

Mapeamento de três decênios da precipitação pluviométrica total e sazonal do bioma Pantanal

Murilo Raphael Dias Cardoso^{1,2}
Francisco Fernando Noronha Marcuzzo²

¹ UFG - Universidade Federal de Goiás
Campus Samambaia (Campus II)
CEP 74001-970 – Caixa Postal: 131 – Goiânia – GO, Brasil
muriloshinobi@gmail.com

² CPRM - Serviço Geológico do Brasil
Rua 148, n. 485 - Setor Marista
CEP 74170-110 – Goiânia - GO, Brasil
fmarcuzzo@go.cprm.gov.br

Resumo. Estudar o comportamento espacial, temporal e sazonal da precipitação pluviométrica no bioma Pantanal é de relevante importância, já que a região possui a maior planície inundável do mundo e a pluviosidade é um componente fundamental no entendimento dos alagamentos que ocorrem na localidade. O presente trabalho teve como objetivo apresentar um estudo da distribuição espaço-temporal e sazonal da precipitação pluviométrica de três decênios no bioma do Pantanal brasileiro. Foram utilizadas 12 estações pluviométricas com 30 anos de dados. Elaboraram-se mapas da distribuição das chuvas sazonais e decadais gerados a partir da interpolação matemática dos dados pelo método Spline de Tensão. Observou-se que houve uma variação espacial significativa quanto a quantidade da precipitação pluviométrica e que durante o período existiu um decréscimo gradativo na quantidade precipitada da década de 1977 à 1986 até a década de 1997 à 2006. Na análise das estações seca e úmida, de cada década, o período úmido apresentou uma disposição semelhante à análise feita levando em consideração todo o ano hidrológico. Porém, no período seco foi onde houve maior discrepância tanto na distribuição espacial quanto na temporal.

Palavras-chave: interpolação, spline de tensão, geoprocessamento, chuva, isolinhas, isoietas.

Total and seasonal rainfall mapping of three decades of the Pantanal

Abstract. To study the spatial behavior, temporal and seasonal rainfall in the Pantanal biome have great relevant importance, since the region has the largest wet plain of the world and rainfall is a key component in understanding the floods that occur in the locality. This study aimed to present a study of spatial-temporal distribution and seasonality of rainfall in three decades in the Brazilian Pantanal biome. A total of 12 rainfall stations with 30 years of data. Maps with the distribution of seasonal rainfall and decadal generated from mathematical interpolation of data by the Tension Spline method. It was observed that there was a significant spatial variation as the amount of rainfall during the period and that there was a gradual decrease in the amount precipitated the decade from 1977 to 1986 until the decade 1997 to 2006. In the analysis of dry and wet seasons, each decade, the wet period showed a similar provision to the analysis taking into consideration the entire hydrologic year. However, in the dry season where there was much greater discrepancy in the spatial distribution and in time.

Key-words: interpolation, spline tension, geoprocessing, rain, isolines, isohyetal.

1. Introdução

O bioma Pantanal, considerado Patrimônio Nacional pela Constituição Federal de 1988 e Reserva da Biosfera pela UNESCO no ano de 2000, é a maior área inundável do mundo. Este fenômeno de alagamento é importante para a produtividade da pecuária e da pesca, o controle natural de queimadas e a abundância e distribuição da fauna e flora da região. A sazonalidade das inundações está diretamente relacionada ao regime de precipitação pluviométrica, entretanto há áreas que permanecem secas ou inundadas durante todo o ano.

O estudo de chuvas no Brasil tem como maior dificuldade a pouca disponibilidade de dados, ou sua inexistência, em algumas áreas do país (Mello et al., 2001). Na região do Pantanal não é diferente, principalmente para dados históricos mais remotos, como será visto mais adiante neste trabalho. Contudo, modelos estatísticos, imagens de satélites e SIG (Sistema de Informação Geográfica), amenizam de forma considerável esse problema, bem como otimizam a geração e manipulação desses tipos de dados e suas respectivas distribuições e análises espaciais (Fotheringham et al. 1994).

Segundo Ferreira et al. (2005), os programas de aplicação em SIG têm a capacidade de manipular, armazenar e analisar dados geográficos. É diferente dos demais (aplicáveis em cartografia digital) por possuir estruturas que permitem definir as relações espaciais e estatísticas entre todos os elementos dos dados (geo-objetos). Esta convenção conhecida como topologia dos dados, vai além da mera descrição da localização e geometria cartográfica, por permitirem fazer cruzamentos de dados e desenvolver cenários, daí sua importância na utilização do planejamento territorial e gestão do meio ambiente, particularmente gestão de bacias hidrográficas.

Existem diferentes modos de se mapear a variabilidade espacial de um atributo em um SIG. Porém, nem todos os modelos inferenciais propostos respondem a questões básicas relacionadas com a forma, tamanho e orientação do domínio a ser considerado na interpolação, além de não fornecer informações sobre incertezas em relação aos valores estimados espacialmente, (Burrough et al., 1998). A metodologia de interpolação matemática utilizada nesse estudo foi o Spline de Tensão por ser o mais indicado para esse caso do bioma Pantanal onde as estações pluviométricas, com 30 anos de monitoramento, não estão igualmente espacializadas por todo o seu território (Hofierka et al., 2002).

2. Objetivo

O objetivo deste trabalho foi o de apresentar um estudo da distribuição espaço-temporal e sazonal da precipitação pluviométrica de três décadas no bioma do Pantanal brasileiro.

3. Material e Métodos

3.1. Caracterização geral da área de estudo

O bioma Pantanal é uma planície com altitude média de 80m a 150m e declividade de 2,5 a 5,0 cm.km⁻¹ no sentido norte-sul (Garcia, 1984). A variação total altimétrica do bioma Pantanal vai de 75m a 1029m (**Figura 1**). Está localizado dentro da bacia do Alto Paraguai no Brasil, (Silva et al.,1998) e ocupa uma área de aproximadamente 151.313 km² e seu perímetro é de 3380 km, cerca de 2% de todo o território brasileiro. Está presente em 2 estados, Mato Grosso (40,3%) e Mato Grosso do Sul (59,7%) (Brasil, 2008), e em 13 municípios (IBGE, 2007), sendo 6 no Mato Grosso e 7 no Mato Grosso do Sul (Figura 1). Sua população total é de 366.113 habitantes, totalizando cerca de 1 habitante por km². A cobertura vegetal remanescente do bioma é de 83,1%, segundo IBAMA/MMA, 2010. O bioma Pantanal possui uma extensa quantidade de águas fluviais, com a extensão de seus principais rios chegando aproximadamente 4000 km (**Figura 2**).

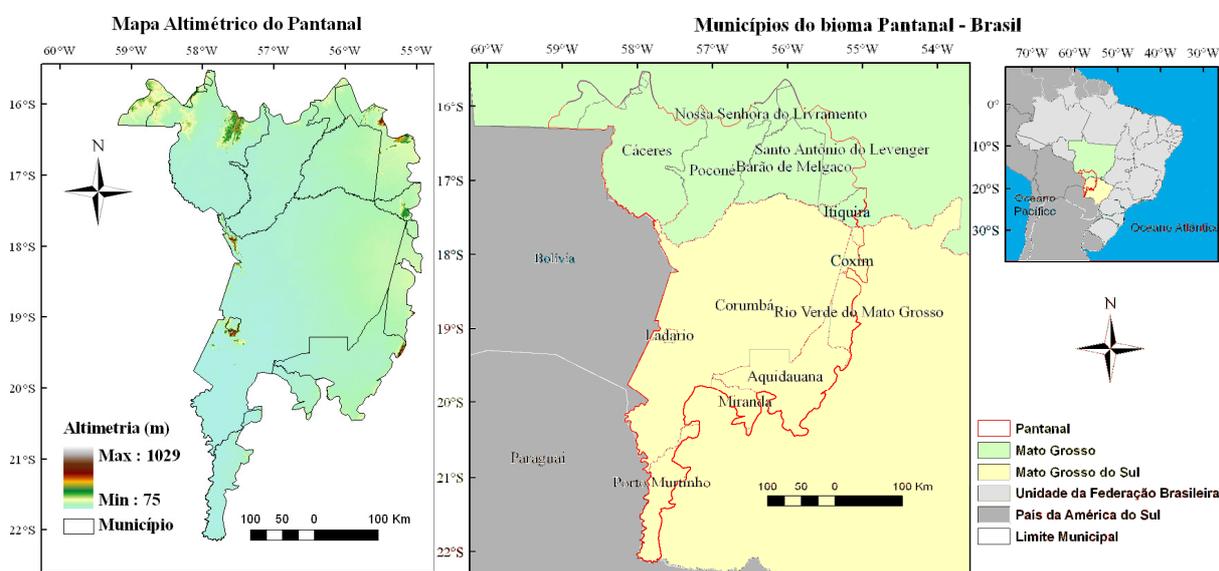


Figura 1. Altimetria, divisão territorial dos municípios do bioma Pantanal com sua respectiva localização geográfica na divisão federativa do Brasil e continente Sul Americano. (Fonte dos dados para confecção dos mapas: IBGE e NASA)

3.2. Caracterização climatológica da área

O Pantanal apresenta um clima Tropical típico, Aw na classificação de Köppen, que caracterizasse por duas estações bem definidas, uma seca, no inverno, e outra chuvosa, no verão (Garcia, 1984). Sua temperatura média anual está em torno de 25°C e a umidade relativa é, média, de 82%. Devido às atuais mudanças climáticas globais, a frequência, durabilidade e intensidade dos períodos seco e chuvoso sofrem alternância, no entanto não são observadas tendências sistemáticas em longo prazo que induza a condições mais secas ou chuvosas, sendo mais importantes variações interanuais e interdecadais, associadas à variabilidade do clima, na mesma escala temporal de variabilidade de fenômenos interdecadais dos oceanos Pacífico e Atlântico tropical, (Marengo, 2008). A precipitação pluviométrica no bioma Pantanal é resultante do acoplamento de vários sistemas atmosféricos, como o Sistema Convectivo (Couto et al., 2009), a Zona de Convergência do Atlântico Sul, a Alta da Bolívia e os Sistemas Frontais. A inconstância pluviométrica e suas relativas quantidades de precipitações, com seus regimes sazonais ou diários, distribuição temporal e as intensidades de chuvas individuais (volume.duração⁻¹), são algumas das

características que afetam de alguma maneira, principalmente, o meio natural, (Souza et al. 2009).

Outro fator relevante na dinâmica das chuvas no Pantanal é o comportamento das massas de ar que atuam na região. Ainda que com uma geomorfologia considerada limitada, a altura das serras tem efeitos significativos sobre o clima, em decorrência do fato das massas de ar, que atuam na região, serem instáveis e muito úmidas com efeitos perceptíveis em sua temperatura e precipitação (Brasil, 1979). O anticiclone do Atlântico subtropical produz ventos de NE a NW, que defletem as massas de ar continentais equatoriais no Pantanal. Com as baixas temperaturas do verão dos Andes, os ventos que são produzidos defletem massas de ar úmido.

Os ventos são geralmente fracos nas baixadas, exceto durante as tempestades. Os ventos frios vindos da região sul do país, com origem antártica, não alcançam todo o bioma, se localizando mais ao sul. Acontecem com frequência e são importantes para as frentes quentes, que causam ascensão das massas de ar continental equatorial sobre o ar polar, o que se traduz em clima úmido (DNOS, 1974).

3.3. Dados utilizados no estudo

Foram utilizados, neste estudo, dados de precipitação mensal de 12 estações pluviométricas, com algumas falhas que foram dissolvidas dentro do período estudado, distribuídas no território do bioma do Pantanal brasileiro. Na região Sul-Mato-Grossense estão instaladas 7 estações pluviométricas e na Mato-Grossense, existem 5 estações. As 12 estações pluviométricas possuem 30 anos de monitoramento (**Figura 2**). Os dados foram obtidos da Rede Hidrometeorológica Nacional da Agência Nacional de Águas (ANA) e o período de dados correspondem a três décadas (1977 à 2006).

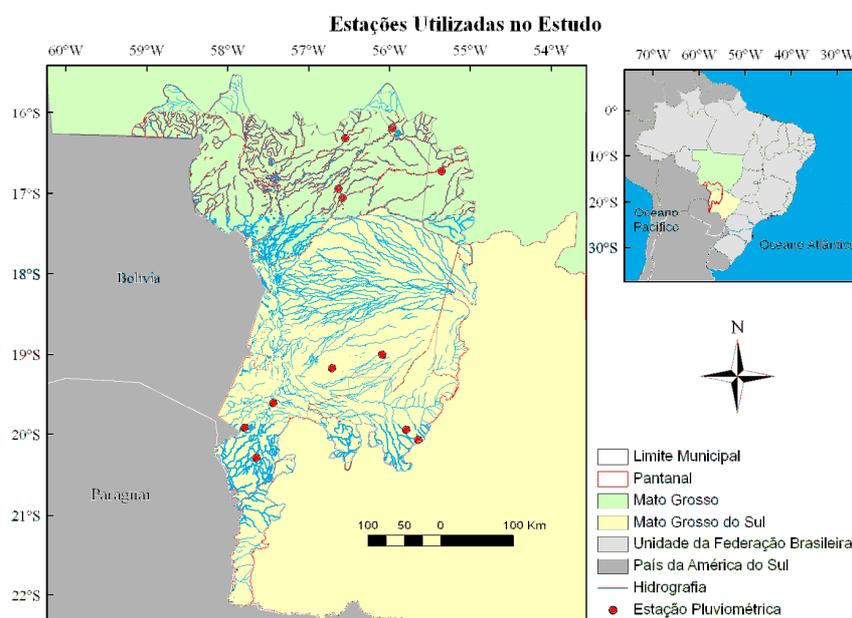


Figura 2. Distribuição geográfica dos principais cursos d'água e estações pluviométricas (com dados de 1977 à 2006) do bioma Pantanal. (Fonte dos dados para confecção dos mapas: IBGE e ANA)

3.4. Interpolação matemática pelo método do Spline de Tensão

O método do Spline é um método de interpolação que estima valores usando uma função matemática que minimiza a curvatura da superfície resultando em uma superfície suave que passa exatamente pelos pontos de entrada.

Em geral, uma função Spline $S(x)$ deve preencher a condição de que $S(x)$ para os pontos medidos deve ser igual a $z(x)$ e ao mesmo tempo a seminorma de suavização $I(S)$ deve ser o menor possível.

$$S(x_j)=z(x_j) \quad e \quad (1)$$

$$I(S)=\min \quad (2)$$

em que, $z(x_j)$ - são os valores das variáveis nos pontos x_j amostrados; e $I(S)$ - é uma função que mede a suavização de S chamada de seminorma de suavização. Um ponto x é definido pelos valores (x_1, x_2) sendo x_1 a localização na coordenada x cartesiana e x_2 a coordenada y cartesiana. A seminorma de suavização $I(S)$ é calculada através da equação (Hofierka et al., 2002):

$$I^2(S) = \sum_{\alpha} B_{\alpha} \int_{\Omega} \left[\frac{\partial^{|\alpha|}}{\partial x_1^{\alpha_1} \partial x_2^{\alpha_2}} S(x) \right]^2 dx_1 dx_2 \quad (3)$$

em que, $\alpha=(\alpha_1, \alpha_2)$, com α_1 variando de 0 ao grau de x_1 em $S(x)$, α_2 variando de 0 ao grau de x_2 em $S(x)$, sendo $|\alpha|= \alpha_1+ \alpha_2$, e Ω é a região considerada do espaço bidimensional. B_{α} é uma constante não negativa definida pela equação:

$$B_{\alpha} = \begin{cases} 0, & \text{se } |\alpha| = 0 \\ \frac{|\alpha|!}{\alpha_1! \alpha_2! \varphi^{2|\alpha|} (|\alpha| - 1)!}, & \text{se } |\alpha| > 0 \end{cases} \quad (4)$$

em que, φ - é o peso de termos particulares na soma (peso de tensão), quanto maior φ , maior a influência de derivadas de ordem superior sobre a função resultante.

A solução geral de $S(x)$ é dada por:

$$S(x) = T(x) + \sum_{j=1}^N \lambda_j R(x, x_j) \quad (5)$$

em que, $T(x)$ - é uma função de ‘tendência’; e $R(x, x_j)$ - é uma função da base radial cuja forma explícita é:

$$R(x, x_j) = -[E_1(\rho) + \ln(\rho) + C_E] \quad (6)$$

$$\rho = \left(\frac{\varphi r(x, x_j)}{2} \right)^2$$

em que, E_1 - é a função exponencial integral; C_E - é a constante de Euler; e r - é a distancia entre p e p_j definida por:

$$r(x, x_j) = \sqrt{(x_1 - x_{j1})^2 + (x_2 - x_{j2})^2} \quad (7)$$

No caso do Spline de Tensão, $T(x)=a_1$. As constantes a_1 e λ_j são determinadas se resolvendo o seguinte sistema de equações:

$$a_1 + \sum_{j=1}^N \lambda_j R(x_i, x_j) = z_i, i = 1, \dots, N \quad (8)$$

$$\sum_{j=1}^N \lambda_j = 0$$

em que, x_i e x_j - são os pontos amostrados; e z_i - é o valor de z no local de x_i .

4. Resultados e Discussão

4.1. Sazonalidade das chuvas no Pantanal

A partir dos dados gerados pelas 12 estações meteorológicas, com 30 anos de dados registrados, distribuídas pelo bioma Pantanal, foram gerados nove mapas da precipitação pluviométrica através do método de interpolação matemática Spline de Tensão, dos quais, três foram para quantificar e espacializar a precipitação pluviométrica durante as três décadas propostas no estudo, de 1977 à 1986, de 1987 à 1996 e de 1997 à 2006, e seis para uma análise sazonal durante os períodos seco e úmido do intervalo temporal proposto. A sazonalidade foi definida utilizando histogramas dos totais médios (**Figura 3**) e partindo do pressuposto de que em um mês considerado seco a precipitação total não ultrapassa 50 mm para a região centro-oeste. Segundo o climatologista Gaussen (1953) o mês é considerado como sendo seco quando o mesmo apresenta uma precipitação, em mm de chuva, menor que duas vezes o valor da temperatura média, em °C ($P < 2T$ °C). Portanto, segundo Gaussen (1953), o mês úmido será aquele em que a precipitação, em mm, for maior do que duas vezes o valor da temperatura média, em °C ($P > 2T$ °C). Na **Figura 3** verifica-se que o ano hidrológico no bioma Pantanal começa em setembro e termina em agosto, sendo que o período úmido vai de setembro a maio e o período seco de junho a agosto.

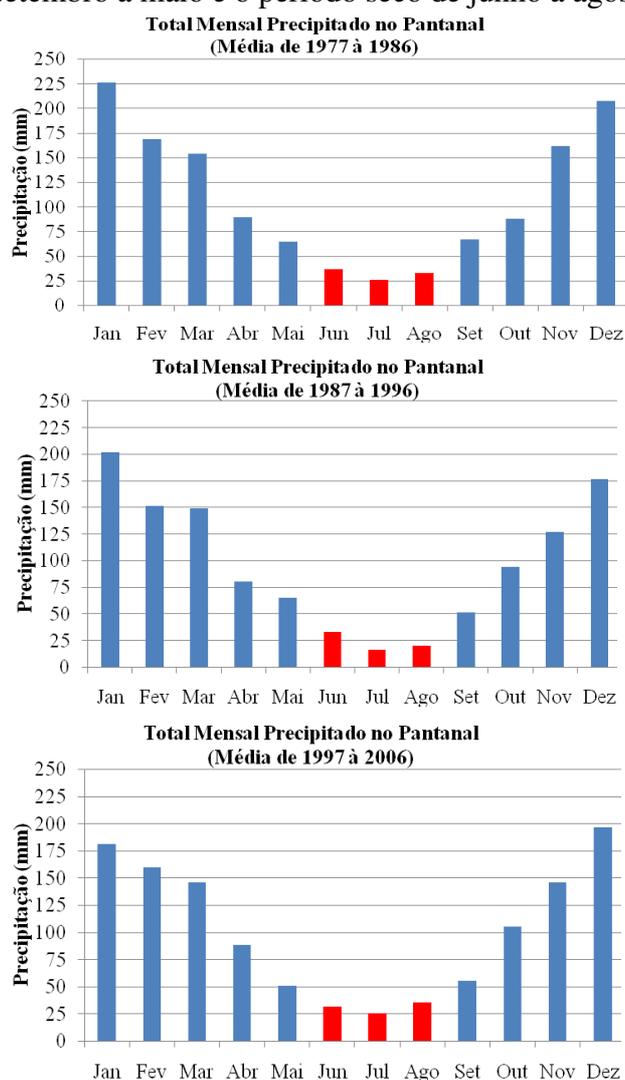


Figura 3. Histogramas da média do total precipitado em cada mês do ano nos três decênios estudados.

Pode-se observar, através dos histogramas gerados com os dados de precipitação pluviométrica no Pantanal, que a disposição das chuvas no intervalo decadal é similar para os três períodos destacados no estudo, contudo os gráficos apontam um decréscimo gradativo na quantidade precipitada. Para melhor compreender a distribuição espaço-temporal da precipitação pluviométrica em intervalos de tempo multidecadais no bioma Pantanal, examinou-se o comportamento da precipitação nos períodos seco e úmido de cada década (Figura 4).

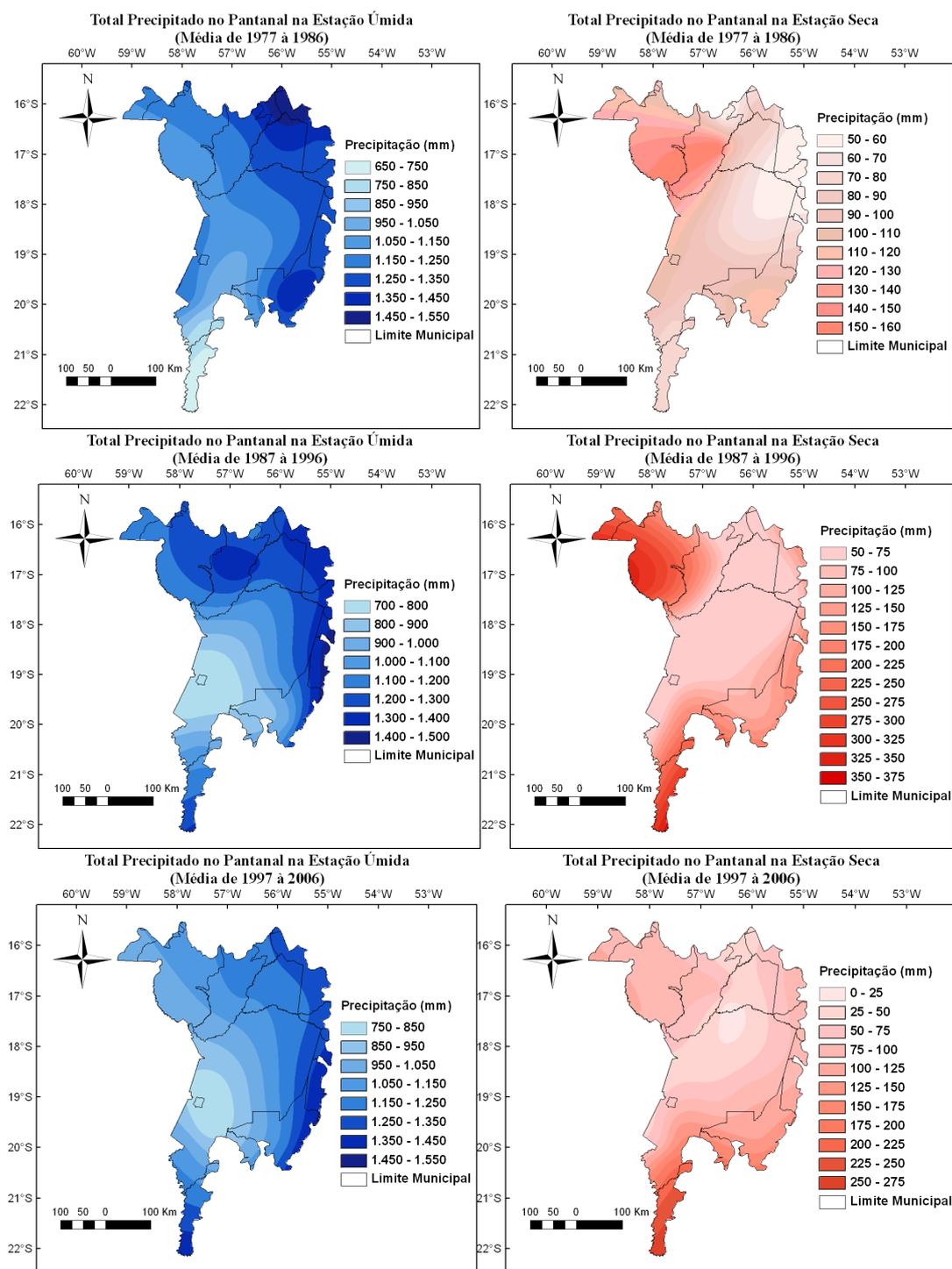


Figura 4. Mapa das médias do total precipitado nos períodos úmido e seco.

Diagnosticou-se que, no período úmido, de setembro a maio, a distribuição espacial da precipitação pluvial (**Figura 4**) foi semelhante à disposição apresentada quando levado em consideração todo o ano hidrológico, não havendo neste período grande discrepância interdecadal na quantidade de precipitação.

Na estação seca, de junho a agosto, é onde se encontram as maiores anomalias, tanto na variação espacial quanto quantitativa (**Figura 4**). Percebe-se que na primeira década (1977 à 1986), das três utilizadas neste estudo, houve pouca variação na quantidade precipitada e que os maiores índices se localizaram no noroeste do bioma. Na segunda década (1987 à 1996), houve uma grande variação na quantidade de precipitação, comparando-a a década anterior, com valores variando de 50 a 375 mm onde os maiores valores se localizaram no extremo sul e, novamente, no noroeste. Verifica-se na **Figura 4** que na última década (1997 à 2006), houve novamente uma grande variação quantitativa da precipitação oscilando entre 0 e 275 mm, contudo os maiores índices foram encontrados apenas no sul do bioma e o menores no centro-norte.

4.2. Espacialização temporal das chuvas no Pantanal

Com base nas **Figuras 5, 6 e 7** que contêm os mapas de precipitação pluviométrica na escala de tempo multidecadal, observa-se uma significativa variação tanto espacial quanto quantitativa para todos os períodos. Nota-se que na década de 1977 à 1986 (**Figura 5**) houve uma maior precipitação nas regiões nordeste e sudeste no bioma Pantanal e menor precipitação no extremo sul apresentando uma distribuição gradativa crescente do sul para o norte.

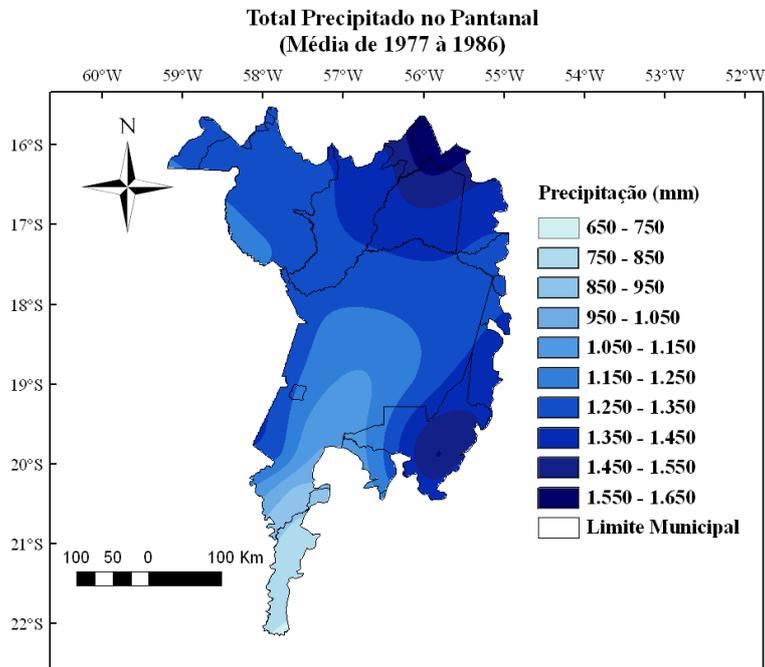


Figura 5. Mapa das médias do total precipitado no bioma Pantanal brasileiro entre os anos de 1977 à 1986.

Na década de 1987 à 1996 (**Figura 6**), os maiores índices de precipitação aconteceram na região norte e em uma faixa cobrindo o bioma de nordeste a sudeste, porém em menor quantidade que na década anterior, e os menores índices de precipitação aconteceram na região centro-oeste.

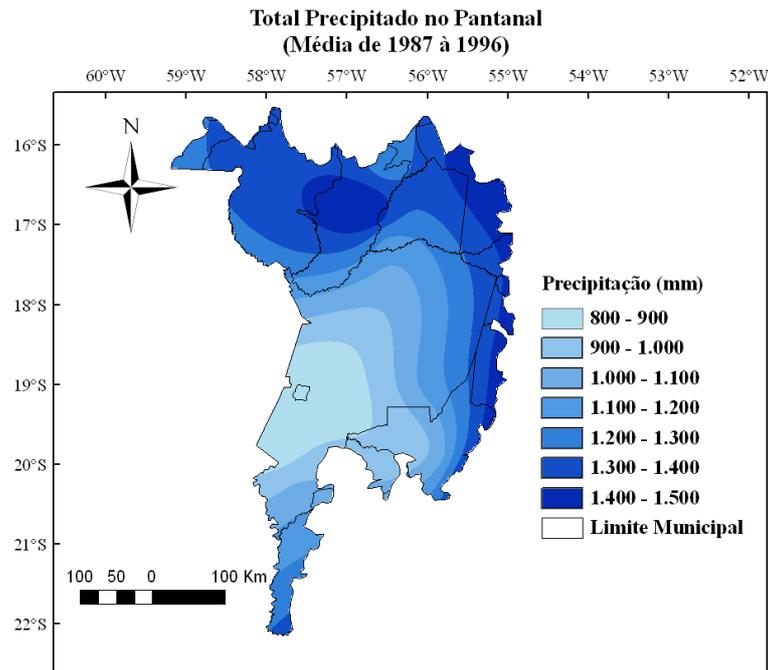


Figura 6. Mapa das médias do total precipitado no bioma Pantanal brasileiro entre os anos de 1987 à 1996.

Verifica-se para o período de 1997 à 2006 (**Figura 7**) que os maiores índices de precipitação ocorreram no limite entre os biomas Pantanal e Cerrado, em uma faixa cobrindo do nordeste ao sudeste e do sudeste ao sudoeste. Os menores índices de precipitação pluviométrica localizaram-se, novamente, na região centro-oeste do bioma, assim como na década anterior.

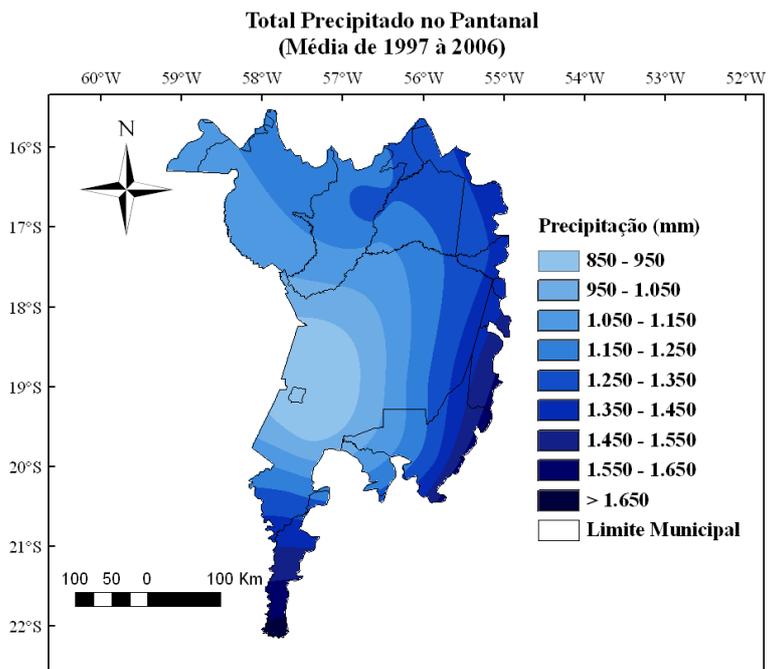


Figura 7. Mapa das médias do total precipitado no bioma Pantanal brasileiro entre os anos de 1997 à 2006.

5. Conclusões

A análise espaço-temporal dos dados de precipitação pluviométrica no bioma Pantanal apontou para um decréscimo gradativo da quantidade precipitada nos três decênios avaliados, além de uma variação espacial significativa quanto aos maiores e menores índices de precipitação. Em relação aos períodos seco e úmido, houve uma maior variação quantitativa na estação seca, enquanto na estação úmida a variação espacial teve maior relevância.

6. Agradecimentos

Os autores agradecem a CPRM/SGB (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais / Serviço Geológico do Brasil) pelo fomento que viabilizou o desenvolvimento do estudo.

7. Referências

BRASIL. Ministério do Interior. Estudos hidrológicos da Bacia do Alto Paraguai. Relatório Técnico. Rio de Janeiro, Departamento Nacional de Obras e Saneamento (DNOS), v.1. 284p. 1974.

BRASIL. Ministério do Interior. **Estudo de Desenvolvimento Integrado da Bacia do Alto Paraguai. Relatório de 1 Fase.** Brasília, Ministério do Interior. SUDECO; EDIBAP. T. II, p. 235. 1979.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Projeto de Monitoramento de Desmatamento dos Biomas Brasileiros por Satélite. PMDBBS- Pantanal.** Ministério do Meio Ambiente. Brasília-DF. p. 8-10, 2010.

BURROUGH, P. A.; McDONNELL R. A. **Principles of geographical information systems.** New York: Oxford University Press, p.333 1998.

COLTO, F. T. do; FOSTER, P. R. P.; **Utilização de sensoriamento remoto como auxílio em análise meteorológica de um sistema convectivo.** Anais. 2º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, Corumbá - MT. Embrapa Informática Agropecuária/INPE, p.131-139. nov., 2009.

FERREIRA, M. M.; ALVES, E. de O.; MENEZES, J. M. de, MACIEIRA, M. B.; SILVA, H. A. da. **Aplicação de SIG como instrumento de apoio para a tomada de decisões no processo de gestão compartilhada de bacias hidrográficas urbanas- O Caso do Igarapé Belmont - Porto Velho-RO.** Trabalho de PIBIC. Universidade Federal de Rondônia. Porto Velho, 2004.

FOTHERINGHAM, S.; ROGERSON, P.. **Spatial Analysis and GIS.** Taylor and Francis Ltd. P. 5-7. New Fetter Lane, London. 1994.

GARCIA, E. A. C., **O clima no Pantanal Mato-Grossense.** Circular Técnica. n. 14. p. 36 Corumbá-MS. Jan, 1984.

HOFIERKA, J.; PARAJKA, J.; MITASOVA, H.; MITAS, L. (20). **Multivariate Interpolation of Precipitation Using Regularized Spline with Tension.** Transactions in GIS. p. 135-150. 2002.

MARENGO, J. A.; **Água e Mudanças Climáticas.** Estudos. Avançados, v.22 n. 63, p. 86-92 São Paulo.2008.

MELLO, C. R.; FERREIRA, D. F.; SILVA, A. M.; LIMA, J. M. **Análise de modelos matemáticos aplicados ao estudo de chuvas intensas.** Revista Brasileira de Ciência do Solo. Viçosa, v. 25, n. 3, p. 693-698, 2001.

SILVA, J. dos S. V. da; ABDON, M. de M. **Delimitação do Pantanal Brasileiro e suas Sub-regiões.** Pesc. Agropec. Bras. EMBRAPA. Brasília. n. Especial. P. 1703 – 1711. Out. 1998.

SOUZA, R. R. de; TOLEDO, L. G.; TOPANOTTI, D. Q.; **Oscilação das chuvas na porção centro oeste do estado de Mato Grosso, entre os anos de 1996 a 2001.** Boletim Goiano de Geografia. Goiânia - Goiás - Brasil v. 27 n. 3 p. 71-89. jul. / dez. 2007.