



Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: www.ufpe.br/rbgfe



Zoneamento de Parâmetros Climáticos no Estado de São Paulo (Brasil) Utilizando Técnicas de Geoestatística

Glécio Machado Siqueira¹, Joel Medeiros Bezerra¹, Sidney Rosa Vieira², Marcelo Bento Paes de Camargo²

¹Departamento de Tecnologia Rural - DTR, Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE, Rua Dom Manoel de Medeiros, s/n, Dois Irmãos - CEP: 52171-900 – Recife (PE, Brasil). E-mail: gleciosiqueira@hotmail.com; joel_medeiros@oi.com.br; ²Instituto Agronômico de Campinas – IAC, Avenida Barão de Itapura, 1481, Caixa Postal 28 – CEP: 13012-970 – Campinas (SP, Brasil). E-mail: sidney@iac.sp.gov.br.

Artigo recebido em 09/10/2012 e aceito em 19/10/2012

RESUMO

A precipitação pluvial (mm) e a temperatura do ar (°C) são os principais parâmetros do clima utilizados nos sistemas de classificação do clima. A má distribuição e o reduzido número de pontos de medida dos atributos do clima acarretam dificuldades para se determinar a temperatura do ar. O objetivo deste trabalho foi analisar o zoneamento climático, com as variáveis precipitação pluvial e temperatura do ar, no Estado de São Paulo, com o auxílio de ferramentas de geoestatística e geotecnologias. O estudo foi desenvolvido utilizando dados de precipitação pluvial média anual e temperatura do ar média mensal de 416 estações climáticas do estado São Paulo, referente ao período de 30 anos de dados, 1977 a 2006. Sendo estimada a variável temperatura do ar em função da altitude e a latitude do estado, por meio de modelo de regressão linear múltipla. Foram realizadas análises estatística e geoestatísticas, seguido da interpolação por krigagem para confecção dos mapas temáticos. A maior diferença nos valores de temperatura do ar medida e estimada foram localizados na faixa litorânea, enquanto as diferenças mínimas estão situadas nas regiões serranas de maior altitude. O semivariograma escalonado para todos os parâmetros climáticos descreve que a altitude e a temperatura do ar estimada apresentam distribuição espacial dos pares de semivariância similar devido a sua forte correlação. A integração de ferramentas de geoprocessamento com modelos e ajustes da geoestatística permite uma abordagem sistematizada, possibilitando a espacialização dos dados meteorológicos.

Palavras - chave: Gerenciamento, planejamento climático, variabilidade espacial

Zoning of Climatic Parameters in the State of São Paulo (Brazil) Using Geostatistics Techniques

ABSTRACT

The rainfall (mm) and air temperature (°C) are the main parameters used climate classification systems in the climate. Poor distribution and small number of points of the weather attributes, cause difficulties in determining the air temperature. The objective of this study was to analyze climatic zoning, with the variables rainfall and air temperature in the State of São Paulo, with the aid of geostatistical tools and geotechnology. The study was conducted using data from annual precipitation and air temperature monthly average of 416 weather stations in Sao Paulo State (Brazil), for the period from 30 years of data from 1977 to 2006. The variable being estimated air temperature with altitude and latitude of the State, by means of multiple linear regression models. Were carried out statistical and geostatistical analysis followed by kriging for the construction of thematic maps. The biggest difference in the values of air temperature measured and estimated were located in the coastal strip, while the minimal differences are located in highland areas of higher altitude. The scaled semivariogram for all climatic parameters describing the altitude and air temperature have estimated the spatial distribution of pairs of similar semivariance due to its strong correlation. The integration of geoprocessing tools and settings with models of geostatistics allows a systematic approach, allowing the spatial distribution of meteorological data.

Keywords: Management, planning climate, spatial variability

* E-mail para correspondência:
gleciosiqueira@hotmail.com (Siqueira, G. M.).

1. Introdução

O Brasil, com sua dimensão continental, possui uma considerável heterogeneidade das condições edafoclimáticas e topográficas. Entretanto, devido a sua grande extensão territorial, é comum a ocorrência de adversidades climáticas, tais como períodos de seca, veranicos, vendavais e chuvas em excesso, etc.

No contexto das adversidades climáticas diversos mecanismos vêm sendo desenvolvidos, para indicar, com maior margem de segurança, o local e a data mais apropriada para plantar determinada cultura, nas mais diversas regiões brasileiras. Dentre os principais mecanismos criados, podem ser citados o zoneamento de aptidão agrícola, o zoneamento agroclimático, o zoneamento agrícola e o zoneamento agrícola de risco climático (MDA, 2009).

O zoneamento agroclimático constitui uma importante ferramenta na organização de programas de trabalhos, planejamento da agricultura e utilização dos recursos naturais de forma racional, de modo que venha refletir na otimização dos investimentos, mas para isso sua atualização se faz necessária (Camargo et al., 1974; Rocha, 1997; Sediyaama et al., 2001). Sendo uma técnica desenvolvida para delimitar regiões climaticamente homogêneas, que sejam propícias ao desenvolvimento de determinadas culturas (Ometto, 1981 e Ferreira, 1997).

Os mapas gerados com o uso de

técnicas matemáticas de interpolação e subsidiadas por sistemas de informações geográficas (SIG) definem as áreas com potenciais econômicos para a introdução das espécies em uma determinada região geográfica, servindo como base para pequenos, médios e grandes produtores, podendo otimizar a eficiência e os lucros da atividade (Castro, 2008). Nesse sentido, a técnica de interpolação por krigagem, tem sido amplamente utilizada por permitir a estimação para locais não amostrados sem tendência e variância mínima (Landim, 1998; Vieira, 2000; Libardi et al., 1996; Burrough et al., 1997 e Zimback, 2001), maximizando o uso dos SIG, pois é possível determinar com um erro mínimo valores para regiões com baixa densidade de estações agroclimatológicas.

A krigagem ao contrario de outros métodos de interpolação, corresponde a estimação de uma matriz de covariância espacial que determina os pesos atribuídos às diferentes amostras, o tratamento da redundância dos dados, a vizinhança a ser considerada no procedimento inferencial e o erro associado ao valor estimado, utilizando o semivariograma em sua modelagem (Leenaers et al., 1990; Weber e Englund, 1994).

Os sistemas de classificação do clima levam em consideração somente as variáveis meteorológicas medidas pelos instrumentos de meteorologia (Rolim et al, 2007), sendo que a precipitação pluvial e a temperatura do ar são as mais importantes para determinar as

características climáticas de uma região (Nimer, 1977; Tubelis, 1988; Mello et al, 1994).

A temperatura do ar representa o fator térmico e é obtido através de medições realizadas por estações meteorológicas. Porém, devido à má distribuição e ao reduzido número de pontos de medida, ainda existe uma grande dificuldade de se obter essa variável climática. Diversos trabalhos utilizam modelos matemáticos obtidos através de equações de regressão para estimar as temperaturas do ar para locais onde esses dados são inexistentes (Sediyama et al., 2002; Oliveira Neto et al., 2002; Pe Zzopane, et al., 2004; Pinto et al., 1972; Castro, 2008).

A chuva é o elemento meteorológico que mais influencia a produtividade agrícola no Estado de São Paulo, definindo a disponibilidade hídrica dos solos para o crescimento e o desenvolvimento dos cultivos agrícolas (BEGA et al, 2005). As chuvas podem ter diversas origens, sendo o fenômeno meteorológico com maior variabilidade

espacial (Brunini et al, 2008; Mellart, 1999; Camargo et al., 2005)

Assim, o objetivo deste trabalho foi realizar o zoneamento climático diante de tal situação, com as variáveis de precipitação pluvial e temperatura do ar, no Estado de São Paulo, com o auxílio de ferramentas da geoestatística e geotecnologias.

2. Material e Métodos

O presente estudo foi desenvolvido utilizando dados de 416 estações pluviométricas do estado de São Paulo (Latitude 19°46'45"S e 25°18'43"S e Longitude 44°09'38"W e 53°06'35"W). O estado de São Paulo representa uma das quatro unidades que integram a Região Sudeste do território Brasileiro (Figura 1). Atualmente conta com 645 municípios, sendo sua área total de 248.196,960km², e tem como limites os estados de Minas Gerais a norte e nordeste, o Paraná a sul, e o Rio de Janeiro a norte e Mato Grosso do Sul a oeste, além do Oceano Atlântico a sudeste (IBGE, 2010).

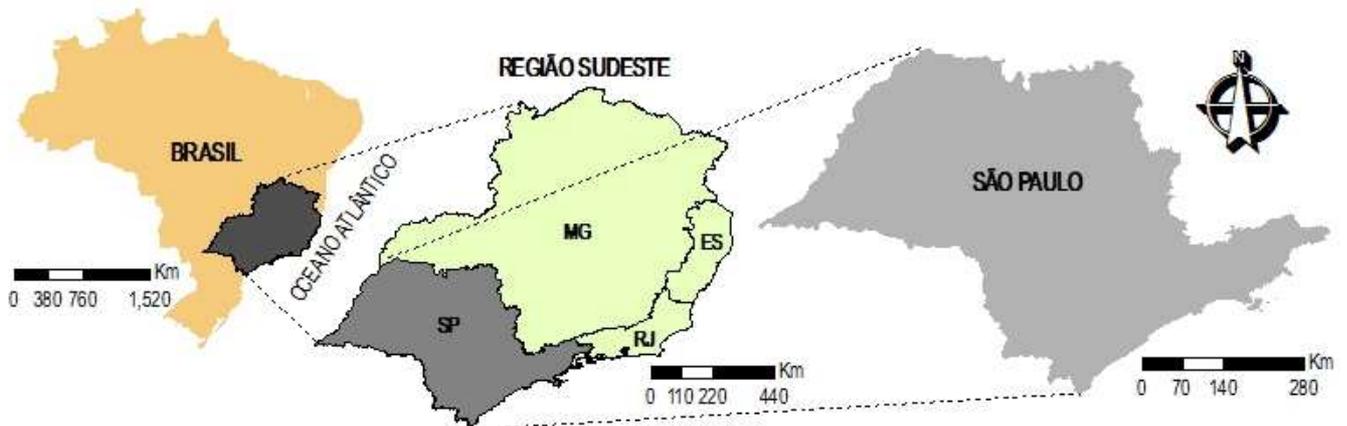


Figura 1. Mapa do Brasil, região Sudeste, estado de São Paulo.

O estado de São Paulo apresenta cerca de 85% de seu território com altitude entre 300 e 900 metros, a maior parte do território paulista é formada por planícies litorâneas estreitas, que são limitadas pela Serra do Mar, além de planícies no resto do território (SÃO PAULO, 2011a). O ponto mais alto do estado é a Pedra da Mina, com 2.797 metros de altitude. Oficialmente, as formas de relevo existentes no estado de São Paulo podem ser

divididas nos seguintes tipos de unidades geomorfológicas: planície costeira, planalto atlântico, depressão periférica, cuevas basálticas e planalto ocidental (SÃO PAULO, 2011b). O mapa fornecido pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística delimita a variabilidade espacial das classes de relevo existentes em todo território do Estado de São Paulo, assim como a malha hidrográfica superficial (Figura 2).

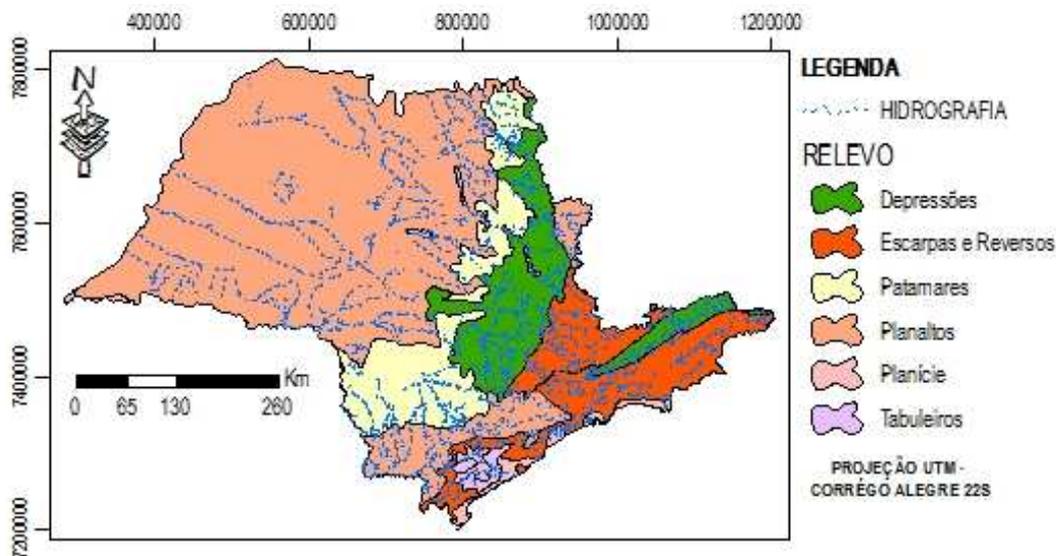


Figura 2. Carta temática de relevo para o estado de São Paulo.

A temperatura média anual é de 20° a 22° C. O clima é caracterizado por estações úmidas e secas bem definidas na maior parte do Estado, exceto nas encostas da Serra do Mar, próximo à costa, onde a estação seca é

muito curta (CLIMA, 2007). De acordo com a classificação climática de Köppen, existem sete tipos climáticos em território paulista: Cwa, Cwb, Aw, Am, Cfa, Cfb e Af (CLIMA, 2007), ver Tabela 1.

Tabela 1. Descrição dos tipos climáticos segundo Koppen para o estado de São Paulo.

Sigla	Tipos Climáticos	Caracterização	Local de ocorrência
Af	Tropical superúmido	Temperaturas médias de 18°C no mês mais quente, precipitações ocorrem entre março e agosto, volume médio ultrapassa 1.500 mm, enquanto no mês mais seco as precipitações são superiores a 60 mm; janeiro e fevereiro são os meses mais quentes e com temperaturas médias entre 24 e 25°C	Arredores do litoral paulista, na faixa litorânea

continuação			
Cwa	Tropical de altitude	Presença de chuvas durante a estação do verão e as secas no inverno, na estação chuvosa, a temperatura média é de 22°C, enquanto 18°C é a média da estação seca.	Regiões Central, Leste e Oeste (predominância no Estado de São Paulo)
Cwb	Tropical de altitude	Verão ameno, com temperaturas que ultrapassam os 22°C durante o mês mais quente, enquanto que quase um terço do ano, a temperatura é superior aos 10°C.	Regiões serranas
Aw	Tropical de inverno seco	Estação chuvosa predominante entre novembro e abril e uma estação seca no resto do ano; na estação seca (inverno), a temperatura média costuma ultrapassar 18°C, com precipitações médias abaixo de 60 mm, tropical chuvoso com inverno seco.	Predominante no norte e noroeste Paulista, regiões mais baixas, situadas nas proximidades dos rios Paraná e Grande
Am	Tropical chuvoso	Estações de seca e temperatura que ultrapassa os 18°C (no mês mais frio).	Em alguns pontos isolados e na faixa a sudoeste.
Cfa	Subtropical	Verão quente, sem ocorrência de estações seca na estação do inverno, com temperaturas médias que chegam a registrar uma mínima de três graus negativos (-3°C) e máximas de até 22°C, clima tropical, com verão quente, sem estação seca de inverno.	Ao sul do planalto, margens do rio Paranapanema, e do vale do rio Ribeira de Iguape.
Cfb	Subtropical	Temperaturas inferiores a 22°C no mês mais frio e um verão mais ameno, se comparado ao tipo Cfa	Áreas serranas mais altas, (Serra da Mantiqueira e a Serra do Mar)

Fonte: CLIMA, 2007.

As 416 observações de precipitação pluvial média anual e temperatura do ar média mensal, obtidas de estações pluviométricas distribuídas no território do Estado de São Paulo, referente ao período de 30 anos de dados 1977 a 2006 (DAEE, 2009), oriundos das seguintes estações meteorológicas: 19 do IAC (Instituto Agrônomo), 7 do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) e 390 do DAEE (Departamento de Águas e Energia Elétrica), ver Figura 3.

Em virtude da distribuição irregular e

a baixa densidade das estações, podendo resultar em modelos espaciais de temperatura que não representam a real condição de campo, optou-se por estimar a variável temperatura do ar em função da altitude e a latitude (variáveis independentes) do estado, através dos modelos matemáticos desenvolvidos por Pinto et al. (1972).

Em seguida realizou-se a caracterização espacial da temperatura do ar da área de estudo, utilizando os valores medidos em estações meteorológicas gerando

mapas temáticos de temperatura, utilizando o software SURFER 7.02 (GOLDEN SOFTWARE, 2000), além de avaliar a malha

da rede das estações meteorológica existentes no estado de São Paulo, utilizando ferramentas de geoestatística.

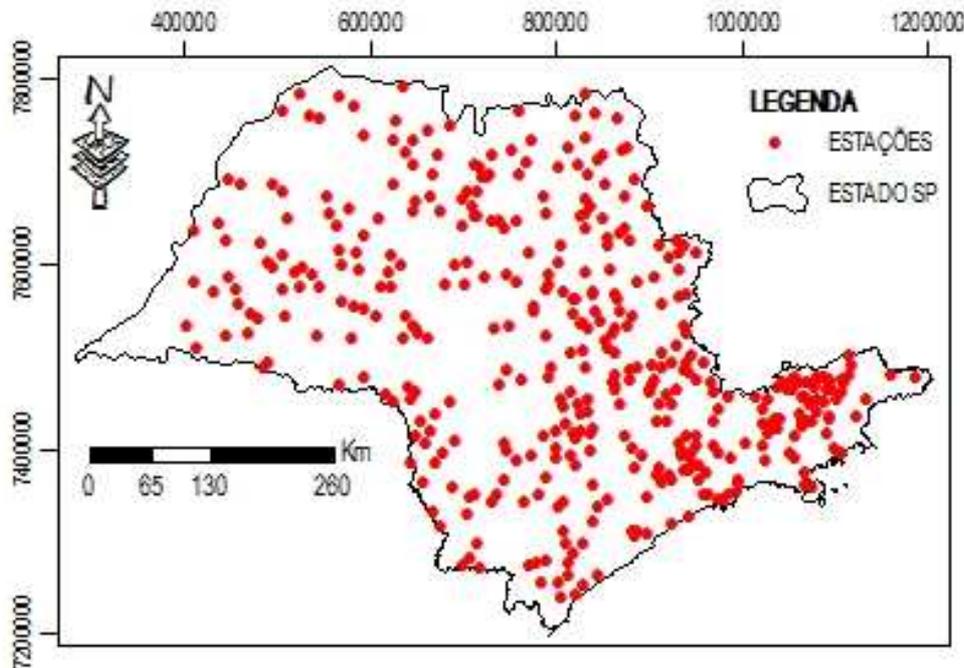


Figura 3. Distribuição espacial da rede de investigação, contendo 416 pontos de coleta de dados climáticos no estado de São Paulo, de 1977 a 2006.

A equação de regressão linear múltipla ajustada ao modelo linear por Pinto et al. (1972) foi utilizada para calcular a temperatura média anual do ar, e posteriormente elaborar o mapa temático representativo, sendo a seguinte a equação:

$$T = 38,98 - 0,005783 \times Z + 0,011250 \times \phi \quad (1)$$

sendo: Z é a altitude local (m) e ϕ é a latitude da estação (grau decimal).

As latitudes utilizadas foram às coordenadas do Estado, e essas interpoladas com auxílio de um modelo matemático geoestatístico que obtenha melhor ajuste ao comportamento da variável, sendo

posteriormente os valores não amostrados estimados utilizando os parâmetros de ajuste do semivariograma por meio da técnica de interpolação por krigagem.

Os dados foram analisados com auxílio do programa Statistica7 (STASOFT, 2004), para determinação dos principais momentos estatísticos (média, mediana, mínimo, máximo, variância, coeficiente de variação, curtose, coeficiente de assimetria, distribuição de frequência e obtenção do desvio máximo em relação à distribuição normal (n) ou Lognormal (Ln) por meio do teste de probabilidade de erro de Kolmogorov-Smirnov (KS) com nível de 5% de

probabilidade).

Em seguida procedeu-se a análise de correlação linear de Pearson com auxílio de gráficos de dispersão, a fim de verificar a ocorrência da dependência dos valores estimados pela equação 1 com as variáveis independentes de temperatura do ar medida e altitude.

A variabilidade espacial dos dados climáticos foi determinada por meio da modelagem do semivariograma experimental, seguindo os procedimentos descritos por Vieira (2000), considerando que todos os valores satisfazem a hipótese de estacionaridade (hipótese intrínseca da geoestatística). O semivariograma foi determinado considerando a seguinte equação 2:

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

em que: $\hat{\gamma}(h)$ - semivariância estimada; $N(h)$ - Número de pares de observações $Z(x_i)$, $Z(x_i + h)$, separados Por uma distância h .

Compreende-se, pela análise, o levantamento do semivariograma experimental e, posteriormente, o ajuste a uma família de modelos teóricos, permitindo visualizar a natureza da variação espacial das variáveis estudadas (Journel e Huijbregts, 1978; Mcbratney e Webster, 1986).

Após o cálculo dos pares de semivariância, foram ajustados ao semivariograma experimental (esférico, exponencial, gaussiano e hole effect), seguindo os procedimentos descritos por

Vieira (2000).

A análise espacial da dependência dos dados foi realizada utilizando os valores da variável estimada em estudo com suas respectivas coordenadas de campo para a construção do semivariograma experimental e posteriormente comparado ao semivariograma da temperatura do ar medida, além de montar um semivariograma escalonado apresentando o comportamento de ambas temperaturas, realizando uma validação cruzada (Caruso e Quarta, 1998, Robinson e Metternicht, 2006)

3. Resultados e Discussão

A Tabela 2 apresenta os principais parâmetros da análise estatística da precipitação pluviométrica para as estações meteorológicas estudadas no período de 1977 a 2006. De acordo com os valores do coeficiente de variação, a variabilidade dos dados de precipitação foi classificada, de acordo com Warrick e Nielsen (1980), considerando três níveis de variabilidade, baixa variabilidade quando $CV < 12\%$; média variabilidade para o intervalo de 12% a 60% ; e alta variabilidade para $CV > 60\%$. Os dados apresentaram CV baixo para as variáveis de temperatura do ar medida e estimada, enquanto que a altitude e precipitação apresentaram CV médio. Tal fato pode ser explicado pela influência de eventos sazonais ocorridos principalmente na região litorânea, além da elevada variação espacial da topografia, sobretudo na Serra do Mar e na Serra da Mantiqueira.

Tabela 2. Parâmetros estatísticos para a temperatura do ar medida, temperatura do ar estimada, altitude e precipitação pluviométrica anual.

Atributo	Unid	Min	Max	Média	Med	Variância	CV	Ass	Curt	D
T Med		13.28	24.46	21.62	21.72	2.20	6.86	-1.21	4.62	0.059Ln
Log T Med	°C	1.12	1.39	1.33	1.34	0.00	2.37	-1.92	9.60	0.075n
T Est		28.08	38.70	35.40	35.36	1.95	3.94	-0.12	3.35	0.108n
Alt	M	2.00	1840.00	574.75	580.00	58313.22	42.02	0.10	3.37	0.110n
Prec	Mm	1109.00	4728.00	1473.74	1393.50	109289.98	22.43	4.60	31.21	0.212n

T Med.: Temperatura do ar medida; T Est.: Temperatura do ar estimada; Alt.: Altitude; Prec.: Precipitação; Mín.: valor mínimo; Máx.: valor máximo; Med.: Mediana; CV: Coeficiente de Variação (%); Ass.: Assimetria; Curt.: curtose; D: desvio máximo em relação a distribuição de frequência normal por meio do teste estatístico de Kolmogorov-Smirnov com probabilidade de erro de 5 %; n: distribuição de frequência normal; Ln: distribuição de frequência lognormal.

O teste de Kolmogorov-Smirnov demonstrou que todos os atributos em estudo, com exceção a temperatura do ar medida, apresentaram distribuição de frequência normal, fato que é comprovado pelos valores de assimetria e curtose, que apresentam proximidade de 0 e 3, respectivamente.

As Figuras 4 e 5 apresentam o gráfico de distribuição da temperatura medida e estimada para as 416 estações meteorológicas envolvidas neste estudo, e os mapas de

variabilidade espacial para o Estado de São Paulo, respectivamente. Observa-se a partir das Figuras 4 e 5 que o modelo proposto por Pinto et al. (1972) superestima a temperatura do ar média anual, sendo observado uma diferença mínima de 11,2 °C, máxima de 16,9°C e média de 13,7°C em relação temperatura do ar medida pela rede de estações, conforme demonstrado na Tabela 2, ocorrendo a superestimação do dados de temperatura do ar.

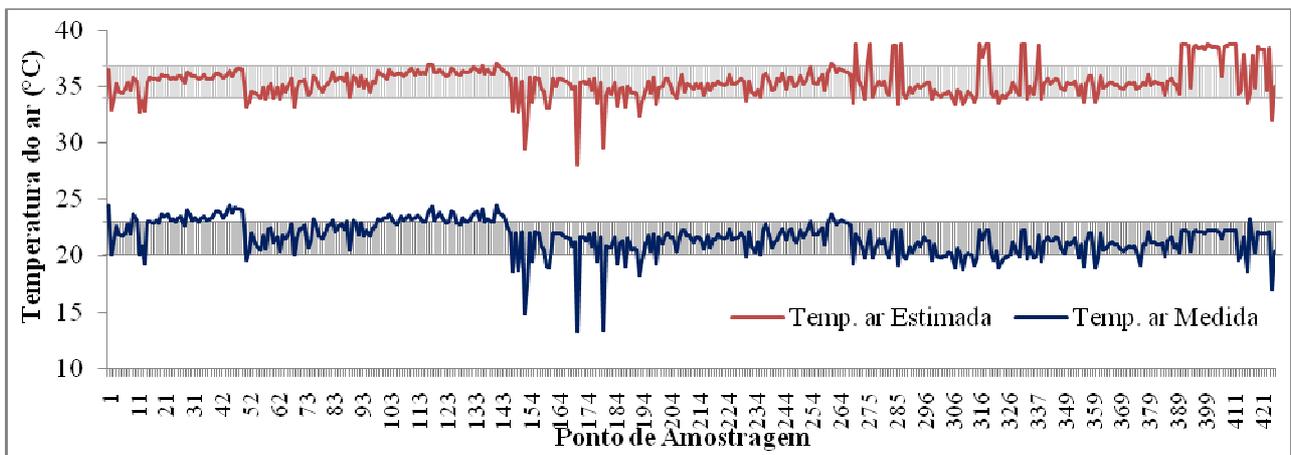


Figura 4. Gráfico de distribuição da temperatura do ar medida e estimada para as 416 estações meteorológicas no Estado de São Paulo, com os seus respectivos desvios padrões.

Observa-se, que de maneira geral os mapas de variabilidade espacial de temperatura (Figura 5) apresentaram padrão espacial similar, onde os maiores valores de temperatura se encontram a noroeste, coincidindo com o planalto central e a região de cerrados, enquanto os menores valores estão situados a leste, ocorrendo nas divisas com os estados do Rio de Janeiro e Minas Gerais, sendo a Serra do Mar e Mantiqueira

responsáveis por tal influência, corroborando com a classificação climática de Köppen apresentada por Setzer (1966).

Verifica-se na figura 5 que a maior diferença nos valores de temperatura do ar medida (Figura 5A) e estimada (Figura 5B) estão localizados na faixa litorânea, enquanto as diferenças mínimas estão situadas nas regiões serranas de maior altitude.

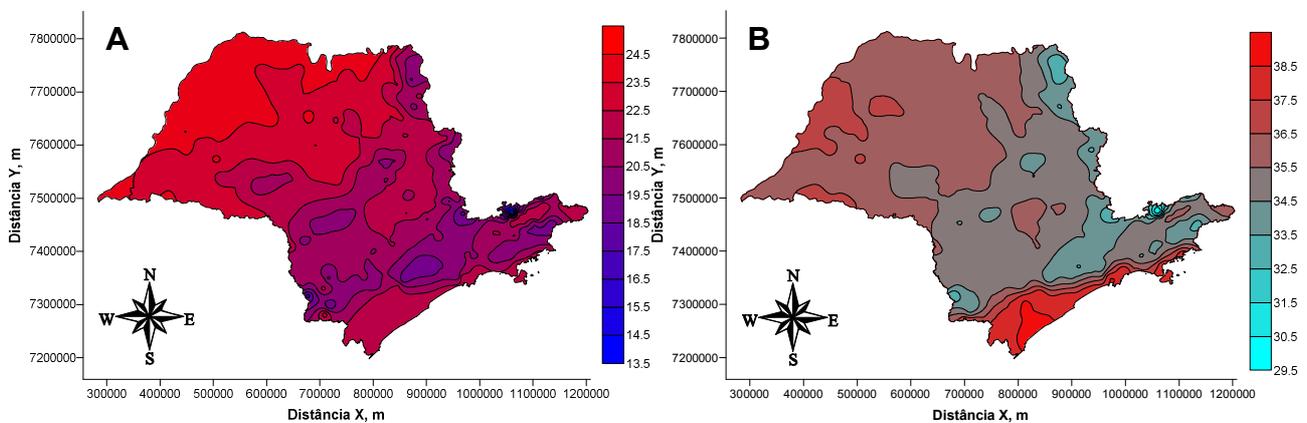


Figura 5. Mapas de variabilidade espacial das temperaturas do ar: A) medida (°C) e B) estimada (°C).

A Figura 6 apresenta a distribuição da precipitação anual e da altitude da rede de estações na área de estudo, e a Figura 7 apresenta os mapas de variabilidade espacial para a precipitação (Figura 7A) e altitude (Figura 7B) no Estado de São Paulo. Nota-se que existe um padrão de similaridade na distribuição da precipitação ao longo das estações climatológicas, havendo picos de precipitação nas estações 314, 325 e as estações 390 e 406, coincidindo com zonas com altitude próxima ao nível do mar (inferiores a 300m) e com elevada precipitação pluviométrica (ver Figura 6), devido a

ocorrência de chuvas orográficas, conforme Milanesi e Galvani (2011).

Os maiores eventos de precipitação (Figura 6) foram registrados nas estações 275, 318 e 337, onde ocorrem uma precipitação anual acumulada acima de 3000 mm. A estação 318 apresenta regime de precipitação anual acumulado de 4728 mm. Os menores valores de precipitação ocorreram nas estações 295 e 294 com precipitação anual de 1090 mm. De maneira geral, os valores de precipitação encontram-se próximos a média geral dos dados (1473,74 mm, Tabela 2).

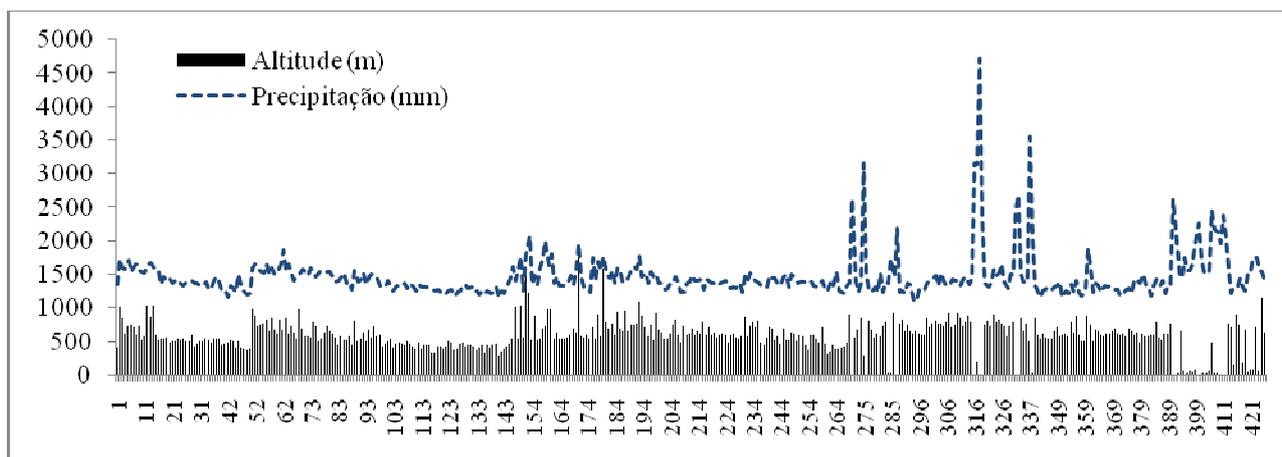


Figura 6. Distribuição da precipitação anual e altitude para as 416 estações meteorológicas no Estado de São Paulo.

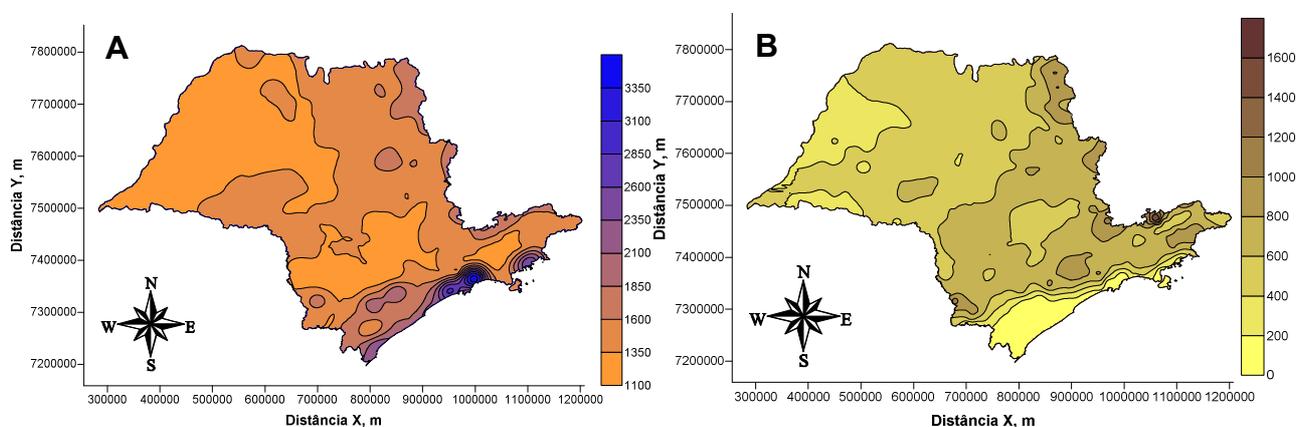


Figura 7. Mapas de variabilidade espacial da: A) precipitação pluvial (mm) e B) altitude (m).

Relacionando as Figuras 4 e 6, verifica-se que as menores temperaturas ocorrem nos locais de maior altitude (estações 171, 180 e 151), apresentando temperatura inferior a 15°C, corroborando para hipótese da ação da massa de ar oceânica, que de certa forma é amortecida pela elevação acentuada do relevo, onde se tem menor pressão atmosférica e conseqüentemente maior vapor d'água (Miller, 1971). Embora o clima para o Estado de São Paulo seja classificado como tropical, geadas esporádicas podem ocorrer durante o inverno (junho a agosto) em regiões de baixa altitude do centro-oeste (depressão

periférica do Planalto Ocidental) e, regularmente, nas montanhas acima de 1.200m de altitude (Mesquita Júnior, 1998; Medeiros, 2004).

Verifica-se por meio das Figuras 5 e 7 que ocorre similaridade na distribuição espacial das variáveis precipitação pluvial (mm) e temperatura do ar (°C), favorecendo o delineamento de regiões homogêneas e conseqüentemente o zoneamento do clima para o estado de São Paulo.

O gráfico de correlação (Figura 8) entre os dados de temperatura do ar medidos e estimados, demonstra um coeficiente de

correlação de 0,533, neste caso, pode-se dizer que a equação descrita por PINTO et al. (1972) estimou os valores de temperatura do ar com moderada precisão, conforme classificação proposta por Santos (2007). No

entanto, este modelo desconsidera a existência da variabilidade espacial de valores extremos na topografia da área de estudo (serras e zona de litoral).

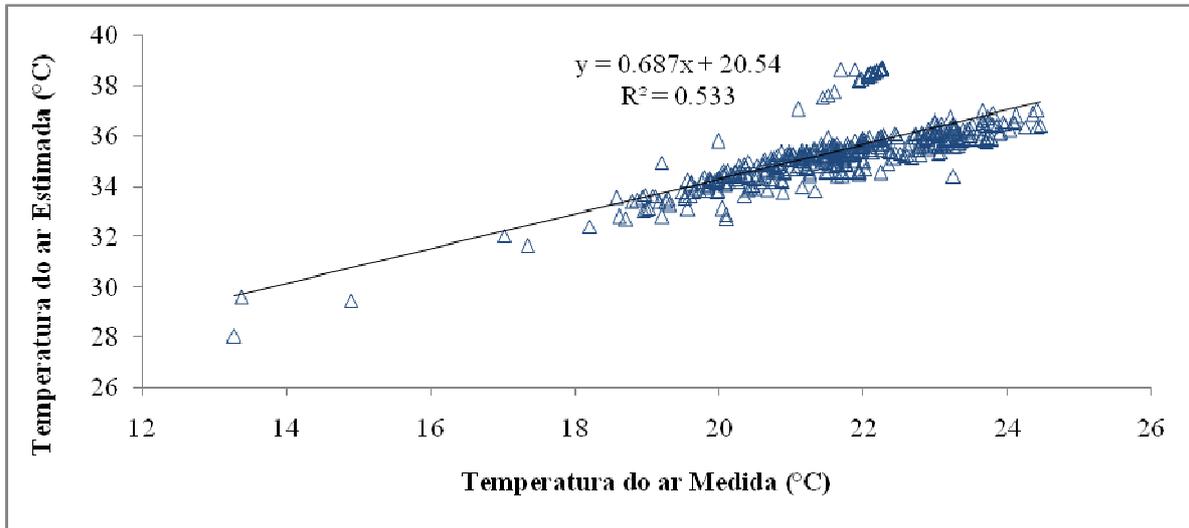


Figura 8. Gráfico de correlação entre os dados de temperatura do ar medidos e estimados.

Se observarmos as Figuras 5B e 7B temos que a temperatura do ar medida tem uma boa correlação com a altitude da área de estudo, fato este corroborado pela distribuição espacial similar dos mapas temáticos, entretanto constata-se a ocorrência de áreas com restrição (altitudes de valores extremos) ao modelo de estimativa.

Na Figura 9 pode-se observar que a correlação entre a temperatura do ar medida e estimada com a altitude, apresenta valores de 0.525 e 0.999, respectivamente. De acordo com a classificação de Santos (2007) a correlação entre a temperatura do ar medida e a altitude é moderada, enquanto que entre a temperatura do ar estimada e a altitude é forte. Este fato já era esperado uma vez que a

altitude é um dos parâmetros para se determinara a temperatura do ar por meio da equação de Pinto et al. (1972). É difícil afirmar apenas com estes parâmetros se o modelo de Pinto et al. (1972) superestima os valores de temperatura do ar, pois neste caso não são considerados outros parâmetros como topografia, vegetação e pelo tipo de recobrimento do solo.

Com auxílio da Figura 10, pode-se verificar por meio dos gráficos de box-plot que a altitude apresenta grande número de valores anômalos (valores extremos e outliers), tal fato esta relacionado com a grande variação da altitude ao longo do território do Estado de São Paulo, apresentando regiões ao nível do mar,

montanhosas e planaltos.

A temperatura do ar medida apresentou tendência, sendo necessária a transformação dos dados para permitir a

análise geostatística por meio da hipótese intrínseca, sendo necessário transformação dos dados para logaritmo para favorecer sua análise.

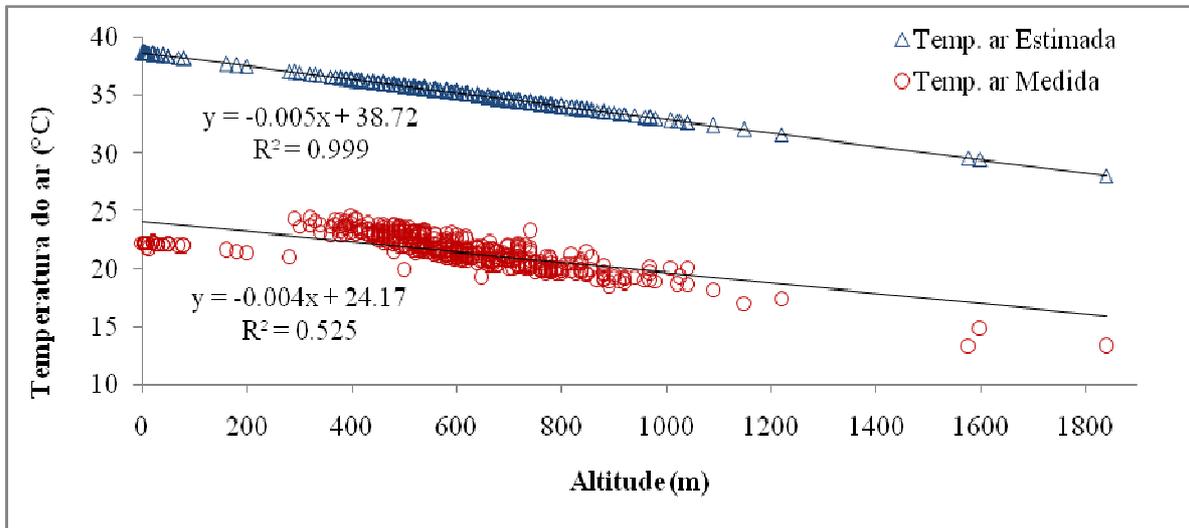


Figura 9. Gráficos de correlação linear entre a altitude e as temperaturas do ar medida e estimada.

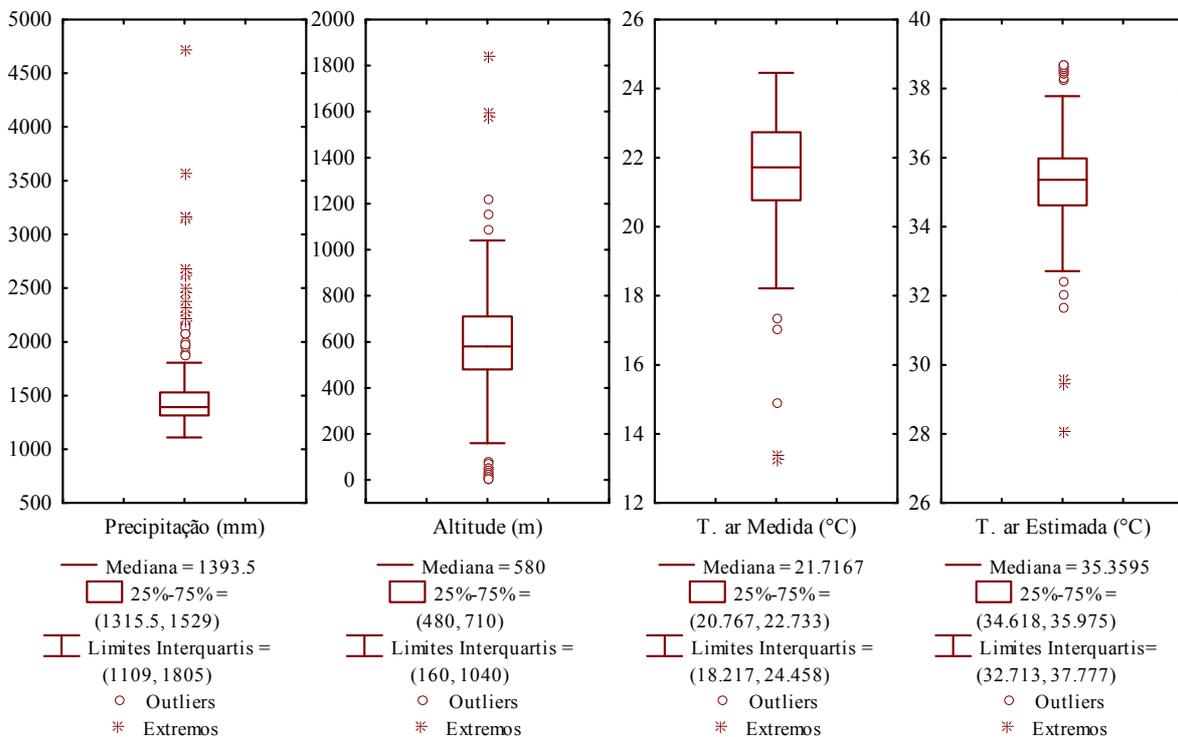


Figura 10. Gráficos de box-plot das variáveis em estudo.

A Tabela 3 apresenta os parâmetros de ajuste do semivariograma para os atributos

em estudo. O modelo exponencial se ajustou aos dados de altitude e temperatura do ar

estimada, enquanto que a temperatura do ar medida adequou-se ao modelo hole effect e a variável precipitação pluvial se ajustou ao modelo gaussiano.

O maior valor de alcance foi encontrado para os dados de altitude e temperatura do ar estimada, que apresentaram

um valor de alcance de 73.68 km e 73.50 km, respectivamente. O grau de dependência espacial foi elevado para todos os atributos em estudo, com exceção da temperatura do ar medida que apresentou moderado grau de dependência, de acordo com a classificação de Cambardella et al. (1994).

Tabela 3. Parâmetros de ajuste do semivariograma para os atributos analisados.

Variável	Unidade	Modelo	C ₀	C ₁	a	r ²	SQDP	GD
Altitude	m	Exponencial	0.00	50706.96	73.68	0.846	1.70E+07	0.0
Temperatura do Ar Medida	°C	Hole Effect	0.51	0.84	8.23	0.397	3.70E-02	37.6
Temperatura do Ar Estimada	°C	Exponencial	0.10	1.56	73.50	0.843	1.90E-02	6.0
Precipitação Pluvial	mm	Gaussiano	20000.00	87114.34	50.63	0.696	2.27E+08	18.7

C₀: Efeito pepita; C₁: Variância estrutural; a: Alcance (km); r²: Coeficiente de determinação; SQDP: Soma de quadrados de desvios ponderados; GD: Grau de dependência (%).

Conforme descrito anteriormente, os dados de temperatura do ar medida apresentaram tendência devido à forma da topografia da área de estudo, assim é possível notar que os semivariogramas construídos com os dados originais de altitude e temperatura do ar estimada tem o mesmo comportamento espacial dos pares de semivariância (Figura 10 e 11).

O semivariograma escalonado para todos os parâmetros climáticos envolvidos neste estudo descreve que a altitude e a temperatura do ar estimada apresentam distribuição espacial dos pares de semivariância similar devido a sua forte correlação.

A precipitação apresenta um crescimento inicial dos pares de semivariância coincidindo com a altitude, no entanto com o

distanciamento das estações meteorológicas a precipitação torna-se mais estável no seu valor médio, no entanto com diferenciação a altitude, uma vez que em altitudes médias ocorre elevada variabilidade das chuvas, fato que não ocorre nas zonas litorâneas e nas regiões montanhosas.

Pode-se notar fortes flutuações até os 200 km de distância na Figura 11, causadas por variações periódicas da precipitação pluvial e da temperatura do ar medida nesta distância. Acredita-se que tal flutuação se deva aos índices pluviométricos obtidos na região litorânea, onde a precipitação pluvial apresenta distribuição espacial distinta das demais regiões do Estado, como constatado por Carvalho e Assad (2002) e Carvalho et al (2009).

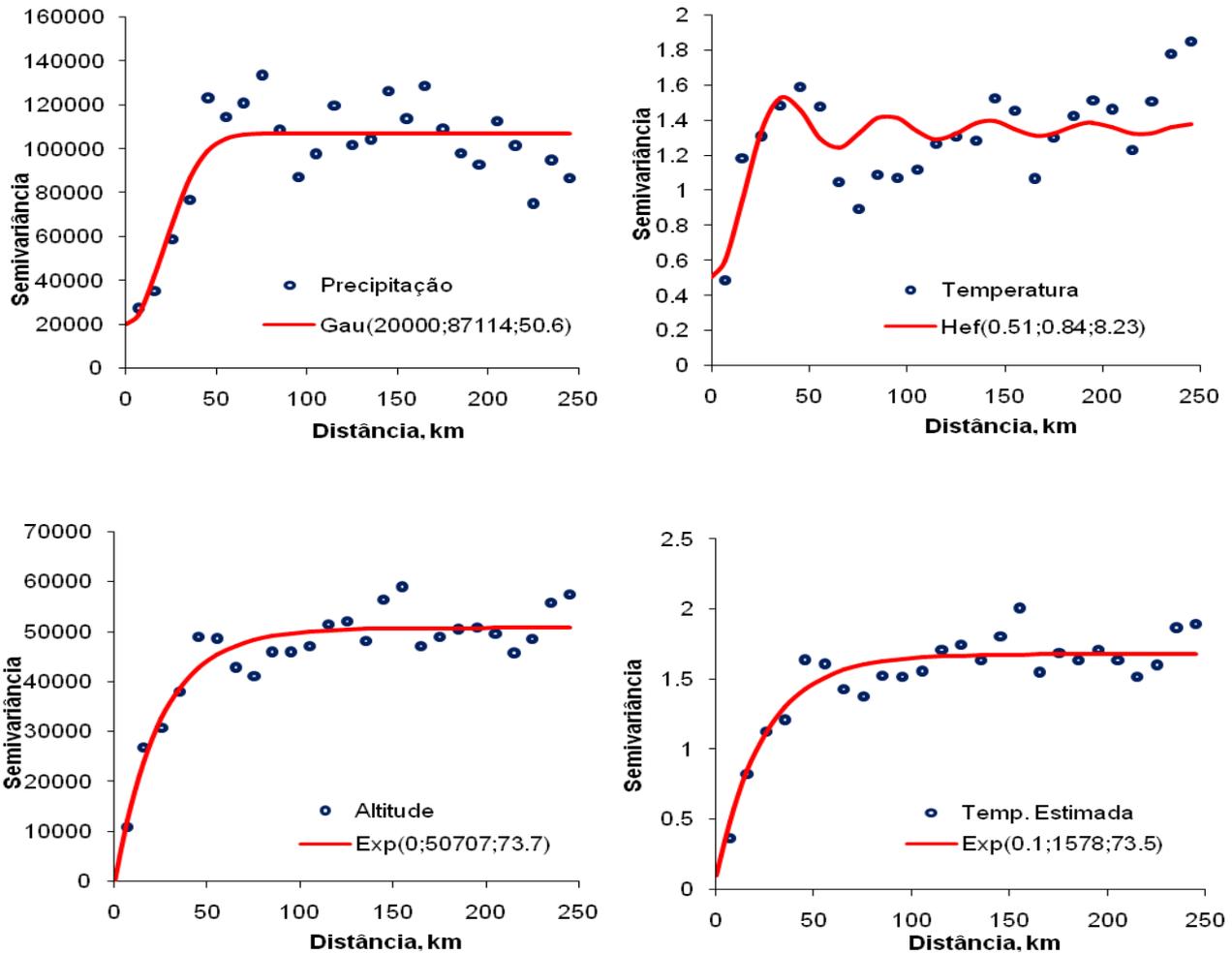


Figura 11. Semivariogramas ajustados para os atributos em estudo.

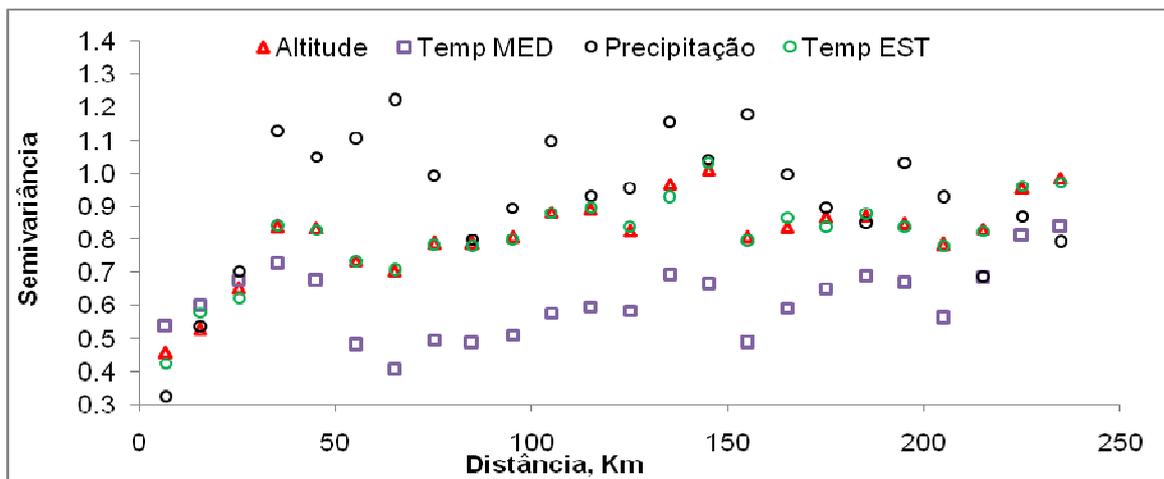


Figura 12. Semivariograma escalonada dos atributos em estudo.

4. Conclusões

A estimação da temperatura média anual por meio de equação de regressão múltipla e ajuste linear, possibilitou a

determinação dos valores de temperaturas médias anuais, tendo como base os dados de altitude e latitude para o São Paulo. O uso de tal sistema de equações faz-se necessário para

se adequar os modelos à escala espacial de regiões menores e mais homogêneas.

A integração de ferramentas de geoprocessamento e geoestatística proporcionou a determinação dos mapas temáticos dos atributos do clima sem tendenciosidade. Ademais, de favorecer o delineamento de zonas com ocorrência de valores extremos, permitindo a inferência sobre o zoneamento climático para o Estado de São Paulo.

Os mapas de variabilidade espacial apresentam regiões no estado de São Paulo com valores extremos de temperatura do ar (°C) e precipitação pluvial (mm), propiciando o planejamento sócio-agro-ambiental.

5. Agradecimentos

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e a Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE), pelo apoio financeiro.

6. Referências

Bega, R. M.; Vieira, S. R.; Maria, I. C. de; Dechen, S. C. F.; Castro, O. M. (2005). Variabilidade espacial das precipitações pluviométricas diárias em uma estação experimental, em Pindorama, SP. *Bragantia*, v.64, n.1, p.149-156.

Brunini, O.; Abramides, P. L. G.; Prella, A.;

Rolim, G. S.; Blain, G. C.; Ribeiro, R. V.; Tremocoldi, W. A.; Calheiros, R. V.; Camargo, M. B. P.; Pedro Junior, M. J. (2008). Monitoramento ambiental e hidrometeorológico no Estado de São Paulo - Uma ação pelo Ciiagro. *Revista Tecnologia & Inovação Agropecuária*, v. 1, p. 90-97.

Burrough, P. A.; Van Gaans, P. F. M.; Hootsm Ans, R. (1997). Continuous classification in soil survey: spatial correlation, confusion and boundaries. *Geoderma*, v. 77, p. 115-135.

Camargo, Â. P.; Pinto, H. S.; Pedro Junior, M. J. (1974). Aptidão climática de culturas agrícolas. São Paulo: Secretaria da Agricultura. Zoneamento agrícola do Estado de São Paulo, São Paulo, CATI, v. 1, p 109-49.

Camargo, M.B.P.; Brunini, O.; Pedro Júnior, M.J.; Bardin, L. (2005). Variabilidade espacial e temporal de dados termoplúviométricos diários da rede de estações meteorológicas do Instituto Agrônomo. *Bragantia: Revista de ciências agrônômicas*. Campinas – IAC. Vol. 64, n. 3, p. 473 – 483.

Cambardella, C. A.; Moorman, T. B.; Novak, J. M.; Parkin, T. B.; Karlem, D. L.; Turvo, R. F.; Konopa, A. E. (1994). Field scale variability of soil properties in central Iowa soil. *Soil Science of América Journal*, Madison, v.47, p.1501-1511.

Carvalho, J. R. P.; Assad, E. D. (2002)

Comparação de interpoladores espaciais univariados para precipitação pluvial anual no Estado de São Paulo. Campinas: Embrapa Informática Agropecuária. 6p. Comunicado Técnico.

Carvalho, J. R. P.; Vieira, S. R.; Grego, C. R. (2009). Comparação de métodos para ajuste de modelos de semivariograma da precipitação pluvial anual. R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental, v.13, n.4, p.443-448.

Castro, F. da S. (2008). Zoneamento agroclimático para a cultura do pinus no Estado do Espírito Santo. 121 f. Dissertação (Mestrado em Agrometeorologia Agrícola) - Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, ES.

CLIMA. Biblioteca Virtual do Governo do Estado de São Paulo. 2007. Disponível em: <http://www.bibliotecavirtual.sp.gov.br/pdf/sao-paulo-geografia.pdf>. Acesso em: junho de 2012.

DAEE - Departamento de Águas e Energia Elétrica/SP. (13 Mai. 2009). Recursos Hídricos e Saneamento. Banco de dados hidrometeorológicos. <http://www.dae.sp.gov.br/hidrometeorologia/bancodados.htm>.

Ferreira, C. C. M. (1997). Zoneamento agroclimático para implantação de sistemas agroflorestais com eucaliptos, em Minas Gerais . 158 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

GOLDEN SOFTWARE. (2000). Surfer V.7.02. Surface Mapping System, Colorado.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2010. Estados. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/estadosat/perfil.php?s-igla=sp>. Acesso em: junho de 2012.

Journel, A. G.; Huijbregts, C. J. (1978). Mining geostatistics. London: Academic Press, 600p

Landim, P. M. B. (1998). Análise estatística de dados geológicos. São Paulo, Ed. UNESP, 226p.

Leenaers, H., Ohx, J. P., Burrough, P. A. (1990). comparison of spatial prediction methods for mapping floodplain soil pollution. Catena, v. 17, p. 535-550.

Libardi, P. L.; Manfron, P. A.; Moraes, S. O.; Tuon, R. L. (1996). Variabilidade da umidade gravimétrica de um solo hidromórfico. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, MG, v.20, p.1-12.

Mcbratney, A. B.; Webster, R. (1986). Choosing functions for semivariograms and fitting them to sampling estimated. Journal of Soil Science, v.37, p.617-639.

Medeiros, D. A. (2004). Métodos de amostragens no levantamento da diversidade arbórea do cerrado da Estação Ecológica de Assis. 85 f. Dissertação (Programa de Pós-graduação em Ecologia de Agroecossistemas - Mestrado) - Escola Superior de Agricultura

Luiz de Queiros – ESALQ.

Mellaart, E. A. R. (1999). Small-scale spatial rain distribution: the effect of temporal and spatial rain distribution on drought and crop yield at village level. Nelspruit: Institute for Soil, Climate and Water.

Mello, M. H. A.; Pedro Júnior, M. J.; Lombardi Neto, F. (1994). Hidrologia, Climatologia e agrometeorologia. In : Bertolini, D.; Carraro E.; Lombardi Neto, F.; Lepsch, I. F.; Mello, M. H. A.; Drugowich, M. I.; Pedro Júnior, M. J.; Bellinazzi Júnior, R. Potencialidades agrícolas das terras do Estado de São Paulo. Campinas: Coordenadoria de Assistência Técnica Integral, p. 23-41, (Manual técnico n.º 39).

Mesquita Júnior, H. N. (1998). Análise temporal com sensor orbital de unidades fisionômicas de cerrado na Gleba Pé-de-Gigante (Parque Estadual de Vassununga-SP). 118 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Ecologia dos Ecossistemas Terrestres e Aquáticos - Mestrado) - Universidade de São Paulo, USP.

Milanesi, M. A.; Galvani, E. Efeito orográfico na ilha de São Sebastião (Ilhabela – SP). Revista Brasileira de Climatologia. n. 9 – jul/dez/2011. Disponível em: <http://ojs.c3sl.ufpr.br/ojs2/index.php/revistaabclima/article/view/27516/18335>. Acesso em: julho 2012.

Miller, A. (1971). “Meteorology”. Charles E. Merrill, Columbus, Ohio.

Ministério do Desenvolvimento Agrícola – MDA. “Zoneamento Agrícola de Risco Climático: Instrumento de Gestão de Risco utilizado pelo Seguro Agrícola do Brasil”, 2009. Disponível em <http://www.mda.gov.br/saf/arquivos/1024115510.doc>. Acesso: 21/3/2009.

Nimer, E. (1977). Descrição, análise e interpretação conceitual do sistema de classificação de climas de C. W. Thornthwaite. Revista Brasileira de Geografia, Rio de Janeiro, v.39, n.1, p. 87 – 1109.

Oliveira Neto, S. N.; Reis, G. G.; Reis, M. G. F.; Leit E, H. G.; Costa, J. M. N. (2002). Estimativa de temperaturas mínima, média e máxima do território brasileiro situado entre 16 e 24° latitude sul e 48 e 60° longitude oeste. Engenharia na Agricultura, v.10, n.1-4, p.57-61.

Ometto, J. C. (1981). Bioclimatologia Vegetal. São Paulo: Ceres, 435 p.

Pinto, H. S.; Ortolani, A. A.; Alfonsi, R. R. (1972). Estimativa das temperaturas médias mensais do Estado de São Paulo em função da altitude e latitude. São Paulo: USP, 20p. (Caderno Ciências da Terra, 23).

Rocha, J. S. M. da. (1997). Manual de projetos ambientais. Brasília: MMA. 446p.

Rolim, G. S.; Camargo, M. B. P.; Lania, D. G.; Moraes, J. F. L. (2007). Classificação climáticas de Koppen e de Thorthwaite e sua aplicabilidade na determinação de zonas

agroclimáticas para o estado de São Paulo. *Bragantia: Revista de Ciências Agrônomicas*, Campinas – IAC. Vol. 66, número 4, pp. 711-720.

Santos, C.M.A. (2007). *Estatística Descritiva - Manual de Auto-aprendizagem*, Lisboa, Edições Sílabo, 261p.

SÃO PAULO. Aspectos naturais do Estado de São Paulo. Brasil Escola. 2011a. Disponível em: <http://www.brasilecola.com/brasil/aspectos-naturais-estado-sao-paulo.htm>. Acesso em: 26 de julho de 2011.

SÃO PAULO. São Paulo: GEOGRAFIA DO ESTADO. Biblioteca virtual. 2011b. Disponível em: <http://www.bibliotecavirtual.sp.gov.br/pdf/saopaulo-geografia.pdf>. Acesso em 26 de julho de 2011.

Sediyama, G. C.; Melo Júnior, J. C. F.; Santos, A. R.; Souza, J. A.; Santana, M. O. (2002). Modelo para estimativas das temperaturas normais mensais médias, máximas, mínimas e anual georreferenciados para o estado do Espírito Santo. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 31, 2002, Salvador. Anais... Salvador: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola. 1 CD-ROM.

Sediyama, G.C.; Melo Junior, J.C. F. de; Santos, A. R. dos; Ribeiro, A.; Costa, M. H.; Hamakawa, P. J.; Costa, J. M. N. da; Costa, L. C. (2001). Zoneamento agroclimático do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) para o estado e Minas Gerais. *Revista Brasileira de*

Agrometeorologia, Passo Fundo, v. 9, n.3, p. 501-509.

Setzer, J. (1966). Atlas climatológico e ecológico do estado de São Paulo. São Paulo – SP: Comissão Interestadual da Bacia do Paraná-Uruguaí. Centrais elétricas do estado de São Paulo, p. 61.

STASOFT, Inc. (2004). STATISTICA (data analysis software system), version 7. (Software estatístico).

Tubelis, A. (1988). A chuva e a produção agrícola. São Paulo: Nobel, 86 p.

Vieira, S.R. (2000). Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H., SCHAEFER, G. R. (ed.) Tópicos em Ciência do solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.1, p.1-54.

Warrick, A. W.; Nielsen, D. R. (1980). Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D. *Applications of soil physics*. New York: Academic Press.

Weber, D. D.; Englund, E. J. (1994). Evaluation and comparison of spatial interpolators II. *Math. Geol.*, v. 26, p. 589-603.

Zimback, C. R. L. (2001). Análise espacial de atributos químicos de solos para fins de mapeamento da fertilidade. Tese de Livre-Docência (Livre-Docência em Levantamento do solo e ftopedologia), FCA/UNESP, 114p.