

RESTRIÇÕES EM ATIVIDADES DE MONITORAMENTO POR SENSORIAMENTO REMOTO

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

RESUMO

A partir de estatísticas de cobertura de nuvens para determinada região, hora local e campo de visada, sugere-se uma formulação simplificada para o cálculo da probabilidade de obtenção de imagens úteis sobre temas dinâmicos que apresentam fases distintas em um período de tempo considerado. A abordagem sugerida permitirá a construção de curvas que estabelecerão a probabilidade de sucesso de diferentes sistemas de sensoriamento remoto, no monitoramento de temas dinâmicos com fases de duração mínima.

ABSTRACT

From the cloud cover statistics for an specified area, local solar time and field of view, a simplified formulation is suggested for the probability of success in obtaining useful images about dynamic themes that present distinct phases in certain period of time. This approach, which considers different remote sensing systems, permits the construction of curves that establish the probability of success in monitoring dynamic themes presenting minimal duration phases.

1. INTRODUÇÃO

A presença de nuvens impõe restrições em atividades de sensoriamento remoto orbital da superfície da terra para sistemas que operam na faixa espectral de 0,3 μ m a 1,0 μ m. Definindo-se como imagem útil aquela que apresenta até um máximo permissível de cobertura de nuvens (de 0% a 30%, por exemplo), é possível estabelecer-se uma abordagem quantitativa simplificada para a probabilidade de sucesso na obtenção de imagens úteis sobre temas dinâmicos com fases temporal e espectralmente distintas, em dado período de tempo.

Esta abordagem utiliza, além das estatísticas de ocorrência de classes de cobertura para determinada região, hora local e campo de visada de imageamento, também as características orbitais do sistema.

O modelo preliminar proposto servirá para delinear a modulação probabilística imposta pelas nuvens na quantidade de imagens úteis obtidas por sistemas orbitais no monitoramento de temas, para diversas resoluções temporais, durações de fases e probabilidade de ocorrência de classes de cobertura.

2. FORMULAÇÃO

2.1. ANÁLISE AMOSTRAL DO SISTEMA DE SENSORIAMENTO REMOTO

Suponha que se queira imagear uma determinada cena em N tentativas, considerando-se a resolução temporal (RT) do sistema; suponha também disponíveis ou conhecidas as probabilidades médias de ocorrência de classes de cobertura de nuvens (Pr(i)) para o campo de visada (CV) do sistema, hora local (HL) de imageamento e intervalo de tempo em meses, estações ou anos.

Sejam:

Pr(1) = probabilidade de ocorrência da classe de cobertura 1, [0%].

Pr(2) = probabilidade de ocorrência da classe 2, (0% - 30%]

Pr(3) = probabilidade de ocorrência da classe 3; (30% - 100%]

Pr(I|J) = probabilidade condicional da classe de cobertura J na segunda imagem, dada a ocorrência da classe de cobertura I na primeira imagem, I, J = 1, 2, 3.

Pr(I,J) = probabilidade de ocorrência da classe de cobertura I na primeira imagem e classe de cobertura J na segunda imagem

Pr(K|I,J) = probabilidade condicional da classe de cobertura K na terceira imagem, dado que ocorreu classe de cobertura I na primeira imagem e classe de cobertura J na segunda imagem

X = número de sucessos em N tentativas, ou passagens, X = 0, 1, 2, ... , N

Assim, tem-se que para N=1 (em t₁) a probabilidade de obtenção de imagem útil é dada por:

$$Pr(X=1) = Pr(1) + Pr(2) = p$$

Para N=2 (em t₂=t₁ + RT),

$$Pr(X=2) = Pr(1|1)Pr(1) + Pr(2|1)Pr(1) + Pr(1|2)Pr(2) + Pr(2|2)Pr(2)$$

Para N=3 (em t₃=t₂ + RT),

$$Pr(X=3) = Pr(1|1,1)Pr(1,1) + Pr(1|1,2)Pr(1,2) + Pr(1|2,1)Pr(2,1) + Pr(1|2,2)Pr(2,2) + Pr(2|1,1)Pr(1,1) + Pr(2|1,2)Pr(1,2) + Pr(2|2,1)Pr(2,1) + Pr(2|2,2)Pr(2,2)$$

Desenvolvimento análogo poderá ser utilizado para desenvolver-se a fórmula para N=M.

Vê-se que é necessário ter-se o conhecimento das probabilidades condicionais temporais de ocorrência de classes de cobertura para incrementos de tempo iguais a RT. No caso dos sistemas

LANDSAT e SPOT, por exemplo, a revisita ocorre a cada 16 e 26 dias respectivamente; o sistema SPOT, entretanto, pode fornecer imagens de uma mesma cena num período não inferior a 4 dias, dado o mecanismo de visada lateral deste sistema.

Segundo Brown (1970) e Sherr et alii (1971) "a ocorrência de classes de cobertura pode ser considerada independente para períodos de revisita maiores que 72 horas e campo de visada da ordem de 200 km x 200 km."

Supondo-se válida esta hipótese, pode-se simplificar o modelo markoviano e obter-se, para N passagens:

$$\Pr(X=N) = p^N \text{ ou, mais generalizadamente,}$$

$$\Pr(X=K) = \binom{N}{K} p^K (1-p)^{N-K}$$

$$K = 0, 1, \dots, N$$

Pode-se relaxar a especificação de obtenção de todas as N imagens, para a obtenção de pelo menos uma imagem útil. Assim, tem-se:

$\Pr(X \geq 1) = 1 - \Pr(X=0)$ onde $\Pr(X=0)$ representa a probabilidade de não se obter nenhuma imagem útil em N tentativas, ou seja, de não se obter imagens na classe de cobertura 3. Então,

$$\Pr(X \geq 1) = 1 - (1-p)^N$$

Obviamente a probabilidade de sucesso na obtenção de pelo menos uma imagem útil é função da probabilidade de ocorrência de classes de cobertura e do número de passagens.

O número de passagens necessário para que, com uma probabilidade P pré-especificada, se obtenha ao menos uma imagem útil, também pode ser calculado. Objetiva-se que

$$\Pr(X \geq 1) = P \text{ ou } 1 - (1-p)^M = P.$$

O valor procurado de M pode ser encontrado através de

$$\log(1-P) = M \log(1-p)$$

ou

$$M = \frac{\log(1-P)}{\log(1-p)}$$

Isto ocorrerá em um intervalo de tempo o qual chamaremos resolução temporal efetiva (RTE), onde RTE significa o número de dias no qual o sistema obtém pelo menos uma imagem útil para dada $\Pr(X \geq 1)$, ou P. Assim,

$$RTE = M \cdot RT$$

$$[RTE] = \text{dias/imagem útil}$$

Segue-se que a frequência amostral do sistema (FA) é dada por:

$$FA = 1/RTE, \text{ onde}$$

$$[FA] = \text{imagem útil/dia}$$

2.2. ANÁLISE DA VARIABILIDADE AMBIENTAL

Com relação à variabilidade temporal do(s) tema(s) presente(s) na cena, pode-se definir a variável VR em função do período de tempo, PT, e número de fases, NF, supostas de duração igual e espectralmente separáveis.

Tem-se, então

$$VR = PT/NF, \text{ onde}$$

$$[VR] = \text{dia/fase}$$

Para a frequência de variação do tema, FV, segue-se que:

$$FV = 1/VR, \text{ onde}$$

$$[FV] = \text{fase/dia}$$

No caso geral de diversos temas com diferentes fases de durações, utiliza-se a fase distinta de menor duração (PT_{\min}) entre os temas

presentes na cena, obtendo-se, portanto, a FV máxima (FV_{\max}). Assim,

$$FV_{\max} = 1/PT_{\min}$$

2.3. ANÁLISE DA PROBABILIDADE DE SUCESSO NO MONITORAMENTO

Com base no teorema amostral de Nyquist (Schwartz, 1981), para que o sistema amostrasse as diferentes fases dos diferentes temas da cena, possibilitando a análise e discriminação espectral, é necessário e suficiente que:

$$FA \geq 2 \cdot FV_{\max} \text{ ou } 1/RTE \geq 2/PT_{\min}$$

Desta forma,

$$\frac{1}{RT \cdot \log(1-p)} \geq \frac{2}{PT_{\min} \log(1-p)}$$

$$\frac{\log(1-p) \cdot PT_{\min}}{2 \cdot RT} \geq \log(1-p)$$

$$\log\left[(1-p)^{\frac{PT_{\min}}{2 \cdot RT}}\right] \geq \log(1-p)$$

$$P \geq 1 - (1-p)^{\frac{PT_{\min}}{2 \cdot RT}}$$

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir da formulação proposta gerou-se as curvas apresentadas nas Figuras 1, 2 e 3, para RT igual a 5, 15 e 30 dias respectivamente e onde tem-se P em função de p e PT_{\min} igual a 5, 15, 30, 90, 180 e 360 dias.

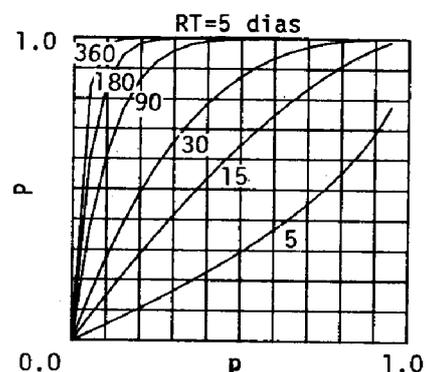


Fig. 1 Curvas de P em função de p e de PT_{\min} variáveis, para RT igual a 5 dias.

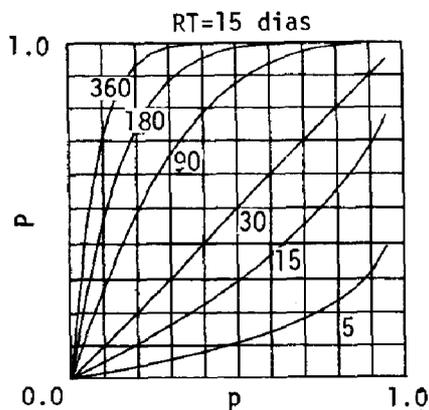


Fig. 2 Curvas de P em função de p e de PT_{\min} variáveis, para RT igual a 15 dias

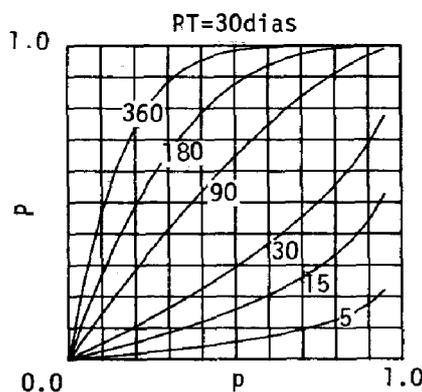


Fig. 3 Curvas de P em função de p e de PT_{\min} variáveis, para RT igual a 30 dias

O valor de p, nem sempre disponível para determinada região, hora local e campo de visada é o que restringe o cálculo de P. Para o Brasil, por exemplo, a ocorrência média de cobertura menor que 30%, a nível mensal, 10:00 hora local e campo de visada de 200km x 200km, pode ser vista na Tabela 1. Tais valores foram obtidos por Mauricio (1986, no prelo), a partir do trabalho de Chang et alii (1972), com a finalidade específica de simulação de missões de sensoriamento remoto.

MES	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	MÉDIA
p(%)	10	10	09	10	10	20	33	29	20	14	13	09	15

TABELA 1

OCORRÊNCIA DE COBERTURA \leq 30% PARA O BRASIL

Com tal intervalo de valores, relativamente baixos, pode-se avaliar, analiticamente ou através das curvas apresentadas, a probabilidade de sucesso de monitoramento (P) mínima relativa à fase de menor duração, sendo que as outras fases de maior duração terão consequentemente o valor de P maior para uma RT fixa e

A formulação usada não considerou o fenômeno de persistência temporal e espacial de cobertura de nuvens, não fazendo uso, portanto, das probabilidades condicionais temporais e espaciais. As diferenças significativas que ocorrem nos valores de p para regiões climáticas do Brasil, hora local e períodos mensais e sazonais devem ser considerados em análise detalhada do valor da probabilidade de sucesso de monitoramento. É importante, também, ressaltar-se a validade dos valores da Tabela 1 somente para campo de visada de 200 km x 200 km., 10:00 h. local.

4. CONCLUSÕES

O trabalho apresentado caracteriza de forma preliminar e simplificada as restrições encontradas em atividades de monitoramento considerando a ocorrência de nuvens; tal fator deve ser considerado na relação de aquisição de dados e obtenção de informação para sistemas de sensoriamento remoto orbital da superfície da terra.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BROWN, S. C. Simulating the consequence of cloud cover on earth-viewing space missions. Bulletin of the American Meteorological Society, 51(2):126-131, 1970
- CHANG, D.; WILLAND, J. Further developments in cloud statistics for computer simulations. Huntsville, AL, NASA. Marshall Space Flight Center, 1972, 195p. (NASA CR-61389)
- MAURICIO, J. A. Cobertura de nuvens e atividades de sensoriamento remoto. São José dos Campos, INPE, 1986, Tese de Mestrado em Sensoriamento Remoto (no prelo)
- SCHWARTZ, M. Information transmission, modulation, and noise. New York, NY, McGraw-Hill, 1981. p.92-96
- SHERR, P. E.; GLASER, A. H.; BARNES, J. C.; WILLAND, J. H. World-wide cloud cover statistics for use in computer simulation. Huntsville, AL, NASA. Marshall Space Flight Center, 1971, 133p. (NASA CR-61345)