

## SIMULAÇÃO DE SOMBREAMENTO EM SUPERFÍCIES SINTÉTICAS

M. Godoy Jr., G. J. Erthal

Instituto de Pesquisas Espaciais  
Ministério da Ciência e Tecnologia  
Caixa Postal 515, 12201 - São José dos Campos, SP, Brasil

### RESUMO

No planejamento de configuração de órbitas de satélites de sensoriamento remoto, é crítica a informação sobre os níveis de iluminação de cena em diferentes horários. Informações genéricas sobre a irradiância na superfície podem ser facilmente obtidas através de tabelas. Entretanto, o horário de passagem do satélite não afeta apenas o nível de irradiância média na horizontal, mas também o nível de sombreamento, que é função da diferença de elevação do terreno, do ângulo de elevação solar e do azimute solar. Desta maneira, para a definição do horário ótimo para a passagem do satélite, visando a minimização do efeito de sombreamento, é fundamental a existência de um sistema de avaliação do número de "pixels" sombreados para diferentes tipos de relevo e em diferentes situações de iluminação. Neste trabalho, são simuladas condições de iluminação de cena em função da topografia, a partir de superfícies sintéticas geradas para uma determinada classe de relevo, obtendo o efeito de iluminação, para vários ângulos de elevação e azimute e contabilizando os "pixels" afetados por sombra. O modelo aqui apresentado também pode ser aplicado para superfícies reais.

### ABSTRACT

To adequately specify a satellite orbit it is necessary to access the illumination level on the ground at different times. Generic information about the irradiance on the surface can be easily found in tables. However the orbit passing time does not only affect the irradiance on the horizontal plane, but also the shadowing level, which varies with topography, sun elevation and azimuth. In this way, to define the best satellite crossing time it is important to have a system for evaluating the number of pixels which would be in the shadow under different illumination and topographic conditions. In this work the simulation of shadowing patterns is performed by using synthetic surfaces for different topographic classes. The effect of illumination variation is also assessed and the number of shadowing pixels are computed. The developed model can also be applied to real surfaces.

## 1. INTRODUÇÃO

O presente trabalho surgiu da necessidade de se quantificar o nível de sombreamento em imagens de satélite de sensoriamento remoto quando de sua passagem, em horários com ângulos de elevação solar baixos em diversas classes de topografia. Para isso, quatro etapas foram definidas: (a) geração do modelo numérico de elevação, (b) geração da imagem de sombreamento ("shading model"), (c) geração da imagem de sombras ("shadowing model") e (d) avaliação estatística das áreas afetadas por sombras.

Os algoritmos implementados utilizam modelos sintéticos de elevação, cujos parâmetros permitem gerar superfícies com diferentes rugosidades, o que implica em topografias com características suaves ou acidentadas. No sombreamento, utilizou-se um modelo simples de iluminação que caracteriza a intensidade da energia refletida em cada ponto da superfície como função da energia incidente diretamente a partir da fonte de iluminação e da orientação da superfície no ponto considerado. Já as sombras são identificadas colocando-se o observador na mesma posição onde se encontra a fonte de iluminação e projetando-se a superfície na sua direção.

A simulação foi realizada utilizando-se as facilidades disponíveis no ambiente do SITIM-150 do INPE.

## 2. GERAÇÃO DO MODELO NUMÉRICO DE ELEVACÃO

Existem vários modelos para a representação digital de superfícies. Os mais conhecidos são: curvas de isovalor, malhas triangulares, superfícies polinomiais e grades retangulares (Felgueiras et alii, 1988). Cada modelo apresenta vantagens e desvantagens diretamente ligadas às aplicações a que ele se destina. Nesta aplicação, adotou-se o modelo de grade retangular particularmente adequado ao ambiente computacional utilizado para processamento e visualização dos dados, que possui uma arquitetura matricial (UVI-150).

Devido à diversidade de classes de relevo existentes na natureza e ao

processo relativamente custoso de aquisição de modelos numéricos de elevação a partir de dados reais, adotou-se nesta primeira fase, a idéia da geração sintética de superfícies.

A maioria dos modelos matemáticos utilizados para representação dos objetos existentes na natureza exploram as suas características regulares. É o caso das superfícies polinomiais, muito utilizadas, principalmente na área de computação gráfica para modelamento de superfícies e volumes (Rogers, 1985). Mas, a natureza apresenta, em geral, uma componente aleatória muito forte e que pode ser identificada através dos conceitos de rugosidade e fragmentação (Fournier et alii, 1982). Mandelbrot (1977) estudou a estrutura dos objetos naturais descrevendo-os através de uma nova geometria: a geometria fractal. A geometria fractal descreve figuras com dimensões fracionárias, isto é, cuja dimensão efetiva excede a sua dimensão topológica. Os fractais diferem das superfícies geométricas tradicionais por apresentarem as características de fragmentação e rugosidade e que existem em todas as escalas (característica de auto-similaridade). Como modelo para a representação de relevos, Mandelbrot introduziu o "movimento Browniano fractal" (fBm), uma extensão do movimento Browniano usado na Física, gerando bons resultados, mas a um custo computacional muito alto.

Fournier et alii (1982), propuseram um modelo que é uma aproximação do fBm. A superfície fractal é obtida partindo-se de uma célula quadrada que é subdividida recursivamente em quatro partes (quadrantes), como mostra a figura 1.

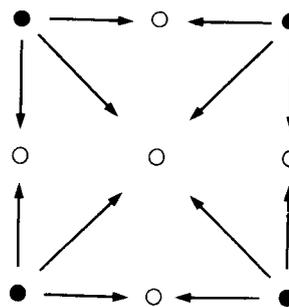


Figura 1 - Ordem de refinamento da grade.

Cada não negro é deslocado (na direção vertical) aleatoriamente, onde o valor (d)   dado por:

$$d = k \cdot 2^{-i} \cdot \text{GAUSS}(H) \quad (1)$$

onde GAUSS retorna uma variável aleatoria de média zero e variância unitária, k é o fator de escala, i o nível de recurs o e H um número fracionário entre 0 e 1.

H determina a rugosidade da superfície. Quando H está próximo de 1 a superfície é relativamente suave. Com H variando entre 0.5 e 1, a superfície mostra uma mistura de regularidade e desordem que caracterizam a natureza. Para H inferior a 0.5 a superfície se torna caótica.

Os nos brancos são calculados pela média dos valores dos dois nos negros mais próximos, adicionando-se os desvios calculados conforme a expressão (1), excetuando-se o ponto central, onde os quatro vizinhos são levados em consideração.

Para caracterizar a superfície gerada, foi implementado um algoritmo com a finalidade de produzir uma imagem de declividades. Para cada ponto da grade do modelo de terreno, a declividade é estimada por:

$$D(i,j) = \sqrt{DX^2 + DY^2} \quad (2)$$

$$DX = \frac{Z(i,j+1) - Z(i,j-1)}{2 \cdot RX} \quad (3)$$

$$DY = \frac{Z(i-1,j) - Z(i+1,j)}{2 \cdot RY} \quad (4)$$

onde DX é o gradiente na direção horizontal, DY na direção vertical, Z(m,n) o valor de altitude, RX e RY as resoluções horizontal e vertical, respectivamente, da grade, e i, j os índices para as linhas e colunas.

A partir do histograma do gradiente, é possível extrair parâmetros da distribuição dos valores de declividade do modelo de relevo.

### 3. GERAÇÃO DA IMAGEM DE SOMBREAMENTO ("SHADING")

A partir do modelo numérico de elevação gerado conforme o item 2, aplicou-se um algoritmo simplificado para geração da imagem sombreada. O método supõe que a energia que atinge a superfície é refletida igualmente em todas as direções (não há componente especular). Supõe também a existência de duas componentes de iluminação atingindo a superfície: (a) uma componente chamada "ambiente", que consiste de uma fonte de iluminação distribuída a qual atinge igualmente todos os pontos da superfície; e (b) uma componente chamada "difusa" que se baseia na hipótese de que o meio ambiente tem um comportamento Lambertiano. A figura 2 mostra a geometria de iluminação.

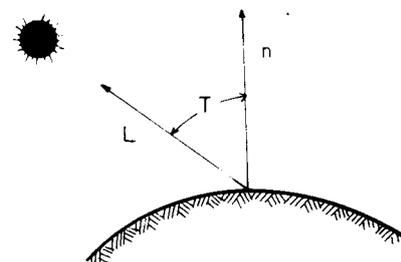


Figura 2: geometria de iluminação.

A lei de Lambert define que a intensidade da luz refletida a partir de uma superfície difusora perfeita é proporcional ao cosseno do ângulo entre a direção de iluminação e a normal   superfície em cada ponto do objeto. Desta forma obt m-se a seguinte expressão para o modelo de iluminação (Rogers, 1985):

$$I = I_a + I_d \cdot \cos(T) \quad (5)$$

onde I representa a intensidade da luz refletida, I<sub>a</sub> a intensidade ambiente, I<sub>d</sub> a intensidade incidente a partir de uma fonte pontual no infinito e T o ângulo entre a direção de incidência da luz e a normal   superfície (T varia entre 0 e 90 graus). Por este modelo, quanto maior o ângulo, menor é a quantidade de energia refletida pela superfície. Se T ultrapassar o valor 90, o ponto em questão estará na região de sombra. Porém, como o único elemento analisado durante o processamento é o

vetor normal à superfície, o modelo não é capaz de identificar as sombras provocadas pela existência de outros objetos entre a fonte de iluminação e um dado objeto. Esta situação é analisada no item 4.

#### 4. GERAÇÃO DA IMAGEM DE SOMBRAS ("SHADOWING")

O efeito de sombra surge quando os pontos da superfície se encontram ocultos em relação à fonte de iluminação. Duas situações permitem o surgimento de sombras: (a) quando partes de um mesmo objeto estão ocultas e (b) quando um objeto oculta partes ou o todo de outro. Nos dois casos, as regiões de sombra serão compostas por todos os pontos que não são "observados" pela fonte de iluminação.

Percebe-se, neste ponto que o problema é semelhante ao de se projetar uma superfície em perspectiva com eliminação das regiões ocultas (Rogers, 1985). Um algoritmo que soluciona este problema (Willians, 1972), se utiliza de uma máscara, no espaço de projeção, que delimita a região invisível.

O algoritmo trabalha com superfícies representadas na forma de grade. Os dados são projetados em ordem crescente da sua distância ao observador. À medida que os dados são projetados monta-se uma máscara delimitando a região já ocupada no espaço de projeção. Esta máscara é atualizada a cada novo dado que é projetado. Pontos situados fora da máscara são visíveis e conseqüentemente serão plotados, e dentro, invisíveis e portanto, serão eliminados. Ao final do procedimento, se obtém uma vista em perspectiva da superfície, onde estarão presentes apenas as regiões visíveis.

O procedimento usado na geração da imagem de sombras baseia-se no método descrito acima. Posiciona-se o observador no mesmo ponto em que se encontra a fonte de iluminação. Como a fonte é pontual e se encontra no infinito, utiliza-se o sistema de projeção paralela para o mapeamento dos dados. A única modificação realizada está ligada a análise da máscara no espaço projetado. Se o ponto está contido na máscara (ponto de sombra), ele será identificado na imagem de saída (imagem de sombras). Caso contrário ele será utilizado

apenas para a atualização da máscara e no seu lugar será colocado o valor correspondente obtido no item anterior ("shading").

#### 5. AVALIAÇÃO DAS ÁREAS AFETADAS POR SOMBRAS

O modelo descrito acima foi aplicado para uma grade 256x256 com resolução de 30x30m, variação vertical de 300 metros e com uma declividade média de 12 graus (variação de 5 a 20 graus). Os resultados obtidos para três ângulos de elevação são mostrados na tabela 1.

TABELA 1  
ESTATÍSTICA DE SOMBRAS PARA IMAGEM SINTÉTICA

Elevação (graus)	% de sombra
7	48
10	29
13	23

Para imagens de maior extensão (por exemplo 700 km), o efeito da curvatura da Terra passa a ter um peso significativo no nível de sombreamento da imagem. Para o exemplo dado, com ângulo de elevação solar de 10 graus no centro da imagem, obtém-se, de uma borda para outra, uma variação de 7 a 13 graus.

Um outro teste para uma superfície real foi executado, com parâmetros semelhantes à simulada, utilizando ângulos de elevação de 10, 20 e 30 graus, obtendo-se os resultados da tabela 2.

TABELA 2  
ESTATÍSTICA DE SOMBRAS PARA IMAGEM REAL

Elevação (graus)	% de sombra
10	25
20	5
30	0.5

#### 6. CONCLUSÕES

O modelo aqui apresentado, embora seja simples, demonstrou ser eficiente para a determinação de níveis de sombreamento em superfícies sintéticas.

Mas, desde já algumas modificações para melhoria do modelo podem ser definidas, tais como, o uso

de modelos mais completos de simulação de sombreamento, por exemplo "Phong Shading Model", (Yang, 1988), onde é levada em consideração a posição do observador e as propriedades especulares dos objetos, adicionando um termo especular à função de sombreamento; "Torrance Sparrow Model", (Yang, 1988), o qual define que quando o ângulo de incidência do feixe de luz é suficientemente grande, a distribuição máxima da luz refletida ocorre em um ângulo maior que o ângulo especular. O modelo assume ainda que uma superfície é formada por pequenas faces espelhadas aleatoriamente distribuídas.

## 7. BIBLIOGRAFIA

FELGUEIRAS, C.A.; ERTHAL, G.J.; DIAS, L.A.V. A Digital Terrain Model System for a Microcomputer. 16th Congress of International Society for Photogrammetry and Remote Sensing. Kyoto, Japan, Jul, 1988.

FOURNIER, A.; FUSSEL, D.; CARPENTER, L. Computer Rendering of Stochastic Models. Communications of the ACM, 25(6):371-384, 1982.

MANDELBROT, B. Fractals, Form, Chance and Dimension. Freeman, San Francisco, USA, 1977.

ROGERS, D.F. Procedural Elements of Computer Graphics. McGraw-Hill Book Company, New York, USA, 1985.

WILLIAMS, H. Algorithm 420, Hidden-line Plotting Program. Communications of the ACM, 15:100-103, 1972.

YANG, C.G. Illumination Models for Generating Images of Curved Surfaces. Computer Aided Design, 19(10):544-554, 1988.