

Estimativa das chuvas mensais e anuais a partir de imagens GOES em Mato Grosso

Vincent Dubreuil¹
Gilda Tomasini Maitelli²

¹Laboratorio COSTEL UMR 6554 CNRS (LETG), Universidade Rennes 2
Place du Recteur H. Le Moal, 35043 Rennes Cedex, França
Vincent.dubreuil@uhb.fr

²Universidade Federal do Mato Grosso
Departamento de Geografia/Laboratório de Climatologia
Av. Fernando Corrêa da Costa, s/n, Cuiabá - MT CEP: 78 060- 900, Brasil
Maitelli@terra.com.br

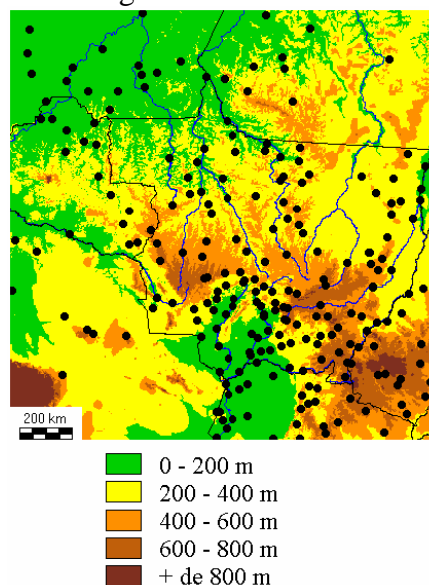
Abstract. The low density (one point for 15000km²) and the poor quality (frequently more than 20% of missing values) of the current meteorological network did not allow to draw detailed maps of rainfall in Mato Grosso. This work focuses on the interest of GOES-8 images for estimating rainfall with a better spatial accuracy. We chosed to study the period between september 1999 and august 2001 and infrared images from geostationnary satellites GOES. Generally, the results obtained with the occurences of high-level-clouds were better ($r=0.86$) than those calculated with the maximum temperature compositing ($r=-0.65$). This could be related to the high diversity of landscapes in Mato Grosso which leads to a great variability of surface temperatures. The good agreement between the measured rainfall and the cold-top cloud occurrences allowed us to estimate the amount of rainfall for the whole year; this technique permitted an improvement of the knowledge of the spatial distribution of rainfall with a 4km resolution. Satellite datas also confirmed the role of the topography in the amount of rainfall: the main reliefs showed more rainy conditions, phenomenon that cannot be observed with the rainfall ground network.

Palavras-chave: Chuvas, sensoriamento remoto, GOES, Mato Grosso
Keywords: Rainfall, Remote Sensing, GOES, Mato Grosso

1. Problemática

A climatologia da Amazônia Brasileira meridionale é ainda pouco estudada. As estações meteorológicas e os postos de medidas são pouco numerosos e foram instalados, em sua maioria, após o ano de 1970, no início da colonização agrícola recente: Dubreuil (2002). Numa área de um milhão de quilômetros quadrados, apenas 200 postos pluviométricos estão disponíveis (**Figura 1**). Desde 1970, a valorização do território foi conduzida sem um conhecimento detalhado e confiável do clima da região. A ausência de uma rede densa de observações meteorológicas de qualidade, característica própria de regiões com pouca densidade de população e com valorização recente, evidencia a importancia da utilização do sensoriamento remoto para que se possa desenvolver um estudo climatológico detalhado. Este artigo evidencia como dados do infravermelho, originários de satélites geostacionários GOES, podem suprir a baixa densidade da rede de observação clássica em Mato Grosso, bem como apresenta uma cartografia das precipitações em escala regional para o período de setembro 1999 a agosto 2001.

Figura 1: Relevo e rede de observação pluviométrica matogrossense :



2. Metodologia

A exploração de dados de satélites para estimar as precipitações evoluiu consideravelmente nos últimos vinte anos, o que levou a melhor compreender as variações pluviométricas nos países que não possuem rede de observações satisfatória: Arkin e Janowiak (1993), Xie e Arkin (1995), Herman et al. (1997), Dubreuil et al. (2000). Após algumas tentativas de monitoramento utilizando imagens visíveis, os estudos das precipitações por satélites passaram a ser realizados, particularmente, de duas formas: a) com utilização de dados do infravermelho e, b) com dados de micro-ondas. Mais recentemente, métodos combinados, utilizando simultaneamente os dois tipos de dados, são utilizados: Bellerby et al. (2000).

Para resolver o duplo problema, das lacunas de observações no solo e a grande variabilidade espaço-temporal das precipitações na zona tropical, foram utilizados os dados de infravermelho GOES com resolução de 4km para propor uma cartografia das precipitações em uma escala maior: a escolha destes dados geostacionários permite um trabalho com resolução a mais detalhada possível (utilizando dados de sensoriamento remoto existentes) e para obter uma melhor cobertura temporal. Os dados adquiridos referem-se a uma periodicidade de tempo tri-horária e foram tratados no laboratório do IRD (Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento) do CMS (Centro Meteorológico Espacial) de Lannion (França) à partir de setembro 1999 (www.satmos.meteo.fr). Eles são provenientes do satélite estacionário americano GOES-8 (Geostationary Operational Environmental Satellite) posicionado sobre a linha do Equador, à 75° de longitude oeste. As informações utilizadas são aquelas do canal 4 (10,2-11,2 μ m) e, à partir desses dois conjuntos de dados, foram realizados :

- Um primeiro tratamento foi elaborado utilizando um conjunto de dados diários com valor máximo de temperatura observada por cada pixel (**Figura 2**). As sínteses mensais permitem eliminar os efeitos atmosféricos, afim de conservar apenas a emissão proveniente do solo onde a intensidade é, sobretudo, função da natureza da cobertura vegetal e de sua alimentação em água. Estudar as variações das temperaturas máximas radiativas (TBMax) implica, na verdade, na identificação das quantidades de água da chuva recebidas em um ponto. Este tipo de método foi utilizado principalmente sobre a África, no âmbito do programa EPSAT, que mostrou uma relação existente entre as TBMax e as precipitações.

- Um segundo conjunto de dados foi constituído selecionando as mesmas imagens à partir de -40°C (**Figura 3**): assim, a ocorrência de nuvens de topo frio (do tipo convectivo e com possibilidades de chuvas) pôde ser igualmente monitorada num período mensal. Este método de trabalho foi adaptado do trabalho precursor de Arkin sobre o Goes Precipitation Index, mas foram utilizadas apenas a temperatura mais baixa -40°C ao invés de -38°C, após os resultados obtidos por Cadet e Guillot (1991) e Guillot et al. (1994).

Figura 2: Temperatura (°C.) radiativa máxima em abril 2000

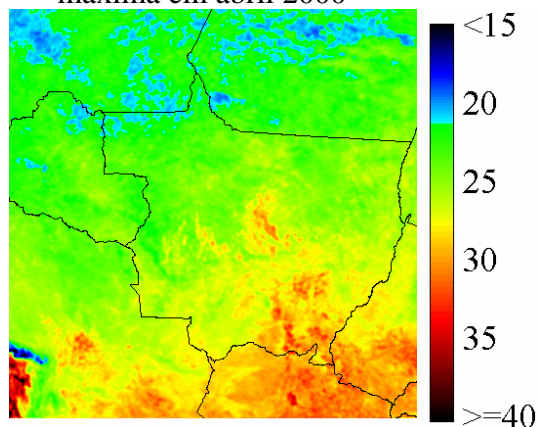
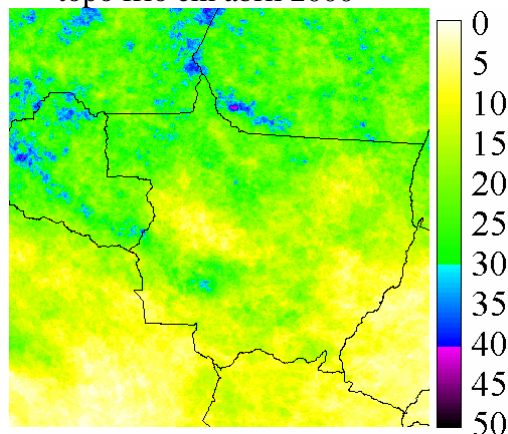


Figura 3: Ocorrências de nuvens de topo frio em abril 2000



3. Resultados mensais

As imagens das **figuras 4, 5 e 6** permitem acompanhar o desenvolvimento da ocorrência de nuvens de topo frio em relação com aquelas das precipitações na região de Mato Grosso. O mês de setembro é geralmente considerado como aquele que encerra a estação seca, com a chegada das primeiras chuvas. Em 2000, foi constatada a presença de uma forte cobertura de nuvens convectivas em boa parte do norte do Estado e as chuvas tiveram início no mês de outubro. Nessa estação, a região encontra-se em um sistema de baixas pressões, as massas de ar seco associadas ao anticiclone tropical do Atlântico sul recuam para o sudoeste e cedem lugar às baixas pressões continentais. Em outubro de 2000, uma diagonal WNW-ESE (de Rondônia ao centro sul de Mato Grosso) de ocorrências mais fortes pôde ser colocada em relação com a dorsal topográfica da Chapada dos Parecis e da Chapada dos Guimarães. De novembro de 2000 à março de 2001, as imagens evidenciaram um bom desenvolvimento de nuvens de precipitação da estação chuvosa. Os sistemas convectivos amazenses desenvolveram-se num fluxo dominante de N, NW. As imagens mostraram a presença, sobre Mato Grosso, de sistemas convectivos locais ou organizados em relação com a ZCAS (Zona de Convergência do Atlântico Sul): Sette (2000). As ZCAS se formam, sobretudo, durante a primavera e o verão no hemisfério Sul com orientação NW-SE e conforme o mesmo eixo que o jet subtropical. Trata-se de uma zona de convergência da massa de ar úmida e instável: Liebmann et al. (1999). No seio deste sistema circulam perturbações de tamanhos variáveis: instabilidades de nordeste (INE) ou de noroeste (INW). O afastamento do sistema pluviométrico é manifestado então no mês de abril, conforme observações em 2001. A partir de maio e, até o mês de agosto, entra-se efetivamente na estação seca. Esta região passa a ser dominada pelo Anticiclone Tropical Atlântico (ATA) que afeta o Mato Grosso progressivamente da direção leste-sudeste para oeste-noroeste, originando um tipo de tempo estável de junho a setembro (massa de ar do tipo Tropical Atlântica Continentalizada).

Figura 4 : Sínteses mensais GOES das ocorrências de nuvens de topo frio - de 2000 à 2001 (mesma legenda que fig.3)

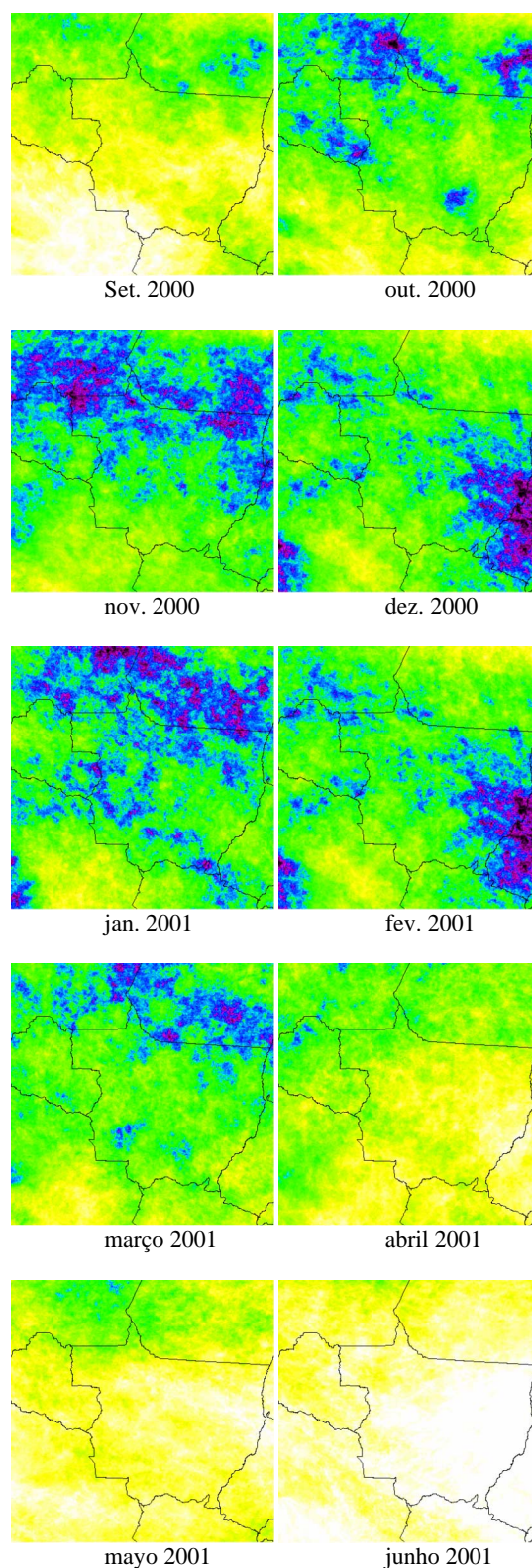


Figura 5 : Sínteses mensais GOES das temperaturas maximais radiativas de 1999 à 2000 (mesma legenda que fig.2)

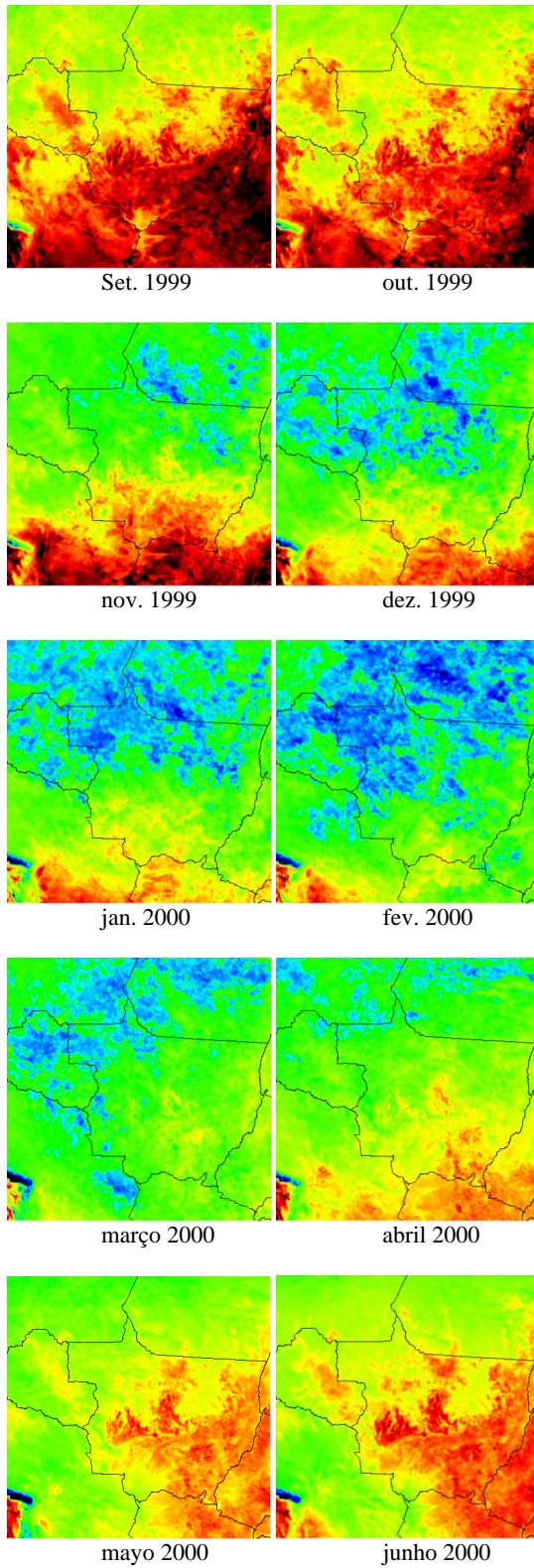
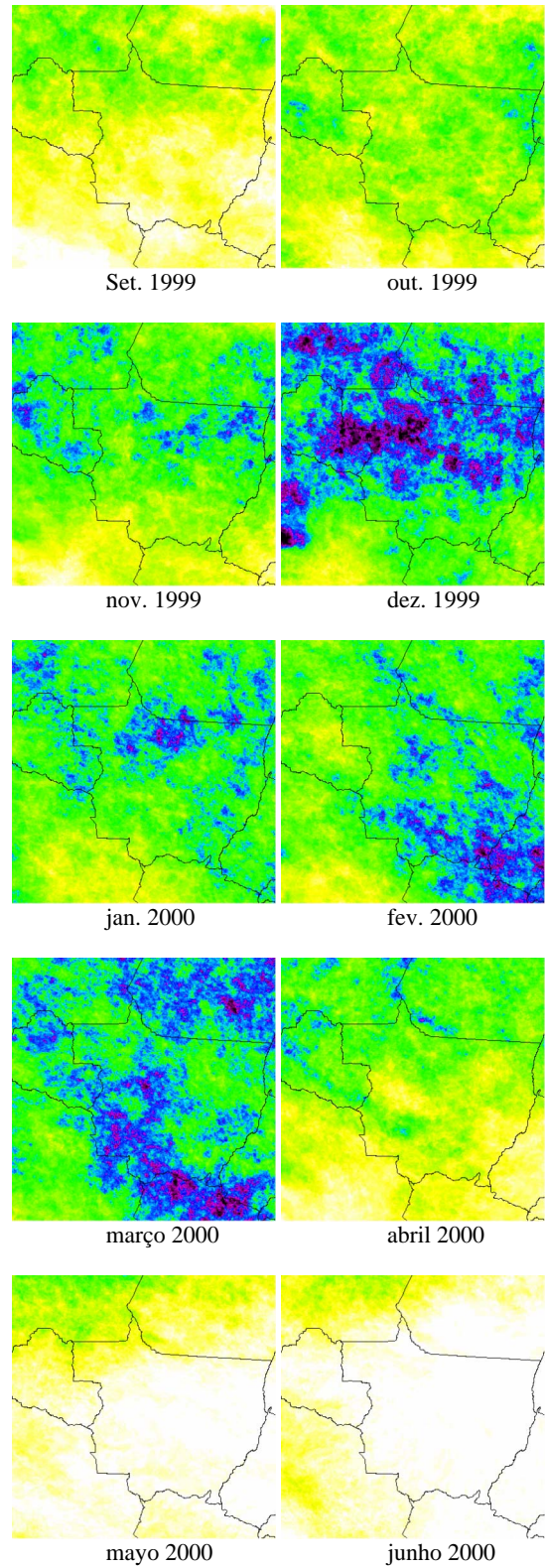


Figura 6 : Sínteses mensais GOES das ocorrências de nuvens de topo frio de 1999 à 2000 (mesma legenda que fig.3)



Os coeficientes de correlação mensais (**Tabela 1**) calculados para cada mês evidenciam, claramente, que existe um vínculo entre os dados de satélites e as precipitações registradas em superfície. Mas, embora exista certa coerência nos resultados da correlação, os vínculos entre as precipitações e os dados de satélite não são sempre muito fortes: as correlações com as ocorrências são melhores tanto no início quanto no fim da estação chuvosa, bem como com as TBMax no meio da estação das chuvas. De uma forma geral, as precipitações são melhores correlacionadas durante a ocorrência de nuvens de topo frio do que com as temperaturas máximas de superfície. Se utilizarmos os dois parâmetros de satélites para calcular uma regressão múltipla e estimar as precipitações, os coeficientes de correlação são bons ($r > 0.61$, ou seja, 50% da variância explicada) para 15 meses sobre 24, mas continuam pouco significativas para 2 meses ($r < 0.4$ para março 2000 e agosto 2001).

Tabela 1 : Coeficientes de correlações (r) entre as chuvas medidas em superfície e os dados infravermelhos GOES ; em negrito os coeficientes superiores a 0.60

	Set 1999	Out 1999	Nov 1999	Dez 1999	Jan 2000	Fev 2000	Mar 2000	Apr 2000	Mai 2000	Jun 2000	Jul 2000	Ago 2000
<i>Obs.</i>	197	197	188	171	190	170	175	179	184	206	207	206
Occ	0.60	0.42	0.41	0.58	0.67	0.26	0.23	0.64	0.81	0.85	0.67	0.61
TbMax	-0.48	-0.13	-0.42	-0.59	-0.60	-0.24	-0.15	-0.64	-0.60	-0.50	-0.65	-0.35
Oc+Tb	0.61	0.43	0.44	0.64	0.71	0.45	0.27	0.68	0.81	0.85	0.72	0.63
	Set 2000	Out 2000	Nov 2000	Dez 2000	Jan 2001	Fev 2001	Mar 2001	Apr 2001	Mai 2001	Jun 2001	Jul 2001	Ago 2001
<i>Obs.</i>	206	203	207	206	201	200	198	196	193	198	196	197
Occ	0.61	0.58	0.41	0.41	0.52	0.31	0.46	0.69	0.66	0.66	0.69	0.38
TbMax	-0.35	-0.44	-0.40	-0.48	-0.67	-0.66	-0.49	-0.64	-0.39	-0.57	-0.48	-0.06
Oc+Tb	0.61	0.59	0.45	0.58	0.69	0.67	0.53	0.71	0.66	0.67	0.69	0.38

Obs. = Número de observações

Occ = ocorrências mensais de nuvens de topo frio

TbMax = Temperatura máxima radiativa mensal

Oc+TbM = regressão múltipla com ocorrência e TbMax

Os resultados são bons para poucos meses quando comparados com aqueles obtidos sobre África com métodos equivalentes. Isto pode ser explicado pela diferença entre os arquivos elementares (3 horas aqui contra 30 minutos para o METEOSAT) e, também pelo fato de que na Amazônia Meridional a formação de sistemas convectivos ocorre, muitas vezes, em escala mais limitada e depende essencialmente das condições de instabilidade local e do ciclo diurno: eles são submetidos a uma maior variabilidade espaço-temporal, o que resulta numa estimativa mais complexa do volume de água precipitada: Durieux (2002), Ronchail et al. (2002). A correlação mais adequada obtida com a temperatura da superfície deve ser relacionada à heterogeneidade dos tipos de ocupação do solo.

4. Estimativa das chuvas anuais

Para testar a capacidade do método de estimativa das precipitações, procurou-se confrontar os dados com uma cartografia clássica das chuvas anuais. O principal objetivo é o de verificar se os dados de satélites permitem evidenciar as consequências da topografia sobre a repartição das precipitações e, como isto pode ser sugerido para certos meses: Bigot (1997). A evidência deste fenômeno é, muitas vezes, de análise mais fácil para períodos anuais que para períodos mensais. Assim, analisaremos em conjunto os dados obtidos de setembro de 2000 a agosto de 2001.

Uma primeira carta foi construída utilizando valores pluviométricos anuais e com interpolação espacial: o método de interpolação é o clássico, o valor de cada pixel é função de 4 a 8 valores mais próximos daqueles realmente observados, e de uma função ponderada do inverso da distância ao quadrado. Lembramos que o objetivo aqui não é testar o método de interpolação, mas sim de confrontar os dados de satélites em uma carta simples. A **figura 7** evidencia os efeitos “aureólas” em torno das estações, freqüentes neste tipo de documento, e a incerteza das estimativas nas regiões onde os dados de superfície não são disponíveis (leste da Bolívia ou oeste de Rondônia).

A **figura 8** (legenda e cores idênticas às anteriores) correspondem às estimativas das precipitações obtidas por satélites, aplicadas para cada pixel e pelo conjunto do ano calculadas através da equação:

$$P \text{ (mm)} = 11.20 \times \text{Occ} - 21.02 \times \text{TBM}_{\text{Max}} + 226$$

As duas cartas das imagens, contidas nas **figuras 7 e 8**, apresentam certas semelhanças mas, também diferenças significativas. O gradiente em latitude é também globalmente bem nítido nos dois casos, mesmo nos setores de mais fraca pluviometria do sudoeste do Pantanal e da Bolívia. As imagens de satélite trazem, entretanto, novas informações coerentes com a topografia da região. A **figura 8** permite, notadamente, encontrar os contornos de certos maciços orográficos (Chapada dos Parecis, Dorsal de Rondônia, Serra do Cachimbo) onde a pluviometria é mais elevada que nos planaltos circundantes. Por outro lado, a bacia do Xingu aparece como um setor menos irrigado. Certos núcleos de mais forte pluviometria são colocados em evidência (Serra dos Apiacas). Entretanto, a ausência de medidas em superfície não permite afirmar o seu significado.

Figura 7: Mapa das chuvas 2000-2001 (observações em superfície em mm)

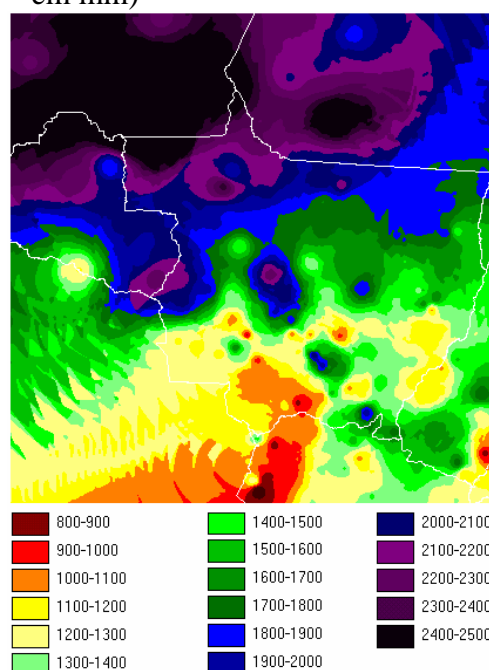
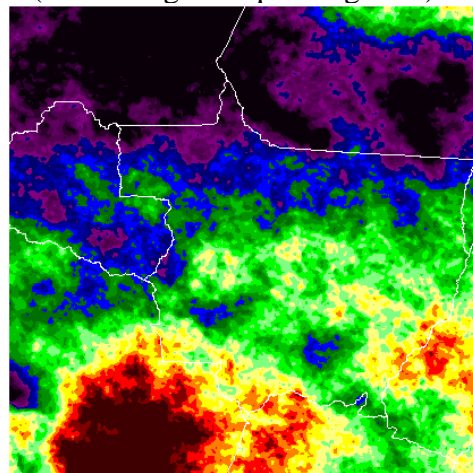


Figura 8: Estimação das chuvas com imagens GOES em 2000-2001 (mesma legenda que a figura 7) :



Em direção sul, Pantanal, Goiás e Bolívia, embora as imagens de satélites pareçam mostrar os limites e vínculos entre a topografia e a pluviometria, estes são melhor evidenciados pela cartografia « clássica ». Assim, é indubitavelmente necessário relacionar esse fato com a proporção mais forte das chuvas ocasionadas pelos sistemas de nuvens estratiformes nesta região, uma vez que a estimativa por satélite focaliza as chuvas convectivas.

Conclusão

Em Mato Grosso, no período de setembro de 1999 a agosto de 2001, confrontando os dados de precipitação em superfície com os dados infravermelhos do satélite GOES, verifica-se que as chuvas são melhor correlacionadas com a ocorrência de nuvens de topo frio do que com as temperaturas máximas. A estimativa das precipitações por satélite é então bem adaptada para esta região pouco equipada em estações convencionais. A resolução espacial dos dados GOES mostra também, na escala anual, o vínculo entre as chuvas estimadas e o relevo. Entretanto, a menor correlação obtida com a temperatura da superfície pode estar ligada à heterogeneidade dos tipos de ocupação do solo: deve-se então dar continuidade a este trabalho, separando, por um lado, os tipos de cobertura e, por outro, utilizando outros indicadores de satélites sensíveis à maneira pela qual a vegetação responde à chuva como, por exemplo, o índice NDVI obtido das sínteses de dados NOAA ou SPOT-Végétation.

Agradecimentos

Os autores agradecem Dominique Dagonne do l'IRD, Anne Jallet, Aline Lecamus, Virginie Jumeau e Pascal Gouery (COSTEL, Rennes 2) pela aquisição e pré-tratamento das imagens, também a Josyane Ronchail, Andreina dos Santos e Waldemar Guimaraes (ANA-SIH, Superintendência de Informações Hidrológicas) pelo acesso aos dados climáticos.

Referências

- Arkin, P.A.; Janowiak, J.E. Tropical and Subtropical precipitation, in «**Atlas of satellite observations related to global change**» Ed.by R.J.Gurney, J.L.Foster, C.L.Parkinson ; Cambridge University Press, p.165-180, 1993.
- Bellerby, T.; Todd, M.; Kniveton, D.; Kidd, C. Rainfall estimation from a combination of TRMM precipitation radar and GOES multispectral satellite imagery through the use of an artificial neural network; **Journal of applied Meteorology**, v. 39, p.2115-2128, 2000.
- Bigot, S. **Les précipitations et la convection profonde en Afrique centrale: cycle saisonnier, variabilité interannuelle et impact sur la végétation**. 1997. 283p. Thèse de Doctorat de Géographie de l'Université de Bourgogne, Dijon. 1997.
- Cadet, D.; Guillot, B. **EPSAT: Estimation des Pluies par Satellite**; ORSTOM, 1991. 63p.
- Dubreuil, V. **Environnement et télédétection au Brésil** ; Presses Universitaires de Rennes ; 2002. 200 p.
- Dubreuil, V.; Lecamus, A.; Dagonne, D.; Maitelli, G.T. Apport des satellites géostationnaires GOES pour l'étude du climat du Mato Grosso, Brésil ; **Publications de l'Association Internationale de Climatologie**, v.13, p.401-409, 2000.
- Durieux, L. **Etude des relations entre les caractéristiques géographiques de la surface et les nuages convectifs dans la région de l'arc de déforestation en Amazonie** ; 2002. 279p. Thèse de Doctorat de l'Université d'Aix-Marseille I. 2002.
- Guillot, B.; Lahuec, J.P.; Dagonne, D. **Satellite et surveillance du climat. Atlas de veille climatique : 1986-1994**. ORSTOM-Météo-France, Paris, 1994. 91p.
- Herman, A.; Kumar, V.B.; Arkin, P.A.; Kousky, M. Objectively determined 10-days African rainfall estimates created for famines early warning systems ; **International Journal of Remote Sensing**, v.18, p.2047-2060, 1997.

Liebmann, B.; Kiladis, G.; Marengo, J.; Ambrizzi, T.; Glick, J. Submonthly convective variability over South America and the South Atlantic Convergence Zone. **Journal of Climate**, v.12, p.1877-1891, 1999.

Ronchail, J.; Cochonneau, G.; Molinier, M.; Guyot, J.L.; e al. Rainfall variability in the Amazon Basin and SSTs in the tropical Pacific and Atlantic oceans. **International Journal of Climatology**, v.22, p.1663-1686, 2002.

Sette, D.M. **O holorrítmo e as interações tropico-extratropico na gênese do clima e as paisagens do Mato Grosso**. 2000. 375 p. Tese de Doutorado da Universidade de São Paulo. 2000.

Xie, P.; Arkin, P.A. An intercomparison of gauge observations and satelite estimates of monthly precipitation ; **Journal of Applied Meteorology**, v.34, p.1143-1160, 1995