTO COM IMAGENS DE SATÉLITE

O objetivo do experimento com as imagens de algumas capitais brasileiras foi verificar a constância da dimensão fractal das áreas urbanas, apesar das características particulares de cada cidade. Para atingir este objetivo, foram escolhidas quatro cidades: Brasília (DF); Fortaleza (CE); Goiânia (GO); e Rio de Janeiro (RJ).



As imagens utilizadas foram retiradas do CD-ROM da série Educa SeRe do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e foram classificadas pelo método supervisionado no software *MultiSpec*. Após a classificação, a área urbana foi separada numa imagem binária, como mostra a Figura 5.

Figura 5. Imagem binária de Goiânia (GO)






## 5 RESULTADOS

### 5.1 IMAGENS SINTÉTICAS







A Tabela 3 mostra o valor da dimensão fractal das figuras resultantes das várias rotações aplicadas às figuras originais. Esses resultados foram obtidos pela execução do programa desenvolvido com cada um das 36 (trinta e seis) imagens binárias. Considerando a média dos valores de dimensão fractal de cada figura, verifica-se que o paralelogramo obteve a menor dimensão fractal, enquanto o asterisco apresentou a maior.

Tabela 3. Dimensão fractal das imagens sintéticas

Rot Fig				Koch	T	*
0°	1,0080	1,0214	1,0072	1,0406	1,1788	1,5734
10°	1,0174	1,0472	1,0178	1,0516	1,1936	1,5580
20°	1,0362	1,0376	1,0092	1,0592	1,2180	1,5540
30°	1,0262	1,0408	0,9956	1,0482	1,2080	1,5654
40°	1,0342	1,0364	1,0070	1,0858	1,2004	1,5776
45°	1,0476	1,0364	1,0082	1,0976	1,1956	1,5674
$\mu$	1,0283	1,0366	1,0075	1,0638	1,1991	1,5660
$\sigma^2$	0,0142	0,0085	0,0071	0,0227	0,0134	0,0089

A fim de verificar a possibilidade de se identificar cada uma das figuras pela sua dimensão fractal, foi executado um teste de hipótese a partir da média e da variância de cada figura. O teste realizado foi a comparação de duas médias de população normal com variâncias diferentes, baseada na distribuição t de Student. Os resultados dos testes são apresentados na tabela 4, onde se pode observar a semelhança ou a diferença estatística entre as figuras.

Tabela 4. Resultado dos testes de hipótese

				Koch	T	*
	--	=	=	=	≠	≠
	=	--	≠	≠	≠	≠
	=	≠	--	≠	≠	≠
Koch	=	≠	≠	--	≠	≠
T	≠	≠	≠	≠	--	≠
*	≠	≠	≠	≠	≠	--

## 5.2 IMAGENS DE SATÉLITE

Após a classificação supervisionada das imagens de satélite, separou-se a classe da área urbana num arquivo binário. Os arquivos binários foram processados pelo programa já descrito anteriormente. A tabela 5 apresenta o valor da dimensão fractal de cada cidade.

Tabela 5. Dimensão fractal das cidades

Cidade	Dimensão Fractal
Brasília (DF)	1,852
Fortaleza (CE)	1,375
Goiânia (GO)	1,331
Rio de Janeiro (RJ)	1,384

## 6 CONCLUSÕES

Analisando os resultados obtidos nos experimentos realizados com as figuras sintéticas (Tabela 3), constatou-se que a complexidade dos contornos de figuras planas pode ser descrita pela sua dimensão fractal (D). No entanto, a faixa de variação do parâmetro D para formas diferentes é muito similar, fato confirmado pelo teste de similaridade estatística (Tabela 4). Essa “confusão” pode ser em parte atribuída à natureza comum das formas analisadas, a estrutura “raster”.

O parâmetro de forma apresenta a desvantagem de ser dependente da rotação das figuras. Isto pode ser visto na Tabela 3, analisando a variação da dimensão fractal em função do ângulo para a figura retangular. Nota-se que à medida que o ângulo cresce, há um aumento progressivo do valor da dimensão fractal, fato que pode ser explicado pela estrutura “raster” da imagem.

A introdução de bordas inclinadas em relação aos eixos da imagem provoca aumento do perímetro da figura, sem alterar significativamente a sua área. A rotação da imagem não altera de forma relevante a dimensão fractal das figuras muito fracionadas, já que as suas bordas originais já são bastante recortadas. Na análise de imagens de satélite, a rotação do alvo pode gerar erro na classificação onde a mesma classe de uso do solo apareça com diferentes orientações, como, por exemplo, campos de cultivo.

Das quatro cidades estudadas, três (Fortaleza, Goiânia e Rio de Janeiro) obtiveram valores de dimensão fractal próximos (1,331 a 1,384). Esses valores mostram que as cidades têm boa compacidade. Comparando com os valores encontrados para a dimensão fractal das figuras das imagens sintéticas, verifica-se que as cidades são mais compactas apenas que o asterisco. Devido às suas características particulares, a cidade de Brasília apresentou uma dimensão fractal bem diferente das outras cidades.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BAHR, H. P. **Procesamiento Digital de Imágenes**. Eschborn, Alemanha, GTZ, 1991.
- BÄSSMAN, H.; KREYSS, J. **Bildverarbeitung Ad Oculus**. Heidelberg Springer, 1998.
- BUSSAB, W. A.; MORETTIN, P. A. **Estatística Básica**. Atual Editora, 4.ed., São Paulo, 321 p, 1987.
- DE COLA, L. **Fractal analysis of a classified Landsat scene**. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, vol 55, no 5, pp 601-610, 1989.
- LAGRO Jr., J. Assessing patch shape in landscape mosaics. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, vol 57, no 3, pp 285-293, 1991.
- LAM, N. S. N. **Description and measurement of Landsat TM images using fractais**. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, vol 56, no 2, pp 187-195, 1990.

MARCHETTI, D. A. B.; GARCIA, G. J. **Princípios de Fotogrametria e Fotointerpretação**. Editora Nobel, São Paulo, 1997.

OLSEN, E. R.; RAMSEY, R. D.; WINN, D. S. **A Modified Fractal Dimension as a Measure of Landscape Diversity**. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, vol 59, no 10, pp 1517-1520, 1993.

PALMER, M. W. **Fractal geometry: a tool for describing spatial patterns of plant communities**. Vegetatio, no 75, pp 91-102, 1988.

VEDYUSHKIN, M. A. **Fractal properties of forest spatial structure**. Vegetatio, no 113, pp 65-70, 1994.

HANSELMAN, Duane; LITTLEFIELD, Bruce. **MATLAB, Guia do Usuário**. Makron Books do Brasil Editora Ltda, 305 p., 1997.