

MAPEAMENTO INCREMENTAL: SOLUÇÃO TEÓRICA PARA FOTOGRAMETRIA EM ÁREAS NUBLADAS

Incremental mapping: A theoretic solution for photogrammetry in cloudy areas

Prof. Dr. DANIEL CARNEIRO DA SILVA¹

Prof. Dr. QUINTINO DALMOLIN²

¹Universidade Federal de Pernambuco
Departamento de Engenharia Cartográfica
Av Acadêmico Hélio Ramos, S/N
50670-901 Recife, PE

e-mail: danielcs@npd.ufpe.br

²Universidade Federal do Paraná
Curso de Pós Graduação em Ciências Geodésicas
Centro Politécnico- Jardim da Américas
Curitiba, PR

e-mail: dalmolin@geoc.ufpr.br

RESUMO

O problema de nebulosidade na fotogrametria ocorre sistematicamente em todo o globo, sendo mais intenso em regiões tropicais e montanhosas. No Brasil, existem várias áreas onde a nebulosidade é constante e excessiva todo o ano, principalmente nas regiões Norte e Nordeste. Esse fato implica diretamente no aumento dos custos do projeto, devido ao grande risco de que a tripulação e equipamentos fiquem muito tempo parados em terra, esperando por condições apropriadas para o voo. Visando encontrar soluções que tornem viável usar a fotogrametria convencional no mapeamento dessas áreas, esse trabalho mostra os resultados obtidos em simulações realizadas com o método de Monte Carlo, a partir de algoritmo usado originalmente em estudos de missões de satélites, no qual foram introduzidas algumas alterações, e com dados de nebulosidade obtidas de estações de superfície de postos meteorológicos situados na parte oriental do Nordeste do Brasil. Os resultados indicam que o método de mapeamento incremental, em parte similar ao método empregado com imagens de satélites, reduz significativamente o tempo de execução do voo, para áreas de muito nebulosidade, ou para vôos fora da época ideal.

Palavras Chave: Aerofotogrametria, Planejamento de vôos, Método de Monte Carlo, Nebulosidade

ABSTRACT

Cloudness problem in photogrammetry systematically occurs in the whole world mainly in tropical and mountainous places. In Brazil, there are areas where cloudness is constant and it lasts for the whole year, specially in the Northern and Northeastern region. This fact implies directly in the project cost, due to the big risk of both crew and the equipment be still for a long time, waiting for proper flight conditions. In order to find solutions which may use conventional Photogrammetry for mapping these areas, this work shows results obtained in simulations with Monte Carlo method using a algorithm adapted originally of satellite applications, and cloudness data of surface observations, from meteorological points located at the oriental part in the Northeastern of Brazil. the original algorithm Results show that the incremental mapping method, similarly to the method used while working with satellite images, reduces the time for flight operation for cloudy areas or for flights which are necessary out of established schedules.

Key Words: Aerial photogrammetry, Aerial Planning, Monte Carlo Method, Cloudness.

1 INTRODUÇÃO

A nebulosidade é o fator mais incerto numa missão de levantamento fotogramétrico (Slama, 1980). O planejamento de vôos fotogramétricos é feito a partir do conhecimento sobre a frequência de dias de céu completamente claro, a partir do qual serão estimados os tempos útil e espera, em solo, de toda tripulação e de equipamentos. Esse tipo de informação interfere diretamente no cálculo de custos e, dependendo da região ou época do ano, pode inviabilizar o levantamento.

As decisões sobre os vôos são tomadas diariamente com base na visualização do céu. Caso ocorram nuvens no local a única solução é esperar por tempo totalmente claro. A maioria das especificações usadas no Brasil, bem como aquelas recomendadas por entidades como a International Society of Photogrammetry and Remote Sensing (ISPRS) e American Society of Photogrammetry (ASP) têm cláusulas bem claras, definindo que não serão aceitas fotografias com nuvens e que a faixa ou trecho que as apresentem devem ser revoados. Em raros contratos são permitidos até 10% de nuvens.

De um modo geral, são obedecidas as especificações do contrato e, no máximo, são feitos alguns vôos “tentativas”. Todo o rigor na tomada das fotografias visa obter material com a melhor qualidade possível, embora isso seja praticamente impossível em certas áreas ou épocas do ano. No Brasil, existem áreas da região Norte, Nordeste e do Estado de Minas Gerais especialmente difíceis para levantamentos fotogramétricos devido a uma constante e excessiva nebulosidade (Ratisbona, 1976).

Os dados sobre condições favoráveis de nebulosidade para fins fotogramétricos são apresentados em forma de tabelas ou mapas. Para o Brasil estão disponíveis os de Girardi(1975), Chede & Chede(1985), 1º / 6º Grupo de Aviação (GAV) da Aeronáutica e para a região Nordeste, o de Silva e Dalmolin (2000).

Existem alguns métodos que podem ser utilizados em fotogrametria para se estimar o tempo, de espera em solo, a partir de informações de frequência de céu claro, tais como o da Associação Nacional de Empresas de Aerolevantamentos (ANEA) ou por análise combinatória, usando apenas as probabilidades de céu favorável ou não. Porém esses métodos simplificam a questão considerando que as ocorrências são estatisticamente independentes e não permitem que se façam análises mais elaboradas. Para resolver essa questão este trabalho mostra a possibilidade de adaptação de método de simulações efetuadas inicialmente pela NASA, nos anos 60, (Chang e Willard, 1972; Greaves et Al; 1971; Salomonson, 1969; Sherr et Al; 1968), com os objetivos de prever o sucesso de cobertura por satélite imageador, em função da nebulosidade e horário de passagem do satélite sobre uma determinada área. Esses estudos são baseados no método de simulações de Monte Carlo (Gilks, et al, 1995; Meyer, 1954; Metropolis, 1949)

Simulações para levantamentos fotogramétricos devem dar ao planejador de missões de vôo informações sobre as probabilidades de sucesso de se executar um serviço em determinada região e certa época do ano. As simulações, para serem efetuadas, necessitam de um modelo do comportamento da ocorrência de cobertura de nuvens. Segundo Gringorten (1971,1966), a nebulosidade pode ser adequadamente modelada por cadeias de Markov. Mesmo que a distribuição de probabilidade (frequência) da variável aleatória não seja normal, considera-se que a variável pode ser transformada em uma nova variável Y que obedece à distribuição normal padrão, expressa por $N(0,1)$. O processo para realizar essa conformação de variáveis pode ser feito usando o método de Monte Carlo, cujo princípio de funcionamento tem como base a Lei dos Grandes Números (Ross,1997).

Nesse trabalho o método de Monte Carlo foi aplicado a um algoritmo usado originalmente para simulações de imageamento por satélites, conforme consta na seção 2. Na seção 3 descrevem-se as alterações introduzidas para adequar o algoritmo aos vôos fotogramétricos e na seção 4 analisam-se alguns resultados das simulações. Com base nesses resultados, verifica-se a viabilidade de solução de mapeamento, chamado de incremental, para as regiões de baixa frequência de céu claro, como ocorre no Nordeste do Brasil.

2 ALGORITMO

O método de simulação de Sherr *et al.* (1968) usado por Brown (1969), Greaves *et al.* (1971) e Chang e Willard (1972), foi desenvolvido originalmente para estimar as probabilidades de sucesso de imageamento por satélite, no qual considerava-se que a área da imagem era igual a própria área a ser mapeada. Esse algoritmo com algumas adaptações, que serão discutidas mais adiante, pode ser

aplicado para vôos fotogramétricos. Os resultados das simulações dão as probabilidades de sucesso, a um certo nível de confiança, e o número de tentativas que são necessárias para fotografar 100% da área. A apresentação dos resultados é feita sob forma de gráficos.

O algoritmo foi implementado num programa em linguagem Pascal chamado de MCARLO, que usa como dados de entrada as Matrizes de Probabilidades Incondicionais (MPI) e Matrizes de Probabilidades Condicionais Temporais (MPCT), obtidas a partir de dados de observação de superfície (OS) de nebulosidade, de postos do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) de uma série de dez anos (de 1989 a 1998). A MPI é uma matriz de probabilidades (chamada de incondicional apenas para diferenciar da condicional), em que as linhas correspondem às classes de cobertura de nuvens de 1 a 10 (ou de 10% a 100% de céu encoberto) e as colunas correspondem aos meses de janeiro a dezembro; e os valores correspondem às frequências médias de observações diárias, sendo uma matriz para o horário de 12 e outra para 18 UTC (Universal Time Coordinated). A MPCT é uma matriz de probabilidades condicionais entre as ocorrências de classes em um dia e no dia seguinte, em que as linhas são as classes que ocorreram dia n e as colunas as classes que ocorreram no dia $n+1$, sendo uma para cada mês do ano. As tabelas 1 e 2 mostram exemplos de MPIs das 12 UTC e 18 UTC, e as tabelas 3 e 4 mostram exemplos de MPCTs, respectivamente para as estações de Triunfo e Recife. A estação de Triunfo fica na parte centro-norte do estado de Pernambuco, e pode ser considerada representativa de áreas que têm épocas favoráveis aos vôos fotogramétricos, enquanto Recife, que fica no litoral, é representativa das áreas de nebulosidade constante.

Segundo as análises realizadas por Silva (2001), os resultados das simulações são representativos para uma unidade de tempo equivalente a um período de quatro horas e a uma unidade de área que corresponde a 3000km^2 , tudo de acordo com as características dos dados utilizados.

Nesta pesquisa, o número de tentativas tem o mesmo significado de quantidade de dias consecutivos que se gasta para fotografar 100% de uma área, ou o tempo, em dias, de duração de uma missão de vôo com sucesso. A definição do tamanho dessa área padrão é feita a partir da representatividade espacial e temporal dos dados meteorológicos.

Tabela 1. MPI Matriz de Probabilidades Incondicionais de Triunfo, referente as 12UTC

82789	12											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
10	19.4	16.0	19.8	15.7	22.4	19.1	13.5	29.6	50.5	40.1	35.4	32.0
20	14.9	16.4	13.0	15.7	11.0	6.5	5.3	12.9	12.4	15.1	18.3	18.0
30	2.8	2.7	3.2	1.3	1.1	1.7	3.0	2.2	1.0	5.7	0.8	2.2
40	8.9	13.3	13.8	11.7	7.7	7.8	6.0	4.3	7.6	12.2	11.3	11.5
50	10.1	10.7	7.3	5.4	3.7	4.3	6.4	5.4	6.2	9.0	8.8	9.4
60	12.1	5.3	8.5	9.0	7.7	7.0	6.0	6.5	5.7	6.1	5.4	9.0
70	11.7	12.9	10.9	8.1	5.9	8.7	7.9	9.1	6.7	4.3	8.3	3.6
80	3.2	7.1	4.5	7.6	5.1	4.8	6.4	4.3	2.9	1.4	2.1	2.9
90	7.7	8.9	8.9	13.0	10.3	7.0	7.9	6.5	4.8	3.9	5.8	9.0
100	9.3	6.7	10.1	12.6	25.0	33.0	37.6	19.4	2.4	2.2	3.8	2.5

Tabela 2. MPI Matriz de Probabilidades Incondicionais de Recife, referente as 18UTC

82900	18											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
10	1.0	2.5	2.6	1.7	1.9	0.7	1.9	2.3	2.0	2.6	0.3	0.6
20	1.3	2.1	1.6	0.7	2.3	1.0	1.9	2.6	4.7	3.2	1.7	4.2
30	4.8	2.9	2.6	2.0	5.8	5.0	4.8	4.5	5.3	3.9	1.7	6.1
40	7.7	9.6	10.7	5.3	4.5	6.3	3.5	5.5	7.7	6.1	6.4	8.7
50	7.7	11.8	8.4	8.0	9.0	9.3	8.1	12.7	11.3	13.9	15.5	12.6
60	21.6	14.3	17.8	15.3	14.8	14.3	15.2	11.7	18.0	19.0	19.3	16.5
70	17.1	23.6	22.0	21.3	22.9	15.3	16.5	20.5	20.3	22.6	22.3	22.0
80	22.6	13.9	20.7	20.3	14.8	18.0	20.0	16.9	16.3	16.1	21.3	18.4
90	10.0	12.5	9.4	16.7	14.2	17.0	13.9	11.7	9.3	8.1	5.7	8.1
100	6.1	6.8	4.2	8.7	9.7	13.0	14.2	11.7	5.0	4.5	5.7	2.6

Tabela 3. MPCT Matriz de Probabilidades Condicionais Temporais de Triunfo, referente as 12UTC, mês de setembro

82789	9		12														
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100							
10	64.7	10.8	1.0	6.9	3.9	4.9	3.9	2.9	1.0	0.0							
20	40.0	12.0	0.0	4.0	4.0	16.0	8.0	0.0	4.0	12.0							
30	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0							
40	43.8	12.5	6.3	0.0	6.3	0.0	25.0	0.0	0.0	6.3							
50	53.8	7.7	0.0	15.4	15.4	0.0	0.0	7.7	0.0	0.0							
60	50.0	25.0	0.0	8.3	0.0	0.0	8.3	0.0	8.3	0.0							
70	23.1	15.4	0.0	7.7	15.4	7.7	7.7	7.7	15.4	0.0							
80	33.3	0.0	0.0	16.7	50.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0							
90	10.0	20.0	0.0	10.0	0.0	10.0	10.0	0.0	30.0	10.0							
100	0.0	20.0	0.0	20.0	0.0	0.0	0.0	20.0	40.0	0.0							

Tabela 4. MPCT Matriz de Probabilidades Condicionais Temporais de Recife, referente as 18UTC, mês de outubro

<i>82900</i>	<i>10</i>	<i>18</i>									
<i>10</i>	<i>25.0</i>	<i>12.5</i>	<i>0.0</i>	<i>12.5</i>	<i>25.0</i>	<i>0.0</i>	<i>25.0</i>	<i>0.0</i>	<i>0.0</i>	<i>0.0</i>	
<i>20</i>	<i>10.0</i>	<i>0.0</i>	<i>0.0</i>	<i>20.0</i>	<i>30.0</i>	<i>30.0</i>	<i>10.0</i>	<i>0.0</i>	<i>0.0</i>	<i>0.0</i>	
<i>30</i>	<i>0.0</i>	<i>0.0</i>	<i>8.3</i>	<i>0.0</i>	<i>16.7</i>	<i>25.0</i>	<i>33.3</i>	<i>16.7</i>	<i>0.0</i>	<i>0.0</i>	
<i>40</i>	<i>0.0</i>	<i>0.0</i>	<i>15.8</i>	<i>0.0</i>	<i>10.5</i>	<i>15.8</i>	<i>15.8</i>	<i>15.8</i>	<i>21.1</i>	<i>5.3</i>	
<i>50</i>	<i>2.4</i>	<i>2.4</i>	<i>2.4</i>	<i>9.5</i>	<i>31.0</i>	<i>19.0</i>	<i>23.8</i>	<i>2.4</i>	<i>4.8</i>	<i>2.4</i>	
<i>60</i>	<i>0.0</i>	<i>5.2</i>	<i>5.2</i>	<i>6.9</i>	<i>12.1</i>	<i>17.2</i>	<i>25.9</i>	<i>15.5</i>	<i>5.2</i>	<i>6.9</i>	
<i>70</i>	<i>0.0</i>	<i>2.9</i>	<i>2.9</i>	<i>5.9</i>	<i>8.8</i>	<i>23.5</i>	<i>23.5</i>	<i>20.6</i>	<i>10.3</i>	<i>1.5</i>	
<i>80</i>	<i>2.2</i>	<i>4.3</i>	<i>2.2</i>	<i>6.5</i>	<i>13.0</i>	<i>19.6</i>	<i>21.7</i>	<i>17.4</i>	<i>8.7</i>	<i>4.3</i>	
<i>90</i>	<i>4.2</i>	<i>0.0</i>	<i>0.0</i>	<i>4.2</i>	<i>0.0</i>	<i>16.7</i>	<i>25.0</i>	<i>37.5</i>	<i>8.3</i>	<i>4.2</i>	
<i>100</i>	<i>7.7</i>	<i>7.7</i>	<i>0.0</i>	<i>0.0</i>	<i>15.4</i>	<i>0.0</i>	<i>7.7</i>	<i>23.1</i>	<i>15.4</i>	<i>23.1</i>	

3 MODIFICAÇÕES NO ALGORITMO BÁSICO

O algoritmo básico deve ser adaptado em aplicações à vôos fotogramétricos, sobretudo na parte relacionada a diferenças de escalas de espaço e de tempo entre as tomadas das imagens, visto que:

- Os vôos fotogramétricos obtém áreas por fotografias muito menores que as áreas imageadas por satélite.
- A repetibilidade de passagem do satélite é de vários dias enquanto o tempo de revôo de uma faixa pode ser de poucos minutos.
- As imagens de satélites normalmente são adequadas à pequena escala e podem formar mosaicos de extensas áreas, com dezenas de quilômetros quadrados, para aplicações em estudos que exigem pouca precisão posicional. Já as escalas das fotografias são maiores, necessitam do recobrimento estereoscópico e são usadas em forma de blocos.

Essas particularidades evidenciam que a área levantada numa missão de vôo fotogramétrico pode resultar em dezenas de fotografias obtidas em um horário mais flexível. Isto é diferente do resultado equivalente obtido de um satélite, que registra apenas uma imagem por passagem, em intervalo de vários dias, em horário fixo, como é o caso do LANDSAT, SPOT ou CBERS.

No algoritmo básico foram implementadas três rotinas opcionais que visam tornar mais realista as aplicações à fotogrametria, a saber:

- 1) imageamento da área de forma aleatória;
- 2) inclusão do tamanho da área a ser fotografada, conforme o projeto de levantamento;
- 3) escolha da quantidade de classes de cobertura consideradas úteis para vôo.

A primeira modificação, sugerida por Brown (1970) foi a inclusão da divisão da área em cem partes iguais e o mapeamento aleatório dessa área. Essa rotina gera números aleatórios de 1 a 100, que definem quais partes serão mapeadas nesta tentativa. Sempre é seguido o incremento parcial definido pela classe de nuvem e

observado se cada parte já foi mapeada numa tentativa anterior. O processo continua até que toda área esteja mapeada.

A segunda modificação é a introdução do tamanho da área a levantar. Isso é feito informando o percentual da área a ser fotografada em relação à área padrão de 3.000 km². Por exemplo se a área a ser fotografada é de 600 km², o percentual é de 20%. Essa porcentagem é marcada como uma sub-área contínua dentro das cem partes da área total. Essa posição muda em cada missão para simular as constantes alterações na distribuição espacial das nuvens. O preenchimento dessa sub-área também é aleatório. A introdução do tamanho da área justifica-se em observações e estudos que mostrem que à medida que a área diminui, as chances de céu claro aumentam (Silva, 2001; Kristjansson, 1991; Shenk e Salomonson, 1971). Portanto, espera-se que quanto menor a área, menor seja o número de tentativas. A existência dessa relação merece mais estudos, tendo em vista suas aplicações diretas na fotogrametria e videogrametria.

A terceira modificação é a possibilidade de serem incluídas mais classes de cobertura, além da classe 1. O que se pretende é usar com flexibilidade todos os percentuais de áreas claras disponíveis do céu, permitindo que classes de cobertura com mais nebulosidade sejam aproveitadas. Dessa forma o programa tem três opções:

- a) classe 1, que tem de 0 a 90% de céu claro;
- b) classes 1, 2 e 3, que têm de 0 a 70% de céu claro, as quais dependendo do tipo, altura da base da nuvem e distribuição, podem aumentar significativamente as chances de vôo;
- c) classes de 1 a 10.

A utilização de todas as dez classes de cobertura do céu, para aproveitar qualquer área livre de nuvens, implica na aceitação da idéia do mapeamento ou levantamento incremental, que também foi sugerido por Brown (1970). No final de um levantamento incremental, a área estará coberta por um mosaico, obtido de vôos e revôos, dos quais foram aproveitados segmentos de faixas de vários tamanhos, livres de nuvens, e que devem cobrir estereoscopicamente toda a área a mapear. Deve-se lembrar que a formação e a duração de nuvens é um processo dinâmico (Glass, 1963) e que sofre a influência dos ventos (Teagle, 1979). Por esse motivo é possível que no vôo de uma faixa ocorram nuvens e essa mesma faixa possa ser revoada poucos minutos em seguida com o céu limpo.

A preparação do mosaico é similar ao que usualmente é feito com as imagens de satélites. Quando se deseja mapear uma área de que não dispõe de imagem completa livre de nuvens é necessário recorrer a segmentos de várias outras, inclusive de épocas diferentes. Esse procedimento apesar de ter restrições nos contratos de serviços fotogramétricos, não é tão raro em ser adotado. No dia-a-dia das empresas de aerolevanteamento encontram-se muitos exemplos de serviços que

foram executados aproveitando-se brechas de céu claro e que contêm fotografias com algumas nuvens.

Essa solução pode ser usada nas regiões mais nubladas, Certamente não é possível aproveitar todas as pequenas partes livres de nuvens e sombras, mas as áreas maiores, com modelos estereoscópicos completos, podem formar os mosaicos. Com as técnicas atuais, como vãos apoiados com o Global Position System-GPS e Inertial Navigation System-INS (Becker e Barriere, 1993), facilidades de apoio de campo, uso de restituidores analíticos, programas de fototriangulação que aceitam multi-escalas, e técnicas de correlação de imagens da fotogrametria digital; não existem mais restrições absolutas para esse tipo de levantamento, que parece ser uma solução viável para as regiões de muita nebulosidade, como na região oriental do Nordeste do Brasil, (Silva e Dalmolin, 2000),

4 RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES

Silva (2001) realizou simulações com o programa MCARLO utilizando dados de 22 estações distribuídas na área de estudos no Nordeste do Brasil e analisou as várias modificações introduzidas no algoritmo. Porém, aqui serão apresentados apenas os resultados para as estações de Triunfo e Recife, utilizando somente a opção de incluir uma, três ou dez classe de cobertura.

Os resultados das simulações são dados em número de tentativas e em probabilidades para fotografar 100% da área. O número de tentativas é a quantidade de dias gastos até que a área esteja completamente imageada, visto que as matrizes de probabilidades condicionais (as MPCTs) que entram na simulação referem-se a intervalos de 24h. As probabilidades que aparecem nos gráficos e tabelas representam o nível de confiança do resultado, sendo que 95% foi considerado estatisticamente aceitável para definir o número de tentativas que completam o levantamento.

4.1 Simulações com variação na quantidade de classes

As simulações, com variação da quantidade de classes, foram executadas com a finalidade de avaliar a possibilidade de redução do número de tentativas, principalmente nas áreas com nebulosidade excessiva. As Figuras 3 e 4 apresentam as simulações realizadas, para Triunfo e Recife, obtidas das tabelas geradas pelo programa MCARLO, nas quais aparecem o número de tentativas e as correspondentes probabilidades de área ser 100% mapeada, considerando-se uma, três ou dez classes de nebulosidade, respectivamente curvas 1c, 3c e 10c.

A estação de Triunfo situa-se em área que apresenta alguns meses (agosto a dezembro) com probabilidades de ocorrência da classe 1 igual ou maior que 30%, no período da manhã. Nesse caso, para o mês de setembro, usando a classe 1, com 95% de confiabilidade para fotografar 100% da área, o número de tentativas é igual a 6 (Figura 3). Usando-se três classes o número de tentativas é 5 e com as dez classes reduz-se para 3. A estação Recife encontra-se em área de muita

nebulosidade, onde a ocorrência da classe 1 é pouco maior no período da tarde, e chega no máximo a 2,6 % nos meses de março e outubro (Tabela 2). Com ocorrências de céu claro tão baixas o número de tentativas cresce muito, conforme mostram os resultados das simulações: usando uma classe são necessárias 164 tentativas, usando três classes 56, e somente usando dez classes é que se obtém um número razoável de 5 tentativas.

Figura 3 Exemplo dos resultados das simulações para Triunfo

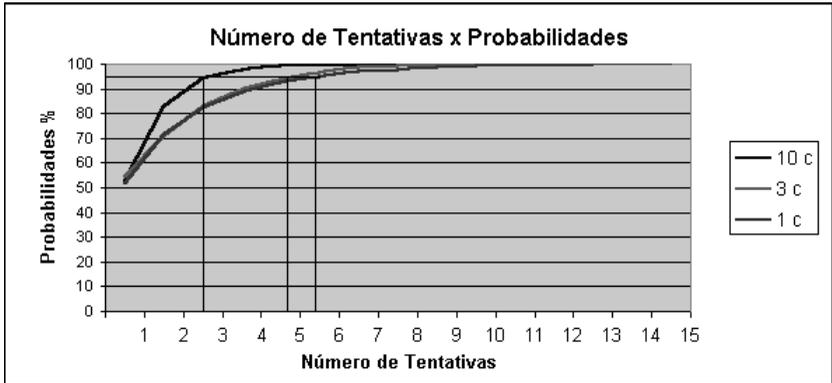
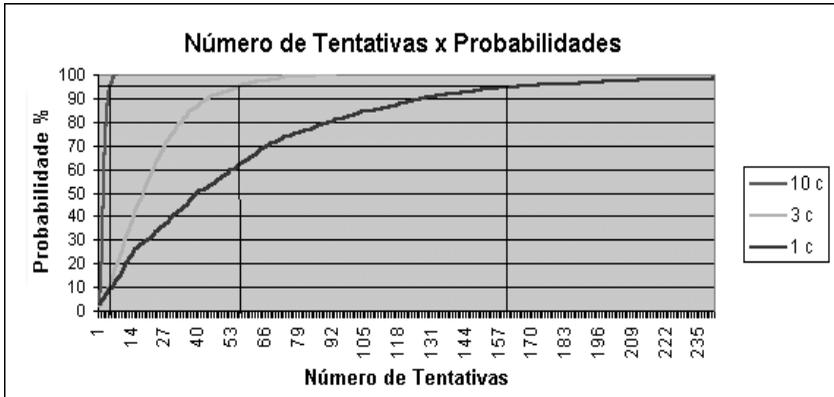


Figura 4 Exemplo dos resultados das simulações para Recife



A partir da análise de gráficos similares para toda a região Nordeste, Silva (2001) observou o seguinte:

1. O uso de dez classes de nebulosidade, quando comparada com uso da classe 1, reduz o número de tentativas para todas as regiões, sendo mais significativo para as regiões de nebulosidade excessiva, como Recife;
2. Não houve redução significativa do número de tentativas quando usadas as classe 1, 2 e 3 em todas as estações.
3. O número exagerado de tentativas para concluir uma missão de vôo, em áreas de maior nebulosidade, como Recife, mostra que é necessário prever formas alternativas de execução de vôo dessas regiões, como o levantamento incremental usando fotogrametria ou imageamento por radar (Mercer, 1995).

4.2 Limitações

O período útil estimado de quatro horas dificilmente será todo aproveitado numa tentativa de vôo, devido a fatores como tempo gasto na mobilização, decolagem, subida e deslocamento até a área a ser levantada, procedimentos de tomada de faixas, limitação do tamanho do filme e autonomia de vôo da aeronave. Levando isso em conta, a sugestão para aplicar os resultados das simulações obtidas com o algoritmo e as alterações introduzidas em planejamento de vôos fotogramétricos, deverão considerar o seguinte:

- a) as simulações são válidas para fotografar uma área **S**, de tamanho e escala variáveis, que possa ser concluída num intervalo de quatro horas e até a área máxima de 3000 km². Essa área **S** será a nova área padrão de referência.
- b) Se toda a área pode ser voada dentro desse intervalo utiliza-se diretamente o número de tentativas obtido na simulação.
- c) Se a área total é maior que a área de referência, considerar que cada área de referência é independente e se multiplica o número de tentativas da simulação pela relação (área total)/ (área padrão).

Outra solução sugerida é implementar o método chamado de Escalonamento Markoviano por (Greaves et al; 1971). Esse escalonamento parte da suposição adotada na simulação que as ocorrências das nuvens são uma cadeia simples de Markov e que as matrizes de probabilidade condicional para áreas **N** vezes maiores que a área de referência, são obtidas simplesmente elevando as matrizes à potência **N**.

5 CONCLUSÕES

O uso de programa de simulações de sucesso de missões de levantamentos fotogramétricos com o Método de Monte Carlo, com as adaptações no algoritmo básico, mostrou-se viável para o planejamento de vôos fotogramétricos, e inclusive, permite que se definam níveis de confiabilidade para os resultados.

As simulações usando as dez classes de cobertura mostram uma redução muito sensível no número de tentativas, sugerindo que o uso do levantamento

incremental é uma solução a ser considerada tanto para as regiões de nebulosidade excessiva, com médias diárias acima de 10% e constante todo o ano, como para levantamentos fora da época ideal.

O levantamento final formado por mosaico de fotografias obtidas de vôos e revôos totalmente livres de nebulosidade pode ser utilizado, uma vez que as técnicas modernas de hardware e software possibilitam o tratamento e processamento em multi-escalas.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1°/6° Grupo de Aviação. *Climatologia Mensal*. Recife: Base Aérea, 1°/6° Grupo de aviação, Seção de Informações do Setor de Planejamento Meteorológico. Cartogramas de janeiro a dezembro. 19??.
- Becker, R. D; Barriere, J. P. *Airborne GPS for Photo Navigation and Photogrammetry: An Integrated Approach*. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. v. 59, n. 11. p. 1659-1665. Nov. 1993.
- Brown, S. C. *A Cloud-Cover Simulation Procedure*. Astronautics & Aeronautics, v. 17, n. 8, p. 86-88. Aug. 1969.
- _____. *Simulating the Consequence of Cloud Cover on Earth-Viewing Space Mission*. Bulletin American Meteorological Society. v. 2, n. 51, p. 126-131. 1970.
- Chang, D. T; Willard, J. H. *Futher Developments in Cloud Statistics for Computer Simulations*. NASA Contractor Report CR-61389. Alabama: NASA George C. Marshall Space Flight Center, 1972. 109 p.
- Chede, F. C; Chede, I. C. G. *Estudo das Regiões Climatológicas Brasileiras e a sua Utilização Prática na Aerofotogrametria*. 2 ed. Rio de Janeiro: Escola de Aperfeiçoamento e Preparação da Aeronáutica Civil. 1985. 45 p.
- Gilks, W. R; Richardson, S; Spiegelhalter, D. J. *Markov Chain Monte Carlo in Practice*. Londres: Chapman & Hall. 1995. 486 p.
- Glass, M. *The Growth Characteristics of Small Cumulus Clouds*. Journal of the Atmospheric Sciences. v 20. p. 397-406. Sep. 1963.
- Greaves, J. R; Spiegler, D. B; Willand, J. H. *Development of a Global Cloud Model for Simulating Earth-Viewing Space Missions*. NASA Contractor Report CR-61345. Alabama: NASA George C. Marshall Space Flight Center. 1971. 133 p.
- Girardi, I. C. *Áreas e Épocas Favoráveis aos Vôos Aerofotogramétricos*. IAE-M-03/73. S. José dos Campos: Centro Técnico Aeroespacial, Instituto de Atividades Espaciais. 1973. 22p.
- Gringorten, I. I. *A Stochastic Model of the Frequency and Duration of Weather Events*. Journal of Applied Meteorology. V. 5, p. 606-624. Oct. 1966.

- _____. *Modelling Conditional Probability*. Journal of Applied Meteorology. v. 10, p. 646-657. Aug. 1971.
- Kristjansson, J. E. *Cloud Parametrization at Different Horizontal Resolutions*. Quarterly Journal of Royal Meteorological Society. n. 117, p.1255-1280. 1991.
- Mercer, J. B. *SAR Technologies for Topographic Mapping*. In: Photogrammetric Week'95. Karlsruhe: (Ed) Frtsch/Hobbie. Wichmann. p. 117-126. 1995.
- Metropolis, N. U. *The Monte Carlo Method*. Journal of the American Statistical Association. v. 44, n. 247, p. 335-341. Sep. 1949.
- Meyer, A. H. (Ed). *Symposium on Monte Carlo Methods*. University of Florida: John Wiley & Sons, Inc. 1954.
- Ratisbona, L. R. *The Climate of Brazil*. In: Schwordtfeger, W. Climates of Central and South America. Amsterdam: Elsevier, v. 12, cap.5, p. 219-294. 1976.
- Ross, S. M. *Introduction to Probability Models*. 5th ed. San Diego, EUA: Academic Press, 1993.
- Salomonson, V. *Cloud Statistics in Earth Resouces Technology Satellite (ERTS) Mission Planning*. NASA TM X-63674. Mariland, EUA: Goddard Space Fligh Center. 1969. 19 p.
- Shenk, W. E; Salomonson, V. *A Simulation Study Exploring the Effects of the Sensor Spatial Resolution on Estimates of Cloud Cover from Satellites*. NASA TN-D6247. Mariland, EUA: Goddard Space Flight Center. 1971. 10 p.
- Sherr, P. E; et al. *World Wide Cloud Cover Distribution for use in Computer Simulations*. NASA CR -61226. Allied Research Associates, Inc. 1968.
- Silva, D. C. e Dalmolin, Q. *Mapa de Céu Claro para uso em Aerofotogrametria*. In: Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário- Cobrac 2000. Florianópolis. Anais Florianópolis: UFSC. 2000. 1 CD.
- Silva, D. C. *Métodos para Tratamento de Dados de Nebulosidade para Fins Fotogramétricos*. Tese de Doutorado em Ciências Geodésicas. Curitiba: Curso de Pós Graduação em Ciências Geodésicas, Universidade Federal do Paraná. 2001. 235 p.
- Slama, C. C (Ed). *Manual of Photogrammetry*. 4th ed. Falls Church, VA, EUA: American Society of Photogrammetry. 1980. 1056p. il.
- Teagle, R. D. *Cloud Mapping*. In: Preceding of the ASP 45th Annual Meeting. Washington. v. II. p. 524-532 . 1979.

(Recebido em 30/08/02. Aceito para publicação em 10/12/02.)