

Determinação do ano hidrológico e geoespacialização das chuvas dos períodos úmido e seco da sub-bacia 63

Francisco Fernando Noronha Marcuzzo¹
Murilo Raphael Dias Cardoso²

¹ CPRM / SGB - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais / Serviço Geológico do Brasil
Rua Banco da Província, 105 - Santa Teresa - CEP 90840-030 - Porto Alegre - RS, Brasil
francisco.marcuzzo@cprm.gov.br

² UFG / IESA - Universidade Federal de Goiás / Instituto de Estudos Sócio-Ambientais
Campus II de Goiânia - Samambaia - CEP 74001-970 - Goiânia - GO, Brasil
murilo.cardoso@me.com

Abstract. The differentiation of wet and dry periods, determining the beginning of the hydrological year, as well as the spatial distribution of precipitation in each period are fundamental information for the knowledge base for climatological and hydrological studies in watersheds. This study aimed to determine and discretize the year's hydrologic sub-basin 63, between the states of São Paulo and Mato Grosso do Sul, as well as spatially map the distribution of rainfall of wet and dry periods. It was used data from 139 rainfall stations distributed in the state in sub-basin 63, with data from 1977 to 2006. The maps of isohyets were prepared using GIS by mathematical interpolation method to *Topo to Raster*. The results showed that the hydrological year in sub-basin 63 starts in September, and its wet season from September to May and the dry season from June to August. The highest values of rainfall during the dry season are in the north portion of the sub-basin 63. Already the highest rainfall for the wet period are distributed in portions north / northwest (where the watersheds highest in sub-basin 63) and in the extreme southeastern sub-basin 63.

Palavras-chave: hietogram, interpolation, pluviometric, topo to raster, rainfall; hietograma, interpolação, pluviometria.

1. Introdução

A sub-bacia 63 possui, em sua área de drenagem, importantes cursos d'água afluentes do rio Paraná merecendo, portanto estudos mais aprofundados de sua pluviometria e da espacialização de suas chuvas nos períodos úmidos e secos. Devido a sua importante localização geoespacial na grande bacia do rio Paraná, o estudo da caracterização do ano hidrológico da sub-bacia 63 e de sua espacialização, são de contundente importância para um melhor entendimento climatológico visando um melhor gerenciamento da geração de energia e da produção agropecuária de toda a região.

Em um estudo da hipsometria da sub-bacia 63, Romero et al. (2011) detectaram que a Amplitude Altimétrica da sub-bacia 63 é de 476,5 m. A Relação de Relevo correspondeu a 1,371 e o Índice de Rugosidade a 3540,4. Os resultados do estudo de Romero et al. (2011) apontaram que a sub-bacia 63, por possuir grande variação hipsométrica em sua área, está sujeita a uma rápida concentração das águas de chuva no Rio Paraná.

Localizada na grande bacia hidrográfica do Paraná, a sub-bacia 63 concentra um notável potencial hídrico, fazendo jus ao seu potencial hidrelétrico, segundo Pinto Filho et al. (2011). Na análise dos resultados obtidos, os mesmos autores constataram pela Relação de Bifurcação que o grau de dissecação da bacia é relativamente alto tendo em vista que varia de 2,250 a 6,444. Os mesmos autores detectaram que os canais da sub-bacia 63 são sinuosos e possui o valor de 439 metros para o Gradiente dos Canais analisado.

Alterações climáticas denotam a importância de estudos na detecção de tendências ou alterações nas séries temporais hidrometeorológicas (Marcuzzo et al. 2012). Já Morais et al. (2005), no estudo sobre a climatologia das precipitações no estado do Pará com base em séries históricas de 23 anos (1976-1998) de dados diários de chuva, realizado em 31 localidades do estado, caracterizou a variabilidade anual e sazonal com base no coeficiente de

variação e no índice de variabilidade interanual relativo. A variação do coeficiente para a precipitação anual foi de 15 a 30%.

Mello et al. (2008), em um estudo de continuidade espacial de chuvas intensas no estado de Minas Gerais, observou que um dos principais ramos de pesquisa em hidrologia e climatologia consiste da aplicação do geoprocessamento, por meio da análise de técnicas para uma melhor interpolação espacial da chuva intensa, gerando mapas com boa aplicabilidade aos projetos. O processo mais utilizado para essa representação é o traçado das isoietas, que são curvas que unem os pontos de igual altura de precipitação para um período determinado. O conhecimento do regime pluviométrico geral da região e dos fatores que podem influenciar na distribuição é imprescindível para um traçado das curvas isoietas (Garcez e Alvarez, 1998).

Cardoso et al. (2011), em um estudo sobre o detalhamento da área da sub-bacia 63, averiguaram que: a Área da sub-bacia 63 é de 120746,9 km²; O Comprimento da sub-bacia é de 1048,1 km; A Relação entre o Comprimento do Rio Principal e a Área da sub-bacia é de 1679,6; A Densidade dos Rios é de 0,012 rio.(km²)⁻¹; O Coeficiente de Manutenção é de 134,58 m; A Densidade de Drenagem apresentada pela sub-bacia é de 7,43; o que caracteriza a sub-bacia 63 como uma região extremamente bem drenada.

Na mata Atlântica Sul-Mato-Grossense, Mello et al. (2011) verificaram que choveu mais na parte sul durante o período analisado. Os autores relataram que isso ocorreu porque no extremo sul do Mato Grosso do Sul o clima é do tipo tropical de altitude, que no Brasil sofre maior influência da massa de ar tropical atlântica, uma massa de ar quente e úmida, o que traz muita chuva para a região. Alterações climáticas denotam a importância de estudos na detecção de tendências ou alterações nas séries temporais hidrometeorológicas.

Magalhães e Zanella (2011) citam que a variação espacial da precipitação pluviométrica na região metropolitana de Fortaleza/CE segue o sentido litoral-continente, comprovando a influência oceânica no aumento da precipitação em áreas mais próximas do litoral. Os autores ressaltam que não se pôde afirmar que ocorrem anos chuvosos cíclicos, entretanto percebe-se nitidamente a concentração de chuvas no primeiro semestre do ano, mostrando uma distribuição anual irregular, espacialmente heterogênea, mas nitidamente similar em termos de localização dos totais pluviométricos a cada ano.

Em um estudo sobre a sazonalidade e distribuição espaço-temporal das chuvas no bioma do Cerrado do estado do Mato Grosso do Sul (onde esta inserida boa parte da sub-bacia 63), Marcuzzo et al. (2012) notaram que o Cerrado Sul-Mato-Grossense tem seu ano hidrológico começando no mês de setembro, sendo de setembro a maio meses úmidos e de junho a agosto os meses secos.

Os objetivos deste trabalho são determinar o ano hidrológico na sub-bacia 63, definindo os períodos úmido e seco, bem como mapear a espacialização de sua precipitação pluviométrica em cada um dos períodos utilizando a interpolação dos dados pelo método Topo to Raster.

2. Material e Métodos

2.1. Caracterização geral da sub-bacia 63

A sub-bacia 63 está localizada na bacia do Paraná e possui uma área de 120746 km², sendo 90641 km² (75,07%) no estado do Mato Grosso do Sul e 30105 km² (24,93%) no estado de São Paulo. O perímetro total da sub-bacia 63 é de 2731,3 km, sendo 1631,2 km (59,73%) no lado Sul-Mato-Grossense e 1100,1 km (40,27%) no lado Paulista. Ao total a sub-bacia 63 possui 159 municípios, sendo 21 (13%) na porção Sul-Mato-Grossense e 138 (87%) na porção Paulista (Figura 1). Nota-se pela Figura 1 que a sub-bacia 63 possui uma densidade baixa de municípios no estado do Mato Grosso do Sul em comparação a parte paulista, tendo em média 4316,24 km² por município na parte Sul-Mato-Grossense e 189,34 km² por município na parte paulista.

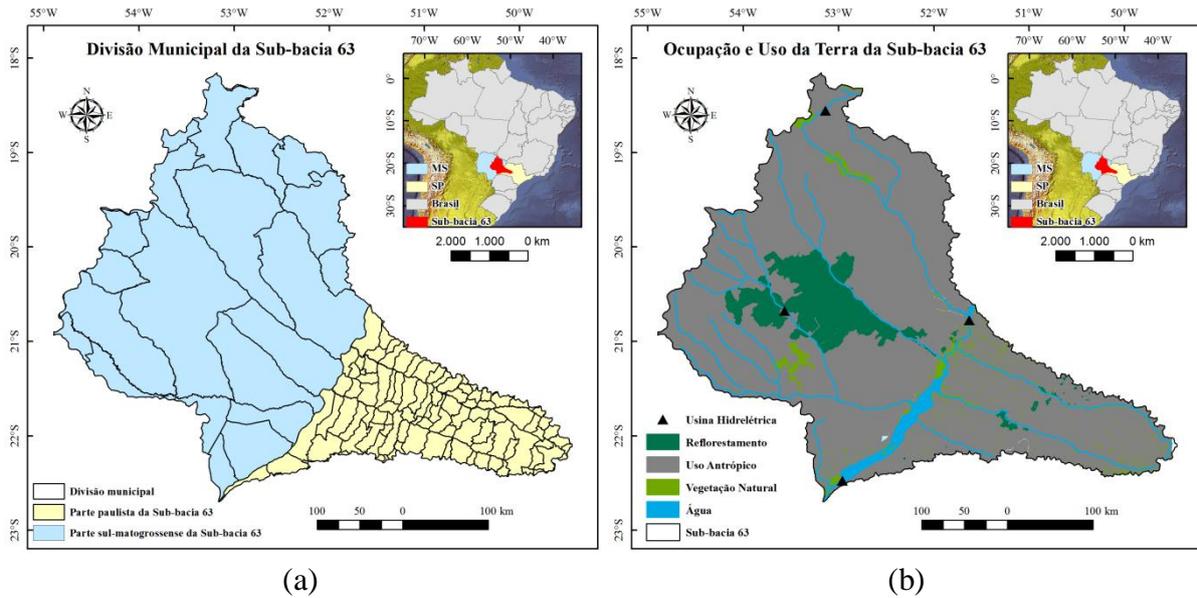


Figura 1. Divisão territorial dos municípios (a) e ocupação e uso da terra (b) da sub-bacia 63 (Fonte das informações para confecção do mapa: IBGE, ANA, PROBIO, ANEEL e ANA).

A região da sub-bacia 63 encontra-se com seu solo quase todo convertido para o uso antrópico. Sendo que 97% de sua área total já se encontram totalmente convertida e restam 1,6% da cobertura vegetal remanescente da Mata Atlântica e 1,4% do Cerrado, totalizando em 3% de remanescentes em relação à área total da sub-bacia (Figura 2).

O uso antrópico na região está qualificado em dois tipos, agricultura e pastagem. Do lado Sul-Mato-Grossense existe um predomínio quase que total da pastagem em relação ao uso do solo, enquanto do lado paulista o uso do solo caracteriza-se pelos dois tipos, mas com a agricultura ocupando uma área maior do que a pastagem (PROBIO, 2007a e 2007b). Segundo a ANEEL (2010) há duas usinas hidrelétricas na porção Sul-Mato-Grossense e duas na porção paulista da sub-bacia 63, totalizando quatro usinas hidrelétricas na região. As duas usinas hidrelétricas paulistanas encontram-se ao longo do rio Paraná, o maior da região, enquanto do lado Sul-Mato-Grossense, uma está localizada a noroeste da sub-bacia, no rio Sucuriu e outra a oeste no rio Pardo (Figura 2).

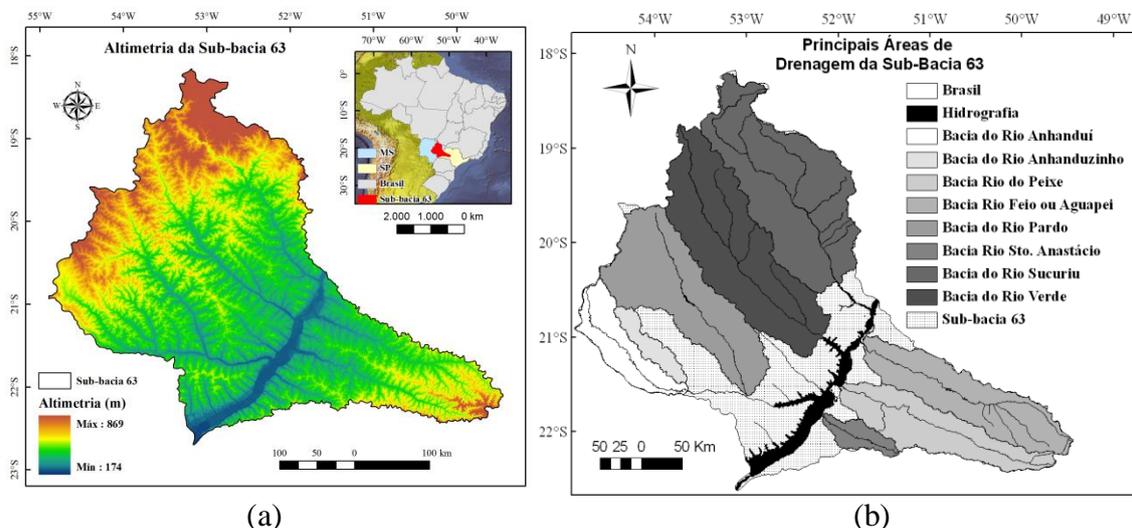


Figura 2. Altimetria (a) e principais áreas de drenagem (b) da sub-bacia 63 (Fonte das informações para confecção do mapa: NASA e ANA).

Na Figura 2 também se observa o mapa altimetria da sub-bacia 63 gerado com os dados obtidos da NASA (2010). Observa-se que a amplitude altimétrica total da sub-bacia vai de 215 m a 926 m, resultando num gradiente altimétrico de 711 m. As regiões mais elevadas da sub-bacia estão localizadas ao extremo noroeste da sub-bacia. É possível observar através do mapa altimétrico que as regiões mais baixas estão localizadas próximas ao rio Paraná e que vão aumentando gradativamente à medida que vai se distanciando do rio. Isso contribui para que todo o escoamento das chuvas vá desaguar no rio Paraná (Figura 2) direta ou indiretamente fazendo com que ocorram grandes cheias no período úmido. A área de drenagem dos principais rios da sub-bacia 63 foi calculada pelo mapa produzido utilizando os dados de radar ASTER (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*) com resolução de 30m e processados em um programa de manipulação de Sistema de Informação Geográfica (SIG). As imagens ASTER são distribuídas gratuitamente no site da Agência Espacial Norte Americana (NASA, 2010).

2.2. Localização das estações pluviométricas utilizadas no estudo

Devido à falta de estações na porção norte e noroeste da sub-bacia 63 e buscando uma maior confiabilidade e qualidade dos dados utilizados, foram utilizados dados de estações pluviométricas fora da área da sub-bacia. Assim, foram utilizadas um total de 139 estações, sendo que 10 então localizadas em Goiás, 3 em Mato Grosso, 25 em Mato Grosso do Sul, 12 no Paraná e 89 em São Paulo. Com as estações fora da sub-bacia de estudo e, portanto, melhor espacilizadas foi possível obter isoietas de chuvas mais confiáveis devido a uma melhor interpolação matemática valores dos pontos georeferenciados (Figura 3).

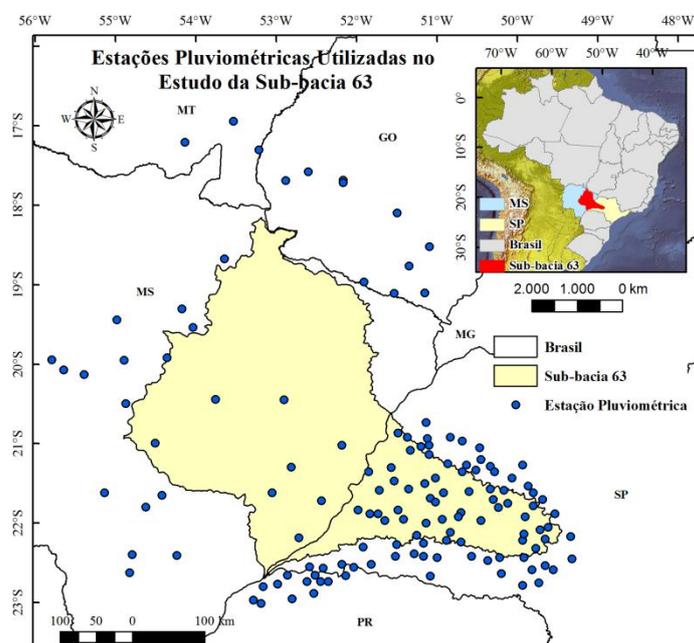


Figura 3. Estações pluviométricas utilizadas no estudo da sub-bacia 63 (Fonte das informações para confecção do mapa: IBGE, SGB/CPRM e ANA).

2.3 Interpolação matemática

A função Topo to Raster é um método de interpolação baseado no programa ANUDEM desenvolvido por Hutschinson, que foi especificamente feito para a criação de MDE hidrologicamente corretos, contudo alguns estudos o indicam como o melhor para a interpolação de dados climatológicos (Marcuzzo et al., 2011, p.803), onde a interpolação pode ser feita em programas de sistema de informação geográfica.

O programa interpola os dados de clima em uma grade regular, de modo iterativo, gerando grades sucessivamente menores, minimizando a soma de uma de penalização de rugosidade (*roughness penalty*) e a soma dos quadrados dos resíduos (diferenças das elevações medidas e calculadas pela função).

Segundo Marcuzzo et al. (2011), cada elevação em um determinado local é dada por:

$$z_i = f(x_i, y_i) + w_i \varepsilon_i \tag{1}$$

em que, $f(x,y)$ é a função de interpolação, definida por uma função *B-spline*, cada w_i é uma constante positiva que representa o erro de discretização do ponto i e cada ε_i é uma amostra de uma variável aleatória de média zero e desvio padrão igual a um.

Assumindo que cada ponto está localizado aleatoriamente dentro da célula do modelo, a constante w_i é definida por:

$$w_i = \frac{hs_i}{\sqrt{12}} \tag{2}$$

$$\sum_{i=1}^n \left[\frac{(z_i - f(x_i, y_i))}{w_i} \right]^2 + \lambda J(f) \tag{3}$$

em que, h é o espaçamento da grade; s_i é a medida de inclinação da célula da grade associada com o ponto (x_i, y_i) .

A função $f(x,y)$ é então estimada resolvendo uma aproximação na grade regular via método das diferenças finitas que minimiza a somatória. A constante w_i varia com cada iteração, em uma característica adaptativa local (*locally adaptive feature*), já que a cada iteração do programa um novo valor de inclinação (s_i) é disponibilizado para cada célula da grade conforme o método iterativo avança. Marcuzzo et al. (2011) citam que o programa utiliza o método *multi-grid* simples para minimizar a equação em resoluções cada vez melhores, começando de uma grade inicial larga até uma grade que tenha resolução definida pelo usuário, respeitando restrições que garantem uma estrutura de drenagem conectada.

3. Resultados e Discussão

3.1 Determinação e caracterização do ano hidrológico da sub-bacia 63

Com a análise dos totais mensais das médias históricas de 1977 a 2006 de 139 estações, para a sub-bacia 63, conforme o histograma da Figura 4 dividiu-se a sazonalidade do ano hidrológico em período úmido começando em setembro e terminando em maio e período seco começando em junho e terminando em agosto. Costa et al. (2012, p. 92), em um estudo sobre a espacialização e sazonalidade da precipitação pluviométrica em Goiás e no Distrito Federal, determinaram que na região há cinco meses secos (maio a setembro) e sete meses úmidos (outubro a abril).

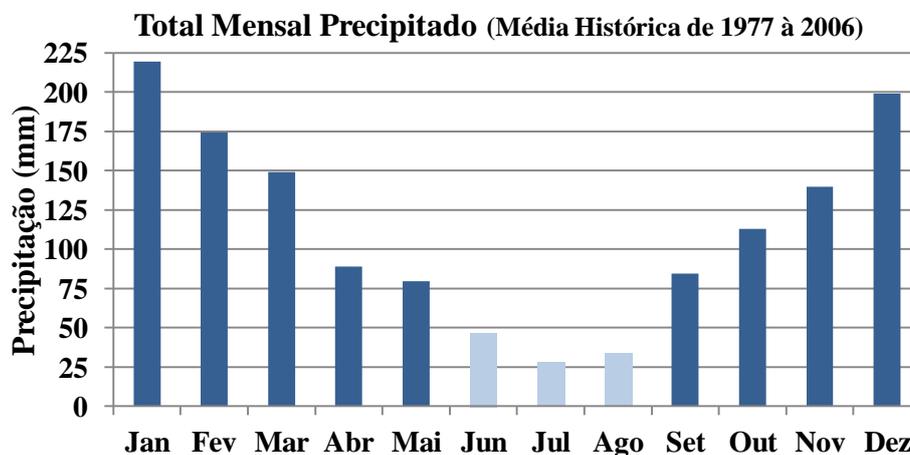


Figura 4. Histograma dos totais médios mensais da precipitação pluviométrica de 43 estações pluviométricas espalhadas na sub-bacia 63, referente ao período de 1977 a 2006.

Segundo os dados observados na Figura 4, o mês mais chuvoso na sub-bacia 63 é janeiro, com cerca de 220 mm de precipitação pluviométrica média em 30 anos de dados estudados. Já o mês mais seco foi julho, com cerca de 25 mm de precipitação pluviométrica média para o período histórico estudado de 1977 a 2006.

Segundo as metodologias propostas por Gaussen e Bagnouls (1953) para a definição de mês seco, o mês de junho na sub-bacia 63, por possuir um valor próximo de 50 mm de precipitação pluviométrica média para a série histórica estudada, esta no limite da zona de transição entre úmido e seco. Já os meses de julho e agosto, por possuírem valores médios de precipitação aquém de 35 mm para os 30 anos de dados estudados, são considerados meses secos sem contestação.

3.2 Espacialização do volume pluviométrico precipitado nos períodos úmido e seco na sub-bacia 63

Para as precipitações pluviométricas do período seco (Figura 5), nota-se que os maiores volumes pluviométricos estão nas porções sul, sudeste, e sudoeste. As menores pluviosidades pluviométricas do período seco se encontram nas porções norte e noroeste da sub-bacia 63, ao redor de onde se encontra os divisores de água mais elevados (Figura 2), com cerca de 900 metros de altitude. Marcuzzo et al. (2012) observaram uma tendência de diminuição nos índices pluviométricos médios interanuais para a região Centro-Oeste e estado no estado do Tocantins, na ordem de -6,5%. Os mesmos autores concluíram que apenas os meses de março e abril apresentaram crescimento da precipitação pluviométrica na média da série histórica estudada.

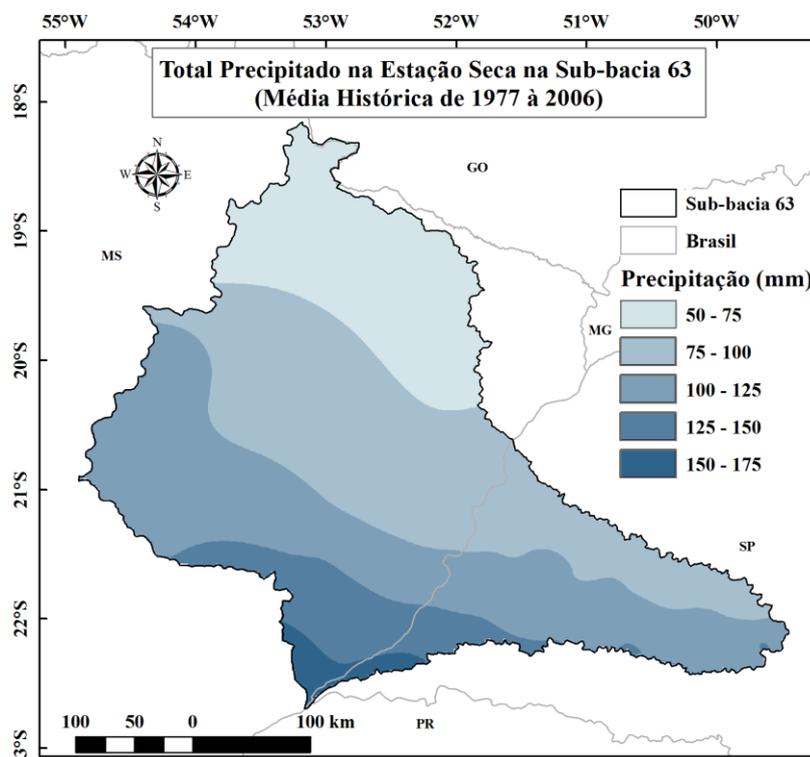


Figura 5. Precipitação pluviométrica total do período seco.

Para as precipitações pluviométricas do período úmido (Figura 6) nota-se que, para a média histórica sazonal, os maiores valores pluviométricos estão localizados nas porções norte (com valores acima de 1500 mm), oeste, sudoeste e extremo sudeste da sub-bacia 63.

No período seco, nos três meses de junho a agosto, o total pluviométrico foi superior a 150 mm no sul da sub-bacia 63 (Figura 5). No período úmido, nos nove meses de setembro a

maio, o total pluviométrico médio de menor volume (1000 a 1100 mm) foi encontrado na parte sul, central e centro-leste da sub-bacia 63, entre os estados de Mato Grosso do Sul e São Paulo (Figura 6).

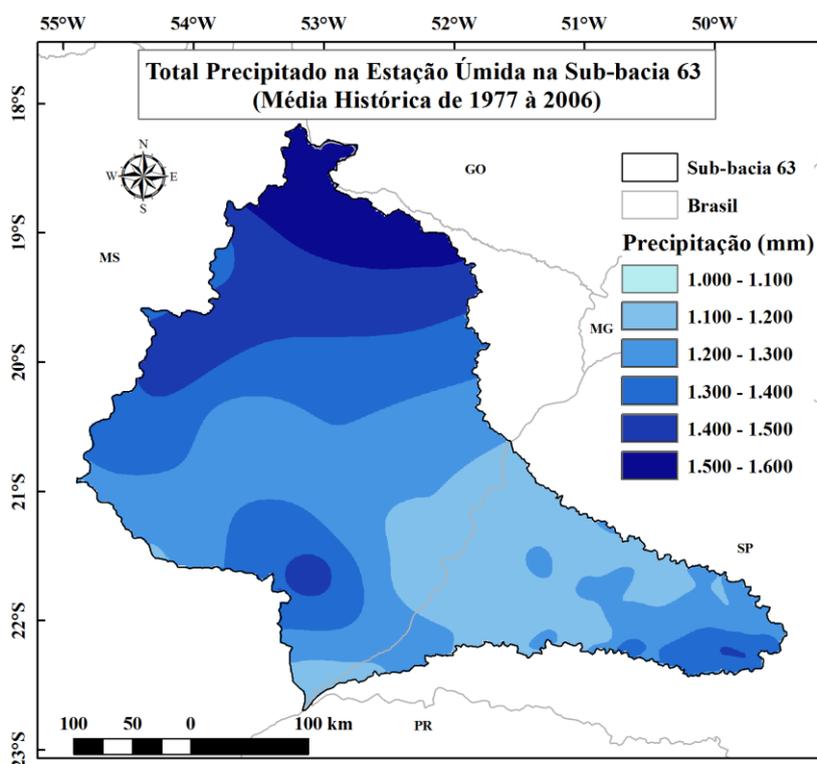


Figura 6. Precipitação pluviométrica total do período úmido.

4. Conclusões

No período seco da sub-bacia 63, que vai de junho a agosto (final de outono e inverno), o total pluviométrico precipitado médio varia de 50 a 175 mm, sendo que a precipitação tende a aumentar do norte para o sul da sub-bacia.

No período úmido da sub-bacia 63, que vai de setembro a maio (final de inverno a outono), o total pluviométrico precipitado médio varia de 1000 a 1600 mm, sendo que a precipitação tende a ser maior nos divisores de água (principalmente na porção norte) e menores no centro-leste e extremo sul da sub-bacia (próximo ao rio Paraná, que é a divisa entre os estados de São Paulo e Mato Grosso do Sul).

Agradecimentos

Os autores agradecem a CPRM/SGB (Companhia de Pesquisa Recursos Minerais / Serviço Geológico do Brasil - empresa pública de pesquisa do Ministério de Minas e Energia) pelo fomento que viabilizou o desenvolvimento deste trabalho.

Referências Bibliográficas

ANA - Agência Nacional das Águas. Brasil, 2008. Disponível em: <<http://www.hidroweb.ana.gov.br>>. Acesso em: 15 de jan. de 2010.

Cardoso, M. R. D.; Pinto Filho, R. de F.; Romero, V.; Marcuzzo, F. F. N. Detalhamento da Área da Sub-Bacia 63 na Região Hidrográfica do Rio Paraná. In: XL Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola (CONBEA), 40, 2011, Cuiabá. **Anais...** Jaboticabal: UNESP, 2011. Artigos. CD-ROM.

Garcez, L.N.; Alvarez, G.A. **Hidrologia**. São Paulo, Edgard Blucher LTDA, 1998, 291p.

IBGE – Instituto Brasileiro de Pesquisa e Estatística. Comunicação Social. Mapas de Biomas e de Vegetação, 2004. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/noticia_impressao.php?id_noticia=169>. Acesso em 20 ago. 2010.

Magalhães, G.; Zanella, M. Comportamento climático da região metropolitana de Fortaleza. **Revista Mercator**. Fortaleza, v. 10, n. 23, p. 129-145, set./dez. 2011. Disponível em: <<http://www.mercator.ufc.br/index.php/mercator/article/view/694/374>>. Acesso em: 01 set. 2012.

Marcuzzo, F. F. N.; Andrade, L. R.; Melo, D. C. R. Métodos de Interpolação Matemática no Mapeamento de Chuvas do Estado do Mato Grosso. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.4, n.4, p. 793-804, 2011. Disponível em: <<http://www.ufpe.br/rbgfe/index.php/revista/article/view/197/204>>. Acesso em: 20 ago. 2012.

Marcuzzo, F. F. N.; Faria, T. G.; PINTO FILHO, R. de F. Chuvas no Estado de Goiás: Análise Histórica e Tendência Futura. **Revista Acta Geográfica**, v.6, n.12, p. 125-137, 2012a. Disponível em: <<http://revista.ufr.br/index.php/actageo/article/view/702/767>>. Acesso em: 01 set. 2012.

Marcuzzo, F. F. N.; Melo, D. C. R.; Costa H. C. Sazonalidade e Distribuição Espaço-Temporal das Chuvas no Bioma do Cerrado do Estado do Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 17, n.1, p. 77-86, 2012b. Disponível em: <http://www.abrh.org.br/SGCv3/UserFiles/Sumarios/62d09e7e2ae5b0c136d0c9363c68de66_4ac72359b779c1d03a0958c17f17ed65.pdf>. Acesso em: 15 ago. 2012.

Marengo, J. A. Condições climáticas e recursos hídricos no Norte do Brasil. In: **Clima e Recursos Hídricos** 9. Porto Alegre, Brasil: Associação Brasileira de Recursos Hídricos / FBMC-ANA, 2003, p. 117-156.

Mello, C. R. de; Viola, M. R.; Mello, J. M. de; Silva, A. M. da. Continuidade espacial de chuvas intensas no estado de Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**. 2008, vol. 32, n. 2 [cited 2010-02-24], pp. 532-539. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-70542008000200029&lng=en&nrm=iso>. ISSN 1413-7054. Doi: 10.1590/S1413-70542008000200029. Acesso em: 18 ago. 2012.

Mello, L. T. A.; Marcuzzo, F. F. N.; Costa, H. C.; Melo, D. C. R.; Cardoso, M. R. D. Estudo da sazonalidade e distribuição espaço-temporal das chuvas no bioma da Mata Atlântica do estado do Mato Grosso do Sul. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 15, 2011, Curitiba. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2011. p. 4452-4459. DVD, Internet. ISBN 978-85-17-00056-0 (Internet), 978-85-17-00057-7 (DVD). Disponível em: <<http://urlib.net/3ERPFQTRW/3A63GMB>>. Acesso em: 15 ago. 2012.

Morais, B. C. de; Costa, J. M. N. da; Costa, A. C. L. da; Costa, M. H. Variação espacial e temporal da precipitação no Estado do Pará. **Acta Amazonica**. 2005, vol. 35, n. 2, pp. 207-214. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0044-59672005000200010&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 19 ago. 2012.

Pinto Filho, R. de F.; Cardoso, M. R. D.; Romero, V.; Marcuzzo, F. F. N. Estudo da Linearidade da Sub-Bacia 63 na Região Hidrográfica do Paraná. In: XL Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola (CONBEA), 40, 2011, Cuiabá. **Anais...** Jaboticabal: UNESP, 2011. Artigos. CD-ROM.

Romero, V.; Cardoso, M. R. D.; Pinto Filho, R. de F.; Marcuzzo, F. F. N. Análise Hipsométrica da Sub-Bacia 63 na Região Hidrográfica do Paraná. In: XL Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola (CONBEA), 40, 2011, Cuiabá. **Anais...** Jaboticabal: UNESP, 2011. Artigos. CD-ROM.

SEMAC. Secretaria de estado de Meio Ambiente, do Planejamento, da Ciência e Tecnologia - Superintendência de Planejamento. Campo Grande, Mato Grosso do Sul, 2009. Disponível em: <<http://www.semec.ms.gov.br/control/ShowFile.php?id=42046>>. Acesso em: 18 mai. 2012.

SEMAC. Secretaria de estado de Meio Ambiente, do Planejamento, da Ciência e Tecnologia - Superintendência de Planejamento. Campo Grande, Mato Grosso do Sul, 2008. Zoneamento Ecológico Econômico Mato Grosso do Sul anexo II. Disponível em: <<http://www.semec.ms.gov.br/control/ShowFile.php?id=31289>>. Acesso em 18 mai. 2012.