

Análise fractal da segmentação de uma cena urbana através de imagem Quickbird

Graziella Valença de Souza¹
Jorge Centeno¹

¹Departamento de Geomática, Universidade Federal de Paraná - UFPR.
Caixa Postal 19001, CEP 81531-990, Curitiba, PR, Brasil.
regan.gra@gmail.com, centeno@ufpr.br

Abstract: With the satellite images availability with high space resolution, remote sensing images analysis does not restrict only to digital pixels values analysis as describing Earth surface spectral characteristics, but it propitiated the inclusion of space characteristics on the classification process. On this research, the standards of an urban scene had been analyzed through fractal geometry. The indices of fractal dimension “D” and the Pareto parameter “a” had been determined for different objects class and visible surfaces on Quickbird Pan-sharpened segmented image. The class had been associates with the indices calculated through the fractal analysis. The results show that objects with regular edges they present a lesser fractal dimension index, increasing this bigger value as the edge irregularity of object. This study sample that the quality of urban scene classification can be increased through the parameters form analysis and the use of fractal indices is a viable option.

Palavras-chave: remote sensing, classification, urban scene standard, segmentation, fractal analysis, Quickbird, sensoriamento remoto, classificação, padrões de cena urbana, segmentação, análise fractal.

1. INTRODUÇÃO

Imagens de satélite de alta resolução espacial fornecem informações detalhadas sobre as cidades, o que possibilita a análise de características espaciais orientada a objeto, superando as limitações da abordagem do pixel no processo de classificação - Machado e Caetano (2004).

Resultantes do processo de segmentação da imagem, os objetos são homogêneos, representados de forma consistente e reproduzível - Baatz e Schäpe (1999), porém com formas bastante complexas, o que a Geometria Euclidiana Clássica não consegue descrever adequadamente através de retas, planos, esferas e cubos.

Formas geométricas de grande complexidade, denominadas fractais, são caracterizadas e explicadas pela Geometria Fractal, cujas três características fundamentais são auto-similaridade em diferentes níveis de escala, dimensão fractal e sua complexidade infinita - Backes e Bruno (2005).

Este trabalho apresenta um estudo que utiliza fractais para analisar uma cena urbana da cidade de Curitiba – PR.

O objetivo foi, através de uma imagem segmentada e classificada *Quickbird pan-sharpened*, encontrar parâmetros que possam ser utilizados para o estudo da cena urbana. O objetivo específico foi verificar a aplicação da dimensão fractal (D) e do parâmetro de Pareto (a) para as diferentes classes na área de estudo e a relação entre eles.

2. ÁREA DE ESTUDO E MATERIAIS

A área de estudo está localizada no estado do Paraná, no município de Curitiba, bairro Jardim das Américas.

A Empresa TESE (Tecnologia em Sistemas Espaciais) forneceu duas imagens no sistema *Quickbird*, geo-referenciadas, datadas de 06 de março de 2002, sendo uma pancromática com resolução espacial de 0,70m, corrigida geometricamente, e outra multiespectral, com resolução espectral de 4 bandas e resolução espacial de 2,8m. A inclinação do sensor é de aproximadamente 15°.

O desenvolvimento deste trabalho se fez com os *softwares* Envi® 4.2 para a correção geométrica e fusão das imagens; eCognition® 3.2 para a segmentação, classificação e cálculo das áreas e perímetros; MSEXcel® 2003 para cálculo da Dimensão Fractal e Parâmetro de Pareto e Matlab® 6.5 para execução dos gráficos.

3. METODOLOGIA

Foi utilizado um recorte da imagem com uma área de 400 x 400 pixels, escolhido com o propósito de conter áreas de vegetação de grande porte, edificações, e vegetação rasteira, canteiro central em uma das vias, a fim de fazer um comparativo entre as classes existentes.

3.1 CORREÇÃO GEOMÉTRICA

A correção geométrica foi realizada através do *software* ENVI® 4.2 na imagem multiespectral com base na imagem pancromática, já corrigida anteriormente.

Foram escolhidos cuidadosamente 18 pontos de controle bem distribuídos na imagem, realizando a correção com um RMS de 0,8.

3.2 FUSÃO DAS IMAGENS

A fim de obter uma imagem com uma resolução espacial de 0,70m em uma composição com alta resolução espectral (4 bandas), foi realizada a fusão entre as imagens pancromática e multiespectral, através do Método dos Componentes Principais.

No *software* ENVI® 4.2 através do Interpolador Bilinear, a imagem multiespectral foi reamostrada, obtendo a mesma resolução espacial da imagem pancromática.

O processo de fusão das imagens por Componentes Principais foi constituído por três etapas:

- Transformação direta da imagem multiespectral reamostrada no sistema RGB;
- Como a primeira componente (principal) é a que possui o maior número de informações, esta foi substituída pela banda pancromática, a fim de enriquecer os detalhes da imagem multiespectral;
- Transformação inversa para retornar a imagem ao sistema de cores original resultando na imagem híbrida.

Este processo apresenta algumas perdas nas características espectrais, pois na segunda etapa é eliminada informação espectral para poder inserir informação espacial - Miqueles e Centeno (2005).

3.3 SEGMENTAÇÃO

A obtenção das características espaciais orientada a objetos é executada em duas etapas: a segmentação e a classificação.

O processo de segmentação de imagens tem por objetivo dividir uma imagem em unidades homogêneas, considerando algumas de suas características intrínsecas como, por exemplo, a uniformidade espectral dos *pixels*, sua textura e contraste - Woodcock et al (1994).

O critério de homogeneidade é uma combinação de parâmetros de cor e forma, em termos de suavidade e compactação dos objetos de imagem, na qual a aplicação de diferentes combinações dos vários parâmetros permite a criação de uma rede hierárquica de objetos de imagem - Darwish et al (2003).

A formação de regiões é controlada por um parâmetro, denominado parâmetro de escala (*scale parameter*), que é o resultado da combinação de dois fatores que descrevem a uniformidade em termos espaciais e espectrais das regiões formadas - Miqueles e Centeno (2005).

Através da imagem híbrida e utilizando as bandas (4,3,2), o parâmetro de escala escolhido para este trabalho apresenta o valor 50 que foi o qual apresentou melhores

resultados na segmentação. De acordo com as características da região, o parâmetro de forma foi definido como 0% e, conseqüentemente, o parâmetro de cor em 100%, pois, para execução deste trabalho é necessário que o processo de segmentação retorne objetos com formas naturais, sem forçá-las à uma semelhança com formas euclidianas, o que dificultaria muito a análise. Conforme aumenta o valor do parâmetro forma em uma segmentação, o *software* faz com que esta seja suavizada, tendendo a ficar mais semelhante à uma forma euclidiana, o que não é interessante para este estudo.

3.4 CLASSIFICAÇÃO

A definição das classes foi feita com base nas feições existentes na imagem, sendo definidas sete classes:

- Calçada;
- Canteiro Central;
- Edificações;
- Vegetação grande porte;
- Vegetação rasteira;
- Via asfaltada;
- Sombras.

Após este processo, os dados foram exportados e neles constam o perímetro e a área de cada segmento, calculados pelo próprio eCognition®, utilizados nos cálculos do índice de dimensão fractal (D) e parâmetro de Pareto (a).



Figura 1: Classificação da imagem segmentada.

3.5 DIMENSÃO FRACTAL

O índice de dimensão fractal é o número que representa o nível de irregularidade de um fractal.

A dimensão fractal transcende o espaço euclidiano - Mandelbrot (1983). Os valores da dimensão fractal (D) completam a dimensionalidade da representação clássica em números inteiros - Peitgen et al (1992).

De modo genérico podemos dizer - Christofletti (1999):

- Valores fractais entre 0 e 0,99 correspondem a estruturas com base em pontos;

- Valores fractais entre 1 e 1,99, correspondem a estruturas espaciais de lineamentos;
- Valores fractais entre 2 e 2,99 correspondem a estruturas espaciais de fenômenos que incluem informações volumétricas.

Para o cálculo da Dimensão fractal, foi usado o método baseado em entidade discreta que relaciona perímetro e área, proposto por Clark (1986) apud Lan e De Cola (1993) e pode ser expresso por Macgarical & Marks (1995).

$$D = 2 \log (0,25 \times P) / \log (A)$$

onde:

D = dimensão fractal;

P = perímetro;

A = área

Este método baseia-se na relação da variação da forma do fragmento de acordo com sua área.

3.6 PARÂMETRO DE PARETO

O parâmetro de Pareto é calculado a partir da relação entre o segmento e seu grau. Para determinação do grau de cada fragmento, para cada classe, o segmento com maior área recebeu grau 2, o segundo maior grau 3 e assim sucessivamente até o último.

O cálculo realizado é estimado pelo modelo linear - De Cola (1989):

$$\ln (s_j) = a - b \ln (r_j)$$

onde:

s_j = área do fragmento j;

a = parâmetro de Pareto na forma linearizada;

b = coeficiente;

r_j = grau do segmento j

4. RESULTADOS

Após os cálculos, da dimensão fractal (D) e do parâmetro de Pareto (a), foi feita uma análise de cada índice para cada classe, separadamente, e posteriormente, uma análise conjunta, para verificar a separabilidade das classes.

4.1 ANÁLISE DA DIMENSÃO FRACTAL (D)

As amostras da classe canteiro central apresentaram valores de dimensão fractal entre 1,32 e 1,50, demonstrando que são formas muito irregulares, geralmente apresentando um grande comprimento e uma largura estreita. Os menores valores foram atribuídos a pequenos segmentos que encontravam-se entre árvores, não se apresentando, portanto, alongados.

A classe calçada apresentou valores entre 1,30 e 1,48, muito semelhantes à classe canteiro central, pois ambas possuem características semelhantes de forma. Os menores valores de dimensão fractal ocorrem em objetos localizados em regiões em árvores, semelhante a que ocorre com o canteiro central, ou em áreas cujas residências possuem próximo à calçada uma área construída com resposta espectral semelhante, o que, no processo de segmentação torna-se um mesmo objeto.

A classe edificação, apresentou de dimensão fractal entre 1,05 e 1,32. A média foi de 1,19, muito próximo do valor 1, pois seus segmentos possuem a forma sem muita complexidade, próximo a uma forma quadrada ou retangular. Aqueles segmentos que apresentaram valor superior a 1,20 (48% das amostras), possuem sua forma irregular devido à existência de árvores próximas às edificações, à cor do telhado ser muito semelhante à calçada ou à vizinhança possuir um aglomerado de edificações, sendo que, em todos estes casos, no

processo de segmentação, os objetos fundem-se tornando-se formas complexas. Os melhores resultados obtidos foram com edificações que apresentavam telhados claros, contrastando com a região ao redor.

A classe das sombras apresenta a maior variação de dimensão fractal de todas as classes analisadas, com valores entre 1,17 e 1,43. Isso ocorre, pois foram coletadas amostras de sombras de edificações (formas próximas às regulares com valores de D próximo a 1) e também sombras de vegetação (formas irregulares com valores de D em torno de 1,43).

A classe vegetação grande porte apresenta valores D entre 1,21 e 1,44. As amostras com menores valores constituem árvores isoladas, cujas formas se assemelham à círculos. Já a vegetação em grandes áreas, por ter uma forma muito irregular, apresenta um alto valor D, como já esperado.

A classe vegetação rasteira apresenta seus valores D entre 1,26 e 1,31, não possuindo uma grande variação, pois, constituem de formas homogêneas, sem muita complexidade, e também sem muita regularidade, constituindo formas medianas, sem muitas alterações de valores D.

As vias são compostas de formas regulares devendo apresentar um índice de dimensão fractal próximo ao valor 1, como a classe das edificações. Porém como a imagem utilizada apresenta vias arborizadas, com ocorrência de muitas sombras ao longo de seu percurso, os segmentos que representam esta classe tornaram-se mais complexos, apresentando um maior índice de dimensão fractal, com valores entre 1,29 e 1,41.

4.2 ANÁLISE DO PARÂMETRO DE PARETO (a)

Para cada segmento, foi calculado um valor do parâmetro de Pareto. Como a variação dos valores se deu de forma aparentemente semelhante, foi utilizado o artifício de calcular as médias destes valores para cada classe, obtendo números diversificados e facilitando a análise de cada classe.

A classe das vias apresentou o maior valor do parâmetro de Pareto, $a=17,78$, demonstrando que possui uma menor quantidade de segmentos, porém mais extensos, ocupando uma grande área da imagem..

As classes vegetação grande porte ($a=15,25$), calçada ($a=15,24$), e vegetação rasteira ($a=15,36$) apresentaram uma pequena diferença entre si. A semelhança entre as classes vegetação rasteira e calçada deve-se ao fato de todas apresentam poucos segmentos, porém extensos. Já a similaridade com a classe vegetação grande porte se dá pela mesma possuir a maioria de seus segmentos extensos, e os que não são extensos, apresentam-se como uma minoria. A separabilidade destas classes deve levar em conta outros fatores, com a finalidade de ampliar a diferenciação entre estas.

A classe canteiro central, apresentou um valor $a=15,82$, com poucos segmentos de área extensa, porém em menor quantidade que os citados acima, cobrindo uma menor parte da imagem quando analisada a totalidade da classe.

A classe das sombras apresenta um equilíbrio, pois possui tanto segmentos extensos, como segmentos não extensos, ambos em quantidades similares, tornando o valor $a=14,74$, o que representa que seus segmentos pouco extensos e muito extensos cobrem aproximadamente a mesma área se analisados separadamente.

Neste estudo a classe edificação, apresenta o valor $a=13,68$ mostrando que seus segmentos já são de menor tamanho, os menores da imagem, porém com grande distribuição espacial. Quanto menor o valor do parâmetro de Pareto, mais segmentos são necessários para cobrir uma mesma área.

4.3 ANÁLISE FRACTAL

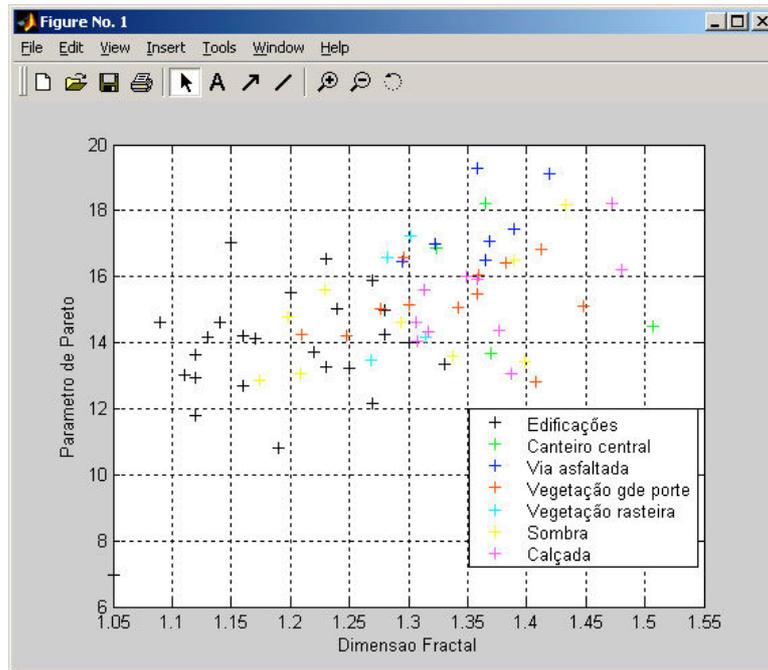


Figura 2: Gráfico dimensão fractal x parâmetro de Pareto.

Para uma análise fractal completa, o gráfico acima foi gerado, a fim de verificar a distribuição das classes de acordo com sua forma (dimensão fractal) e dimensão (parâmetro de Pareto) pela cena urbana.

Na geração deste gráfico, os valores do parâmetro de Pareto (a) foram plotados em seus valores individuais, sem as médias, mostrando a dificuldade de análise. Já o gráfico abaixo, plotado com as médias de “ a ” facilita a análise:

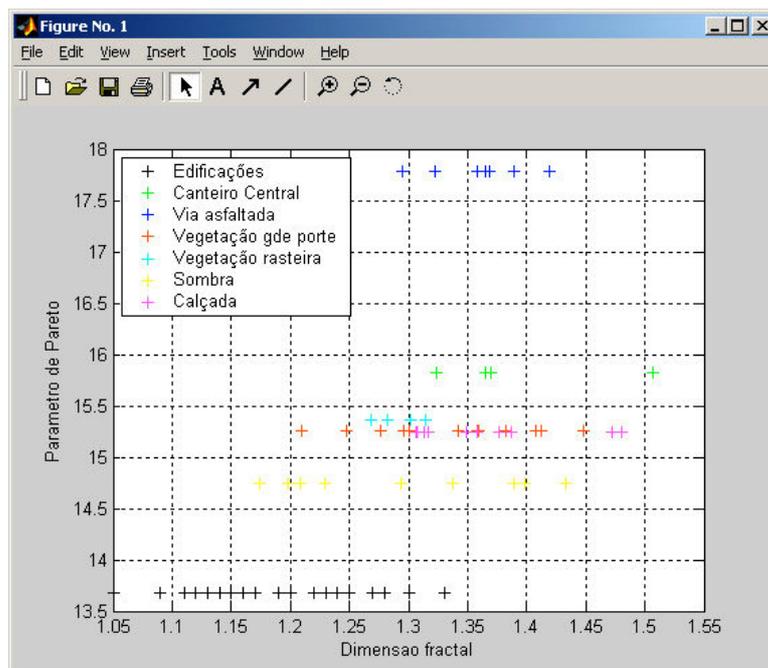


Figura 3: Gráfico dimensão fractal x médias de parâmetro de Pareto.

As classes edificações, canteiro central, via asfaltada e sombra ficam bem separadas, devido aos seus valores de dimensão fractal e parâmetro de Pareto distintos, mostrando que quanto a forma e distribuição, estas classes são bem distintas.

As classes vegetação rasteira, vegetação grande porte e calçada ficaram com valores muito próximos. A classe vegetação rasteira ainda consegue se das outras duas pelo valor da média do parâmetro de Pareto. Já as classes vegetação grande porte e calçada ficaram com valores intercalados, dificultando sua separação. Isso ocorre pelo fato de ambas í formas complexas e distribuição espacial semelhantes. Para resolver tal caso, uma análise espectral é suficiente, devido à grande diferença de reflectância entre estas duas classes, seja qual for a resolução espectral utilizada.

5. CONCLUSÃO

Uma cena urbana foi segmentada e classificada em sete classes, utilizando uma imagem *Quickbird pan-sharpened*.

O processo de segmentação deve ser bem elaborado, pois a partir dele, são gerados os segmentos que irão ser classificados e analisados pela Geometria Fractal. Caso esta etapa não seja definida com exatidão, haverá um comprometimento nos resultados. Durante a execução deste trabalho, houve uma grande dificuldade de conseguir segmentar adequadamente a imagem, pois em uma cena urbana, encontramos uma heterogeneidade de formas e cores, o que dificulta também o processo de classificação, principalmente em relação aos índices espectrais, pois há telhados de construções de infinitas cores, calçadas que são confundidas com lajes de construções, árvores que aparecem muito próximas a construções, impedindo estas sejam tomadas em seu tamanho real, entre outro fatores, por isso a classificação feita foi realizada manualmente para avaliar os resultados das formas e distribuição dos objetos na cena. Deve-se ressaltar que no processo de segmentação, o parâmetro de forma deve ser igualado a zero, a fim de que o programa, com as suavizações não interfira na análise da e distribuição dos objetos segmentados.

Os índices de dimensão fractal (D) e o parâmetro de Pareto (a) calculados podem ser usados separadamente, sendo que a dimensão fractal exprime o comportamento do formato dos segmentos e o parâmetro de Pareto demonstra o tamanho e a distribuição destes segmentos.

Os resultados mostraram que a os valores de dimensão fractal analisados são consistentes, pois avaliam apenas a forma dos objetos. Classes com grandes valores de dimensão fractal apresentam segmentos muito irregulares, em contraponto com classes com baixos valores, que possuem formas semelhantes às apresentadas pela geometria euclidiana. Um cuidado com a obtenção das amostras deve ser tomado, a fim de não haver um resultado enganoso, pois, como vimos, árvores isoladas podem possuir formas regulares, bem como construções podem possuir formas complexas, de acordo com sua vizinhança.

Já em relação ao parâmetro de Pareto, a classe que apresentou o maior índice, classe via asfaltada, obteve este resultado por apresentar segmentos extensos, os quais em menor quantidade cobrem uma área maior, enquanto a classe edificação, possui o menor índice, sendo constituída por um número expressivamente maior de segmentos porém pouco extensos, sendo que, se fosse feito um comparativo, utilizando a mesma quantidade de segmentos de vias e edificações, a área coberta pelos segmentos de vias seria maior.

Os valores do parâmetro de Pareto variam de acordo com as amostras tomadas. Essa informação é de extrema importância, pois caso sejam tomados apenas exemplos de edificações de grande porte, bem como de pequenas vias, os resultados vão apresentar-se totalmente diferentes dos aqui expressados. Vale ressaltar que, de acordo com o objetivo da classificação, uma metodologia deve ser adotada. No caso deste estudo, uma nova

amostragem de classes como vegetação grande porte e calçada poderia ser tomada, a fim de aumentar sua separabilidade, ou tomar outra decisão como utilizar a resposta espectral na classificação, como apontado anteriormente.

A análise fractal constitui uma ferramenta poderosa para facilitar a classificação de imagens de altas resolução, pois, devido à riqueza de informações que podemos extrair destas, o uso desta técnica, aliada ou não a outras existentes mostra-se satisfatória, desde que, estabelecidos os cuidados prévios na segmentação da imagem, bem como na manipulação dos dados obtidos.

6. REFERÊNCIAS

AZEVEDO, Thiago Salomão de. **Análise Espaço Temporal da Dimensão Fractal de Matas Ciliares na Alta Bacia do Rio Passa Cinco – Centro Leste do Estado de São Paulo**. Rio Claro: UNESP, 2003.

BAATZ, M; SCHAPE, A. Object-Oriented and Multi-Scale Image Analysis in Semantic Networks. Proceedings of the 2nd Int. **Symposium on Operationalization of Remote Sensing**. Netherlands: Enschede, 1999.

BACKES, André Ricardo; BRUNO, Odemir Martinez. **Técnicas de Estimativa da Dimensão Fractal: Um Estudo Comparativo**. Lavras: UFLA, 2005.

CHRISTOFOLETTI, Anderson. **Modelagem de sistemas ambientais**. Rio Claro: Edgar Blücher, 1999.

DE COLA, Lee. Fractal Analysis of Classified Landsat Scene. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**. V.55, n.5, p.601-610, 1989.

MACHADO, Filipa; CAETANO, Mário. **Deteção de Alterações de Ocupação do solo com uma abordagem orientada por objetos**. Lisboa: IGP, 2004.

MANDELBROT, Benoit. **The fractal geometry of nature**. San Francisco: Freeman, 1983.

MIQUELES, Máximo; CENTENO, Jorge. Extração de edificações em ambientes urbanos utilizando imagem de alta resolução e dados do laser scanner. **Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. Goiânia, 4155-4162, Abril, 2005. Disponível em <<http://marte.dpi.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2004/11.19.12.50/doc/4155.pdf>>. Acesso em: 15/jun/2006.

PEITGEN, Heinz-Otto; JÜRGENS, H.; SAUPE, D. **Fractals of the Classroom. Part One: Introduction to Fractals and Chaos**. New York: Printer-Verlag, 1992.

WOODCOCK, C. E., COLLINS, J., GOPAL, S., et al. **Mapping and forest vegetation using Landsat TM imagery and a canopy reflectance model**. San Jose: Remote Sensing Environment, 1994.

DARWISH, A., K. LEUKERT & W. REINHARDT, 2003. Image Segmentation for the Purpose of Object-Based Classification. **Neubiberg: Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2003**. Disponível em <http://www.definiens.com/pdf/publications/FR07_1420.PDF>. Acesso em: 18/jun/2006.