



REGIONALIZAÇÃO E TENDÊNCIAS PLUVIAIS NA BACIA DO RIO PARDO (SP/MG)

Pedro Augusto Breda Fontão¹

¹ Geógrafo, Doutorando pelo Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Estadual Paulista - IGCE/UNESP, Rio Claro – SP, pedrofontao@yahoo.com.br.

Resumo – Trata-se de um estudo que busca, através da regionalização de uma bacia em compartimentos, representar e verificar a tendência e predição das chuvas na bacia hidrográfica do Pardo. Para tanto, a área de estudo é compreendida, grosso modo, entre os paralelos de 20° a 23° latitude Sul e de 46° a 49° longitude Oeste, e inserida na porção nordeste do Estado de São Paulo e sul/sudoeste de Minas Gerais, Brasil. Nela, foram delimitados setores a partir das variáveis altimétricas, geomorfológicas e hidrológicas, e por seguinte, selecionados 18 postos pluviométricos para a análise da tendência geral das chuvas, através da reta de tendência obtida pelo método dos mínimos quadrados em uma série histórica de 39 anos (1967-2005). Tais resultados identificam uma tendência ao acréscimo no volume de chuvas anuais nos setores sul-leste e nordeste da bacia, e ao decréscimo na porção oeste–noroeste, produtos que podem contemplar outros dados e estudos já realizados na área e subsidiar futuras pesquisas envolvendo o ritmo climático voltadas ao planejamento ambiental.

Palavras-Chave – Climatologia, bacia hidrográfica, chuva.

REGIONALIZATION AND RAINFALL TRENDS IN THE BASIN OF THE PARDO RIVER (MG / SP)

Abstract – This is a study that seeks, through the regionalization of a watershed, represent and verify the trend and prediction of rainfall in the river basin of the Pardo. Therefore, the study area covers, generally speaking, between 20° to 23° South latitude and 46 ° to 49 ° West longitude, and inserted in the northeastern portion of the State of São Paulo and south / southwest of Minas Gerais, Brazil. In it, sectors were delimited from the altimetric, geomorphological and hydrological variables, and by following selected 18 rain gauges to analyze the general trend of rainfall, through the trend line obtained by the least squares method in a historical series of 39 years (1967-2005). These results identify a tendency to increase in the volume of annual rainfall on the south-east and northeast sectors of the basin and the decrease in the west-northwest portion, products may include other data and studies already carried out in the area and support future research involving the climate rhythm aimed at environmental planning.

Keywords – Climatology, hydrographic basin, rainfall.

INTRODUÇÃO

Compreender e planejar as ações voltadas para a utilização dos recursos hídricos torna-se cada vez mais essencial para a humanidade, cuja dependência sempre esteve e se mantém associada à existência e disponibilidade da água no Planeta. Nesta linha, Tundisi (2008) ressalta a importância de abordagens voltadas ao gerenciamento integrado e preditivo em bacias hidrográficas. Tais limites hidrográficos, definidores de unidades paisagísticas e amplamente adotado em pesquisas e análises nas diversas áreas do conhecimento científico, sintetiza-se em uma “área drenada por um determinado rio ou por um sistema fluvial” (CHRISTOFOLETTI, 1974).

Nesta perspectiva destacam-se as chuvas, por apresentar grande variabilidade e irregularidade no tempo e espaço. Diversos estudos buscam avaliar as tendências em longo prazo deste elemento, dentre eles Dai *et. al.* (1997) observa um aumento da precipitação em grande parte do Planeta (1900-1988), todavia no mesmo estudo registra diminuição em outras regiões. Apesar de não haver um consenso (NUNES e LOMBARDO, 1995) de técnicas e/ou propósitos, tais oscilações existem e têm impactado o ser humano nas mais variadas instâncias, sejam elas na agricultura, nas cidades, na geração de energia elétrica, turismo, dentre outras através da falta ou excesso de chuvas.

A região estudada nesta investigação abrange um regime irregular de chuvas, cujo conhecimento detalhado do mesmo torna-se de grande relevância para o planejamento de suas atividades. Trata-se da bacia hidrográfica do Pardo (Figura 1), área densamente povoada e dotada de importância econômica no setor agropecuário, principalmente no cultivo de cana-de-açúcar e café, além de conter cidades relevantes do sudeste brasileiro, como Ribeirão Preto-SP e Poços de Caldas-MG.

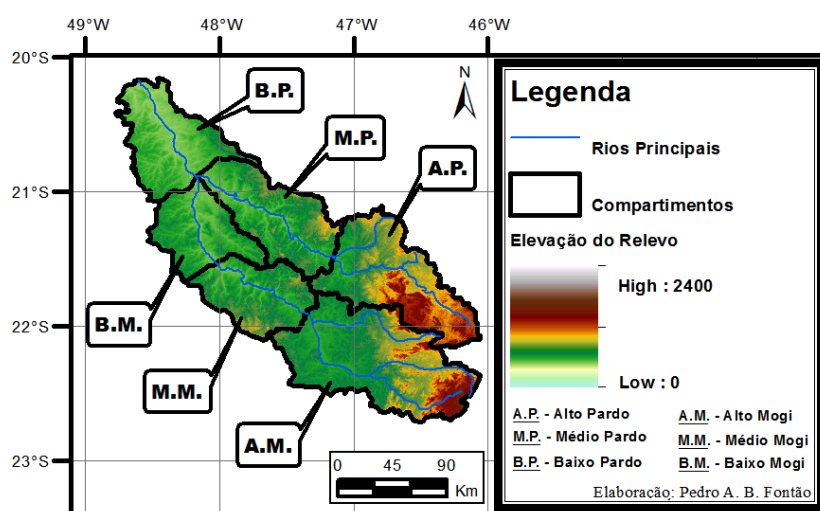


Figura 1 - Compartimentos da bacia do Pardo.

Fonte: FONTÃO e ZAVATTINI, 2014.



Inserida na porção nordeste do estado de São Paulo e no sul/sudoeste de Minas Gerais, a bacia se localiza entre os paralelos de 20° e 23° latitude Sul e de 46° a 49° longitude Oeste, possuindo área total aproximada de 35.720 Km² e sua drenagem principal se destaca por ser o principal tributário do rio Grande, formador do rio Paraná. Analisando a figura acima, verifica-se os setores delimitados por Fontão e Zavattini (2014), compartimentos que serão adotados neste estudo, sendo um total de seis: Alto, Médio e Baixo Mogi e Alto, Médio e Baixo Pardo.

MATERIAIS E MÉTODOS

Esta investigação busca avaliar a tendência da precipitação em nível regional na bacia, em uma longa série histórica de dados. Para tanto, o procedimento de compilação, coleta, manipulação, análise, espacialização e tratamento dos dados pluviométricos foram feitos de acordo com Fontão (2014), e para esta investigação, optou por escolher um total de 18 postos contemplando a melhor distribuição geográfica possível na área (Figura 4), conforme disponibilidade, abrangendo no mínimo dois postos por compartimento da bacia. Cinco deles encontram-se fora dos limites hidrográficos, mas nas proximidades. Ainda, a série histórica adotada foi o período 1967 a 2005, iniciando posterior a um período de instalação de vários pluviômetros na região e findando no último ano que foi possível ter acesso a dados consistentes.

Para a análise de tendência das precipitações anuais em regressão linear, adotou-se o método dos mínimos quadrados (*Least squares method*). Tal método “procura minimizar a soma dos quadrados das diferenças entre os valores observados e os valores correspondentes na linha de tendência” (CHRISTOFOLETTI, 1992, p. 93), em sequência temporal. Esta relação entre duas variáveis (no caso, tempo cronológico e chuva anual) foi quantificada através da seguinte fórmula, para traçar a reta de regressão:

$$\hat{Y} = M + \left[\frac{\sum xy}{\sum x^2} \right] \cdot X$$

\hat{Y} = equação da reta de tendência.
 M = média aritmética de y no período.
 x = variável independente (tempo).
 y = variável dependente (chuva).

O coeficiente de determinação (R^2) foi utilizado para verificar “quanto da variabilidade dos valores observados da variável dependente é apreendido pela regressão” (GERARDI e SILVA, 1984, p. 96). Ainda, foram calculados os limites de confiança (L. Conf.) e predição (L. Pred.) a partir da reta de tendência, optando pela forma hiperbólica, mais adequada para a variável temporal. As formulas abaixo

foram empregadas para calcular o desvio padrão dos resíduos ($Sy.x$), os limites de predição e o erro padrão das estimativas (\hat{SY}), passo que antecede (e torna possível) a obtenção dos limites de confiança.

| | | |
|---|--|---|
| $Sy.x = \sqrt{\frac{\sum (y_i - \hat{Y}_i)^2}{n - 2}}$ | \hat{Y} = equação da reta de tendência. M = média aritmética do y no período. y = variável dependente (chuva). n = número de observações. | $R^2 = \frac{\sum (\hat{Y}_i - M)^2}{\sum (y_i - M)^2}$ |
| $\hat{SY} = Sy.x \sqrt{\frac{1}{n} + \frac{(x - X)^2}{\sum (x_i - X)^2}}$ | x = variável independente (tempo). X = média aritmética do x no período. n = número de observações. t = valores críticos da distribuição (t de Student). | |
| $L. Conf. = \hat{SY} \cdot t(.05; n-2) \pm \hat{Y}$ | $L. Pred. = \hat{Y} \pm t(.05; n-2) \cdot Sy.x \sqrt{1 + \frac{1}{n} + \frac{(x - X)^2}{\sum (x_i - X)^2}}$ | |

A interpolação dos volumes de chuva foi feita através do método geoestatístico da krigagem linear, técnica que permite a continuidade dos fenômenos no espaço em isolinhas, mesmo através das lacunas deixadas entre os pontos amostrais (FLORES, 2000), e é tradicionalmente sugerida para estudos de precipitação (TABIOS e SALAS, 1985).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir dos procedimentos adotados, foi possível gerar a reta de tendência do período adotado, coeficiente de determinação e respectivos limites de confiança e predição, para cada um dos 18 postos, e para a média geral de chuvas. A princípio, a Figura 2 evidencia o gráfico da Média.

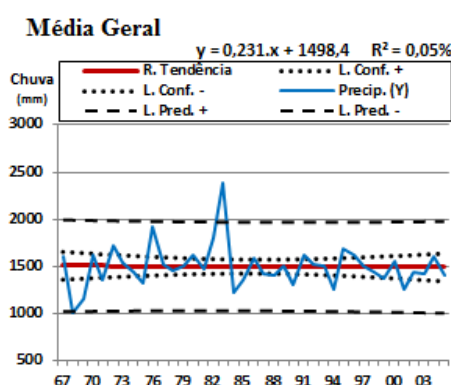


Figura 2 - Reta de tendência, limites de confiança e de predição para a Média Geral das chuvas.

A tendência da Média Geral mostrou-se levemente crescente. Todavia, a região como um todo não apresenta tal homogeneidade, derivada de uma medida de tendência central, transcrita neste gráfico. Assim, as Figuras 3a e 3b evidenciam a tendência da bacia a partir dos dados reais.



XXI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

Segurança Hídrica e Desenvolvimento Sustentável:
desafios do conhecimento e da gestão

De 22 a 27 de novembro de 2015, Brasília - DF

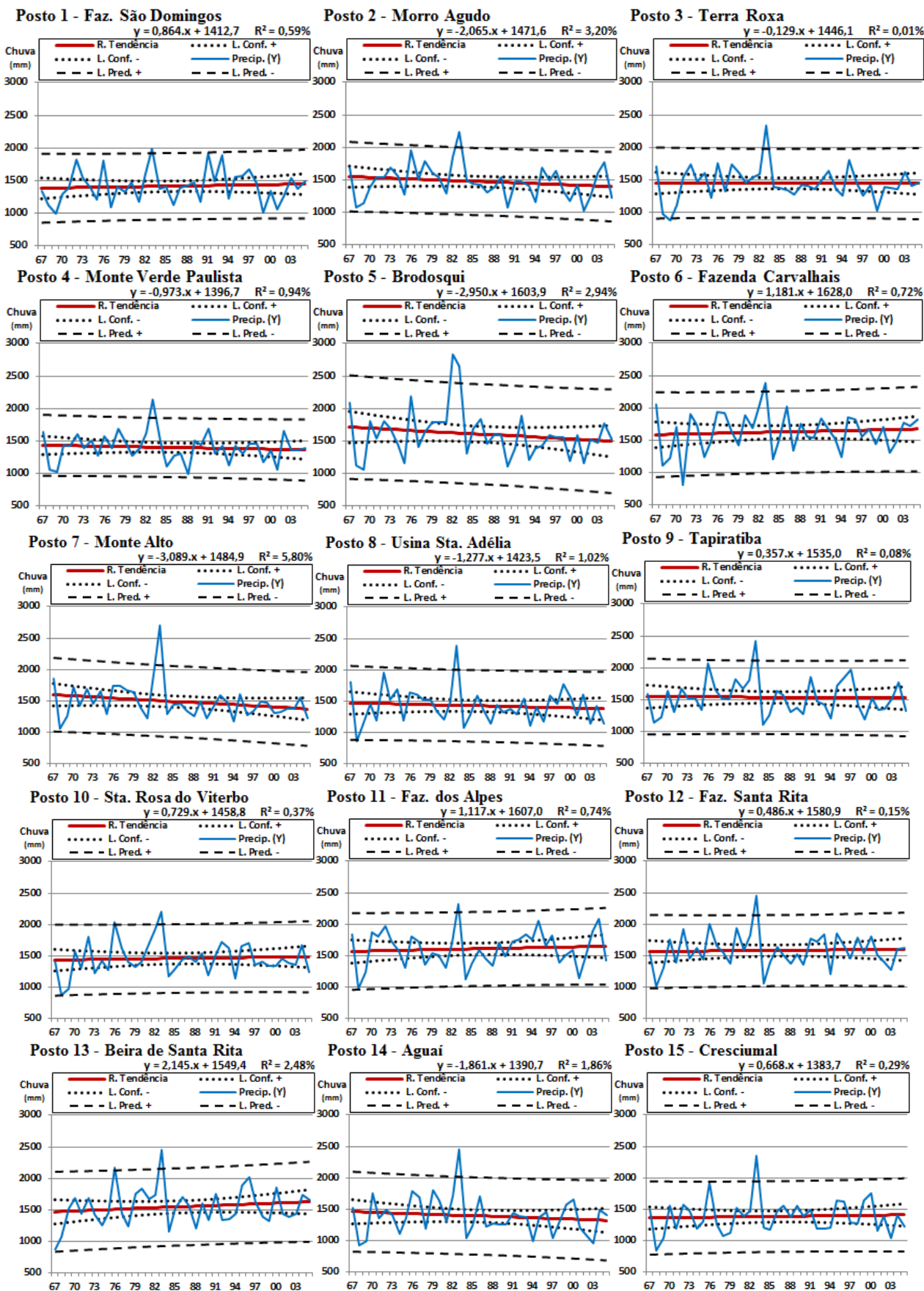


Figura 3a - Retas de tendência, limites de confiança e de predição para os 18 postos selecionados.

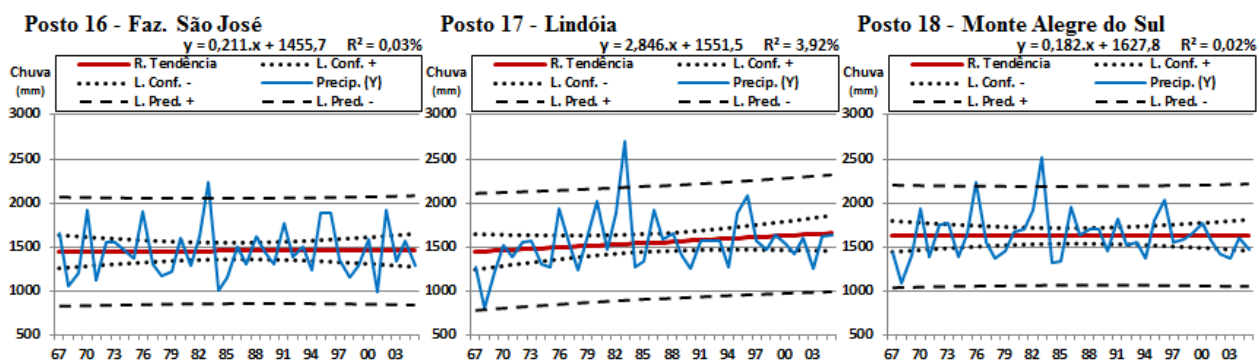


Figura 3b - Retas de tendência, limites de confiança e de previsão para os 18 postos selecionados.

Partindo da observação da precipitação anual, dos dezoito gráficos, verifica-se uma forte variabilidade do fenômeno. Dentre os anos estudados, 1983 distingue-se nitidamente como o mais chuvoso de toda a série, chegando a superar o limite máximo de confiança e previsão em todos os casos. Ainda, é importante destacar o baixo volume de chuvas anuais verificado no ano de 1968, pois apesar de em alguns postos não ter sido o ano mais seco, apresentou baixa precipitação em todos os setores e postos pluviométricos da bacia, padrão de chuvas que ainda se manteve baixo no ano seguinte (1969). A Figura 4 ilustra a tendência negativa/positiva para cada um dos postos e mapeia o coeficiente de determinação através da carta de isoietas.

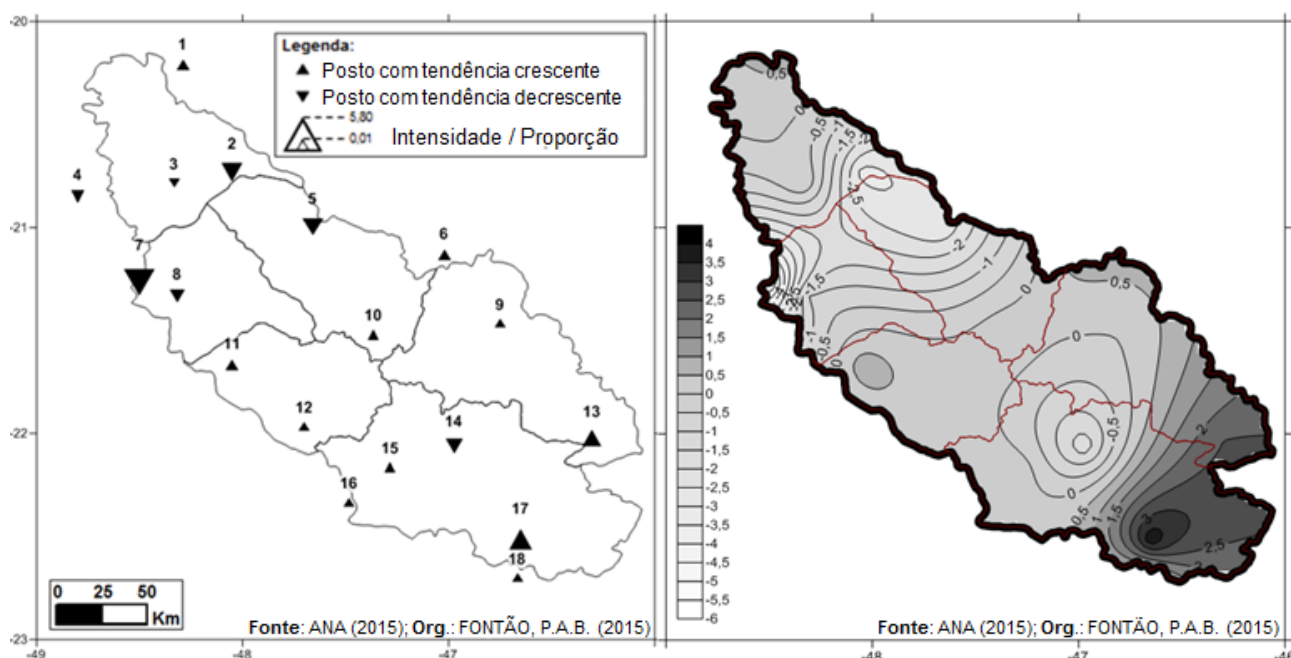


Figura 4 – Postos selecionados para a aplicação do método dos mínimos quadrados, tendência e coeficiente de determinação.

A partir da análise dos dezoito gráficos foi possível verificar onze retas de tendência positiva (Postos 1, 6, 9, 10, 11, 12, 13, 15, 16, 17 e 18) e sete com tendência negativa (Postos 2, 3, 4, 5, 7, 8



e 14). Contrariando a média geral, um número considerável do total de tendências analisadas é negativo. Desta maneira, as retas não apresentaram um comportamento estatístico homogêneo capaz de auxiliar na definição de um padrão geral para toda a bacia hidrográfica, tornando necessário observar os comportamentos em nível regional, partindo de um mapeamento capaz de auxiliar na definição de um padrão setorial.

Os mapas produzidos permitiram uma melhor visualização da distribuição espacial do fenômeno. Destes resultados obtidos, somados à regionalização adotada e ilustrada na Figura 1, pode-se observar e propor a seguinte decomposição:

- a) Tendência ao acréscimo no volume de chuvas anuais nos setores sul – leste da bacia, abrangendo as porções mais elevadas dos compartimentos Alto Pardo e Alto Mogi. Ainda, apresenta uma tendência elevada, todavia de menor intensidade, na porção central da bacia e no extremo norte, próximo à jusante (foz do Rio Grande) do rio Pardo.
- b) Tendência ao decréscimo no volume de chuvas anuais na região oeste – noroeste da bacia, agregando o Baixo Mogi e a maior parte dos setores Médio e Baixo Pardo.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho, analisou-se em nível regional a tendência das chuvas ao longo de uma série histórica de 39 anos, e respectivos coeficiente de determinação, limites de confiança e predição. Tais índices, dotados de estimativas, foram distribuídos de maneira pontual e representativa de setores da bacia hidrográfica do Pardo.

Com base nas observações realizadas na bacia, verificou-se a existência de uma tendência das precipitações anuais em nível regional que contempla, simultaneamente, setores de acréscimo (item a) e decréscimo (item b), conforme a análises dos resultados. Todavia, apesar desta constatação inicial, serão necessários novos estudos para confirmar se tais tendências se mantêm em uma série histórica mais longa, a partir da obtenção de dados mais recentes e inserção de um maior número de anos no período temporal.

Por fim, é importante ressaltar a forte variabilidade das chuvas identificadas a partir da distribuição anual. A existência de alguns anos de caráter excepcional (secos ou chuvosos) deve ser considerada ao investigar e planejar a região em foco, pois as tendências verificadas podem ser consideradas pequenas frente às oscilações observadas ao longo da série. Tais registros distintos



encontram-se associados ao dinamismo do ritmo climático (MONTEIRO, 2015), e já dispõe de investigações preliminares na região do Pardo realizados por Fontão (2014) e Fontão e Zavattini (2014).

REFERÊNCIAS

- CHRISTOFOLETTI, A. (1974). *Geomorfologia*. Edgard Blücher, São Paulo-SP.
- CHRISTOFOLETTI, A. L. H. (1992). Procedimentos de análise utilizados no estudo da precipitação. *Geociências*. 11(1), 1992. pp. 75-98.
- DAI, A.; FUNG, I.; GENIO, A. D. del. (1997). Surface observed global land precipitation variations during 1900-1988. *Journal of Climate*, 10, pp. 2946-2962. Disponível em: <http://papego.igc.usp.br/scielo.php?pid=S0100-929X1995000100002&script=sci_arttext&tlng=pt>.
- FLORES, E. F. (2000). *Modelagem em Climatologia Geográfica: um ensaio metodológico aplicado ao oeste paulista* (Tese de Doutorado). UNESP, Rio Claro-SP. 237 p.
- FONTÃO, P. A. B. (2014). *Ritmo das chuvas na bacia do Pardo (SP/MG): reflexos na vazão dos rios Pardo e Mogi-Guaçu* (Dissertação de Mestrado). UNESP, Rio Claro-SP. 127 p.
- FONTÃO, P. A. B.; ZAVATTINI, J. A. (2014). Regionalização das chuvas anuais na Bacia do Pardo, Brasil. *Caderno Prudentino de Geografia*, v. Especial, pp. 143-158.
- GERARDI, L. H. de O.; SILVA, B. N. (1981). *Quantificação em Geografia*. Editora DIFEL, São Paulo-SP, 163 p.
- MONTEIRO, C.A.F.(Org.) (2015). *A Construção da Climatologia Geográfica no Brasil*. Editora Alínea, Campinas-SP. 194p.
- NUNES, L. H. LOMBARDO, M. A. (1995). A questão da variabilidade climática. Uma reflexão crítica. *Revista do Instituto Geológico*. 16(1/2). Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.5935/0100-929X.19950002>>.
- TABIOS, G. Q.; SALAS, J. D. (1985). A comparative analysis of techniques for spatial interpolation of precipitation. *Water Resources Bulletin*, 21(3), pp. 365-380.
- TUNDISI, J. G. (2008). Recursos Hídricos no futuro: problemas e soluções. *Estudos Avançados*, 22(63). Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ea/v22n63/v22n63a02.pdf>>.