

COMPORTAMENTO ESPACIAL DA PRECIPITAÇÃO PLUVIAL MENSAL PROVÁVEL DA MESOREGIÃO OESTE DO ESTADO DO PARANÁ

Antonio Luiz Baú¹; Benedito Martins Gomes²; Manoel Moisés Ferreira de Queiroz²; Miguel Angel Uribe Opazo²; Silvio César Sampaio²

¹*Coordenação de Tecnologia Ambiental, Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná, Medianeira, PR, bau@md.cefetpr.br*

²*Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, PR.*

1 RESUMO

O objetivo do presente trabalho foi avaliar o comportamento espacial da precipitação mensal provável, associado ao nível de 75% de probabilidade, da mesoregião Oeste do Estado do Paraná, utilizando-se os dados de 90 estações meteorológicas com séries superiores a 20 anos de registros. Para tanto foram utilizadas ferramentas de estatística clássica e geoestatística. A estatística clássica foi aplicada, quando, a partir das séries mensais das referidas estações, procedeu-se ao ajuste para o modelo probabilístico teórico denominado modelo gama de distribuição de probabilidades. Foram analisadas 1080 séries de precipitações mensais. Por meio da geoestatística os valores de precipitação estimados pelo modelo de distribuição gama foram devidamente georeferenciados e por meio de suas técnicas foram desenvolvidos modelos experimentais de semivariogramas, possibilitando a devida interpolação dos dados e a geração dos mapas de contorno por período estudado, que representam, em síntese, a variabilidade da precipitação. A distribuição espacial da precipitação mensal provável sofreu variações de acordo com os níveis temporais pressupostos e o comportamento espacial da precipitação demonstrou semelhança em todas as séries, com exceção para a série de junho, que apresentou diferença de padrão relativamente às demais séries. Os menores valores da precipitação provável ocorreram no setor noroeste-norte da mesoregião estudada.

UNITERMOS: Precipitação Pluvial Mensal; Comportamento Espacial; Variabilidade Espacial; Geoestatística.

BAU, A. L.; GOMES, B. M.; QUEIROZ, M. M. F. de; OPAZO, M. A. U.; SAMPAIO, S. C. SPATIAL BEHAVIOR OF PROBABLE MONTHLY PLUVIAL PRECIPITATION IN THE WESTERN MESOREGION OF PARANÁ STATE

2 ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the probable monthly precipitation spatial behavior in the western mesoregion of Paraná State, considering a 75% probability and using 90 meteorological stations that had registered information series for over 20 years. Classical statistics was used to adjust the theoretical probability pattern, which was called gamma probability distribution model. 1080 series of monthly precipitation data were analyzed. Through geostatistics, precipitation scores calculated by the gamma probability distribution model were georeferenced and experimental semivariogram patterns were developed using

georeference techniques. This allowed data interpolation and map generation for the studied period, showing concisely precipitation variability. Probable monthly precipitation spatial distribution varied according to supposed weather levels; and spatial precipitation behavior was similar in all series, except for the June one, which presented a standard difference in relation to the other series. Lower scores of probable precipitation occurred in the northwestern-northern area of the studied mesoregion.

KEYWORDS: Pluvial Monthly Precipitation; Spatial Behavior; Spatial Variability; Geostatistics.

3 INTRODUÇÃO

O conhecimento da variabilidade espacial da precipitação é determinante para o processo de planejamento de atividades primordiais da vida do homem, como: os projetos agrícolas, projetos de proteção e conservação de solos, planejamento de atividades turísticas e de lazer, construção de barragens e reservatórios, previsão de enchentes, obras de regularização de vazões e controle de estiagens, além de uma infinidade de atividades nas quais a precipitação tem uma interferência menos direta, mas não menos importante.

O planejamento das ações que determinam algumas decisões em vários setores da economia requer uma análise temporal e espacial da precipitação sempre associada a uma probabilidade, visto que o comportamento da precipitação tem caráter eminentemente aleatório e de grande complexidade e diversidade.

De acordo com Lanna (1997), para quantificar uma variável hidrológica deve ser percebido que os processos hidrológicos desenvolvem-se no tempo e no espaço. Por exemplo, a chuva tem uma variação temporal e, por isso, uma variável que a quantifique deve assumir valores distintos ao longo do tempo. Ela também varia ao longo do espaço, ou seja, a variável representativa deveria assumir valores distintos em função das coordenadas do ponto geográfico de interesse.

Guerra (1988) concorda que estas variáveis têm em comum uma dupla característica: são aleatórias já que os valores numéricos observados podem variar consideravelmente de um ponto a outro no espaço; são espaciais e porque apesar de muito variáveis dentro do espaço, os valores numéricos observados não são inteiramente independentes.

Nos fenômenos espaciais estruturados, como a pluviometria de uma região, destacam-se duas características comuns que, aparentemente sem ligação são, no entanto, a razão da aplicação dos modelos probabilísticos e, em particular, dos modelos das funções aleatórias: em primeiro lugar, são entidades que se distribuem no espaço de um modo não aleatório, isto é, com uma certa estrutura; em segundo lugar, as amostras e observações disponíveis sobre aqueles fenômenos espaciais são, na sua maioria, parceladas, discretas e normalmente escassas, o que faz com que ao seu conhecimento global esteja sempre associada uma determinada incerteza (Soares, 2000).

Landim & Sturaro (2002) afirmam que a geoestatística calcula estimativas dentro de um contexto regido por um fenômeno natural com distribuição no espaço e, desse modo, supõe que os valores das variáveis, consideradas como regionalizadas, sejam espacialmente correlacionados.

Desta forma, conforme citam Carvalho & Vieira (2001), a análise da estrutura espacial deve ser vista como um passo fundamental, mas não final, que precede as técnicas de

estimação, de qualquer valor em qualquer posição da área em estudo, sem tendência e com variância mínima.

O problema básico a resolver com a geoestatística é o da caracterização da distribuição espacial das grandezas (quantidade e qualidade de recursos naturais) e o da avaliação de medidas de incerteza, tendo em conta a maior ou menor variabilidade do fenômeno espacial, a qualidade das amostras e observações, o tipo de modelo geoestatístico escolhido e o maior ou menor grau de conhecimento que se tem do fenômeno (Soares, 2000).

Na teoria fundamental da geoestatística tem-se sempre a esperança de que, na média, as amostras mais próximas no tempo e no espaço sejam, de certo, mais similares entre si do que as que estiverem mais distantes (Isaaks; Srivastava, 1989).

O semivariograma é uma ferramenta básica de suporte às técnicas de krigagem, que permite representar quantitativamente a variação de um fenômeno regionalizado no espaço. O semivariograma é fundamental na decisão para aplicação da geoestatística, porque determina, sobretudo, a dependência espacial entre as amostras.

De acordo com Isaaks & Srivastava (1989) a Krigagem é um procedimento de interpolação de valores em uma superfície contínua. Difere dos outros métodos de interpolação por fazer uso explicitamente da variância entre os valores observados, o variograma. Baseia-se na combinação linear ponderada dos dados disponíveis, aplicada ao modelo de variograma adotado.

O objetivo básico do método geoestatístico, por meio da krigagem, é interpolar valores de pontos ou áreas que não são amostradas, usando dados de pontos amostrados adjacentes (Phillips, 1992).

Em seu estudo, Tabios & Salas (1985) compararam vários métodos para estimar a variabilidade da precipitação média anual e concluíram que os métodos geoestatísticos foram melhores que os polígonos de Thiessen, interpolação polinomial e o método de inverso da distância ponderada.

Neste contexto, o presente estudo tem como objetivo fundamental a análise, discussão e avaliação do comportamento da variabilidade espacial da precipitação mensal provável da mesoregião oeste do estado do Paraná, considerando o nível de 75% de probabilidade, bem como, a análise do ajuste das séries amostrais de precipitação mensal ao modelo teórico de distribuição gama de probabilidade.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Os registros das séries históricas de precipitação foram obtidos junto a Superintendência de Desenvolvimento dos Recursos Hídricos do Estado do Paraná (SUDERHSA), por meio eletrônico e em arquivos de texto, que constam de registros dos totais mensais de precipitação, já devidamente consistidos e atualizados até o ano de 2002.

A partir dos registros, por meio de rotinas de programação, procedeu-se à leitura dos dados, a detecção de dados faltantes e o tamanho das séries, selecionando, desta maneira, as estações pluviométricas a serem utilizadas neste estudo.

O tamanho das séries históricas selecionadas foi determinado, em função da real existência dos dados e de forma a conter, minimamente, elementos meteorológicos com período superior a 20 anos de registros, uma vez que o nível de informações disponíveis, relativo ao escopo e a área determinada para este estudo, são ainda muito escassos. Melhor estudo seria possível, notadamente, com séries de dados extensas, no entanto, por ser uma região de colonização muito recente, os dados e informações são também precipuamente

recentes. No entanto, conforme salienta Bailey (1990), para um bom estudo da necessidade de irrigação de uma dada região devem ser analisados os elementos meteorológicos de um período de aproximadamente vinte anos.

Os dados faltantes, nas referidas séries, foram preenchidos por meio de uma rotina de programação computacional, utilizando-se, para isso, o Método de Ponderação Regional.

Para a área experimental adotada, a Mesoregião Oeste do Estado do Paraná, foram selecionadas as séries mensais históricas de 90 estações pluviométricas, visualizada na Figura 1, correspondendo a 1080 séries de precipitação mensal. Considerou-se, entre as 90 estações, 10 estações de entorno da área experimental com o propósito de melhorar a cobertura no processo de interpolação e conseqüentemente gerar mapas de isolinhas mais homogêneos e precisos dentro da área de estudo.

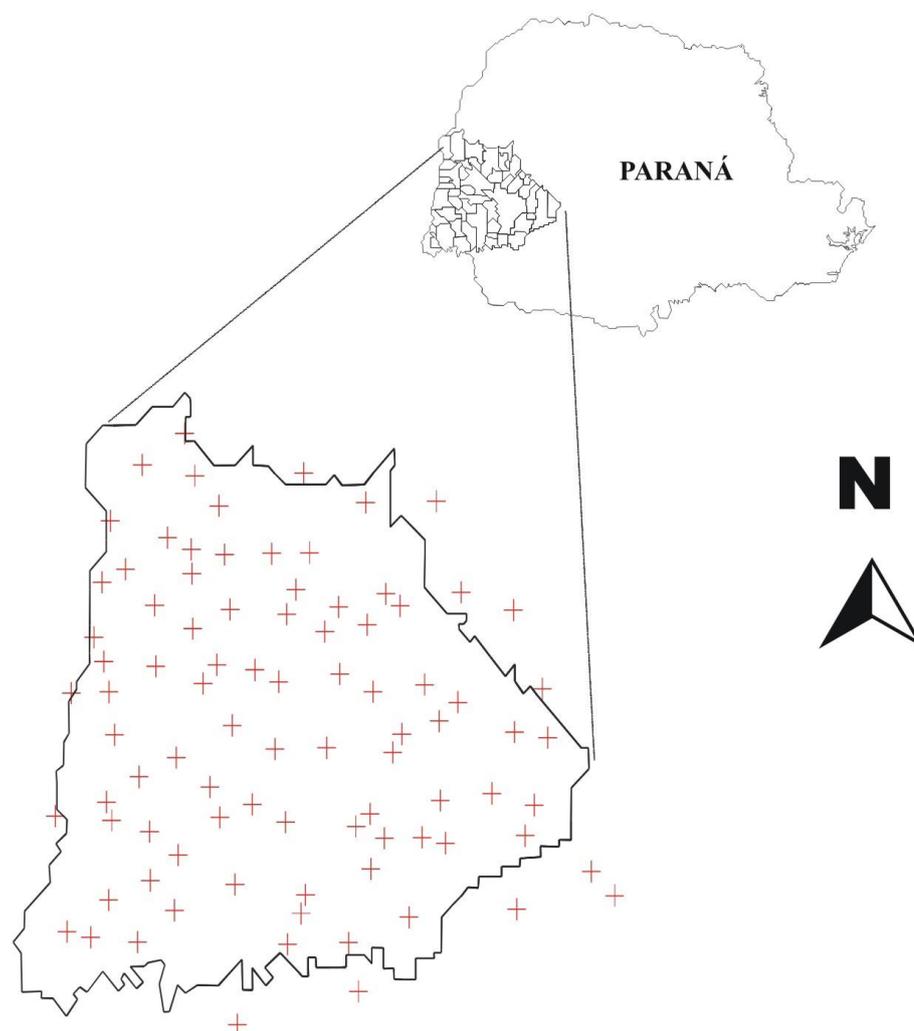


Figura 1. Distribuição espacial das estações pluviométricas da mesoregião oeste do estado do paraná e entorno.

Foram utilizadas, no presente estudo, as ferramentas da estatística clássica e da geoestatística. A estatística clássica foi aplicada quando, a partir das séries mensais, procedeu-se a um ajuste para o modelo probabilístico teórico denominado modelo gama de distribuição de probabilidades.

O modelo gama de distribuição de probabilidades foi representado pela função densidade $f(X)$, dada por:

$$f(X) = \frac{1}{\beta^\alpha \cdot \Gamma(\alpha)} \cdot X^{\alpha-1} \cdot e^{-X/\beta}$$

sendo: $\beta > 0$, $\alpha > 0$, $0 \leq X < \infty$ e $f(X) = 0$ para $X < 0$; em que β representa o parâmetro de escala, dependente da variabilidade das precipitações no período considerado; α representa o parâmetro de forma, cujo valor é proporcional à precipitação no período considerado; e representa a base do logaritmo neperiano e Γ representa o símbolo da função gama, definida como:

$$\Gamma(\alpha) = \int e^{-x} \cdot x^{\alpha-1} \cdot dx$$

Para a devida validação do ajuste foram utilizados os testes de aderência de Kolmogorov-Smirnov e Qui-quadrado, com significância de 5% de probabilidade. Para consecução dos referidos testes foi elaborada uma rotina de programação computacional utilizando-se o software MATLAB R12, versão 6.0.

A análise geoestatística, preponderante neste estudo, foi devidamente aplicada para a análise da variabilidade espacial dos dados de precipitação. Para a referida análise, os registros das séries históricas foram todos devidamente georreferenciados no espaço, sendo a partir das informações iniciais convertidos os dados de coordenadas geográficas das estações pluviométricas selecionadas para coordenadas cartesianas no sistema Universal Transversa de Mercator.

Para o estudo da variabilidade das séries mensais foi utilizado o estimador clássico de Matheron, por meio da função semivariância, utilizada com o propósito primeiro de medir a dependência entre os pontos amostrais, que se encontram distribuídos em um sistema espacial de referência e na seqüência para a interpolação dos valores com o objetivo da construção dos mapas de isolinhas.

As semivariâncias foram calculadas pela equação:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2,$$

Em que:

$\gamma(h)$ é o semivariograma estimado;

$N(h)$ é o número de pares de valores medidos, $Z(x_i)$ e $Z(x_i + h)$;

$Z(x_i)$ e $Z(x_i + h)$ são os pares de observações de precipitação pluvial, separados pelo vetor (h)

A análise dos semivariogramas individuais para as séries mensais foi realizada para identificar e definir a estrutura básica de variabilidade espacial dos dados. Para cada série mensal foram calculadas as semivariâncias e o respectivo ajuste dos modelos dos

semivariogramas. Para tanto, considerou-se como distância máxima para cálculo da semivariância (*cut off*) um valor equivalente a 50% da distância máxima entre observações.

As etapas para a realização dos procedimentos necessários para o cálculo dos semivariogramas e seus consequentes ajustes ocorreram de forma seqüencial e exigiram o uso do software geostatístico Gama Design 5.0.3 (GS+).

O método utilizado para verificação da qualidade do modelo do ajuste do semivariograma é intrínseco ao software utilizado e adota a metodologia dos mínimos quadrados utilizando como critérios: *o coeficiente de determinação* (R^2) que é uma relação entre a soma de quadrados devido ao modelo ajustado e a soma de quadrados total, e que quanto mais próximo da unidade estiver o valor R^2 melhor será o modelo ajustado; e a *Soma de quadrados de resíduos* (RSS) considerando que quanto menor for o valor do RSS, melhor será o modelo de semivariograma ajustado (Guimarães, 2001).

Da mesma forma, para a construção dos mapas de isolinhas foi utilizado o software Gama Design 5.0.3(GS+).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir das séries mensais, com as falhas devidamente preenchidas, procedeu-se o ajuste para o modelo probabilístico teórico denominado distribuição gama de probabilidades por estação.

Todas as séries mensais, relativas às estações em estudo, determinam uma excelente qualidade de ajuste, constatada por meio dos valores relativos aos testes de aderência Qui-quadrado (χ^2) e Kolmogorov-Smirnov (KS). Mesmo nas séries mensais de algumas estações, quando o teste Qui-quadrado não atendeu a hipótese H_0 ($\chi^2_{\text{calculado}} < \chi^2_{\text{crítico}}$), o teste de Kolmogorov-Smirnov atendeu à referida hipótese, isto é, a hipótese de igualdade das amostras para o nível de significância desejado. Portanto, todas as séries mensais sob análise, ajustaram-se ao modelo de distribuição gama de probabilidade.

Para a avaliação da tendência direcional, foram utilizados gráficos do tipo *post plot* em função de sua caracterização como ferramenta importante na análise deste fenômeno. A escala de classificação da precipitação, neste tipo de gráfico, baseia-se nos valores relativos aos seus quartis e desta maneira, figuras idênticas, utilizadas como simbologia de caracterização dos quartis, quando indicam tendência de concentração em posições específicas da área dos referidos gráficos correspondem sempre à existência de uma tendência direcional dos dados em estudo.

A análise destes gráficos *post plot* confirmaram a inexistência de tendências direcionais para as séries relativas aos meses de Janeiro, Fevereiro, Março, Abril, Maio, Agosto, Setembro, Novembro e Dezembro, uma vez que, não verificou-se tendência de concentração de valores em posições específicas dos referidos gráficos. Para tanto, os dados podem ser considerados isotrópicos, o que indica, para essa variável, que as hipóteses necessárias para o uso da geoestatística no estudo da variabilidade espacial foram satisfeitas.

No entanto, nas séries relativas aos meses de Junho, Julho e Outubro verificou-se uma tendência direcional dos dados. Os valores mais altos do referido percentil, na série de Junho, apresentaram-se na parte inferior do gráfico, ao passo que nas séries relativas aos meses de Julho e Outubro os valores mais altos apresentaram-se na parte inferior direita dos gráficos, confirmando assim, para as devidas séries, a condição de anisotropia para os referidos dados, o que determinou a utilização de técnicas para eliminação das referidas tendências.

Os parâmetros relativos à análise dos semivariogramas com os devidos modelos ajustados constam da Tabela 01, onde observa-se que a série mensal que apresentou o maior alcance (a) foi a série relativa ao mês de Fevereiro com valor equivalente a 193100,00 metros.

Tabela 1 - Resultados da análise geostatística, relativos às séries mensais da precipitação provável da mesoregião oeste do estado do paraná

SÉRI E	MODELO	EFEITO PEPITA (Co)	PATAMA R (Co + C ₁)	ALCANC E (a) (m)	E**	R ²	RSS
Jan	Esférico	149,10	298,30	64800,00	0,500	0,855	2666
Fev	Esférico	115,00	452,20	193100,00	0,254	0,949	2811
Mar	Esférico	106,50	238,80	103500,00	0,446	0,888	1973
Abr	Linear (EPP)	104,63	121,53	101111,46	0,861	0,086	3736
Mai	Linear (EPP)	106,86	106,86	101111,46	1,000	0,001	946
Jun*	Linear (EPP)	447,75	450,88	101111,46	0,993	0,001	16083
Jul*	Linear (EPP)	69,73	76,11	101111,46	0,916	0,079	569
Ago	Exponencial	13,90	83,95	44000,00	0,166	0,780	814
Set	Exponencial	65,90	200,00	95800,00	0,330	0,899	714
Out*	Exponencial	163,90	327,90	24100,00	0,500	0,409	14459
Nov	Exponencial	169,90	351,20	77900,00	0,484	0,718	5620
Dez	Linear (EPP)	263,67	263,67	101111,46	1,000	0,245	13032

** - Coeficiente de Efeito Pepita

R² – Coeficiente de determinação.

RSS – Soma dos quadrados dos resíduos.

EPP – Efeito Pepita Puro.

• – Semivariograma dos resíduos.

Conforme pode-se observar os valores de R² e RSS, constantes na Tabela 01, correspondem a melhor avaliação possível considerando-se os critérios previamente definidos. O critério RSS de verificação da qualidade de ajuste foi preferido comparativamente ao critério R², tendo em vista a sua robustez e sensibilidade de avaliação.

Os semivariogramas relativos a cada uma das séries mensais da precipitação provável têm como objetivo principal determinar as estruturas de dependência espacial.

O grau de dependência espacial dos semivariogramas, evidenciado na Tabela 2, de acordo com Cambardella et al. (1994) pode ser expresso pelo coeficiente de efeito pepita (E), que é a relação percentual entre o efeito pepita e o patamar.

O coeficiente do efeito pepita variou entre o menor valor 16,60 %, para a série mensal relativa ao mês de agosto e o maior valor 100,00 %, para as séries mensais relativas aos meses de maio e dezembro. O nível de dependência espacial para as séries de abril, maio, junho, julho e dezembro determinaram um modelo de semivariograma do tipo efeito pepita

puro, o que significa uma distribuição espacial aleatória da precipitação provável, para as referidas séries, com as amostras totalmente independentes entre si.

Tabela 2 - Resultado da análise de dependência espacial

SÉRIE	MODELO	E** (%)	NÍVEL DE DEPENDÊNCIA ESPACIAL
Jan	Esférico	50,00	Moderada
Fev	Esférico	25,40	Forte
Mar	Esférico	44,60	Moderada
Abr	Linear (EPP)*	86,10	Independente
Mai	Linear (EPP)*	100,00	Independente
Jun	Linear (EPP)*	99,30	Independente
Jul	Linear (EPP)*	91,60	Independente
Ago	Exponencial	16,60	Forte
Set	Exponencial	33,00	Moderada
Out	Exponencial	50,00	Moderada
Nov	Exponencial	48,40	Moderada
Dez	Linear (EPP)*	100,00	Independente

* – Efeito Pepita Puro.

** – Coeficiente de Efeito Pepita.

O efeito pepita pode ser atribuído a erros de medição ou ao fato de que os dados não foram coletados a intervalos suficientemente pequenos para mostrar o comportamento espacial subjacente do fenômeno em estudo. Pode-se, portanto, diante de tal afirmativa, concluir que o fenômeno de efeito pepita puro ocorrido com as séries relativas aos meses de abril, maio, junho, julho e dezembro ocorreram pelo fato de os dados de precipitação estarem condicionados às estações meteorológicas, espaçadas entre si a distâncias relativamente consideráveis, dificultando, assim, a manifestação do comportamento espacial subjacente da precipitação mensal provável para os referidos períodos.

Os mapas de contorno, para os valores da precipitação provável associada ao nível de 75% de probabilidade, para cada mês, foram construídos considerando-se como base os parâmetros de ajuste e os modelos ajustados dos semivariogramas, para análise do comportamento espacial das séries em estudo.

Os mapas relativos às séries correspondentes aos meses de abril, maio, junho, julho e dezembro, respectivamente representados pelas figuras 05, 06, 07, 08 e 13, considerando-se a condição de independência espacial dos referidos dados, foram construídos a partir do processo de interpolação pelo método do inverso do quadrado da distância, enquanto que os mapas para as séries correspondentes aos meses de janeiro, fevereiro, março, agosto, setembro, outubro e novembro, respectivamente representados pelas figuras 02, 03, 04, 09, 10, 11 e 12 foram construídos a partir do processo de interpolação pelo método da krigagem.

Na Figura 02, está configurado o comportamento espacial da precipitação mensal provável da série de janeiro, que apresentou variabilidade da precipitação com redução da intensidade no sentido noroeste-sudeste. Observou-se também uma intensidade de precipitação maior sobre a região sul do mapa, com predominância, nesta mesma região, para o sentido oeste-leste.

A série do mês de fevereiro, visualizada na Figura 03, apresentou comportamento espacial semelhante à precipitação relativa à série de janeiro, inclusive guardando semelhança

nos respectivos valores, porém, caracterizando ainda mais a variabilidade no sentido noroeste-sudeste.

A Figura 04 representa o mês de março, no qual o comportamento espacial da precipitação ocorreu de forma pouco diferenciada relativamente aos meses de janeiro e fevereiro, com a concentração dos valores maiores no centro-sul da região e predominância de redução de intensidade para o sentido sudeste-noroeste, a partir do centro-sul. Observou-se também uma certa homogeneidade nos valores no sentido centro-leste do referido mapa, ocorrendo assim a maior variabilidade na direção norte-sul com aumento da intensidade a partir do centro-sul, no sentido norte.

A série relativa ao mês de abril, apresentada na Figura 05, coincide com o início do outono e se caracteriza por relativo decréscimo na intensidade da precipitação provável. Essa série apresentou comportamento espacial similar a dos meses anteriores, todavia, com o surgimento de intensidades pontuais isoladas e diferenciadas ao longo de toda a região, fato justificado pela ocorrência do efeito pepita puro.

Para a série relativa ao mês de maio, de acordo com a Figura 06, o comportamento espacial da precipitação provável apresentou-se de forma bastante variável, com os maiores valores ocorrendo no centro-leste da região e aumentando radialmente para os extremos, exceto para o sentido sudeste, a partir do centro, visto que, neste sentido, os valores de precipitação guardaram uma certa homogeneidade, apresentando assim, uma variação menor. Também nesta série ocorreu o surgimento de intensidades pontuais isoladas e diferenciadas ao longo da região, motivadas pela ocorrência do efeito pepita puro.

Para o mês de junho, que representa o final do outono e o início do inverno, conforme Figura 07, o comportamento espacial da precipitação provável apresentou tendência de concentração dos valores maiores na região centro-norte do mapa, ao passo que os menores valores concentraram-se na região sul-sudeste e extremo leste do mesmo. A dispersão de intensidades pontuais isoladas ao longo da região ocorreu por conta do efeito pepita puro, identicamente ao caso da série relativa ao mês de maio.

Na série relativa ao mês de julho, apresentada na Figura 08, o comportamento espacial da precipitação provável apresentou tendência de concentração dos menores valores na região norte-noroeste e sul do mapa. A maior variabilidade observada ocorreu na direção norte-sul. Por conta do efeito pepita puro, portanto, da independência espacial entre os dados, também esta série apresentou intensidades pontuais dispersas.

Os menores valores da precipitação provável apresentaram-se no mês de agosto, visualizados na Figura 09, e ocorreram no norte da região. O comportamento espacial neste mês variou no sentido norte-sul, aumentando 100% de um extremo ao outro.

A Figura 10, relativa à série do mês de setembro, já no final do inverno, demonstra uma variabilidade no comportamento da precipitação provável no sentido noroeste-sudeste, bem caracterizado, com crescimento da intensidade neste sentido.

Na série relativa ao mês de outubro, mostrada na Figura 11, o comportamento espacial da precipitação provável apresentou-se com a concentração dos menores valores nas regiões extremas do mapa, exceto para a região leste, e por meio de isolinhas concêntricas os valores aumentaram até o centro da região, onde ocorreu uma concentração dos maiores valores de intensidade.

O comportamento espacial da precipitação provável para a série relativa ao mês de novembro, observado na Figura 12, demonstrou uma variabilidade com a apresentação dos maiores valores no centro-leste da região crescendo radialmente no sentido norte e sul mais intensamente, a partir do centro e, do mesmo modo, no sentido leste e oeste, porém, de forma menos intensa. Observou-se ainda que no sentido sudeste, a partir do centro, ocorreu relativa

homogeneidade no comportamento dos valores de precipitação.

O mês de dezembro, apresentado na Figura 13, representa o início do verão e o término da primavera, em que o comportamento espacial da precipitação provável, para este mês, apresentou-se de forma mais homogênea, visto que a diferença entre o maior e o menor valor não ultrapassou a 18%. A sua intensidade ocorreu de forma pontual e mais intensa no centro-norte da região e a maior variabilidade ocorreu no sentido leste-oeste. A dispersão de intensidades pontuais isoladas ao longo da região ocorreu de forma idêntica às séries relativas aos meses de abril, maio, junho e julho, em razão da independência espacial entre os dados.

Por meio da análise elaborada para cada série, concluiu-se que as séries relativas aos meses de janeiro, fevereiro e março - que correspondem à estação de verão - guardam entre si uma relação de similaridade no comportamento espacial da precipitação provável, com variação extremamente bem definida no sentido noroeste-sudeste, com os menores valores ocorrendo no setor noroeste e os maiores valores no setor sudeste da região.

As séries mensais de abril, maio e junho - que correspondem à estação de outono - apresentaram um comportamento espacial diferenciado sob o aspecto geográfico na apresentação das isolinhas da precipitação provável no âmbito da região e, notadamente, um comportamento similar com relação à intensidade da referida precipitação. Com referência aos meses de julho, agosto e setembro, meses correspondentes à estação de inverno, o comportamento espacial caracterizou-se pela diferença considerável entre as séries, do ponto de vista das isolinhas, sobretudo, para os meses de julho e agosto. Essa estação caracterizou-se pela ocorrência dos menores valores de precipitação provável do ano.

As séries relativas a outubro, novembro e dezembro, meses correspondentes à estação de primavera, comportaram-se espacialmente de maneira similar com relação à apresentação geográfica dos maiores valores da precipitação provável no mapa, no entanto, com uma grande diferenciação para os menores valores. A série relativa ao mês de dezembro caracterizou-se diferencialmente das séries de outubro e novembro pela ocorrência de intensidades pontuais isoladas.

Contudo, pode-se salientar que o comportamento espacial da precipitação mensal para a mesoregião em estudo, como de outras regiões, pode ser avaliado pelos mapas de contorno (Figuras 02 a 13), cujas informações, contidas nestes mapas, são muito úteis para melhor entender a variabilidade das propriedades da precipitação pluvial.

O comportamento espacial das séries mensais de precipitação possui uma estreita correlação com a variação temporal - como constatado por Gomes (2001) onde afirma que considerando os padrões de comportamento encontrados, pôde-se avaliar que os locais com menores índices do percentil 75 da precipitação decenal são variáveis de acordo com os níveis temporais - e a variação altimétrica como constatado por Carvalho & Queiroz (2002), no seu estudo sobre o estado do Paraná, onde concluem que a correlação linear entre altitude e precipitação é altamente significativa, indicando que é plausível usar altitude com variável colocalizada na distribuição espacial de precipitação.

A distribuição da precipitação nas quatro estações do ano, considerando-se a média do percentil 75 da precipitação mensal provável, determinou, para a região em estudo, para o período de verão 28,21% de disponibilidade hídrica pluvial, para o período de outono 21,16%, para o período de inverno 15,45% e para o período de primavera 35,18%, caracterizando, desta forma, uma estação seca que corresponde aos meses de abril a setembro (36,6%) e uma estação chuvosa que corresponde aos meses de outubro a março (63,4%), com ocorrência de maior precipitação para os meses de Outubro, Novembro e Dezembro. Também Ribeiro & Lunardi (1997) em seu trabalho sobre a Precipitação Mensal Provável para Londrina - PR, através da Função Gama, observaram que 66% do total de chuva do ano concentrava-se nos

meses de outubro a março e que dezembro caracterizava-se como o mês mais chuvoso representando 14,5% da chuva anual e agosto o mês menos chuvoso com apenas 3,3% de precipitação. Da mesma forma Assad & Rodrigues Castro (1991) em seu trabalho Análise Frequencial da Pluviometria para a Estação de Sete Lagoas - MG. afirmaram que a distribuição da precipitação se concentra nos meses de outubro a março, sendo que os meses mais chuvosos são novembro, dezembro e janeiro. Brath, Montanari & Toth (2004) em seu estudo afirmam que os maiores eventos de precipitação ocorrem de outubro a abril.

Os aspectos que envolvem o comportamento espacial da precipitação pluvial através do estudo da variabilidade foram observados por vários autores e em vários períodos diferentes, como: a variabilidade interanual, estacional, mensal, decenal e até mesmo a variabilidade diária para algumas regiões do país. Este estudo tratou da variabilidade mensal e considerou os totais mensais de precipitação de séries históricas de pelo menos 20 anos. É fato que todos os fenômenos que influenciam a variabilidade da precipitação em períodos maiores que o período mensal influenciam também a variabilidade desse período.

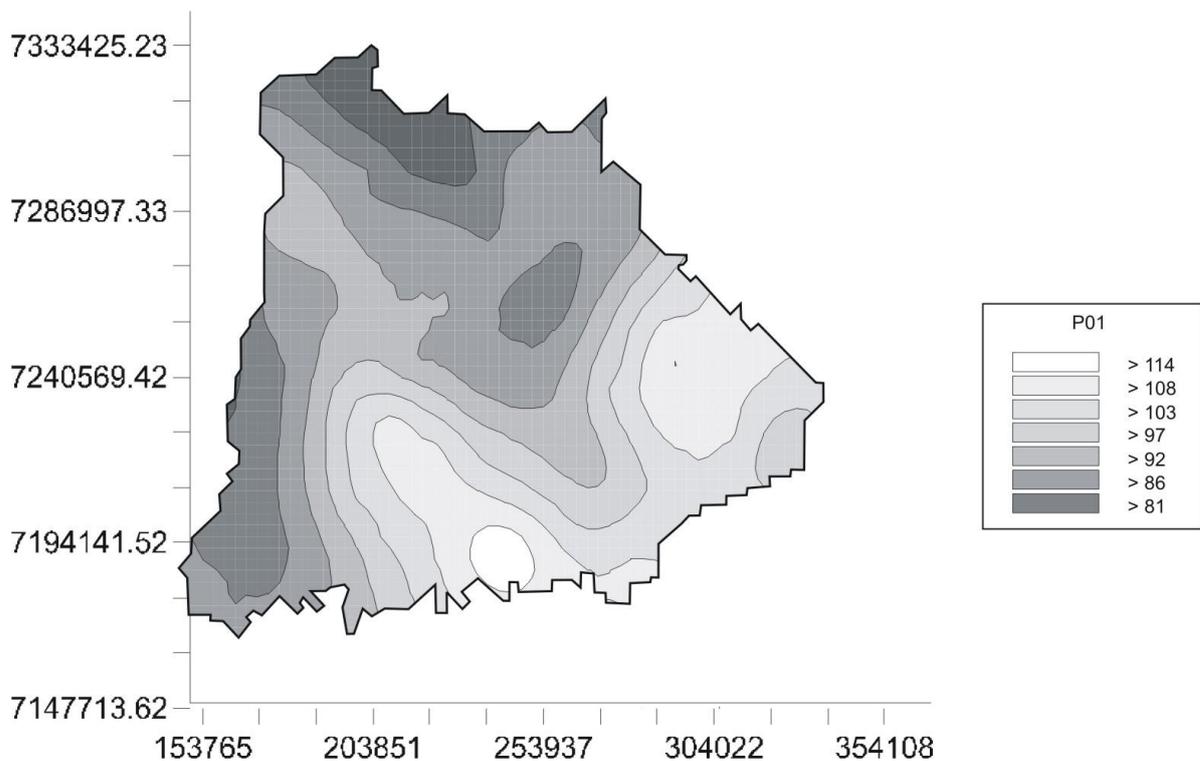


Figura 02 - Mapa da precipitação mensal provável (mm) da mesoregião Oeste do Estado do Paraná - série de janeiro

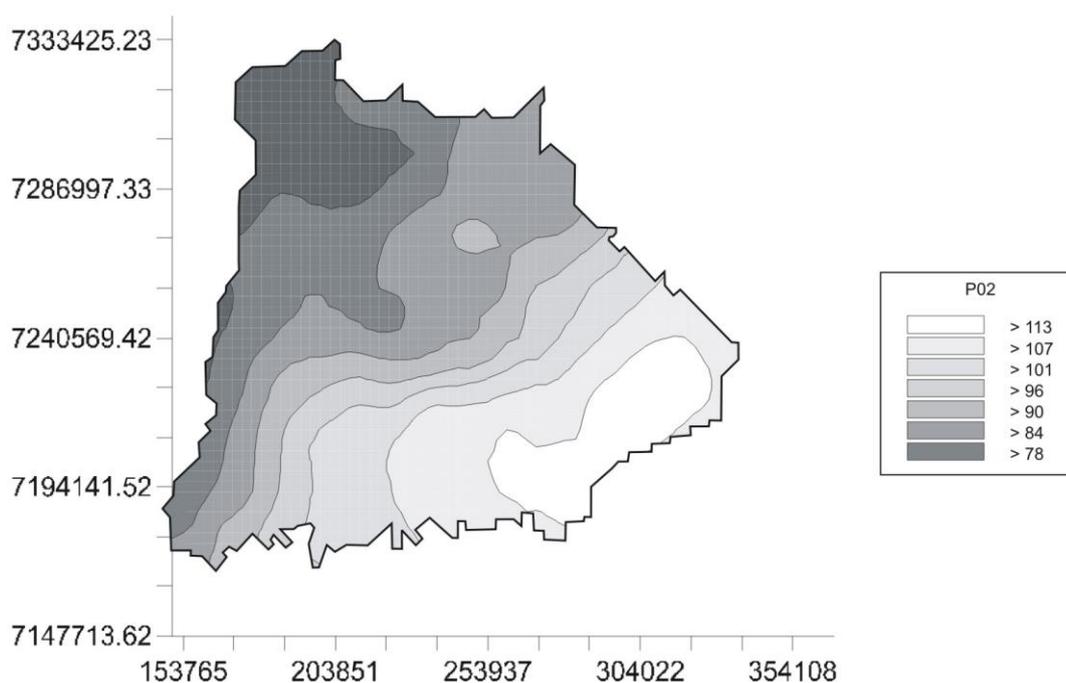


Figura 03 - Mapa da precipitação mensal provável (mm) da mesoregião Oeste do Estado do Paraná - série de fevereiro

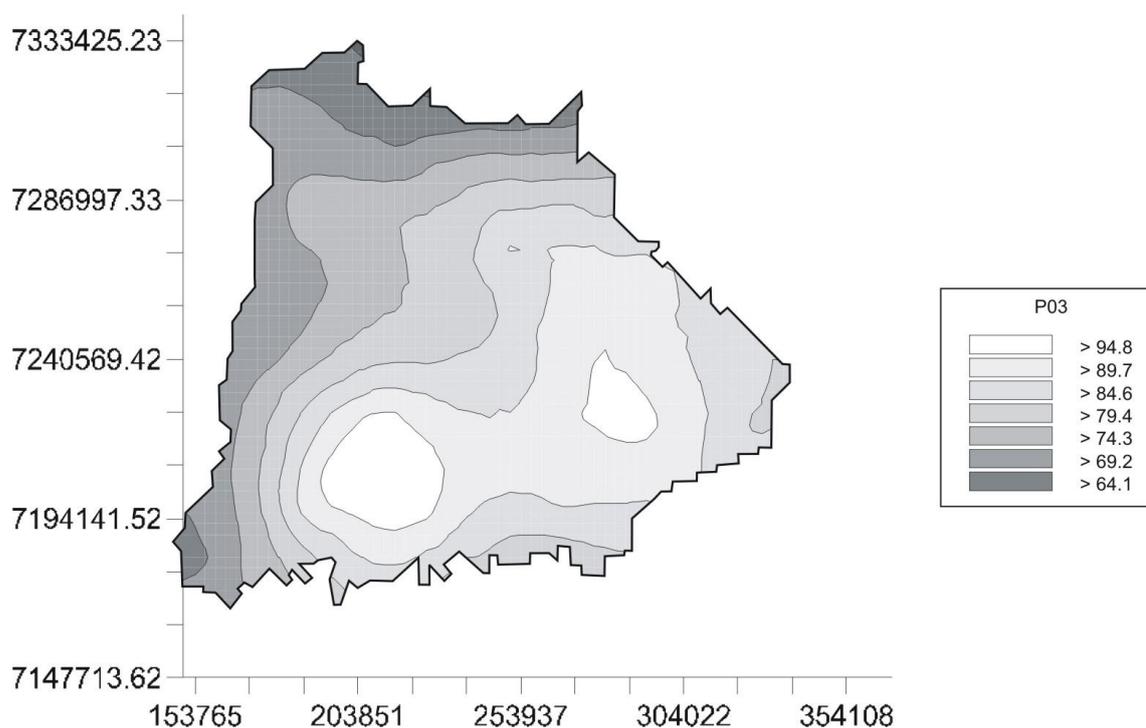


Figura 04 - Mapa da precipitação mensal provável (mm) da mesoregião Oeste do Estado do Paraná - série de março

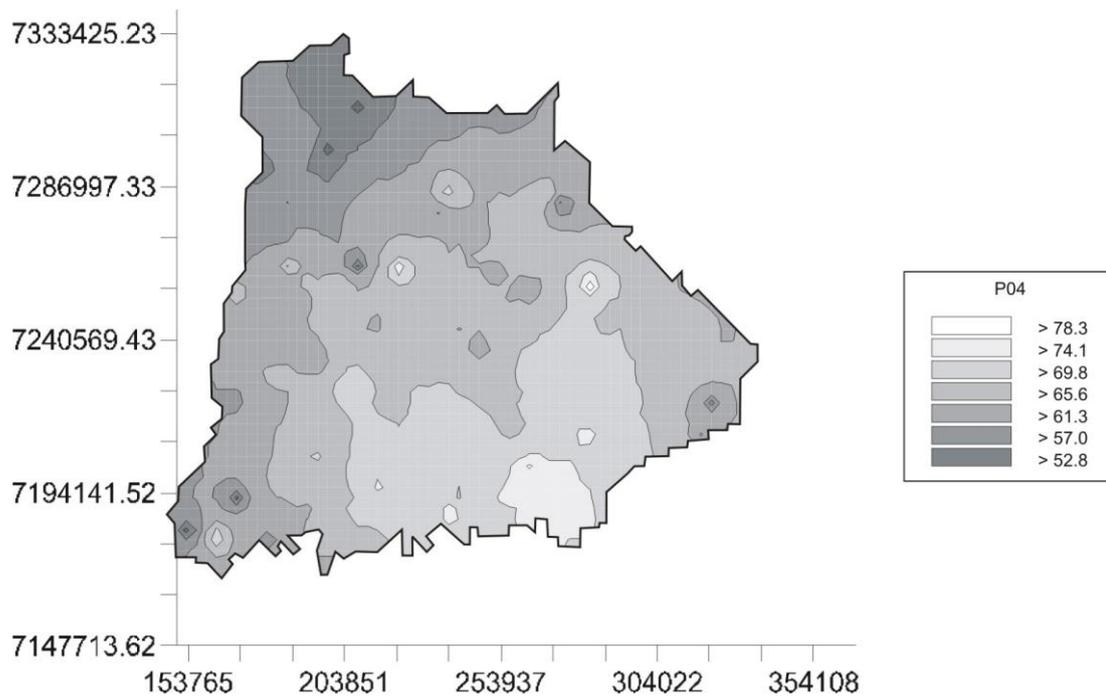


Figura 05 - Mapa da precipitação mensal provável (mm) da mesoregião Oeste do Estado do Paraná - série de abril

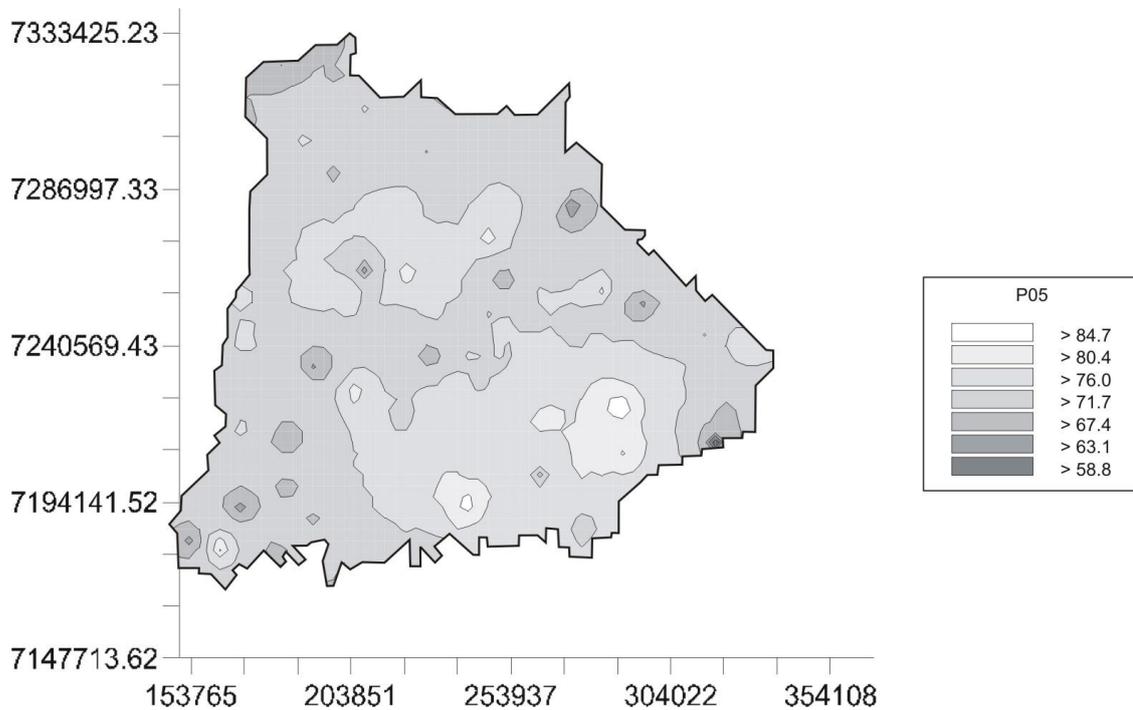


Figura 06 - Mapa da precipitação mensal provável (mm) da mesoregião Oeste do Estado do Paraná - série de maio

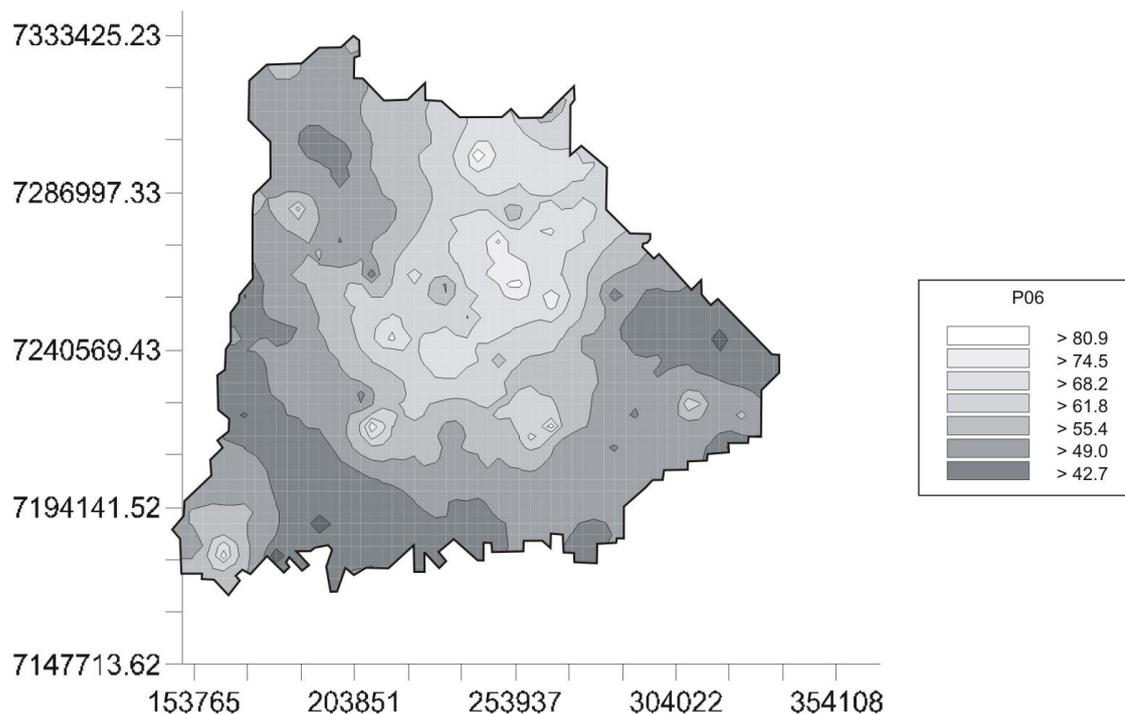


Figura 07 - Mapa da precipitação mensal provável (mm) da mesoregião Oeste do Estado do Paraná - série de junho

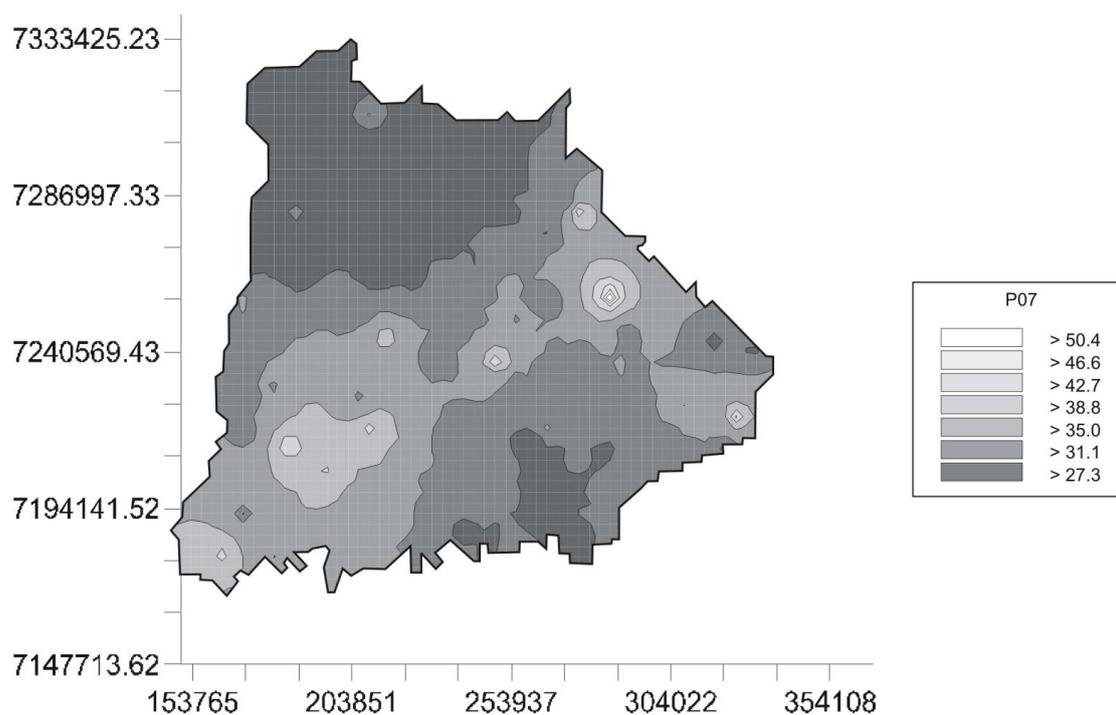


Figura 08 - Mapa da precipitação mensal provável (mm) da mesoregião Oeste do Estado do Paraná - série de julho

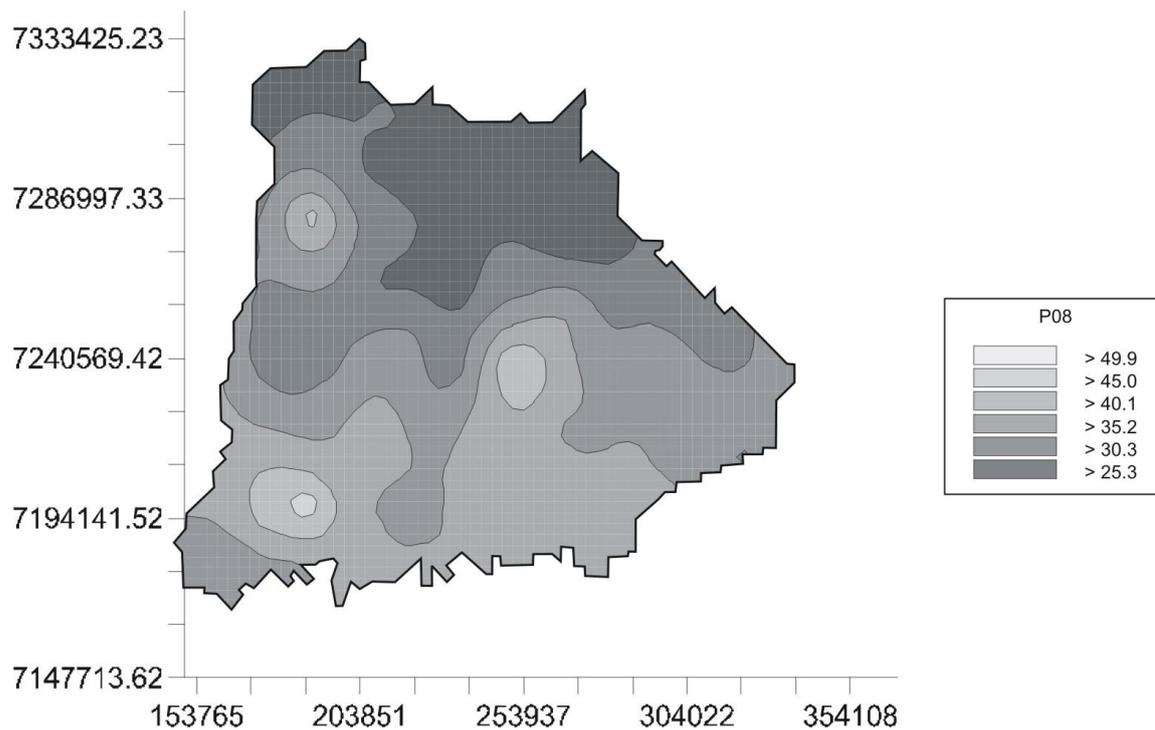


Figura 09 - Mapa da precipitação mensal provável (mm) da mesoregião Oeste do Estado do Paraná - série de agosto

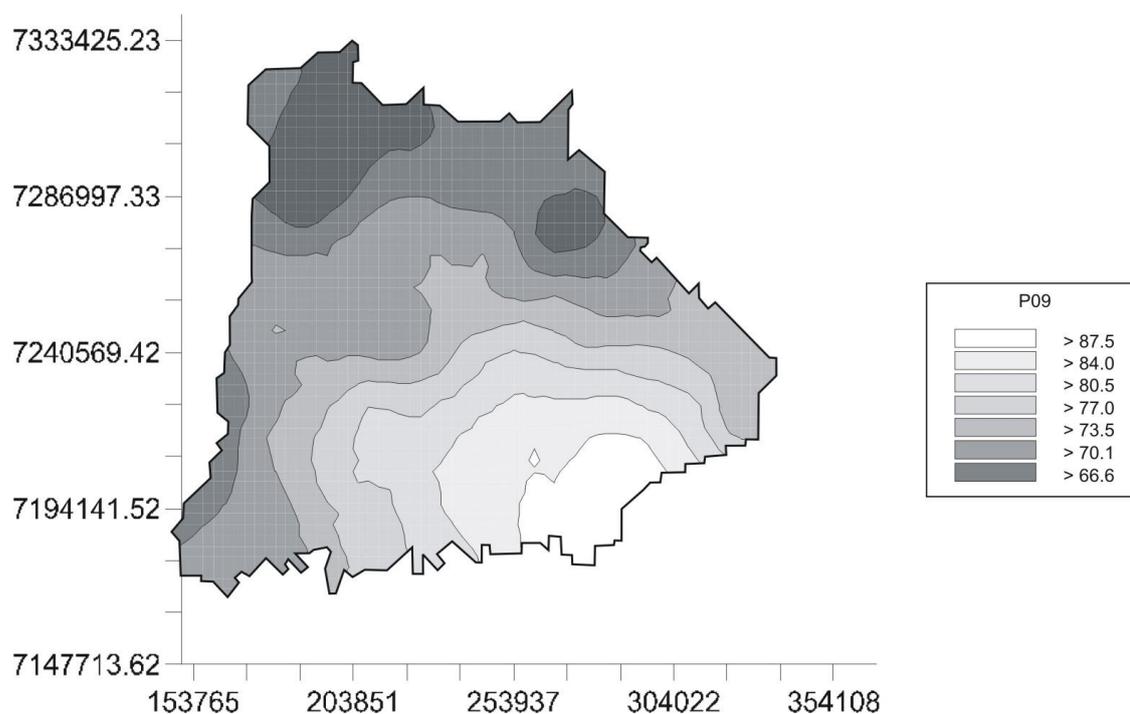


Figura 10 - Mapa da precipitação mensal provável (mm) da mesoregião Oeste do Estado do Paraná - série de setembro

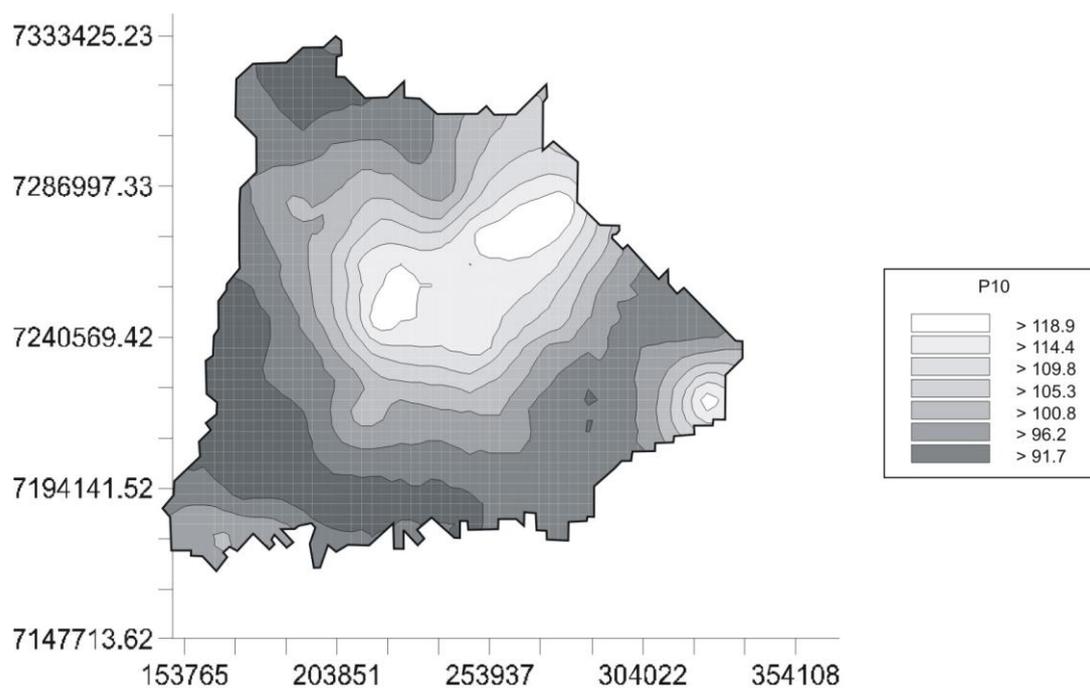


Figura 11 - Mapa da precipitação mensal provável (mm) da mesoregião Oeste do Estado do Paraná - série de outubro

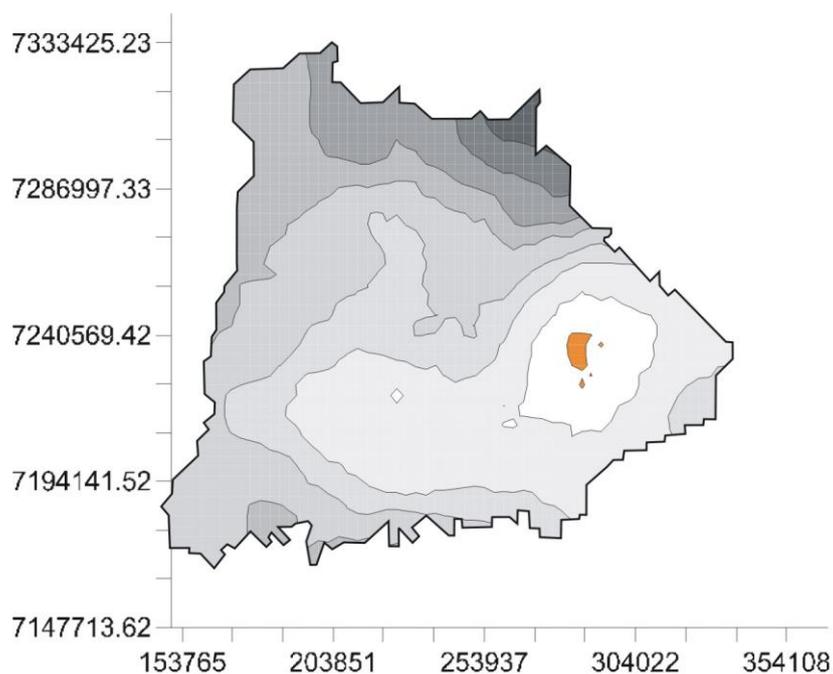


Figura 12 - Mapa da precipitação mensal provável (mm) da mesoregião Oeste do Estado do Paraná - série de novembro

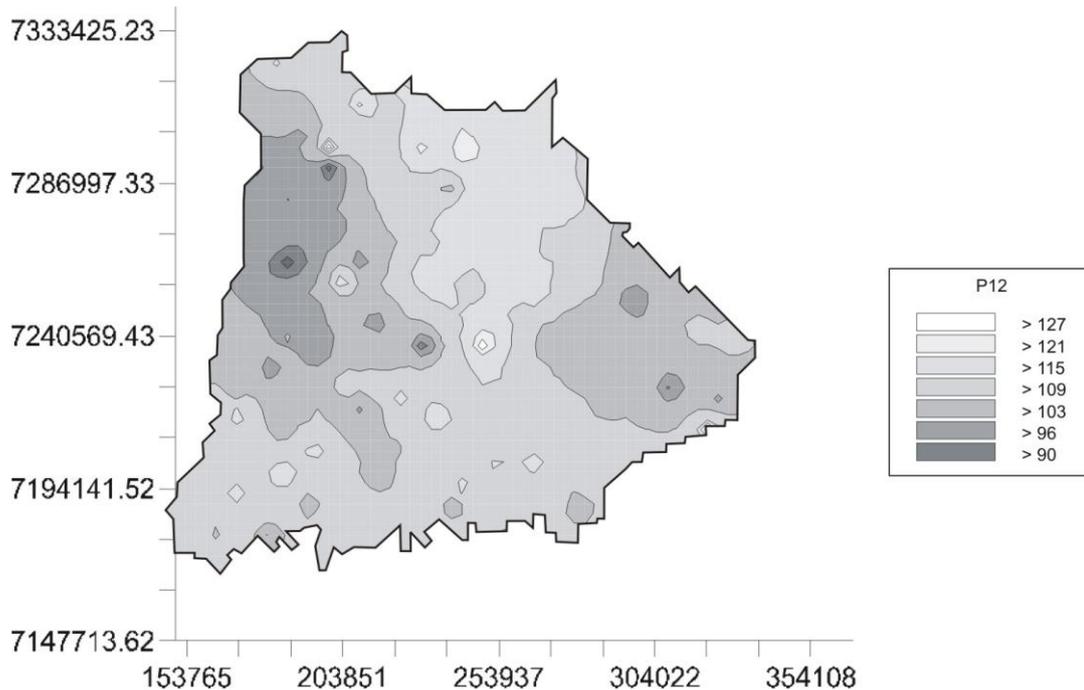


Figura 13 - Mapa da precipitação mensal provável (mm) da mesoregião Oeste do Estado do Paraná - série de dezembro

6 CONCLUSÕES

Com relação ao ajuste para um modelo probabilístico teórico foi possível constatar que as séries de precipitações mensais da mesoregião oeste do estado do Paraná, para cada uma das estações, podem ser adequadamente representadas pela função de distribuição gama de probabilidade.

Com relação à variabilidade espacial da precipitação provável associada ao nível de 75% de probabilidade, para a região estudada, concluiu-se que:

A distribuição espacial da precipitação provável sofreu variações de acordo com os níveis temporais pressupostos e o comportamento, tendo em vista os mapas de contorno das séries mensais, demonstrou semelhança entre as mesmas, com exceção para a série de junho, que apresentou diferença de padrão relativamente às demais séries.

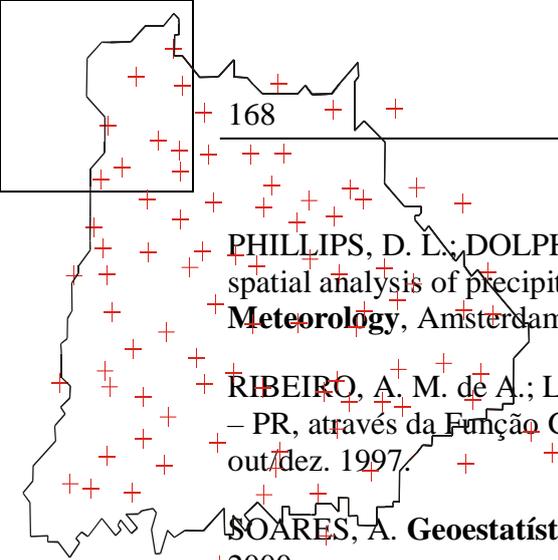
A série relativa ao mês de junho apresentou variabilidade na intensidade da precipitação provável no sentido noroeste-sudeste, com concentração dos maiores valores no setor noroeste do mapa, enquanto as demais séries apresentaram-se com concentração dos maiores valores no setor sudeste do mapa.

Os menores valores da precipitação provável ocorreram no setor noroeste-norte da mesoregião em estudo.

As séries mensais da precipitação provável, da região em estudo, apresentaram, para as séries relativas aos meses de fevereiro e agosto forte dependência espacial ao tempo em que, para as séries relativas a janeiro, março, setembro, outubro e novembro apresentaram moderada dependência espacial e para as séries relativas aos meses de abril, maio, junho, julho e dezembro independência espacial dos dados.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSAD, E. D.; RODRIGUEZ CASTRO, L. H. Análise frequencial da pluviometria para a estação de Sete Lagoas, MG. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 26, n. 3, p. 397-402, 1991.
- BAILEY, R. **Irrigated crops and their management**. London: Farming Press Book, 1990.
- BRATH, A.; MONTANARI, A.; TOTH, E. Analysis of the effects of different scenarios of historical data availability on the calibration of a spatially-distributed hydrological model. **Journal of Hydrology**, Burlington, n. 291, p. 232-253, 2004.
- CAMBARDELLA, C. A. et al. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v.58, n.5, p. 1501-11, 1994.
- CARVALHO, J. R. P. de; VIEIRA, S. R. **Avaliação e comparação de estimadores de krigagem para variáveis agronômicas – uma proposta**. Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, 2001.
- CARVALHO, J. R. P.; QUEIROZ, E. F. Uso de cokrigagem colocalizada na determinação da distribuição espacial de precipitação. **Embrapa Informática Agropecuária**, Campinas, v. 21, p. 1-4, out. 2002.
- GAMMA DESIGN SOFTWARE. **Geostatistics for the environmental sciences**. Version 5.0.3. Michigan, 2000
- GOMES, B. M. **Comportamento Espacial do Percentil 75 da Precipitação Decendial do Estado de São Paulo**. 101f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2001.
- GUERRA, P. A. G. **Geoestatística operacional**. Brasília: Ministério de Minas e Energia/DNPM, 1988.
- GUIMARÃES, E. C. **Geoestatística básica**. Cascavel: Unioeste, 2001. Minicurso apresentado no I Encontro Regional de Agricultura de Precisão.
- ISAAKS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. **Applied geostatistics**. New York: Oxford University Press, 1989.
- LANDIM, P. M. B.; STURARO, J. R. **Krigagem Indicativa aplicada à elaboração de mapas probabilísticos de riscos**. Rio Claro: IGCE/UNESP, 2002. Texto Didático. Disponível em: < <http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/textodi.html> > Acesso em: 16 abr. 2002.
- LANNA, A. E. Elementos de Estatística e Probabilidades. In: TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre: Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1997. p.79 – 176.



PHILLIPS, D. L.; DOLPH, J.; MARKS, D. A comparison of geostatistical procedures for spatial analysis of precipitation in mountainous terrain. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 58, p. 119-141, 1992.

RIBEIRO, A. M. de A.; LUNARDI, D. M. C. A Precipitação Mensal Provável para Londrina – PR, através da Função Gama. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 12, n. 4, p. 37-44, out/dez. 1997.

SOARES, A. **Geoestatística para as ciências da terra e do ambiente**. Lisboa: IST Press, 2000.

TABIOS, G. Q.; SALAS, J. B. A comparative analysis of techniques for spatial interpolation of precipitation. **Water Resources Bulletin**, Middleburg, n. 21, p. 365-80, 1985

THE MATHWORKS, INCORPORATED COMPANY. **Matlab**. Version 6. 0. 0. 88 release 12. Natick, 2000.