

VARIABILIDADE ESPACIAL E TEMPORAL DE PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO MOGI GUAÇU

Roseli Aparecida FERNANDES CHIERICE ¹ & Paulo Milton Barbosa LANDIM ²

- (1) Área de Ciências Exatas – Divisão de Ensino/Academia da Força Aérea - AFA. Estrada de Aguai, s/n° - Campo Fontenelle, CEP 13643-000 – Pirassununga, SP. Endereço Eletrônico: chiericerose@yahoo.com.br
- (2) Departamento de Geologia Aplicada, Instituto de Geociências e Ciências Exatas/IGCE, Universidade Estadual Paulista – UNESP. Avenida: 24-A – Bela Vista – Cx. Postal 178, CEP 13506-900 – Rio Claro, SP. Endereço Eletrônico: plandim@rc.unesp.br

Introdução
Área de Estudo
Material e Métodos
 Aquisição e Tratamento dos Dados
 Processamento dos Dados
Resultados e Discussão
 Medidas de Tendência Central e Variabilidade Pluvial
 A Escolha dos "Anos-Padrão"
 Método de Sturges
 Mapas de isolinhas das chuvas anuais
 Aplicação da Análise de Agrupamentos
Conclusões
Referências Bibliográficas

RESUMO - O objetivo desta pesquisa foi analisar a variabilidade anual e sazonal das precipitações pluviométricas, tanto em sua dimensão temporal, como em sua distribuição espacial e determinar regiões pluviometricamente homogêneas, na bacia hidrográfica do Rio Mogi Guaçu. Foram utilizados dados mensais de precipitação pluvial de 40 postos pluviométricos, no período de 1975 a 1999. Na primeira etapa deste trabalho, analisaram-se os dados pluviométricos por meio da estatística descritiva, observando-se que alguns anos apresentavam características pluviométricas diferentes. Considerou-se nessa análise, os mapas pluviométricos anuais, de cada ano do período, e uma planilha cromática na classificação dos "anos-padrão". Aos mapas e à planilha atribuíram-se cores, as quais obedeciam a uma escala definida pela Regra de Sturges. Dos anos classificados, escolheu-se 1983 (padrão chuvoso), 1994 (padrão seco) e 1995 (padrão habitual), para identificar possíveis oscilações nas chuvas sazonais. Posteriormente, fez-se uma análise de agrupamentos, utilizando-se, o método aglomerativo hierárquico, com o coeficiente de Ward, para a identificação de grupos de postos pluviométricos homogêneos, formou-se quatro grupos homogêneos. Esses grupos identificaram regiões homogêneas na bacia, em função da precipitação anual. Nessa análise, foi possível localizar grupos com o mesmo comportamento, ou seja, as regiões com maiores e menores índices pluviométricos.

Palavras-chave: precipitação pluviométrica, bacia hidrográfica do Rio Mogi Guaçu, regiões homogêneas, análise de agrupamentos.

ABSTRACT - The aim of this study was to analyze the annual and seasonal rainfall variability, both in its size and spatial distribution to determine rainfall homogeneous regions in the Mogi Guaçu river basin. We used monthly rainfall data from 40 pluviometric stations over the period 1975-1999. In the first stage of this work, we analyzed rainfall data by using descriptive statistics, observing that several years had different rainfall characteristics. It was considered (in this analysis), the annual rainfall maps for each year of the period, and a chromatic spreadsheet classification of "standard years." It was attributed colors to the maps and spreadsheet, which followed a scale defined by Sturges' rule. From the classified years, it was picked up 1983 (rainy pattern), 1994 (dry standard) and 1995 (the usual standard), to identify possible oscillations in the seasonal rainfall. Later, it had been done cluster analysis, using the hierarchical agglomerative method, using Ward's coefficient to identify homogeneous groups of climatic stations, generating four homogenous groups. These groups have identified homogeneous regions in the basin as a function of annual precipitation. In this analysis, it was possible to find groups with the same behavior, that is, regions with the highest and lowest rainfall indexes.

Keywords: rainfall, Mogi Guaçu river basin, homogeneous regions, cluster analysis.

INTRODUÇÃO

O presente trabalho contribui para a compreensão efetiva das variações pluviais da bacia do Rio Mogi Guaçu, denominada no Estado de São Paulo de Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos 09 (UGRHI 09) (Gomes et al., 2003), visto que, são escassas as pesquisas específicas sobre a

pluviosidade na região de estudo e no período analisado. O conhecimento detalhado da variabilidade das precipitações pluviométricas nessa área é de grande importância, pois, com isso, objetiva-se um melhor planejamento das atividades agrícolas, industriais, turísticas, bem como planejamento do uso racional da água nas

diversas regiões da bacia hidrográfica do Rio Mogi Guaçu.

Em termos de recursos hídricos, a precipitação pluviométrica constitui o principal dado de entrada para análise do balanço hidrológico de uma bacia hidrográfica (ou sistema hidrológico), além de representar o elemento climático, dentre outros elementos e fatores, de maior importância para entender a dinâmica climática (Ferreira Neto, 2001). A opção pela unidade "bacia hidrográfica" como área de estudo, deve-se às facilidades de análise que a mesma oferece, pois todos os processos geomorfológicos, pedológicos, hidrológicos, climatológicos, ocorrem nesse limite natural.

O Rio Mogi Guaçu é muito utilizado, na produção agrícola, no abastecimento de água urbana, industrial e como receptor de efluentes domésticos e industriais tratados e não tratados. A compreensão da dinâmica climática predominante na bacia hidrográfica do Rio Mogi Guaçu, bem como a distribuição da precipitação pluviométrica no tempo e no espaço, fornece subsídios para o planejamento e gestão dos recursos hídricos dessa bacia (CBH-Mogi, 2008).

Para contribuir com o estudo da pluviosidade, em diferentes regiões da bacia hidrográfica do Rio Mogi Guaçu, buscou-se identificar, por meio da aplicação de técnicas da estatística descritiva, como a média, o desvio padrão e o coeficiente de variação, a variabilidade (ou dispersão) anual das chuvas

sobre a bacia (Gerardi; Silva, 1981). Foi utilizada, também, a técnica classificatória multivariada da análise de agrupamentos, que agrupou regiões homogêneas, com semelhança na pluviosidade (Landim, 2011).

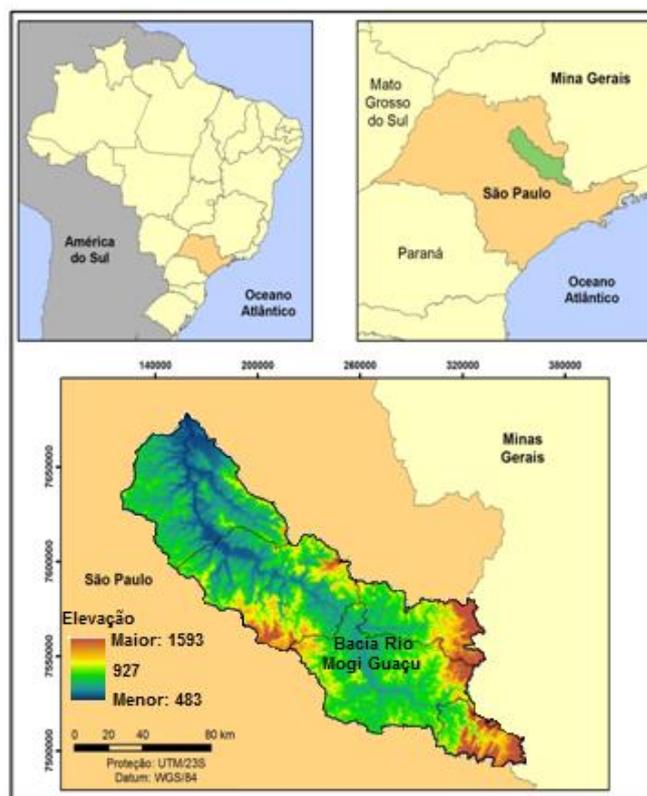
Sendo assim, a importância do conhecimento da variabilidade pluvial regional é destacada por Monteiro (1973), Sant'Anna Neto (1995), Boin (2000), Zavattini (2009), como uma maneira de contribuir para a compreensão da variabilidade em nível global. A classificação de regiões pluviometricamente homogêneas em várias áreas do território brasileiro, usando metodologias semelhantes à proposta neste trabalho, foram estudadas por UNAL et al. (2003), Keller Filho et al. (2005), André et al. (2008), Santos et al. (2008), Machado et al. (2010), Fritzsos et al. (2011). Observa-se que, em determinadas regiões as configurações orográficas influenciam de forma marcante a distribuição espacial da precipitação.

Portanto, tendo em vista essas considerações, este trabalho tem o objetivo de analisar a variabilidade das precipitações pluviométricas na região da bacia hidrográfica do Rio Mogi Guaçu, tanto em sua dimensão temporal, para o segmento de tempo compreendido entre 1975 a 1999, como em sua distribuição espacial e identificar, por meio da análise de agrupamentos, as regiões pluviometricamente homogêneas na bacia.

ÁREA DE ESTUDO

O Rio Mogi Guaçu nasce no Morro do Curvado, no município de Bom Repouso no Estado de Minas Gerais, numa altitude aproximada de 1.510 m e coordenadas aproximadas de 22°30'S e 46° 08'W, na região da Serra da Mantiqueira. Após escoar longitudinalmente por aproximados 530 km,

deságua no Rio Pardo em cota altimétrica de 483 m acima do nível médio do mar, entre as coordenadas aproximadas 20°53'S e 48°11'W, entre os municípios de Pitangueiras e Pontal, no Nordeste do Estado de São Paulo (Zancopé, 2008). A Figura 1 ilustra a localização da área de estudo no Estado de São Paulo.



Fonte: Elaborado pela autora

Figura 1. Localização da bacia do Rio Mogi Guaçu no Estado de São Paulo

A bacia hidrográfica do Rio Mogi Guaçu, possui uma área de drenagem de aproximadamente 17.460 km², sendo 2.650 km² em território mineiro e sua maior extensão localiza-se em território paulista, aproximadamente 14.653 km² (CBH-Mogi, 1999), o trecho mineiro não foi incluído no presente trabalho.

Essa bacia estende-se por quatro grandes províncias geomorfológicas, de montante a jusante encontra-se: Planalto Atlântico, Depressão Periférica, Cuestas Basálticas e Planalto Ocidental (Gomes et al., 2003).

Sant' Anna Neto (1995), objetivando caracterizar o comportamento pluviométrico no território paulista, propôs uma classificação pluvial para o Estado de São Paulo. Elaborou uma carta síntese a partir da análise do período de 1971 a 1993, demonstrando a existência de oito grandes unidades regionais e 25 subunidades pluviais homogêneas para o território paulista, reconhecendo-as por suas características de variabilidade temporal, distribuição espacial, sazonalidade, tendência e ciclicidade.

De acordo com a classificação pluvial sugerida por Sant' Anna (1995), a bacia

hidrográfica do Rio Mogi Guaçu, localizada na região nordeste do Estado de São Paulo, encontra-se nas unidades regionais 3-Mantiqueira, 4- Depressão Periférica, 5-Cuestas Basálticas, 6-Norte.

A unidade regional 3-Mantiqueira, região elevada e com forte declividade, com altitudes que variam entre 600 e 1500 m, está localizada no Planalto Atlântico, ocupa cerca de 4% da área do território paulista. Essa unidade divide-se em duas subunidades, que são: Borda do Planalto e Contrafortes da Mantiqueira. A bacia hidrográfica do Rio Mogi Guaçu está inserida na subunidade Contrafortes da Mantiqueira, cuja topografia apresenta grande diversidade e declividade, com altitudes médias de até 1600 m. A precipitação média anual varia de 1500 mm a 1800 mm. Quanto à variação sazonal, o trimestre mais chuvoso e o mais seco são, respectivamente, de dezembro a fevereiro e de junho a agosto.

A unidade regional 4-Depressão Periférica, está inserida entre os Contrafortes da Mantiqueira e da linha frontal das Cuestas Basálticas, com altitudes entre 400 e 800 metros, representando 10,2% do território paulista. Essa unidade divide-se em duas subunidades: Depressão Setentrional e Depressão Meridional. A bacia hidrográfica do Rio Mogi

Guaçu está inserida na subunidade Depressão Setentrional, a precipitação média anual varia de 1300 a 1500 mm. A variação sazonal é idêntica da subunidade Contrafortes da Mantiqueira, pois, é influenciada pelos mesmos sistemas atmosféricos.

A unidade regional 5-Cuestas Basálticas está limitada entre a Depressão Periférica e o Planalto Ocidental, com altitudes entre 600 e 1000 metros, disposta em forma alongada com direção nordeste a sudoeste, representando 7,4% do território paulista. Essa unidade divide-se em quatro subunidades, que são: Franca/Batatais, São Carlos/São Pedro, Botucatu e Fartura. A bacia hidrográfica do Rio Mogi Guaçu está inserida na subunidade São Carlos/São Pedro, o total anual de precipitação varia de 1500 mm a 1800 mm. Quanto à

variação sazonal, o trimestre mais chuvoso ocorre nos meses de dezembro a fevereiro e o mais seco entre junho e agosto.

A unidade regional 6-Norte está localizada entre os vales dos rios Grande e Pardo, com altitudes que variam de 400 e 800 metros representam 7,4% do território paulista. Essa unidade divide-se em duas subunidades, que são: Vale do Sapucaí - mirim e Vale do Pardo/Mogi. A bacia hidrográfica do Rio Mogi Guaçu está inserida na subunidade Vale do Pardo/Mogi, área mais baixa, comprimida entre os dois vales, na região de Ribeirão Preto. O total anual de precipitação varia de 1500 mm a 1700 mm. Quanto à variação sazonal, o trimestre mais chuvoso ocorre entre dezembro e fevereiro e o mais seco entre junho e agosto.

MATERIAL E MÉTODOS

Aquisição e Tratamento dos Dados

Para a análise da variabilidade espacial e temporal da precipitação pluviométrica e a identificação de regiões pluviometricamente homogêneas no âmbito da bacia hidrográfica do Rio Mogi Guaçu, utilizou-se os dados de uma série temporal de 25 anos, representados pelos valores totais mensais de janeiro de 1975 a dezembro de 1999, fornecidos pelo Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo - DAEE (São Paulo, 2012). Os critérios de seleção dos postos pluviométricos foram a continuidade das informações na base de dados pluviométricos e que os anos fossem concomitantes. Desta seleção resultou um total de 40 postos, privilegiando os postos inseridos na área da bacia hidrográfica do Rio Mogi Guaçu, em alguns postos pluviométricos os dados de chuva no nível diário e mensal estavam completos e outros apresentavam intervalos com ausência de dados.

Para o complemento desses intervalos sem informações, procurou-se adotar o mesmo critério para preenchimento de falhas para todos os postos. Optou-se, para realizar o preenchimento dos intervalos nos dados mensais de precipitações pelo método estatístico da média aritmética, conforme Fernandez (2007), a fim de prever os dados faltantes. Foi utilizado o seguinte critério:

identificou-se o mês do dado faltante e calculou-se a média aritmética da própria localidade dos dados de precipitação do mesmo mês dos demais anos da série. Essa decisão do uso da média das chuvas mensais foi tomada após ter sido aplicado os métodos da ponderação regional e da regressão linear em alguns postos cujos postos vizinhos não apresentavam falhas (Tucci, 2009). Observou-se que os resultados obtidos por esses métodos eram poucos discrepantes em relação aos obtidos pela média. Essa condição e a dificuldade de encontrar postos vizinhos sem falhas, que auxiliariam na aplicação dos métodos, foram os fatores que levaram à escolha da média aritmética, com o intuito de padronizar a aplicação de um método.

Após o preenchimento das falhas existentes na série pluviométrica foi necessário analisar a sua consistência dentro de uma visão regional, isto é, comprovar o grau de homogeneidade dos dados disponíveis, em cada um dos 40 postos com relação às observações registradas em postos vizinhos. Para esta análise foi usado o método da Dupla Massa, desenvolvido pelo U.S. Geological Survey (USGS), que é de aplicação comum no Brasil para avaliação da consistência dos dados de chuva, sendo válida apenas para séries mensais ou anuais (Tucci, 2009).

A aplicação do método consiste em construir um gráfico cartesiano, relacionando os totais anuais (ou mensais) acumulados do posto a consistir (nas ordenadas) e a média acumulada dos totais anuais (ou mensais) de todos os postos da região (nas abscissas). Se os valores do posto a consistir são proporcionais aos observados na base de comparação, os pontos devem estar alinhados em uma única reta. A declividade da reta determina o fator de proporcionalidade entre ambas as séries (Tucci, 2009).

A análise de consistência da série de dados dos postos pluviométricos, permitiu constatar, que dos 40 postos selecionados, apenas 2 apresentaram alguma evidência de anormalidade, os dados desses postos não se alinharam segundo uma única reta apresentando, uma mudança de declividade na reta num determinado ponto. Os referidos postos são C4-029 e o C5-115, localizados, respectivamente, nos municípios de Santa Cruz das Palmeiras e Barrinha. Os demais postos

apresentam uma consistência satisfatória nas suas séries de dados pluviométricos.

Mesmo com as anomalias detectadas por meio da análise da consistência desses dois postos, optou-se por não retirá-los da análise, e sim trabalhar com os dados sem corrigi-los, com a finalidade de identificar a existência de postos com séries atípicas (outliers). Nas análises futuras, que envolvem a aplicação do método multivariado da análise de agrupamentos, com o objetivo de reunir grupos pluviometricamente homogêneos, espera-se que essas observações atípicas sejam indicadas. Dentre as possíveis causas do aparecimento de observações atípicas, pode-se citar a presença de (valores extremos) anos extremos nas séries temporais ou por diferentes regimes pluviométricos em relação aos demais postos (Tucci, 2009).

A Tabela 1 apresenta a relação dos postos utilizados neste trabalho, contendo os campos: ordem, município, prefixo do posto, altitude, latitude (S) e longitude (W).

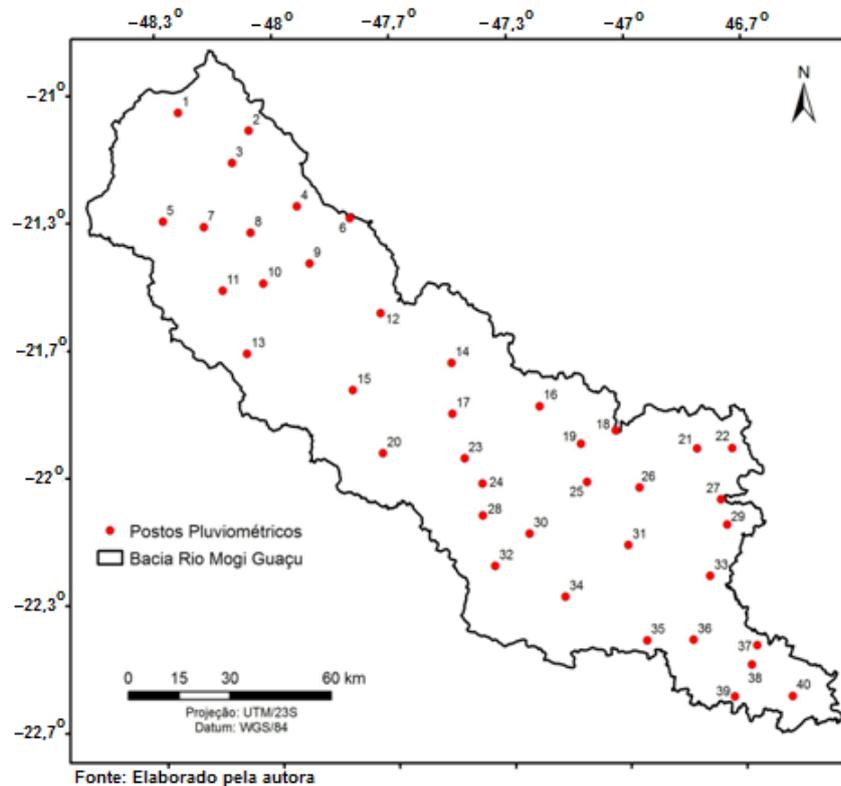
Tabela 1. Coordenadas geográficas das 40 localidades da Bacia do Rio Mogi Guaçu

Ordem	Postos Pluviométricos da Bacia Hidrográfica do Rio Mogi Guaçu				
	Município	Prefixo	Altitude	Latitude	Longitude
1	Pitangueiras	C5-040	520 m	21°03'	48°16'
2	Sertãozinho	C5-114	520 m	21°06'	48°04'
3	Barrinha	C5-115	490 m	21°11'	48°07'
4	Ribeirão Preto	C4-057	590 m	21°18'	47°56'
5	Jaboticabal	C5-028	550 m	21°20'	48°19'
6	Cravinhos	C4-032	720 m	21°20'	47°47'
7	Guariba	C5-112	570 m	21°21'	48°12'
8	Pradópolis	C5-104	540 m	21°22'	48°04'
9	Luis Antonio	C4-056	580 m	21°27'	47°54'
10	Guataparã	C5-020	500 m	21°30'	48°02'
11	Motuca	C5-009	610 m	21°31'	48°09'
12	Luis Antonio	C4-096	670 m	21°35'	47°42'
13	Santa Lucia	C5-011	700 m	21°41'	48°05'
14	Sta Rita do Passa Quatro	C4-041	700 m	21°43'	47°30'
15	São Carlos	C4-019	620 m	21°47'	47°47'
16	Sta Cruz das Palmeiras	C4-029	610 m	21°50'	47°15'
17	Porto Ferreira	C4-094	580 m	21°51'	47°30'
18	Casa Branca	C4-026	700 m	21°54'	47°02'
19	Casa Branca	C4-097	610 m	21°56'	47°08'
20	Descalvado	C4-021	840 m	21°57'	47°42'
21	São João da Boa Vista	C3-031	740 m	21°57'	46°48'
22	Águas da Prata	C3-034	940 m	21°57'	46°42'
23	Pirassununga	C4-085	640 m	21°58'	47°28'
24	Pirassununga	C4-033	670 m	22°02'	47°25'
25	Aguai	D4-101	580 m	22°02'	47°07'
26	Aguai	D3-022	660 m	22°03'	46°58'
27	São João da Boa Vista	D3-066	810 m	22°05'	46°44'
28	Sta Cruz da Conceição	D4-032	620 m	22°07'	47°25'
29	Sto Antonio do Jardim	D3-071	900 m	22°09'	46°43'
30	Leme	D4-030	600 m	22°10'	47°17'
31	Estiva Gerbi	D3-067	670m	22°13'	46°57'
32	Araras	D4-029	660 m	22°15'	47°23'
33	Espirito Santo do Pinhal	D3-003	680 m	22°17'	46°46'
34	Conchal	D4-094	580 m	22°20'	47°11'
35	Mogi Mirim	D3-033	630 m	22°27'	46°57'
36	Itapira	D3-015	660 m	22°27'	46°49'
37	Águas de Lindóia	D3-024	1040 m	22°28'	46°38'
38	Lindóia	D3-014	680 m	22°31'	46°39'
39	Serra Negra	D3-012	940 m	22°36'	46°42'
40	Socorro	D3-030	740 m	22°36'	46°32'

Fonte: Elaborado pela autora.

Os postos pluviométricos da rede de monitoramento operados pelo DAEE, inseridos na Bacia Hidrográfica do Rio Mogi Guaçu estão representados espacialmente, com sua numeração ordenada conforme a posição geográfica, de Norte para Sul e de Oeste para

Leste. A rede de postos pluviométricos selecionados corresponde a um total de 40 postos que estão distribuídos de forma uniforme ao longo da bacia (Figura 2).



Fonte: Elaborado pela autora
Figura 2. Distribuição espacial dos 40 postos pluviométricos na bacia hidrográfica do Rio Mogi Guaçu

Referindo-se às suas características quanto aos níveis altimétricos, a Bacia Hidrográfica do Rio Mogi Guaçu, apresenta altitudes predominantemente situadas entre os 480 e os 1600 metros acima do nível do mar. A região caracterizada por altitudes mais elevadas são as áreas mais altas, pertencentes ao Planalto Atlântico. A região de altitudes mais baixas corresponde ao Planalto Ocidental. A topografia da bacia tem influência no regime de precipitação.

Processamento dos Dados

As séries temporais (homogêneas) representadas pelos valores mensais, anuais e sazonais do período de 1975 a 1999 referentes aos quarenta postos pluviométricos situados

dentro da área de estudo, foram organizadas e tabuladas fazendo uso do programa Excel, versão 14, da Microsoft Corporation, 2010.

Para as análises dos dados dos totais anuais das chuvas da bacia do Rio Mogi Guaçu foi aplicada às técnicas da estatística clássica, baseadas nos trabalhos de Gerardi & Silva (1981) e Zavattini & Boin (2013), destacando-se as medidas de tendência central e de variabilidade (ou dispersão).

Para sintetizar o conjunto de informações da variação das chuvas anuais na bacia do Rio Mogi Guaçu aplicou-se a fórmula de Sturges (Sturges, 1926; Zandonadi, 2009), para a determinação do número ideal de intervalos de classe por meio da fórmula:

$$k = 1 + 3,33 \log N \tag{1}$$

Onde, k corresponde ao número de classes e N , corresponde ao número de elementos da série. A amplitude desses intervalos de classes foi obtida dividindo-se a amplitude total dos dados de uma série única por k (Sturges, 1926).

Para cada classe definida associou-se uma cor que, por meio de uma planilha cromática, propiciou uma melhor visualização da variabilidade da chuva tanto no tempo como no espaço, de acordo com os intervalos de classes que permitiram, por meio da escala de cor associada, constatar, os anos excepcionais (secos e chuvosos) e os anos considerados habituais da área de estudo. A interpolação dos dados para a confecção dos mapas de chuva, na forma de isolinhas (ou cartas de isoietas), foram traçados com o auxílio do programa Surfer, versão 8, da Golden Software, Inc., 2002, utilizando-se o método de interpolação o inverso do quadrado da distância, algoritmo matemático usado para ajustar uma superfície através dos dados estimados. Por meio desses mapas, foi possível ter uma melhor representação da distribuição das chuvas que ocorreram na área de estudo, no decorrer do período analisado (Landim, 2003; Landim et al., 2002).

Neste trabalho foi utilizada a técnica estatística multivariada da análise de agrupamentos. Esta análise permite classificar os valores de uma matriz de dados sob estudo em grupos discretos. A técnica classificatória multivariada da análise de agrupamentos pode ser utilizada quando se deseja explorar as similaridades entre indivíduos ou entre variáveis definindo-os em grupos, considerando

simultaneamente, no primeiro caso, todas as variáveis medidas em cada indivíduo e, no segundo, todos os indivíduos nos quais foram feitas as mesmas mensurações (Landim, 2011).

O objetivo da análise de agrupamentos foi realizar um estudo da bacia do Rio Mogi Guaçu, delimitando as regiões que apresentassem similaridade no padrão pluviométrico (Santos et al., 2008). Para efetuar a regionalização (determinação das áreas homogêneas), foi utilizado o método hierárquico aglomerativo de Ward (Ward, 1963), tendo como medida de dissimilaridade a distância euclidiana. Este é um dos métodos mais utilizados em estudos para minimizar a variabilidade entre os dados, agrupando elementos que devem possuir uma homogeneidade e os elementos dos outros grupos diferentes devem possuir uma alta heterogeneidade (Hair et al., 2005).

A forma gráfica usada para representar o resultado final dos diversos agrupamentos é o dendrograma (gráfico em árvore). Nele estão dispostas linhas ligadas segundo os níveis de similaridade que agrupam pares de indivíduos ou de variáveis. O dendrograma mostra graficamente como os agrupamentos são combinados em cada passo do procedimento até que todos estejam contidos em um único agrupamento (Landim, 2011).

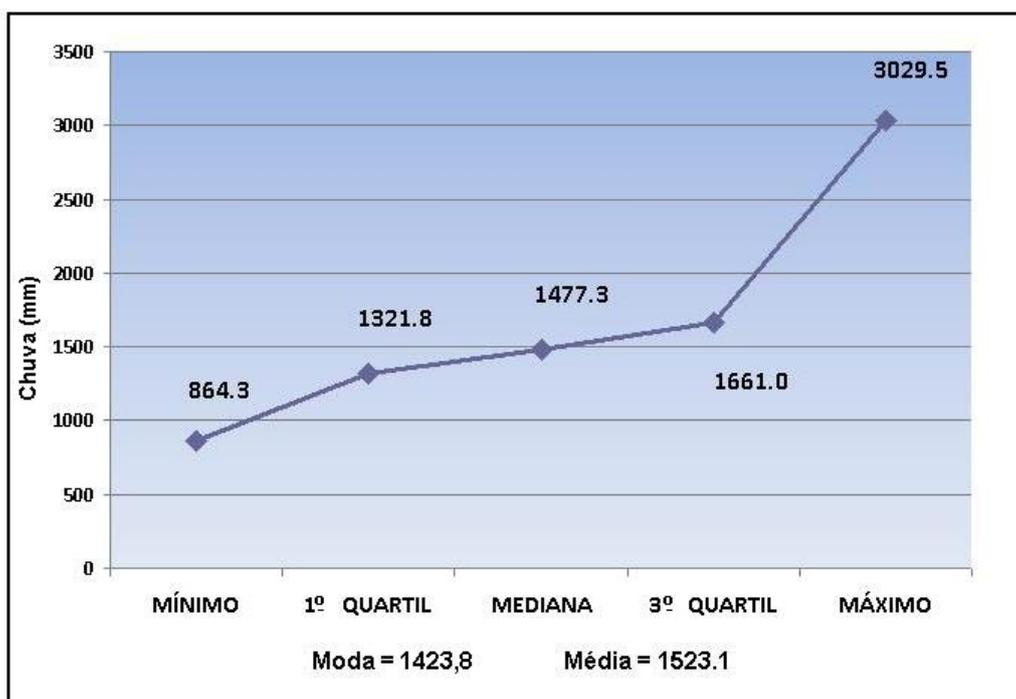
Os processamentos das análises, como as representações dos resultados através do dendrograma foram feitos por meio do software XLSTAT, versão 2011.4.02, Copyright Addinsoft, 2011.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Medidas de Tendência Central e Variabilidade Pluvial

Foi efetuada uma abordagem climática tradicional das chuvas, calculando-se a média aritmética, moda, mediana e os quartis, para

proporcionar uma visão quantitativa das variações das precipitações pluviométricas no período estudado, dos 40 postos pluviométricos espalhados pela região de estudo (Figura 3).



Fonte: Elaborado pela autora

Figura 3 - Estatística descritiva para o conjunto de dados de chuva dos 40 postos da bacia no período 1975 a 1999

A amplitude interquartílica, ou variação interquartil, dos valores anuais, que engloba os 50% dos dados centrais, estão compreendidas entre 1321,8 a 1661,0 mm. Os valores de chuva situados entre 864,3 a 1321,8 mm e 1661,0 a 3029,5 mm representam os 25% mais baixos e mais altos, respectivamente. Observou-se que, quando os totais da pluviosidade anual fossem inferiores ao 1º Quartil ou superiores ao 3º Quartil estariam caracterizados, respectivamente, os anos de pluviosidade excepcional, secos e chuvosos (Zavattini & Boin, 2013). Os resultados mostraram que a média anual de chuvas para toda a bacia do Rio Mogi Guaçu é 1523,1 mm.

A Escolha dos "Anos-Padrão"

Para a seleção dos "anos-padrão" que, no período de 1975 a 1999, pudessem representar o ano "habitual" e "excepcional" (alta e baixa ocorrências), baseados nos padrões da pluviosidade considerada média, elevada ou reduzida desenvolvidas na área, foram aplicadas duas técnicas, a de Sturges e a elaboração dos Mapas de isolinhas para cada ano, que permitiu uma visualização da distribuição temporal e espacial das chuvas na bacia (Gerardi & Silva, 1981; Zandonadi, 2009).

Método de Sturges

Aplicando-se a fórmula (1) à série analisada, para N=1000 (dados da série) chegou-se ao número de 11 (onze) classes. A amplitude dos intervalos de classe foi obtida pela divisão da Amplitude Total de Variação (2165,2 mm) pelo número de classes (11), chegando-se a um intervalo de classe de amplitude igual a 196 mm. criando a primeira classe de 863 a 1059 mm, a segunda de 1060 a 1256 mm, e assim sucessivamente, até alcançar a última delas 2833 a 3030 mm. Para cada classe definida associou-se uma cor. No Quadro 1 são apresentadas as frequências relativas e absolutas das chuvas anuais para o período de 25 anos, associados à escala cromática, evidenciando as características pluviiais, assim, os anos chuvosos (cores azuis), os anos habituais (cores verdes) e os anos secos (cores vermelha e amarela).

Observa-se que, de um total de 1000 dados de chuvas anuais ocorridas no período, 72,7% apresentaram volume compreendido entre 1257 a 1848 mm, com predominância entre 1257 a 1651 mm de chuvas, cujas características pluviiais podem ser consideradas como padrão habitual, pois a média da série é de, 1523,1 mm e a moda é 1423,8 mm de chuvas. Os anos

secos que representam 15,6% das frequências ocorridas concentram-se entre 863 a 1257 mm de chuvas. Os 11,7% finais concentram-se

maiores volumes de chuvas, compreendidos entre 1848 a 3030 mm.

Quadro 1 - Características pluviiais obtidas por meio da técnica de Sturges

Características Pluviais	Classes (mm)	Cores	Frequência	
			Absoluta	Relativa (%)
Seco	863-1060		24	2,4
	1060-1257		132	13,2
Habitual	1257-1454		309	30,9
	1454-1651		277	27,7
	1651-1848		141	14,1
Chuvoso	1848-2045		57	5,7
	2045-2242		31	3,1
	2242-2439		14	1,4
	2439-2636		9	0,9
	2636-2833		3	0,3
	2833-3030		3	0,3

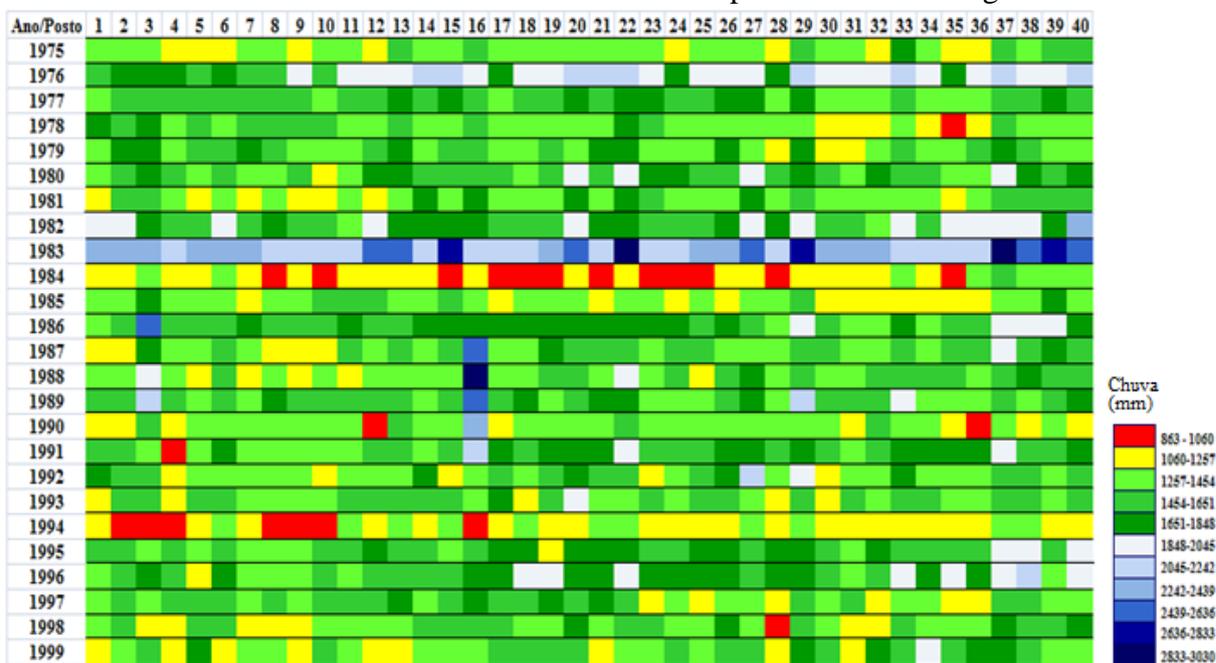
Fonte: Elaborado pela autora

1000 100

A partir do Quadro 1, foi gerado o Quadro 2, cuja planilha cromática propiciou uma melhor visualização da variabilidade da chuva tanto no tempo como no espaço, de acordo com os

intervalos de classes que permitiram, por meio da escala de cor associada, constatar, os anos excepcionais (secos e chuvosos) e os anos considerados habituais da área de estudo.

Quadro 2. Planilha cromática com a ocorrência das chuvas anuais para o período 1975-1999, de acordo com os intervalos de classes obtidos pela técnica de Sturges



Fonte: Elaborado pela autora por meio de planilha eletrônica (EXCEL, 2010)

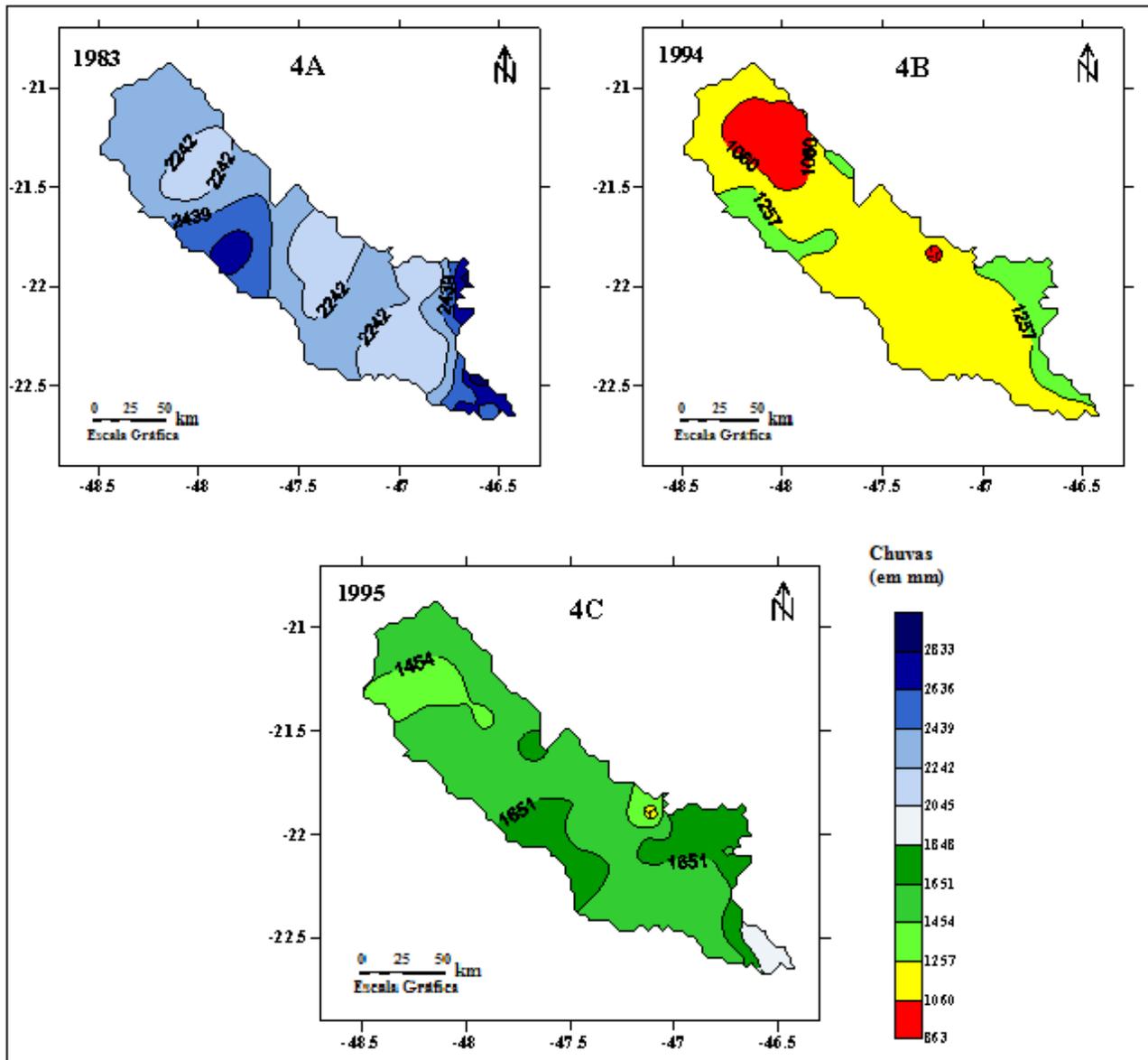
Para a análise e seleção dos anos considerados como padrão excepcional (seco e chuvoso) e habitual da pluviosidade na bacia,

recorrendo-se a planilha cromática definida pela fórmula de Sturges, foram escolhidos os anos de 1995, 1994 e 1983, como os

representantes das categorias habitual, seco e chuvoso, respectivamente. O ano de 1983 se destacou como o mais chuvoso, o ano de 1994 como o segundo mais seco e 1995 por ter as características de um ano habitual e estar próximo de um ano de padrão seco.

Mapas de isolinhas das chuvas anuais

Para representação em mapa de distribuição das chuvas, optamos por apresentar somente os mapas de isolinhas dos "anos-padrão" (habitual, seco e chuvoso), conforme Figura 4 (A, B e C).



Fonte: Elaborado pela autora

Figura 4. Mapa de isolinhas das chuvas anuais (Figura 4A – ano de 1983, Figura 4B – ano de 1994 e Figura 4C – ano de 1995)

No "ano-padrão" 1983, considerado chuvoso, verificou-se que a chuva anual na bacia oscilou entre 2050,3 mm e 2976,7 mm, com amplitude de 926,4 mm. Para o ano de 1994, escolhido como "ano-padrão" seco a chuva anual na bacia oscilou entre 864,3 mm e 1433,8 mm, com amplitude de 569,5 mm e durante o "ano-padrão" habitual de 1995 verificou-se que a chuva anual na bacia ficou

entre 1098,8 mm e 2005,6 mm, com amplitude de 906,8 mm. Neste ano considerado padrão habitual o valor da média anual ficou próxima do valor da média do período que é de 1523,1 mm.

Sintetizando as análises referentes aos anos seco, chuvoso e habitual, observou-se que existe uma semelhança no modo da distribuição das chuvas nestes três anos, guardadas as

devidas proporções de índices pluviométricos e amplitudes em cada ano, observou-se que as regiões localizadas a noroeste e centro-sul da bacia, recebem menores contribuições e que as chuvas tendem a aumentar nas regiões situadas a sudeste da bacia, estas regiões apresentam altitudes mais elevadas e estão situadas nos contrafortes da Serra da Mantiqueira.

A variabilidade temporal sazonal (dentro do ano) define o ciclo de ocorrências dos períodos secos e úmidos. A análise comparativa dos anos considerados "anos padrão" 1983, 1994 e 1995, referente à variação sazonal, representados por período chuvoso: as estações do verão e da primavera, período seco: as estações outono e inverno estão descritos na Tabela 2.

Tabela 2. Contribuição da pluviosidade no período chuvoso e seco, nos "anos-padrão"

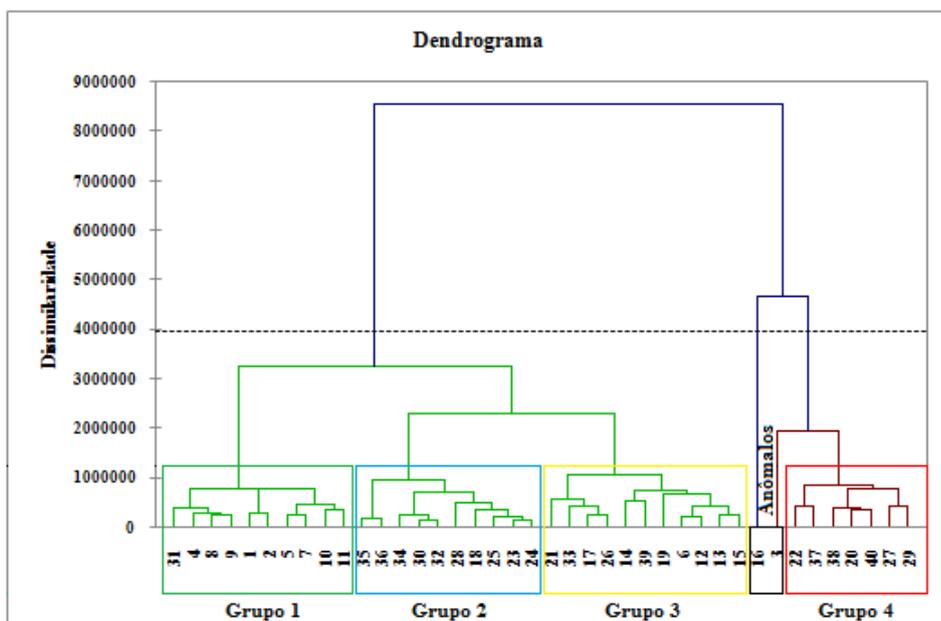
Período/ Ano	1983 - Chuvoso	1995 - Habitual	1994 - Seco
Anual (mm)	2361,7	1597,6	1179,8
Chuvoso (mm)	1627,1	1358,2	1005,4
Seco (mm)	734,7	239,4	174,5
Chuvoso (%)	69	85	85
Seco (%)	31	15	15

No ano de 1983 a chuva foi bem distribuída durante o ano, enquanto que nos anos de 1994 e 1995 a ocorrência das chuvas foram mais frequentes no verão e na primavera, representando 85% das chuvas no ano, guardadas as devidas proporções das chuvas em relação aos anos, seco e habitual. De maneira geral a análise referente à distribuição sazonal na bacia hidrográfica do Rio Mogi Guaçu indica que as estações mais chuvosas são o verão (janeiro, fevereiro e março) e a primavera (outubro, novembro e dezembro), consideradas estações chuvosas. As contribuições da pluviosidade no inverno e no outono são poucas em toda a bacia.

Aplicação da Análise de Agrupamentos

A área da bacia hidrográfica do Rio Mogi Guaçu foi dividida em grupos homogêneos obtidos a partir da análise de agrupamentos. Através desta análise foram delimitadas as regiões que apresentaram similaridade no padrão pluviométrico, sendo possível ter uma noção da tipologia pluvial da área de estudo.

Como variáveis classificatórias foram utilizadas os totais anuais da precipitação, além das respectivas coordenadas geográficas de cada posto pluviométrico. Utilizou-se como medida de dissimilaridade a distância euclidiana e como algoritmo de agrupamentos o método hierárquico aglomerativo com a técnica de Ward. A forma gráfica mais usada para representar o resultado de um procedimento de agrupamento é o dendrograma. A Figura 5 apresenta a formação dos grupos, podendo-se observar que o corte realizado entre os valores de 1000000 – 2000000 de dissimilaridade determinou a existência de quatro regiões homogêneas, denominadas de grupos, e um grupo considerado atípico (formado por dois postos pluviométricos). Em relação aos resultados obtidos pela análise de agrupamentos, comprovou-se que é uma técnica eficaz, pois possibilitou o agrupamento de regiões com características semelhantes e/ou o distanciamento das regiões heterogêneas, evidenciando características importantes para a regionalização da pluviosidade na Bacia.



Fonte: Elaborado pela autora por meio do programa XLSTAT (XLSTAT, 2011)

Figura 5. Dendrograma do agrupamento obtido pela técnica de Ward com os dados dos totais anuais de precipitação dos 40 postos pluviométricos, no período de 1975 a 1999

A Figura 6 mostra a distribuição espacial das quatro regiões homogêneas e as regiões dos dois postos pluviométricos considerados

atípicos para a bacia hidrográfica do Rio Mogi Guaçu.

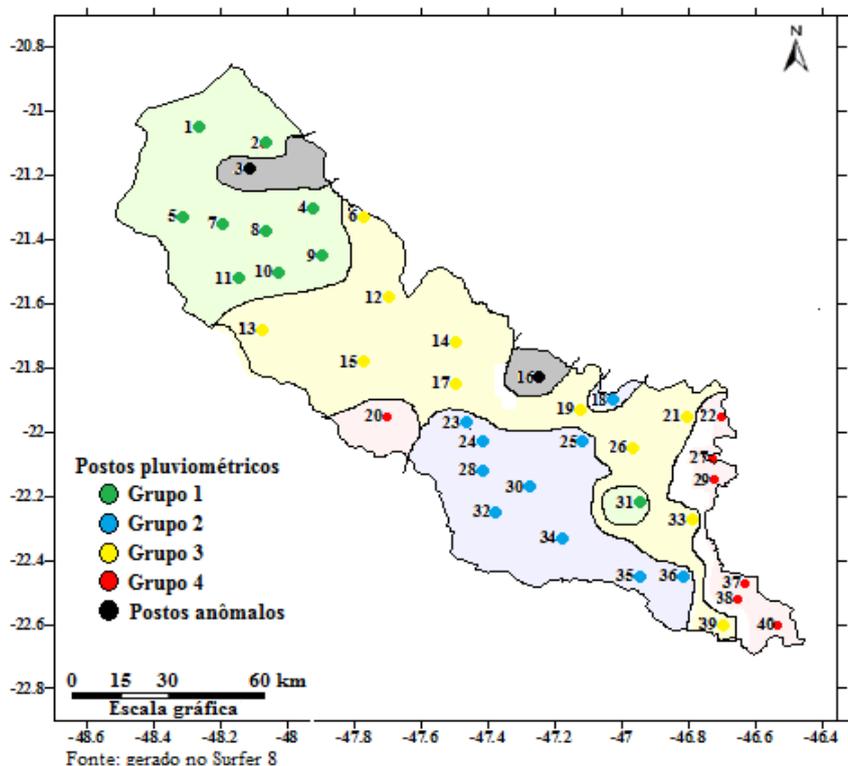


Figura 6. Distribuição espacial das regiões pluviometricamente homogêneas da bacia do Rio Mogi Guaçu

O grupo 1 abrange a porção noroeste da bacia, com altitudes em torno de 600 m. Foi inserido nesse agrupamento o posto 31 (região

de Estiva Gerbi) localizado na porção centro sul da bacia. A pluviosidade média anual desse grupo varia 1367,3 a 1500 mm, e desvio padrão

entre 220,0 e 270 mm. O grupo 2 engloba 10 postos pluviométricos, sendo que 9 postos estão localizados na região centro-sul da bacia. Foi inserido nesse grupo o posto 18 (região de Casa Branca, posto C4-026), localizado na região sudeste da bacia. Os índices pluviométricos desse grupo variam entre 1397,4 e 1500 mm/ano e desvio padrão entre 243,8 a 298,5 mm.

O grupo 3, formado pelos municípios localizados na porção central e sudeste da bacia. A pluviosidade média anual varia em torno de 1511,9 a 1598,3 mm e desvio padrão entre 249,2 a 321,9 mm. As altitudes dos postos pluviométricos inseridos nessa região variam de 580 a 900 metros. O grupo 4 abrange a porção sudeste da bacia. Foi inserido nesse grupo o posto 20 (região de Descalvado), localizado na região centro-oeste da bacia. Os índices pluviométricos desse grupo giram em torno de 1611,8 a 1748,4 mm e desvio padrão entre 301,8 e 338,4 mm. As altitudes dos postos pluviométricos inseridos nessa região variam de 680 a 1040 m.

Os postos pluviométricos considerados atípicos, são os postos 16 (C4-029) e 3 (C5-115), estão localizados nos municípios de Santa Cruz das Palmeiras e Barrinha, respectivamente. O posto 16 (região de Santa Cruz das Palmeiras) está situado em uma altitude de 610 m, na região leste da bacia. Os

índices pluviométricos dessa região giram em torno de 1500 a 2500 mm/ano, com desvio padrão aproximadamente de 476,2 mm. Vale destacar que nessa região houve uma ocorrência de maiores volumes de chuvas nos anos de 1986 a 1991, tal fato o diferenciou dos demais grupos. O posto 3 (Barrinha) está situado na porção noroeste da bacia, no compartimento do Baixo Mogi, com altitude de 490 m. A pluviosidade média anual dessa região gira em torno de 1600 mm, com desvio padrão em torno de 353,6 mm. Houve uma ocorrência de maiores volumes de chuvas, entre os anos 1985 e 1990.

As curvas apresentadas na Figura 7 mostram as distribuições mensais da precipitação média de cada grupo homogêneo.

Por meio dessas curvas foi possível comparar as regiões, bem como avaliar onde há maior ou menor variabilidade mensal. Observa-se que durante o período chuvoso, de outubro a março, há uma pequena dispersão entre os valores médios mensais dos quatro grupos analisados. Entretanto, nos meses mais secos junho, julho somente o grupo 4, região sudeste da bacia, apresenta uma variação em relação aos demais pois, este grupo apresenta maiores índices pluviométricos pois situa-se nos contrafortes da Mantiqueira, em agosto os grupos apresentaram baixa variabilidade na distribuição das chuvas na bacia.

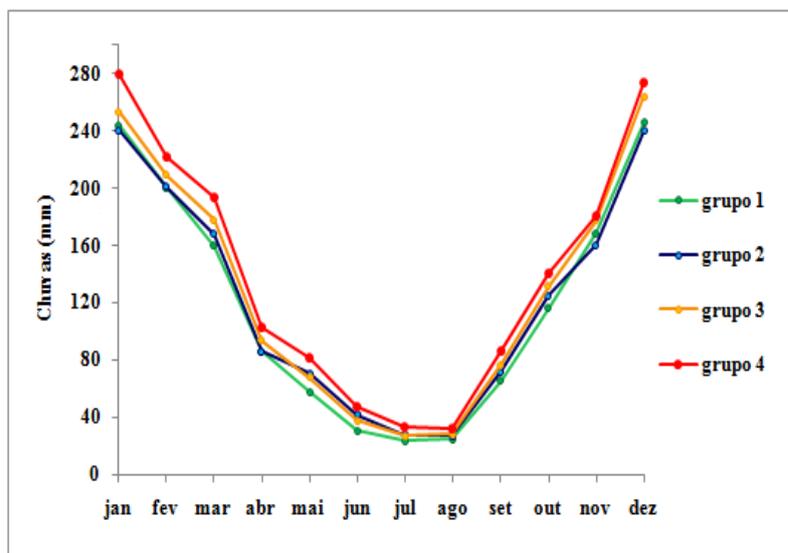


Figura 7. Precipitação média mensal dos quatro grupos homogêneos.

A Tabela 3 mostra a contribuição da precipitação anual, obtida por meio dos valores médios mensais acumulados dos postos de cada

grupo analisado, em um período de 25 anos (1975-1999), para as estações chuvosas (outubro a março) e secas (abril a setembro),

em cada grupo. Nela verifica-se a maior precipitação nas regiões dos grupos 3 e 4 em relação às demais, tanto na estação chuvosa

(precipitação anual acima de 1200 mm), como na estação seca (com precipitação anual acima de 330 mm).

Tabela 3. Contribuição da pluviosidade (em mm) nos períodos chuvosos e secos, para os quatro grupos homogêneos.

Período/Grupos	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4
Anual	1422,9	1459,7	1544,9	1674,3
Chuvoso	1135,1	1135,1	1213,6	1292,2
Seco	287,8	324,6	331,3	382,1
Chuvoso (%)	80	78	79	77
Seco (%)	20	22	21	23

Na região dos postos inseridos no grupo 1, a precipitação do período chuvoso representa 80% do total anual, o que significa uma prolongada estiagem entre abril e setembro, há decréscimo de 20% da precipitação. Na região dos postos do grupo 2, o período de outubro a março recebe cerca de 78% das chuvas anuais, portanto, com estiagem um pouco menos intensa, pois cerca de 22% ocorrem neste período.

Na região do grupo 3 concentram-se cerca de 79% das chuvas no período chuvoso, e cerca de 21% das chuvas anuais ocorrem no período seco. Nos postos da região do grupo 4, o período de outubro a março recebe cerca de 77% das chuvas anuais, portanto, com estiagem menos intensa, pois cerca de 23% das chuvas ocorrem neste período.

Através da análise sobre a precipitação pluviométrica mensal ocorrida na bacia do Rio Mogi durante o período de 1975 a 1999 verificou-se que a área possui um regime pluvial bem definido, com concentração de chuvas nos trimestres janeiro/fevereiro/março e outubro/novembro/dezembro e que o início de estiagem começa em abril e agravam-se nos meses de junho, julho e agosto. Notou-se que a distribuição das chuvas não é uniforme no período estudado, observou-se que as regiões dos grupos 1 e 2, noroeste e centro-sul da bacia, recebem menores contribuições e que as chuvas tendem a aumentar na região dos postos situados no grupo 4 (sudeste da bacia), estas regiões apresentam altitudes mais elevadas e estão situadas nos contrafortes da Serra da Mantiqueira.

CONCLUSÕES

De acordo com os resultados pôde-se concluir que ficou demonstrado, pela primeira vez, que a bacia hidrográfica do Rio Mogi Guaçu pode ser dividida em quatro grupos pluviometricamente homogêneos. A análise de agrupamentos hierárquicos com o método de Ward comprovou-se uma técnica eficaz para a regionalização de dados pluviométricos.

A distribuição espacial da pluviosidade ocorrida na bacia, no período em estudo, apresentou um padrão pluvial bem definido com índices pluviométricos mais elevados à montante (região Sudeste da bacia com maiores altitudes). Enquanto os menores índices foram

observados em áreas com baixas altitudes mais à jusante (região Noroeste da bacia).

No período de 1975 a 1999, a análise apontou para três anos padrão: 1983, 1994, 1995, respectivamente, ano chuvoso, seco e habitual. Nos anos extremos (chuvoso e seco) ocorridos, o comportamento da pluviosidade também apresentou comportamento similar ao da área de estudo, guardada as devidas proporções de índices pluviométricos.

No período chuvoso (primavera-verão), ocorrem cerca de 70% a 80% do total das precipitações anuais, restando 20% a 30% no período seco (outono-inverno). Os máximos volumes precipitados ocorrem nos meses de

dezembro a fevereiro, e os mínimos de junho a agosto.

Todo esse estudo, juntamente com a classificação climatológica, por meio da identificação dos quatro grupos pluviometricamente homogêneos obtidos no

âmbito da bacia, é importante para a inclusão dos resultados dessa pesquisa no plano de gerenciamento dos recursos hídricos, que darão suporte a modelos hidrológicos distribuídos sobre a Bacia.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ANDRÉ, R. G. B.; MARQUES, V. S.; PINHEIRO, F. M. A.; FERRAUDO, A. S. Identificação de regiões pluviometricamente homogêneas no Estado do Rio de Janeiro, utilizando-se valores mensais. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v.23, n. 4, p. 501-509, 2008.
2. BOIN, M. N. **Chuvas e erosões no oeste paulista: uma análise climatológica aplicada**. Rio Claro, 2000. 264 p. Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.
3. CBH-MOGI – COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO MOGI GUAÇU. **Diagnóstico da Bacia Hidrográfica do Rio Mogi Guaçu: Relatório Zero**. São Paulo: CBH – MOGI, 1999. 240 p.
4. CBH-MOGI – COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO MOGI GUAÇU. **Relatório de Situação 2008 – 2011**. São Paulo: CBH – MOGI, 2008. 93 p.
5. FERNANDEZ, M. N. **Preenchimento de falhas em séries temporais**. Rio Grande, 2007. 106 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Oceânica) – Universidade Federal do Rio Grande.
6. FERREIRA NETO, J. V. **Regiões climatologicamente homogêneas do Estado de Alagoas com base na análise espaço-temporal da pluviometria**. 2001. 215f. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2001.
7. FRITZSONS, E.; MANTOVANI, L. E.; WREGE, M. S.; CHAVES NETO, A. Análise da pluviometria para definição de zonas homogêneas no Estado do Paraná. **RA E GA – O Espaço Geográfico em Análise**. Curitiba, Departamento de Geografia – UFPR, v.23, p. 555-572, 2011.
8. GERARDI, L. H. O. & SILVA, B. C. N. **Quantificação em geografia**. São Paulo: DIFEL, 1981. 163 p.
9. GOMES, P. C. B.; DORES, L. A. B.; GALLI, M.A.; SILVA, V.; PAVANI, L. C.; et al.. **Plano da bacia hidrográfica do Rio Mogi Guaçu**. São Carlos: Suprema: 2003. 300p.
10. HAIR, J. F.; TATHAM, R. L.; ANDERSON, R. E.; BLACK, W. **Análise Multivariada De Dados**. Porto Alegre: Bookman, 2005, 5. ed., 593 p.
11. KELLER FILHO, T.; ASSAD, E. D.; LIMA, P. R. S. R. Regiões pluviometricamente homogêneas no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.40, n.4, p.311-322, abr. 2005.
12. LANDIM, P. M. B. **Análise estatística de dados geológicos**. São Paulo: Editora UNESP, 2003, 2. ed. , 253 p.
13. LANDIM, P. M. B. **Análise estatística de dados geológicos multivariados**. Editora Oficina de Textos, 2011, 208p.
14. LANDIM, P.M.B.; MONTEIRO, R. C.; CORSI, A. C. **Introdução à confecção de mapas pelo software SURFER**. Rio Claro: UNESP, 2002, 21p. Disponível em: <<http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/DIDATICOS/LANDIM/Surfer.pdf>>.
15. Acesso em: 05 set. 2011.
16. MACHADO, J. P.; BLANK, D. M. P.; ZONTA, J. H.; JUSTINO, F. B. Comportamento da precipitação e da temperatura no Rio Grande do Sul baseado na análise de agrupamento. **Ciência e Natura**, Universidade Federal de Santa Maria, v. 32, n.1, p. 49 – 63 2010.
17. MONTEIRO, C. A. F. **A dinâmica climática e as chuvas no estado de São Paulo: estudo geográfico em forma de Atlas**. São Paulo: Universidade de São Paulo, Instituto de Geografia, 1973. 129p.
18. SANT'ANNA NETO, J. L. **As chuvas no estado de São Paulo: contribuição ao estudo da variabilidade e tendência da pluviosidade na perspectiva da análise geográfica**. São Paulo, 1995. 202 p. Tese (Doutorado em Geografia) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas , Universidade de São Paulo.
19. SANTOS, A. M.; GALVÍNCIO, J. D.; MOURA, M. S. B. Homogeneização da precipitação pluviométrica na bacia hidrográfica do Rio Goiana – PE, com método de análise de agrupamento. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 1, n. 1, p. 14 -27. 2008.
20. SÃO PAULO (Estado). Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos de São Paulo. **Banco de Dados Pluviométricos do Estado de São Paulo**. [20--?]. Disponível em: <<http://www.sigrh.sp.gov.br/cgi-bin/bdhm.exe/plu?lig=podfp>>. Acesso em: 28 jan. 2012.
21. STURGES, H. A. The choice of a class interval. **Journal of the American Statistical Association**, New York, v. 21, n. 153, p. 65-66, mar 1926.
22. TUCCI, C. E. M. **Hidrologia ciência e aplicação**. 4. ed. Porto Alegre: UFRGS, 2009. 943 p.
23. UNAL, Y.; KINDAP, T.; KARACA, M. Redefining the climate zones of Turkey using cluster analysis. **International Journal of Climatology**, Istanbul, v.23, p. 1045 – 1055, 2003.
24. WARD, J. H. Hierarchical grouping to optimize an objective function. **Journal of the American Statistical Association**. Alexandria, v. 58, nº 301, p. 236-244, mar. 1963.
25. ZANCOPÉ, M. H. C. **Análise morfodinâmica do rio Mogi Guaçu**. Campinas, 2008. 112 p. Tese (Doutorado em Ciências) - Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas.
26. ZANDONADI, L. **As chuvas na bacia do Paraná: aspectos temporais, espaciais e rítmicos**. Rio Claro, 2009. 136 p. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.
27. ZAVATTINI, J. A. **As chuvas e as massas de ar no estado de Mato Grosso do Sul: estudos geográficos com vista à regionalização climática**. São Paulo: Cultura Acadêmica, 2009. 214p.
28. ZAVATTINI, J. A. & BOIN, M. N. **Climatologia Geográfica: Teoria e Prática de Pesquisa**. Campinas: Alínea, 2013. 150 p.

*Manuscrito recebido em: 16 de julho de 2013
Revisado e Aceito em: 03 de dezembro de 2013*