

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU**

**VARIABILIDADE ESPACIAL E TEMPORAL DE FATORES EDAFOCLIMÁTICOS
NA BACIA DO RIO PONTAL, PERNAMBUCO**

CLÓVIS MANOEL CARVALHO RAMOS

**Tese apresentada a Faculdade de Ciências
Agronômicas da Unesp – Campus de Botucatu,
para obtenção do título de Doutor em Agronomia
(Irrigação e Drenagem)**

**BOTUCATU, SP
Fevereiro, 2012**

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**VARIABILIDADE ESPACIAL E TEMPORAL DE FATORES EDAFOCLIMÁTICOS
NA BACIA DO PONTAL SUL**

CLÓVIS MANOEL CARVALHO RAMOS

Orientador: Luís Henrique Bassoi

Co-Orientadora: Célia Regina Lopes Zimback

Tese apresentada a Faculdade de Ciências
Agronômicas da Unesp – Campus de Botucatu, para
obtenção do título de Doutor em Agronomia
(Irrigação e Drenagem)

BOTUCATU, SP

Fevereiro, 2012

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - SERVIÇO TÉCNICO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

R175v Ramos, Clóvis Manoel Carvalho, 1970-
Variabilidade espacial e temporal de fatores edafoclimáticos na bacia do Rio Pontal, Pernambuco / Clóvis Manoel Carvalho Ramos. - Botucatu : [s.n.], 2012
xi, 68 f. : il., color., grafs., tabs.

Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu, 2012

Orientador: Luis Henrique Bassoi

Co-Orientador: Celia Regina Lopes Zimback

Inclui bibliografia

1. Geoestatística. 2. Elemento climático. 3. Dependência temporal. 4. Areia. 5. Krigagem. I. Bassoi, Luis Henrique. II. Zimback, Celia Regina Lopes. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônomicas. IV. Título.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: "VARIABILIDADE ESPACIAL E TEMPORAL DE FATORES
EDAFOClimáticos NA BACIA DO RIO PONTAL, PERNAMBUCO"

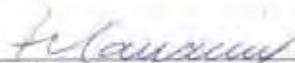
ALUNO: CLÓVIS MANOEL CARVALHO RAMOS

ORIENTADOR: PROF. DR. LUIS HENRIQUE BASSOI

Aprovado pela Comissão Examinadora



PROF. DR. LUIS HENRIQUE BASSOI



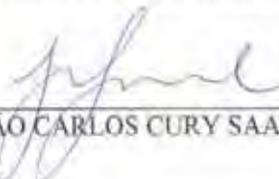
PROF. DR. PAULO MILTON BARBOSA LANDIM



PROF. DR. OSMAR DELMANTO JÚNIOR



PROF. DR. ZACARIAS XAVIER DE BARROS



PROF. DR. JOÃO CARLOS CURY SAAD

Data da Realização: 08 de Fevereiro de 2012.

DEDICATÓRIA

Ao meu Bom Deus, a Virgem Maria, protetora vigilante, e Santa Ana, a quem sou devoto desde o início desta caminhada.

A minha família, que se dispôs em uma aventura em função de um sonho.

Aos meus pais, Sebastião A. Ramos e Suzanila C Nascimento, e irmãos, Gustavo Ramos e Sebastião Filho, que descobri muito mais amigos durante esta jornada.

DEDICO

AGRADECIMENTO

Ao Pesquisador Luís Henrique Bassoi e a Professora Célia Lopes Zimback minha gratidão pela serenidade na orientação, pelo rigor na condução do trabalho, pela confiança e amizade depositada durante estes anos;

Aos Professores Helenice de Oliveira Florentino Silva, Flávio Ferrari Aragon, João Luis Zocoler, Paulo Milton Barbosa Landin, José Silvio Govone pelos ensinamentos e experiências repassadas que tanto contribuíram para a realização deste trabalho e aos Professores João Domingos, Elizabeth Orika Ono, Romy Goto, João Carlos Cury Saad, Zacarias Xavier de Barros, Roberto Lyra Villas Bôas pela atenção e suporte na minha estada em Botucatu e em atividades desenvolvidas na FCA/Unesp;

A Faculdade de Ciências Agrônomicas (FCA/Unesp), pela oportunidade de realizar este curso, especialmente ao Dep. de Engenharia Rural e seus funcionários Rita de Cassia Miranda Gomes, Dejair Martiniano Ribeiro, Gilberto Winckler a quem agradeço em nome de todos que compõe a equipe, o Dep. Ciência do Solo e seus funcionários Selma Regina Lopes Miranda, Sylvia Regina Garcia e Jair Vieira a quem agradeço em nome de todos que compõe a equipe, e a Seção de Pós-Graduação em nome de Marlene Rezende de Freitas a quem agradeço em nome de todos que compõe a equipe,

Ao Grupo de Estudos e Pesquisas Agrárias Georreferenciadas (GEAPG), pelo apoio, ensinamentos repassados e atenção durante minha estada na FCA/Unesp principalmente os colegas Alessandra Fagioli, Luís Gustavo Frediani Lessa, Alessandra Fagioli da Silva, Ana Paula Barbosa, Anderson Antonio da Conceicao Sartori, Ramon Felipe Bicudo da Silva, Rodrigo José Pisani, Waylson Zancanella Quarteza, Rone Batista de Oliveira, Fábio Ávila Nossack, Francienne Gois Oliveira, Indiamara Marasca, Juliano Boeck Santos, Leslie Ivana Serino Castro;

Aos colegas da Pós-Graduação Adilson Pacheco, Alessandro Santos, Adriano Dawson, José Joaquim de Carvalho, Leandro Salomão, Alessandra Oliveira, Luiz Vitor Sanches, Thais

Souza, Rigléia Brauer, Aline Fonseca, Livia Losi, Livia Carribeiro, Leticia Foratto, Talita Pletsch, Cicero Teixeira pelas realizações e conquistas durante o curso;

A Empresa de Pesquisa Agropecuária (Embrapa Semiárido) pela estrutura, fornecimento de dados e apoio para a realização deste trabalho. Agradeço aos pesquisadores na pessoa de Iêdo Bezerra Sá e aos funcionários nas pessoas de Tatiana Ayako Taura e Antonio Paulino dos Santos;

A Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de estudos e recursos financeiros concedidos para o desenvolvimento do presente trabalho;

A Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba (Codevasf) por ceder dados e informações sobre o Perímetro Irrigado do Pontal Sul.

Ao Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano (IF Sertão Pernambucano) na pessoa do Diretor do Campus Salgueiro Prof. Amancio Holanda de Souza, pela atenção e oportunidade, além de todos os colegas de trabalho representados por Álvaro Carlos, Edmilson Gomes, Adriana Figueiredo, Ana Maria Viana, Marcio Gondim, Carla Samantha e Sandra Galvão (O Grupo dos Oito) que incentivaram e apoiaram durante os tempos de carga horária dobrada de trabalho;

As amigas Amanda Amaro, Ana Claudia e Camila Abrahão pela atenção e carinho com minha família, além do apoio indireto para a realização deste trabalho e melhor estada em Botucatu;

A todos os meus familiares que deram suporte para a realização de um sonho principalmente as Tias Elisabeth Carvalho, Noemi Carvalho, Maria de Lurdes e esposo, Vanda Ramos (in memoriam), Socorro e esposo, Leonor Ramos e Amélia Ramos e Tio Noé Simplício (in memoriam) e esposa.

SUMÁRIO

	Páginas
LISTA DE TABELAS	VIII
LISTA DE FIGURAS	IX
LISTA DE EQUAÇÕES	XI
RESUMO:	1
SUMMARY	3
INTRODUÇÃO.....	5
CAPÍTULO 1 - MODELAGEM DA VARIAÇÃO HORÁRIA DA TEMPERATURA DO AR EM PETROLINA, PE, E BOTUCATU, SP.....	10
1.1- Introdução.....	12
1.2 - Material e Métodos.....	14
1.3- Resultados e Discussão	16
1.4- Conclusões	23
1.5- Referências	23
CAPITULO 2 - VARIAÇÃO TEMPORAL DA PRECIPITAÇÃO PLUVIAL NA BACIA DO RIO PONTAL - PE	26
2.1- Introdução.....	27
2.2- Material e Métodos.....	29
2.3- Resultados e Discussão	32
2.4- Conclusões	46
2.5- Referências	46
CAPITULO 3 - DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO NO PERÍMETRO IRRIGADO PONTAL SUL, EM PETROLINA – PE	49
3.1- Introdução.....	50
3.2- Material e Métodos.....	52
3.3- Resultados e Discussão	54
3.4- Conclusões	58
3.5- Referências	58
CONCLUSÕES	60
REFERÊNCIAS	61
APENDICE 1	62

LISTA DE TABELAS

	Páginas
Tabela 1. Estatística descritiva da temperatura do ar em Botucatu, SP, entre janeiro de 2004 a dezembro de 2005	17
Tabela 2. Estatística descritiva da temperatura do ar em Petrolina, PE, entre janeiro de 2004 a dezembro de 2005	17
Tabela 3. Modelos e parâmetros dos variogramas da temperatura do ar para dados de Botucatu, SP, e Petrolina, PE.....	19
Tabela 4. Desempenho dos modelos em função das amostras de temperatura do ar	20
Tabela 5. Modelos e parâmetros dos variogramas da precipitação pluviométrica mensal para cada uma das estações meteorológicas estudadas da Bacia do Rio Pontal	33
Tabela 6. Modelos e parâmetros dos variogramas da precipitação pluviométrica mensal acima de 10mm para cada uma das estações meteorológicas estudadas da Bacia do Rio Pontal.	35
Tabela 7. Modelos e parâmetros dos variogramas da precipitação pluviométrica mensal acima de 50mm para cada uma das estações meteorológicas estudadas da Bacia do Rio Pontal.	37
Tabela 8. Modelos e parâmetros dos variogramas da precipitação mensal acima de 100mm nas estações meteorológicas estudadas da Bacia do Rio Pontal.	39
Tabela 9. Modelos e parâmetros dos variogramas da precipitação pluviométrica mensal acima de 200mm para cada uma das estações meteorológicas estudadas da Bacia do Rio Pontal.	41
Tabela 10. Modelos e parâmetros dos variogramas para os atributos físico do solo percentual de areia, argila e silte.	55

LISTA DE FIGURAS

	Paginas
Figura 1- Localização da Bacia do Rio Pontal em relação aos municípios e em relação a Bacia do Rio São Francisco.	7
Figura 2- Relevo da Bacia do Rio Pontal e do Perimetro Irrigado Pontal Sul.	8
Figura 3 Modelagem da temperatura do ar para a cidade de Botucatu, SP, nos anos de 2004 e 2005. Box-plot da média dos resíduos dos modelos gerados a partir dos três conjuntos de registros estudados (A); média dos resíduo da estimativa horária da temperatura do ar modelada pelo conjunto de registros T2-8-14-20 (B); média dos resíduo da estimativa horária da temperatura do ar modelada pelo conjunto de registros T4-10-16-22 (C); média dos resíduo da estimativa horária da temperatura do ar modelada pelo conjunto de registros e T9-15-21 (D).....	21
Figura 4 . Modelagem da temperatura do ar para a cidade de Petrolina, PE, nos anos de 2004 e 2005. Box-plot da média dos resíduos dos modelos gerados a partir dos três conjuntos de registros estudados (A); média dos resíduo da estimativa horária da temperatura do ar modelada pelo conjunto de registros T2-8-14-20 (B); média dos resíduo da estimativa horária da temperatura do ar modelada pelo conjunto de registros T4-10-16-22 (C); média dos resíduo da estimativa horária da temperatura do ar modelada pelo conjunto de registros e T9-15-21 (D)	22
Figura 5. Posição das estações meteorológicas utilizadas para o estudo da variabilidade temporal da precipitação.....	30
Figura 6. Modelos e parâmetros do variograma da precipitação pluviométrica mensal para cada uma das estações meteorológicas estudadas da Bacia do Rio Pontal.	34
Figura 7. Variograma da precipitação pluviométrica mensal acima de 10mm para cada uma das estações meteorológicas estudadas da Bacia do Rio Pontal.	36
Figura 8. Variograma da precipitação pluviométrica mensal acima de 50mm para cada uma das estações meteorológicas estudadas da Bacia do Rio Pontal.	38
Figura 9. Variograma da precipitação mensal acima de 100mm para cada uma das estações meteorológicas estudadas da Bacia do Rio Pontal.	40
Figura 10. Variograma da precipitação pluviométrica mensal acima de 200mm para cada uma das estações meteorológicas estudadas da Bacia do Rio Pontal.....	42
Figura 11. Probabilidade média obtida por Krigagem indicativa da ocorrência de volume mensal de precipitação pluvial (P, mm) para cada uma a estação meteorológica Afânio na Bacia do Rio Pontal.	43

Figura 12. Probabilidade média obtida por Krigagem indicativa da ocorrência de volume mensal de precipitação pluvial (P, mm) para cada uma a estação meteorológica Arizona na Bacia do Rio Pontal.....	44
Figura 13. Probabilidade média obtida por Krigagem indicativa da ocorrência de volume mensal de precipitação pluvial (P, mm) para cada uma a estação meteorológica Faz. Poço da Pedra na Bacia do Rio Pontal.....	44
Figura 14. Probabilidade média obtida por Krigagem indicativa da ocorrência de volume mensal de precipitação pluvial (P, mm) para cada uma a estação meteorológica Sitio Carretão na Bacia do Rio Pontal.	45
Figura 15. Probabilidade média obtida por Krigagem indicativa da ocorrência de volume mensal de precipitação pluvial (P, mm) para cada uma a estação meteorológica Bebedouro no Município de Petrolina.	45
Figura 16. Distribuição dos pontos de amostra na área do Perímetro Irrigado do Pontal Sul.....	53
Figura 17. Modelos e parâmetros do variograma para os atributos físicos do solo percentual de areia, argila e silte.	56
Figura 18. Mapas da distribuição espacial das frações areia, argila e silte no Perímetro Irrigado do Pontal Sul, PE.	57
Figura 19- Modelos e parâmetros dos variogramas da temperatura do ar para dados de Botucatu, SP (Capítulo 1).....	63
Figura 20- Modelos e parâmetros dos variogramas da temperatura do ar para dados de Petrolina, PE (Capítulo 1)	64
Figura 21- Mapa temporal com a estimativa da variação horária da temperatura para Botucaru-SP (Capítulo 1)	65
Figura 22- Mapa temporal com a estimativa da variação horária da temperatura para Petrolina-PE (Capítulo 1)	66
Figura 23- Mapa temporal com a diferença entre a estimativa da variação horária da temperatura e os registros horários de Botucaru-SP (Capítulo 1)	67
Figura 24- Mapa temporal com a diferença entre a estimativa da variação horária da temperatura e os registros horários de Petrolina-PE (Capítulo 1)	68

LISTA DE EQUAÇÕES

	Páginas
$\gamma^*(h) = \left(\frac{1}{2^{N(h)}} \right) \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2$	Eq. 1..... 15
$d=1 - \sum (P_i - O_i)^2 + \sum (P_i - O + O_i - O)^2$	Eq. 2..... 15
$c = r \times d$	Eq. 3 16
$\gamma^*(h) = \left(\frac{1}{2^{N(h)}} \right) \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2$	Eq. 4 31
$i_j(V_c) = \begin{cases} 0 & \text{se } V_j \leq V_c \\ 1 & \text{se } V_j > V_c \end{cases}$	Eq. 5 31
$\gamma^*(h) = \left(\frac{1}{2^{N(h)}} \right) \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2$	Eq. 6 53

RESUMO:

A bacia hidrográfica tem sido reconhecida como o espaço geográfico mais adequado para tratar de assuntos ambientais, constituindo-se em unidade de gestão administrativa, pois pode abranger diversidades demográficas, sociais, culturais e econômicas. Devido à complexidade inerente aos problemas de demandas e ofertas de água em uma bacia hidrográfica, é necessária a utilização de técnicas e instrumentos capazes de auxiliar os profissionais responsáveis pelo planejamento e gerenciamento de recursos hídricos. A Bacia do Rio Pontal tem uma área de 6.023km², e está situada nos municípios de Petrolina, Afrânio, Dormentes e Lagoa Grande, no estado de Pernambuco. O rio Pontal, dreno principal da bacia, com comprimento de 206 km, é um rio de ordem quatro segundo a classificação de Strahler (1957), e é um tributário da margem esquerda do rio São Francisco. A bacia tem declividade abaixo de 15%, com mediana na ordem de 2%, e relevo em sua maior parte plano com cotas que variam entre 360 a 700 m. A vegetação natural é do tipo Caatinga, porém cerca de 52% da sua área foi modificada pela ação humana. A precipitação pluviométrica, principal fonte hídrica da região, registra historicamente, totais anuais inferiores a 600 mm, com trimestre mais chuvoso de janeiro a março, e déficit hídrico em 8 a 10 meses na maioria dos anos, com igual período de severa seca. Nessa bacia serão implantados dois perímetros irrigados com um total de 7,7 mil ha, com captação de água no Rio São Francisco da ordem de 7,8 m³/s. Existe uma demanda de perenização do rio Pontal por parte dos proprietários de terras ao longo da bacia. No Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco, coordenado pelo Comitê da Bacia Hidrográfica do São Francisco (CBHSF), a unidade hidrográfica do Pontal está entre as unidades com maiores problemas na relação entre os usos e a vazão média, caracterizando uma situação crítica e exigindo intenso gerenciamento dos recursos hídricos e necessidade de investimentos. O trabalho teve como objetivo a caracterização edafoclimática da área do Perímetro Irrigado Pontal Sul, situado na Bacia do Rio Pontal, utilizando ferramentas de geoprocessamento e geoestatística para a criação de um banco de dados que possibilitará futuros estudos de simulação sobre o uso de água pela agricultura no perímetro irrigado, e seus possíveis impactos na bacia. Foram analisadas a variabilidade temporal da precipitação pluvial nos municípios de Petrolina e Afrânio; a variabilidade temporal da temperatura do ar no município de Petrolina; e a variabilidade

espacial das frações granulométricas do solo na área do perímetro irrigado. A dependência temporal da temperatura do ar medida a cada hora tem variância estruturada a partir de um intervalo de 12 h entre as observações realizadas. O horário de medida da temperatura do ar e as condições climáticas locais são fatores que interferem no desempenho do modelo que estima a variação da temperatura do ar. Para a precipitação observa-se uma dependência temporal moderada para ocorrências de chuva mensal. As probabilidades mais altas, para chuvas acima de 100 mm, ocorreram nos meses de fevereiro e março. As maiores probabilidades de chuvas mensais de 50 a 100 mm ocorrem nos meses de novembro a abril. Já para os meses de maio a outubro a probabilidade é maior para as chuvas mensais abaixo de 10 mm. Os percentuais das frações granulométricas apresentaram dependência espacial forte para areia, silte e argila, nas camadas de 0-0,2 m e 0,2-0,4 m de profundidade.

Palavras chave: geoestatística, dependência temporal, elemento climático, semiárido, krigagem, probabilidade, areia, silte, argila.

SPATIAL AND TEMPORAL VARIABILITY OF EDAPHOCLIMATIC FACTORS IN THE PONTAL RIVER BASIN, PERNAMBUCO STATE. Botucatu, 2011. 70p. Tese (Doutorado em Agronomia/Irrigação e Drenagem) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: CLÓVIS MANOEL CARVALHO RAMOS

Adviser: LUÍS HENRIQUE BASSOI

Co-Adviser: CÉLIA REGINA LOPES ZIMBACK

SUMMARY

The basin has been recognized as the most appropriate geographic area to analyze environmental issues, constituting a management unit which can comprise demographic, social, cultural and economic diversities. Due to the inherent complexity of the problems related to the water demand and supply in a basin, it is necessary to use techniques and tools to help professionals responsible for planning and management of water resources. The Pontal River Basin has 6.023km² area, and covers the municípios of Petrolina, Afranio, Dorments and Lagoa Grande, in Pernambuco state, Brazil. The Pontal river, 206 km long, is classified as a river of order four according to Strahler (1957), and it is also a natural tributary of the São Francisco River, on its left side. The basin has slope below 15%, with median value around 2%, flat topography in most of its surface area, with altimetry ranging from 360 to 700 m. The vegetation is Caatinga type, and about 52% of its area has been modified by human action. Rainfall is the main water source in the region, and according to historical records, 600 mm or less fall within the wettest period, January to March, while a water deficit occurs in 8 to 10 months, with the same period of severe drought in most of the years. In this basin will be established two irrigation schemes with a total area of 7,700 ha, and water pumping of 7.8 m³s⁻¹ from São Francisco River. There is a demand from the landowners to make the Pontal river perennial. In the Water Resources Plan of the São Francisco River Basin, coordinated by the San Francisco River Basin Committee, the Pontal basin is presented as one the hidrographic units with severe problems in the uses and water demand ratio, indicating a critical situation and requiring intensive management of water resources and investment needs. The study aimed to characterize the soil and the climate in the Pontal Sul Irrigation Scheme, located in the Pontal River Basin, using geographic information system and geostatistics tools

to create a database which will allow future simulation studies on the water use for agriculture in the irrigation scheme, and its possible impacts on the basin. There were analyzed the temporal variability of precipitation in the municipios of Petrolina Afranio, the temporal variability of air temperature in Petrolina, and the spatial variability of soil size fractions throughout the irrigation scheme area. The time dependence of air temperature measured at hour basis presented a structured variance from a 12 h interval among observations. The time of air temperature measurement and local climatic conditions are factors that affect the model accuracy which estimate the air temperature variation. Precipitation data presented moderate time dependence for occurrences of monthly rainfall. The highest probabilities for rainfall above 100 mm occurred in February and March. The highest probabilities of monthly rainfall of 50 and 100 mm occur from November to April. From May to October the probability increases to monthly rainfall below 10 mm. The percentages of size fractions showed strong spatial dependence for sand, silt and clay, in the 0-0.2 m and 0.2-0.4 m depths.

Keywords: geostatistics, temporal dependency, climatic element, semi-arid, krigging, probability, sand, silt, clay

INTRODUÇÃO

Diante da crescente demanda de água e a natural necessidade de gerenciar os recursos hídricos disponíveis a bacia hidrográfica tem sido reconhecida como o espaço geográfico mais adequado para tratar de assuntos ambientais, constituindo-se em unidade de gestão administrativa. É um espaço de planejamento e de gestão das águas, adequando-se e compatibilizando-se às diversidades demográficas, sociais, culturais e econômicas das regiões. Devido a complexidade inerente aos problemas de demandas e ofertas de água em uma bacia hidrográfica requer a utilização de técnicas e instrumentos capazes de auxiliar os profissionais responsáveis pelo planejamento e gerenciamento de recursos hídricos.

Tucci e Mendes (2006) ressaltaram que o gerenciamento integrado deve ser entendido como um processo que promova o desenvolvimento coordenado e o gerenciamento da água, terra e recursos relacionados, para maximizar o resultado econômico e social de forma equitativa, sempre numa perspectiva de sustentabilidade. Tem sido bastante difícil a implementação do conceito de Gerenciamento Integrado de Recursos Hídricos (GIRH). Apesar das simulações quanto a diferentes situações para as quais a bacia está ou

pode estar sujeita, quanto ao desenvolvimento econômico e quanto à variabilidade dos condicionantes climáticos e hidrológicos, auxiliando o planejador a tomada de decisões quanto ao manejo dos recursos hídricos disponíveis para os diversos usos.

A ocupação de uma bacia hidrográfica pode apresentar uma situação de equilíbrio entre ofertas e demandas por água, até que uma destas componentes se modifique, seja na disponibilidade hídrica, seja no desenvolvimento de atividades que requeiram água como insumo. Um dos aspectos que pode ser considerado como integrado no planejamento e gerenciamento de recursos hídricos é a atendimento das diferentes demandas: setores produtivos, consumo humano e animal, manutenção de ecossistema, paisagismo, entre outros. Tomando como base o conceito de bem de relevante valor para a promoção do bem-estar de uma sociedade.

A administração dos conflitos entre os diferentes usuários pode ser realizada com uma visão de gestão integrada do uso, o controle e a conservação dos recursos hídricos (TUCCI *et al.*, 2001). A abordagem integrada do planejamento do uso e da gestão compartilhada dos recursos naturais é prática necessária e inadiável. É possível reduzir os conflitos da utilização dos recursos hídricos a um patamar mínimo, promovendo alternâncias espaciais ou de recurso utilizado para usos mais eficientes. Além disso, a vinculação do desenvolvimento social e econômico à proteção e à melhoria do meio ambiente pode contribuir decisivamente para o atendimento dos objetivos do desenvolvimento sustentável (ANJOS, 2003).

O estudo foi realizado na Bacia do Rio Pontal, com uma área de 6.023km², situada entre os municípios de Petrolina, Afrânio, Dormentes e Lagoa Grande, no estado de Pernambuco, e tem seu dreno natural como tributário do rio São Francisco na sua margem esquerda (Figura 1). O dreno principal da bacia tem um comprimento de 206 km e segundo a classificação de Strahler (1957) é um rio de ordem quatro (GALVINCIO *et al.*, 2006).

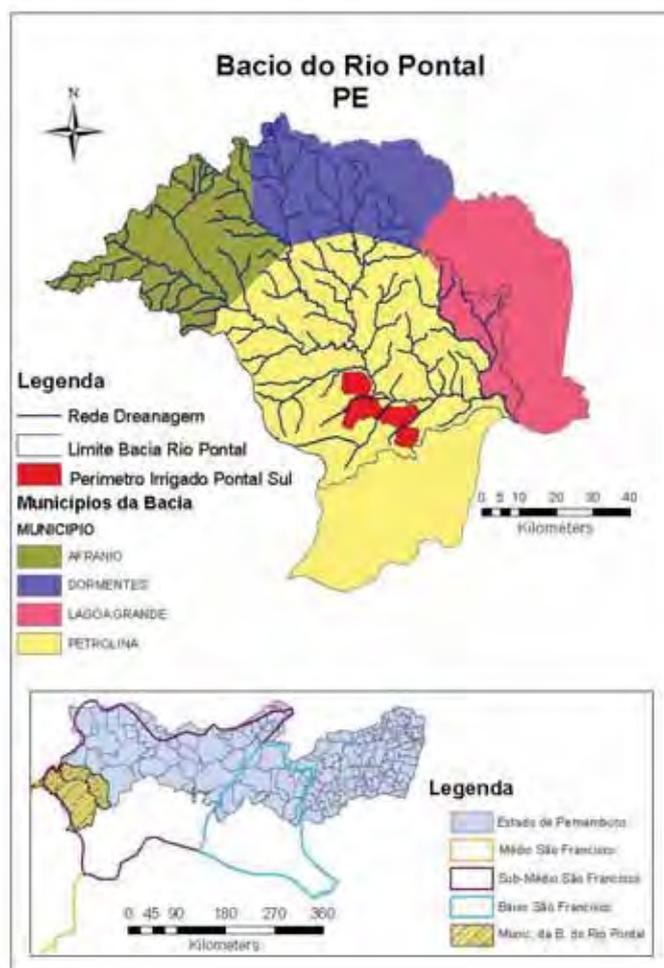


Figura 1- Localização da Bacia do Rio Pontal em relação aos municípios e em relação a Bacia do Rio São Francisco.

A bacia tem declividade abaixo de 15%, mediana na ordem de 2%, e relevo plano na maior parte do território, com cotas que variam entre 700 a 360 m. A vegetação é do tipo Caatinga e classificada como Savana Estépica Arborizada (GALVINCIO et al., 2006). A precipitação pluviométrica, principal fonte hídrica da região, registra historicamente, totais anuais inferiores a 600 mm, com trimestre mais chuvoso de janeiro a março, e déficit hídrico em 8 a 10 meses na maioria dos anos, com igual período de severa seca edáfica (CBHSF, 2004). O clima local foi classificado, segundo Köppen, como sendo megatérmico e semi-árido, do tipo BSw^h' (REDDY e AMORIM NETO, 1983).

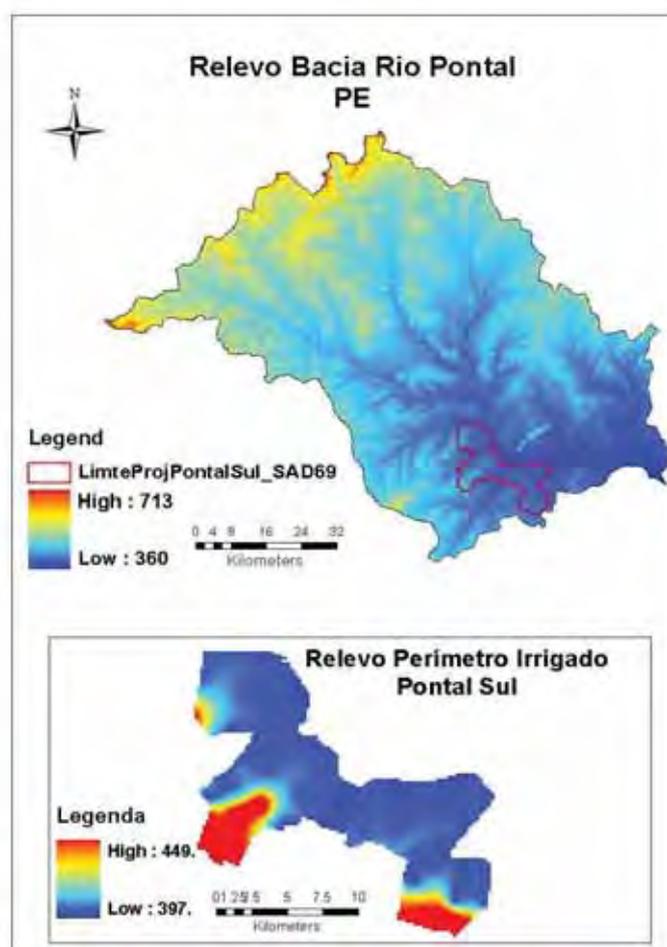


Figura 2- Relevo da Bacia do Rio Pontal e do Perímetro Irrigado Pontal Sul.

Para tanto a utilização de ferramentas que modelem os diversos processos envolvidos na distribuição e utilização dos recursos hídricos dentro de uma bacia são imprescindíveis. Desta forma este trabalho visa levantar os dados edafoclimáticos da área do Projeto Pontal Sul situado na Bacia do Rio Pontal, utilizando ferramentas de geoprocessamento e geoestatística para a criação de um banco de dados para permitir estudos de simulação sobre o uso de água pela agricultura no perímetro irrigado, e seus possíveis impactos na Bacia do Rio Pontal.

Para atingir estes objetivos a tese está dividida em 3 capítulos, sendo o primeiro capítulo intitulado “MODELAGEM DA VARIAÇÃO HORÁRIA DA

TEMPERATURA DO AR EM PETROLINA, PE, E BOTUCATU, SP”; o segundo capítulo intitulado “VARIACÃO TEMPORAL DA PRECIPITAÇÃO NA BACIA DO RIO PONTAL PETROLINA – PE”; o terceiro capítulo intitulado “DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO NO PERÍMETRO IRRIGADO PONTAL SUL, EM PETROLINA – PE”.

CAPÍTULO 1 - MODELAGEM DA VARIAÇÃO HORÁRIA DA TEMPERATURA DO AR EM PETROLINA, PE, E BOTUCATU, SP

Clóvis M. C. Ramos¹, Alessandra F. da Silva², Anderson A. da C. Sartori², Célia R. L. Zimback³ & Luís H. Bassoi⁴

¹ Doutorando em Irrigação e Drenagem/FCA-UNESP. Fone (14) 3354-0905. Email: clovis-ramos@oi.com.br

² Mestrando em Energia na Agricultura/FCA-UNESP. Fone (14) 3811-7169. Email's: alefagiolli@yahoo.com.br; sartori80@gmail.com

³ FCA/UNESP, CP 237, CEP 18610-307, Botucatu, SP. Fone (14) 3811-7165. Email: czimback@fca.unesp.br

⁴ Embrapa - Semiárido, CP 23, CEP 56302-970, Petrolina, PE. Fone (87) 3861-1711. Email: lhbassoi@cpatsa.embrapa.br

Resumo: A temperatura do ar é um elemento climático de interesse para diversos estudos relacionados à produção agrícola. A partir de dados de temperatura do ar de Botucatu, SP, e Petrolina, PE (diferentes classificações climáticas), medidos entre janeiro de 2004 e dezembro de 2005, foram selecionados dados pontuais com intervalos de seis horas entre cada observação para cada dia. Desta forma, foram analisados três conjuntos de dados, variando a hora do primeiro registro e utilizando a técnica de geoestatística com o intuito de verificar e quantificar o grau de dependência temporal entre as observações. Comprovada a dependência temporal, o método da krigagem ordinária foi utilizado a fim de modelar a

variação da temperatura do ar com o intervalo de uma hora. A análise geoestatística demonstrou a dependência temporal com ajuste ao modelo esférico, em ambas as localidades, (alcance de 11,6 h para Botucatu e 12,7 h para Petrolina). Para ambas as localidades o horário de medida da temperatura do ar foi fator importante na estimativa da variação da temperatura. Os registros às 2, 8, 14 e 20 h e às 4, 10, 16 e 22 h, geraram modelos com melhor desempenho, os modelos baseados nos registros às 9, 15 e 21 h, mostraram desempenho inferior.

Palavras-chave: geoestatística, dependência temporal, elemento climático

Modeling the hourly variation of air temperature at Petrolina and Botucatu, Brazil

Abstract: The air temperature is a climatic element of interest for several agriculture related studies. Hence, daily air temperature from two locations in Brazil (Botucatu and Petrolina, with different climate classification), hourly recorded from January 2004 to December 2005, were analysed to verify if 24 h long air temperature variation can be predicted with 6 h spaced records. Three data set were selected, with different first time record of air temperature, and analyses performed using geostatistics confirmed the temporal dependency of records. Then, ordinary krigging was used to model air temperature variation within 1 h interval, and spherical model presented the best approach, with range of 11.6 h for Botucatu and 12.7 for Petrolina. For both locations, the time of air temperature recording was the most important factor on accuracy of estimation of air temperature variation. Records at 2, 8, 14 and 20 h and at 4, 10, 16 and 22 h presented the best approaches, but for records at 9, 15 and 21 h, the approach was worst.

Key words: geostatistics, temporal dependency, climatic element

1.1- Introdução

As alterações climáticas e suas consequências para a agropecuária constituem, atualmente, uma das grandes preocupações da comunidade científica. Um dos elementos climáticos mais relacionados à produção agrícola é a temperatura do ar, que afeta o comportamento germinativo das sementes. A faixa ótima de temperatura para germinação de espécies de regiões tropicais está entre 20 e 35 °C e de regiões temperadas entre 8 e 25 °C (LARCHER, 2000). Diversos autores observaram que a variação da temperatura interfere no percentual e velocidade de germinação (SILVA & AGUIAR, 2004; STECKEL et al., 2004; LOPES e PEREIRA, 2005; LOPES et al., 2005; LIMA et al., 2007;). A atividade fotossintética é dependente da temperatura do ar, uma vez que seus catalisadores expressam sua atividade máxima em determinada faixa de temperatura. Observações fenológicas da data de floração, de brotação e senescência, mantêm uma relação estreita com fatores ambientais e climáticos, o que gera melhor entendimento da fisiologia vegetal em condições naturais. A associação de séries temporais de dados fenológicos a fatores climáticos, proporciona um meio de ajudar nas previsões de impactos biológicos das mudanças climáticas futuras (THOMPSON & CLARK, 2006).

Desta forma, o conhecimento antecipado das condições climáticas e sua variação ao longo de um ciclo de cultivo, são significativos para a tomada de decisão e consequente intervenção, com objetivo de aumentar o rendimento da cultura. Cavalcanti et al. (2006) estimaram a temperatura do ar através de modelo que utilizava coordenadas geográficas e anomalias de temperaturas da superfície do mar, para séries temporais das médias mensais de temperatura no Nordeste brasileiro. Medeiros *et al* (2005), por sua vez, obtiveram estimativas da temperatura do ar mínima, média e máxima, gerando mapas temáticos para a mesma região. No estudo de séries temporais Cargnelutti Filho *et al.* (2006) destacaram a importância de se determinar o tamanho ótimo de amostra para estimar a temperatura média mensal de uma localidade, além da variabilidade temporal e espacial. Recentemente, com o desenvolvimento e expansão dos sistemas de informações geográficas (SIG), é possível realizar a caracterização espaço-temporal de variáveis ambientais em grandes extensões territoriais (SANTOS et al. 2011).

Gurgel et al. (2003) observaram a relação entre a variabilidade anual e inter anual sobre a vegetação. Em latitudes médias é marcante o contraste entre as estações do ano; nos trópicos esta variabilidade é menos acentuada em termos de temperatura do ar.

Para caracterizar a variabilidade da temperatura do ar é necessário analisar sua distribuição. A variabilidade temporal pode ser estudada por meio das ferramentas da geoestatística, fundamentada na teoria das variáveis regionalizadas, em que os valores de uma variável estão relacionados às suas disposições temporais. As observações tomadas a um curto espaço de tempo se assemelham mais do que aquelas tomadas a tempos maiores (VIEIRA et al., 1981). Almeida et al. (2011) utilizaram essa ferramenta na análise temporal da precipitação, com melhores resultados na estimação da precipitação em comparação ao modelo de série temporal SARIMA. Estefanel et al. (1994) observaram que dias com temperatura do ar alta, ocorrem agrupados e não de forma independente. Esta temperatura do ar tende a permanecer elevada durante vários dias, até a entrada de uma massa de ar fria, sugerindo uma dependência na variação da temperatura do ar, ao longo do tempo.

A estimativa da dependência entre amostras vizinhas no espaço ou no tempo pode ser realizada através da autocorrelação, para amostragem em uma direção. Landim (2006) afirmou que o semivariograma mostra a medida do grau de dependência espacial entre amostras ao longo de um suporte específico. A geoestatística estima valores em pontos não amostrados, na confecção de mapas por meio da krigagem e na modelagem de determinada variável. Desta forma, esta ferramenta pode estar ligada à obtenção de um modelo de dependência espacial ou temporal (ALMEIDA et al., 2011). No método da krigagem, os pesos são atribuídos de acordo com a variabilidade espacial/temporal expressa no variograma.

Em estudos que exijam o conhecimento das temperaturas do ar ao longo do dia, nem sempre existem estações meteorológicas automáticas, próximas para observar esta variável climática. O tamanho da amostra (número de observações) é um importante fator para ajuste do modelo de variação horária da temperatura do ar. Ao se determinar o tamanho da amostra, em determinado local, necessária para caracterizar uma variável, é preciso estabelecer um erro máximo aceitável com um grau de confiança.

Nas estações agrometeorológicas convencionais do Brasil existem registros de temperatura do ar em três horários 9, 15 e 21 h. Com base na tomada de temperatura do ar nesses horários, poderiam ser gerados modelos que estimem a variação

horária da temperatura do ar durante o dia. Assim sendo, este trabalho tem por objetivo modelar a variação horária da temperatura do ar ao longo do dia para as cidades de Botucatu, SP e de Petrolina, PE, utilizando geoestatística, a fim de conhecer os melhores horários de registros para estimar a variação da temperatura do ar ao longo de 24 h.

1.2 - Material e Métodos

Os dados de temperatura do ar da cidade de Botucatu-SP foram coletados na Estação Meteorológica da Fazenda Lageado, da Faculdade de Ciências Agrônomicas-UNESP, campus de Botucatu, entre janeiro de 2004 a dezembro de 2005. A fazenda se situa na latitude de 22° 51' S e na longitude de 48° 26' W, com 786 metros de altitude, com temperatura média diária do mês mais frio (julho) de 17,1 °C e a do mês mais quente (fevereiro) de 23,3 °C, e com precipitação média anual de 1314 mm. O clima da região é do tipo Cwa, clima temperado quente (mesotérmico), de acordo com a classificação de Köppen (CUNHA et al., 1999). Os dados de temperatura do ar da cidade de Petrolina, PE, foram coletados na Estação Agrometeorológica Automática de Bebedouro, pertencente à Embrapa Semiárido, Petrolina, entre janeiro de 2004 a dezembro de 2005. A estação está situada na latitude de 09° 09' S e na longitude de 40° 22' W, com 365,5 m de altitude. O clima da região é do tipo BSw^h, segundo a classificação de Köppen, que corresponde a uma região climaticamente árida, com período chuvoso de janeiro a abril (TEIXEIRA et al., 2002).

Os dados de temperatura média horária do ar (T24) foram analisados utilizando-se a técnica de geoestatística. Dados pontuais com intervalos de seis horas entre cada observação foram selecionados para cada dia dos anos. Desta forma, foram analisados três conjuntos de dados variando a hora do primeiro registro de temperatura do ar: T2-8-14-20, com medidas às 2, 8, 14, 20 h; T4-10-16-22 com medidas às 4, 10, 16, 22 h; e T9-15-21, com observações de temperatura às 9, 15, 21 h. Para os pontos não coletados por falha do equipamento, mantiveram-se as coordenadas do eixo horizontal e vertical sem valor de temperatura do ar. Inicialmente, verificou-se a presença de pontos discrepantes (outliers); na sequência, realizou-se uma análise descritiva dos dados para determinação da média, mediana, valor mínimo e máximo, desvio-padrão, coeficientes de variação, assimetria e curtose. A

análise geoestatística foi realizada com o intuito de se verificar a existência e quantificar o grau de dependência temporal entre as observações, com base na pressuposição de estacionariedade da hipótese intrínseca, a qual é estimada pela equação abaixo, segundo Matheron (1963). As variâncias foram calculadas pela Eq. 1:

$$\gamma^*(h) = \left(\frac{1}{2N(h)} \right) \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad \text{Eq. 1}$$

em que: $\gamma^*(h)$ é a variância para um vetor h (dias); $Z(x)$ e $Z(x+h)$ são os pares de observações de temperatura, separados pelo vetor h (dias); $N(h)$ é o número de pares de valores medidos $Z(x)$, $Z(x+h)$, separados por um vetor h . Do ajuste de um modelo matemático aos valores calculados de $\gamma^*(h)$, foram estimados os coeficientes efeito pepita (C_0), patamar ($C_0 + C1$) e o alcance (A_0) do modelo teórico para o variograma. Os modelos foram ajustados pelo programa GS⁺ 9.0 (Robertson, 2009), considerando a menor soma do quadrado dos resíduos, o maior coeficiente de determinação (r^2) e o coeficiente de correlação obtido pelo método de validação cruzada. Comprovada a dependência temporal, utilizou-se o método da krigagem ordinária a fim de modelar a variação da temperatura do ar com o intervalo de uma hora e assim estimar os valores não medidos no tempo.

A fim de verificar a exatidão dos dados estimados foram correlacionados valores estimados com os medidos, pela regressão linear. Desta forma foram considerados os seguintes indicadores estatísticos de precisão, coeficiente de correlação “r”; de exatidão, índice de Willmott “d” e de confiança ou desempenho “c” (CAMARGO & SENTELHAS, 1997). A precisão é dada pelo coeficiente de correlação que indica o grau de dispersão dos dados obtidos em relação à média, ou seja, o erro aleatório. A exatidão está relacionada ao afastamento dos valores estimados em relação aos observados. Matematicamente, esta aproximação é dada por um índice designado de concordância, representado pela letra “d” (WILLMOTT et al., 1985). Seus valores variam de zero (para nenhuma concordância) a um (para a concordância perfeita). O índice é dado pela Eq. 2:

$$d = 1 - \frac{\sum (P_i - O_i)^2}{\sum (|P_i - O| + |O_i - O|)^2} \quad \text{Eq. 2}$$

onde: P_i é o valor estimado, O_i é o valor observado e O é a média dos valores observados.

O índice “c” utilizado neste trabalho indica o desempenho dos modelos, reunindo os índices de precisão “r” e de exatidão “d”, expresso da seguinte forma (Eq. 3):

$$c=r \times d \quad \text{Eq. 3}$$

O critério adotado para interpretar o desempenho dos métodos propostos por Camargo & Sentelhas (1997) através do valor do índice “c” é: > 0,85, ótimo; 0,76 a 0,85, muito bom; 0,66 a 0,75, bom; 0,61 a 0,65, mediano; 0,51 a 0,60, sofrível; 0,41 a 0,50, mau; $\leq 0,40$, péssimo.

1.3- Resultados e Discussão

Nas estatísticas observadas na Tabela 1, os dados de temperatura média horária do ar em Botucatu, no período estudado, se mantiveram próximos da temperatura média anual da localidade, que é de 21 °C, de acordo com Cunha et al. (1999). Verifica-se uma distribuição simétrica das medidas de temperatura do ar ao longo dos dois anos de observação, fato que se repetiu em todos os horários de amostragem testados, exceto pelas observações realizadas às 2, 8, 14 e 20 h, que apresentaram valor bem diferente dos demais. É importante ressaltar que o programa GS⁺ (ROBERTSON, 2009), utilizado para análise descritiva, adota como padrão o valor zero para distribuição mesocúrtica. O coeficiente de variação apresentou valores médios para todos os conjuntos de dados, de acordo com o critério de Warrick & Nielsen (1980). Comparando os registros de temperatura do ar a cada seis horas com o conjunto de dados com 24 registros ao longo do dia (T24), constata-se que o conjunto de registros T2-8-14-20 e T4-10-18-22 têm valores estatísticos de média, mediana e valor mínimo que mais se aproximam do conjunto de registros T24; no entanto, os registros T9-15-21 e T2-8-14-20 se aproximaram de T24 nas estatísticas de valor máximo. Para os

coeficientes de variação, de assimetria e de curtose, os dados T4-10-16-22 e T9-15-21 ficaram mais próximos das observações T24.

Tabela 1. Estatística descritiva da temperatura do ar em Botucatu, SP, entre janeiro de 2004 a dezembro de 2005

Atributos	n	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	S	CV	C _s	C _k
T24-Bot	17283	20,16	19,96	6,23	34,12	4,30	18,50	0,08	-0,15
T2-8-14-20-Bot	2883	20,21	19,96	6,23	34,12	4,29	18,38	0,17	-0,02
T4-10-16-22-Bot	2881	20,28	20,09	6,27	33,59	4,33	18,73	0,07	-0,20
T9-15-21-Bot	2165	21,29	21,11	7,70	34,03	4,18	17,51	0,06	-0,15

T24-Bot: registros de temperatura do ar horária em Botucatu (°C); ; T2-8-14-20-Bot: medidas da temperatura do ar às 2, 8, 14 e 20 h em Botucatu (°C); T9-15-21-Bot: registros de temperatura do ar às 9, 15 e 21 h em Botucatu (°C); T4-10-16-22-Bot: registros de temperatura do ar às 4, 10, 16 e 22 h em Botucatu (°C); n: número de observações; s: desvio padrão; CV: coeficiente de variação em %; Cs: coeficiente de assimetria; Ck: coeficiente de curtose

Os resultados da análise descritiva da temperatura do ar em Petrolina (Tabela 2), para os dois anos de observação, mostram que a temperatura média do ar se aproxima da temperatura média histórica anual, que é de 27 °C, segundo Moura *et al.* (2006). Esses dados de temperatura do ar apresentaram assimetria positiva (Cs), com média maior que a mediana, e também com maior assimetria para os conjuntos de registros T2-8-14-20 e T9-15-21. Todos os dados de temperatura do ar apresentaram distribuição de frequência platicúrtica, ou seja, com curtose menor que zero, mostrando tendência desses atributos apresentarem maior dispersão dos dados em torno da média. O coeficiente de variação apresentou valores médios para todos os conjuntos de dados, de acordo com o critério de Warrick & Nielsen (1980). Quando se comparam as estatísticas dos conjuntos de dados com os registros horários, observa-se que os valores de média, valor mínimo e coeficiente de variação, são mais próximos entre os dados T24, T2-8-14-20 e T4-10-16-22.

Tabela 2. Estatística descritiva da temperatura do ar em Petrolina, PE, entre janeiro de 2004 a dezembro de 2005

Atributos	n	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	S	CV	C _s	C _k
T24-Pet	17356	26,16	25,59	14,90	38,75	3,99	15,99	0,34	-0,56
T2-8-14-20-Pet	2892	26,18	25,34	16,46	38,57	3,87	15,03	0,64	-0,31
T4-10-16-22-Pet	2892	26,39	26,21	15,16	37,86	4,12	17,04	0,24	-0,58
T9-15-21-Pet	2168	27,71	27,07	20,82	38,75	3,57	12,74	0,54	-0,48

T24-Pet: registros de temperatura do ar horária em Petrolina (°C); ; T2-8-14-20-Pet: medidas da temperatura do ar às 2, 8, 14 e 20 h em Petrolina (°C); T9-15-21-Pet: registros de temperatura do ar às 9, 15 e 21 h em Petrolina (°C); T4-10-16-22-Pet: registros de temperatura do ar às 4, 10, 16 e 22 h em Petrolina (°C); n: número de observações; s: desvio padrão; CV: coeficiente de variação em %; C_s: coeficiente de assimetria; C_k: coeficiente de curtose

Comparado as duas localidades, observa-se haver maior variabilidade dos dados de temperatura do ar em Botucatu e menor variação em Petrolina, demonstrado pelo valor do coeficiente de variação e da amplitude térmica, que é maior em Botucatu. Os coeficientes de curtose e simetria mostram que, apesar da maior variabilidade dos dados em Botucatu, estes estão mais simetricamente distribuídos em torno da média, enquanto para Petrolina os dados apresentam coeficiente de assimetria maior. Referidas observações corroboram com as diferenças da classificação climática das duas localidades, porém, quando se trata de temperatura média mensal, Cunha et al. (1999) observaram a variação entre o mês mais quente e o mais frio, de apenas 7°C (17,1 e 24,3 °C) em Botucatu, enquanto em Petrolina a menor variação foi de 3,5 °C em 2000 e a maior chegou a 7,3 °C em 1984; já a média da variação entre o mês mais quente e o mais frio, foi de 4,6 °C, no período de 1975 a 2008. De acordo com Estefanel et al. (1994), os estudos de temperatura do ar, que normalmente utilizam médias mensais ou anuais, não permitem detectar a frequência de períodos com altas temperaturas.

Os resultados da análise geostatística (Tabela 3) indicam que os dados de temperatura do ar apresentaram dependência temporal, ajustando-se ao modelo esférico. Os pontos localizados em tempo menor ou igual ao alcance, são mais similares e dependentes entre si, em relação ao tempo. O alcance (Ao), ou tempo de correlação de T24 foi de 11,6 h para Botucatu e de 12,7 h para Petrolina, sendo os maiores alcances encontrados para os conjuntos de registros T4-10-16-22 (12,75 h) para Botucatu e T2-8-14-20 (15,00 h) para Petrolina. Os valores de tempo de correlação ratificam as observações da análise descritiva dos dados de temperatura do ar em Petrolina, que apresentaram menor variabilidade. A proximidade no valor de Ao nos modelos gerados a partir de diferentes horas de registro, comparando-a com o modelo gerado a partir dos dados horários (T24), indica maior exatidão do modelo que estima a variação da temperatura do ar ao longo do dia.

O índice de dependência temporal (IDT), considerando-se a classificação proposta por Zimback (2001) para dependência espacial, leva em consideração a relação entre variância estruturada (C) e o valor do patamar (C + C₀), na qual a dependência espacial é fraca, quando IDE > 25%, moderada, quando 25% ≤ IDE ≤ 75% e alta, quando IDE

> 75%. Adaptando-se esta classificação para análise temporal da temperatura do ar, observa-se que todos os conjuntos de dados apresentaram alta dependência temporal ($IDT \geq 75\%$).

Tabela 3. Modelos e parâmetros dos variogramas da temperatura do ar para dados de Botucatu, SP, e Petrolina, PE

Atributos	Modelo	Ao	C ₀	C ₀ +C	R ²	IDT	rcv
T24-Bot	Esférico	11,6	0,81	16,01	98	95	0,91
T2-8-14-20-Bot	Esférico	12,62	1,93	16,02	92	88	0,77
T4-10-16-22-Bot	Esférico	12,75	2,07	16,40	90	87	0,77
T9-15-21-Bot	Esférico	8,56	0,87	14,81	77	94	0,74
T24-Pet	Esférico	12,77	0,010	15,11	94	99	0,95
T2-8-14-20-Pet	Esférico	15,00	0,010	13,96	80	99	0,88
T4-10-16-22-Pet	Esférico	14,89	0,010	16,23	78	99	0,88
T9-15-21-Pet	Esférico	9,49	0,010	12,20	58	99	0,81

T24-Bot: registros de temperatura do ar horária em Botucatu (°C); T2-8-14-20-Bot: medidas da temperatura do ar às 2, 8, 14 e 20 h em Botucatu (°C); T9-15-21-Bot: registros de temperatura do ar às 9, 15 e 21 h em Botucatu (°C); T4-10-16-22-Bot: registros de temperatura do ar às 4, 10, 16 e 22 h em Botucatu (°C); T24-Pet: registros de temperatura do ar horária em Petrolina (°C); T2-8-14-20-Pet: medidas da temperatura do ar às 2, 8, 14 e 20 h em Petrolina (°C); T9-15-21-Pet: registros de temperatura do ar às 9, 15 e 21 h em Petrolina (°C); T4-10-16-22-Pet: registros de temperatura do ar às 4, 10, 16 e 22 h em Petrolina (°C); Ao: Alcance (horas); C₀: efeito pepita; C₀+C: patamar; R²: coeficiente de determinação múltipla do ajuste; IDT: índice de dependência temporal; rcv: coeficiente de correlação da validação cruzada

O estudo do desempenho dos modelos em estimar a variação da temperatura do ar ao longo do dia, em função dos diferentes horários de registro, foi realizado com o índice de Willmot e a proposta de Camargo & Sentelhas (1997), uma vez que a adoção do coeficiente de determinação (r^2) na definição da qualidade de um modelo não é adequada, pois o mesmo não estabelece o tipo nem a magnitude das diferenças entre um valor padrão e um valor previsto por modelos de estimativa ou outros mecanismos de medida diferentes do padrão. Observa-se, na Tabela 4, que para Botucatu os registros T2-8-14-20 e T4-10-16-22 geraram modelos com melhor desempenho, não havendo diferença entre eles quanto ao índice c; porém verifica-se no registro T9-15-21 uma redução no desempenho do modelo, motivada pela redução da amostra. Para a cidade de Petrolina nota-se que os registros T2-8-14-20 e T4-10-16-22 (Tabela 4) também geraram modelos com melhor desempenho, não havendo

diferença entre eles quanto ao índice c, e uma redução no desempenho dos modelos gerados a partir do registro T9-15-21.

Tabela 4. Desempenho dos modelos em função das amostras de temperatura do ar

Modelos	d	r	C	Classificação do Índice "c"
T2-8-14-20-Bot	0,95	0,92	0,87	ótimo
T4-10-16-22-Bot	0,95	0,91	0,87	ótimo
T9-15-21-Bot	0,89	0,85	0,76	muito bom
T2-8-14-20-Pet	0,96	0,94	0,90	ótimo
T4-10-16-22-Pet	0,96	0,93	0,90	ótimo
T9-15-21-Pet	0,85	0,84	0,71	bom

T24-Bot: registros de temperatura do ar horária em Botucatu (°C); T2-8-14-20-Bot: medidas da temperatura do ar às 2, 8, 14 e 20 h em Botucatu (°C); T4-10-16-22-Bot: registros de temperatura do ar às 4, 10, 16 e 22 h em Botucatu (°C); T9-15-21-Bot: registros de temperatura do ar às 9, 15 e 21 h em Botucatu (°C); T24-Pet: registros de temperatura do ar horária em Petrolina (°C); T2-8-14-20-Pet: medidas da temperatura do ar às 2, 8, 14 e 20 h em Petrolina (°C); T4-10-16-22-Pet: registros de temperatura do ar às 4, 10, 16 e 22 h em Petrolina (°C); T9-15-21-Pet: registros de temperatura do ar às 9, 15 e 21 h em Petrolina (°C); d: índice de Willmot; r: coeficiente de correlação; c: índice de desempenho proposto por Camargo & Sentelhas (1997).

Comparando as duas localidades, observa-se que os modelos tiveram desempenho igual para os modelos gerados a partir dos registros T2-8-14-20 e T4-10-16-22, segundo o índice "c", proposto por Camargo & Sentelhas (1997). Para Petrolina, o modelo gerado a partir do registro T9-15-21 indicou desempenho inferior ao que ocorreu em Botucatu, SP. Analisando o resíduo da estimativa de cada modelo observa-se que os conjuntos de registros T2-8-14-20 e T4-10-16-22 obtiveram um resíduo médio que se próxima de zero, enquanto o modelo gerado pelo conjunto de registros T9-15-21 obteve resíduo acima de zero (Figura 3A; Figura 4A), mostrando tendência de superestimar a temperatura horária do ar, fato que ocorreu em ambas as localidades. Porém, quando o estudo do resíduo é detalhado para cada modelo em função das horas de estimativa, os maiores resíduos ocorrem a medida em que se distancia do ponto de amostra, com maiores variações para os modelos gerados a partir do conjunto de registros T9-15-21 (Figura 3D; Figura 4D), e a superestimativa acontece nos horários anteriores às 9 h da manhã. Desta forma, as estimativas realizadas entre às 4 h e 22 h, mostraram um resíduo de $\pm 1^\circ \text{C}$ para a cidade de Botucatu e $\pm 1,5^\circ \text{C}$ em Petrolina. Enquanto para as condições de Botucatu não há como diferenciar a exatidão dos modelos em relação aos registros das 2, 8, 14 e 20 h (Figura 3 B) e aos registros das 4, 10, 16 e 22 h (Figura 3 C), para

Petrolina, observa-se que os melhores horários para medição da temperatura do ar com intuito de modelar sua variação ao longo do dia, é às 2, 8, 14 e 20 h (Figura 4 B). As medias realizadas às 9, 15 e 21 h, foi o conjunto de dados que gerou maior erro na estimativa da temperatura horária do ar, ao longo do dia, para as duas localidades estudadas.

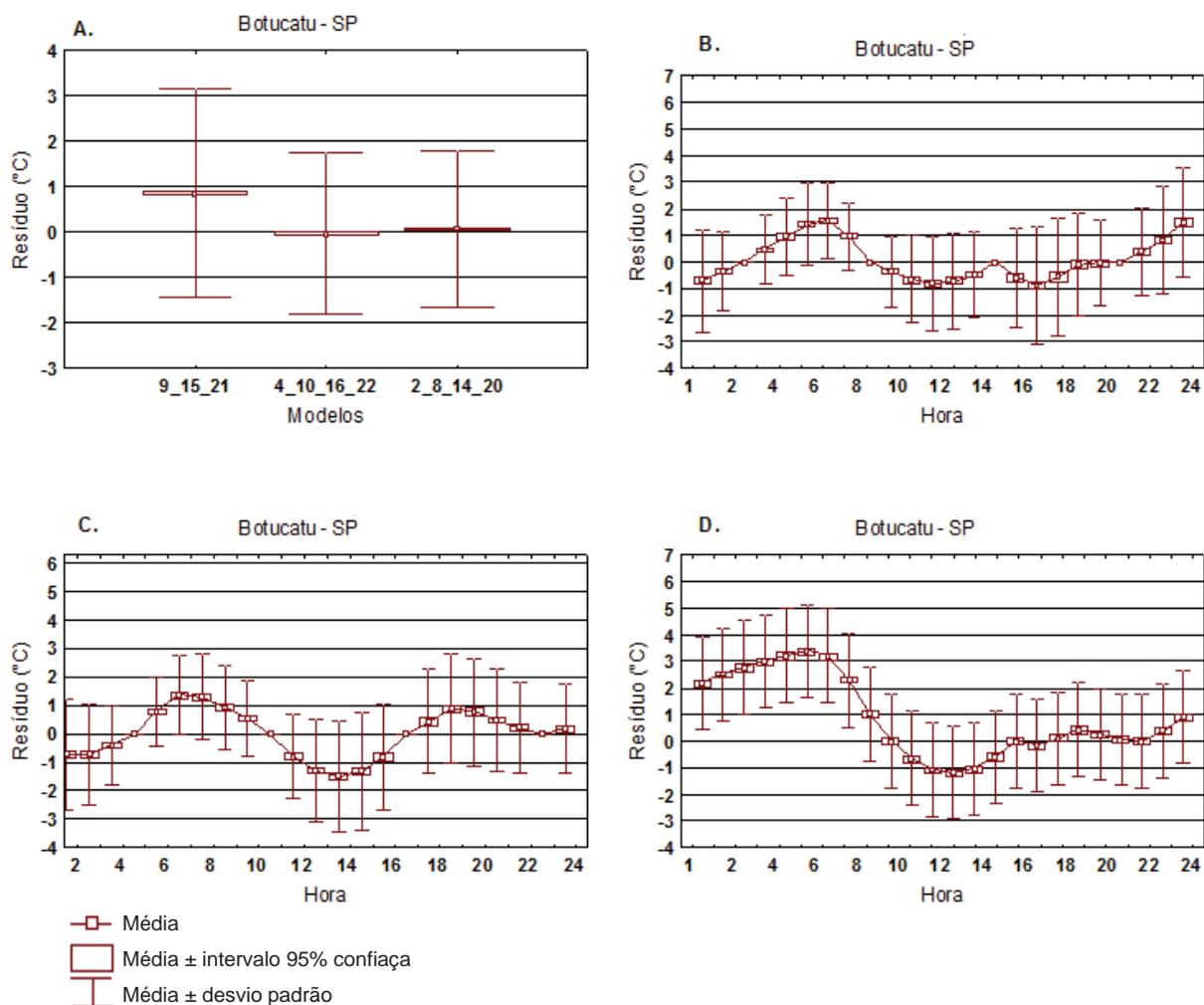


Figura 3 Modelagem da temperatura do ar para a cidade de Botucatu, SP, nos anos de 2004 e 2005. Box-plot da média dos resíduos dos modelos gerados a partir dos três conjuntos de registros estudados (A); média dos resíduo da estimativa horária da temperatura do ar modelada pelo conjunto de registros T2-8-14-20 (B); média dos resíduo da estimativa horária da temperatura do ar modelada pelo conjunto de registros T4-10-16-22 (C); média dos resíduo da estimativa horária da temperatura do ar modelada pelo conjunto de registros e T9-15-21 (D)

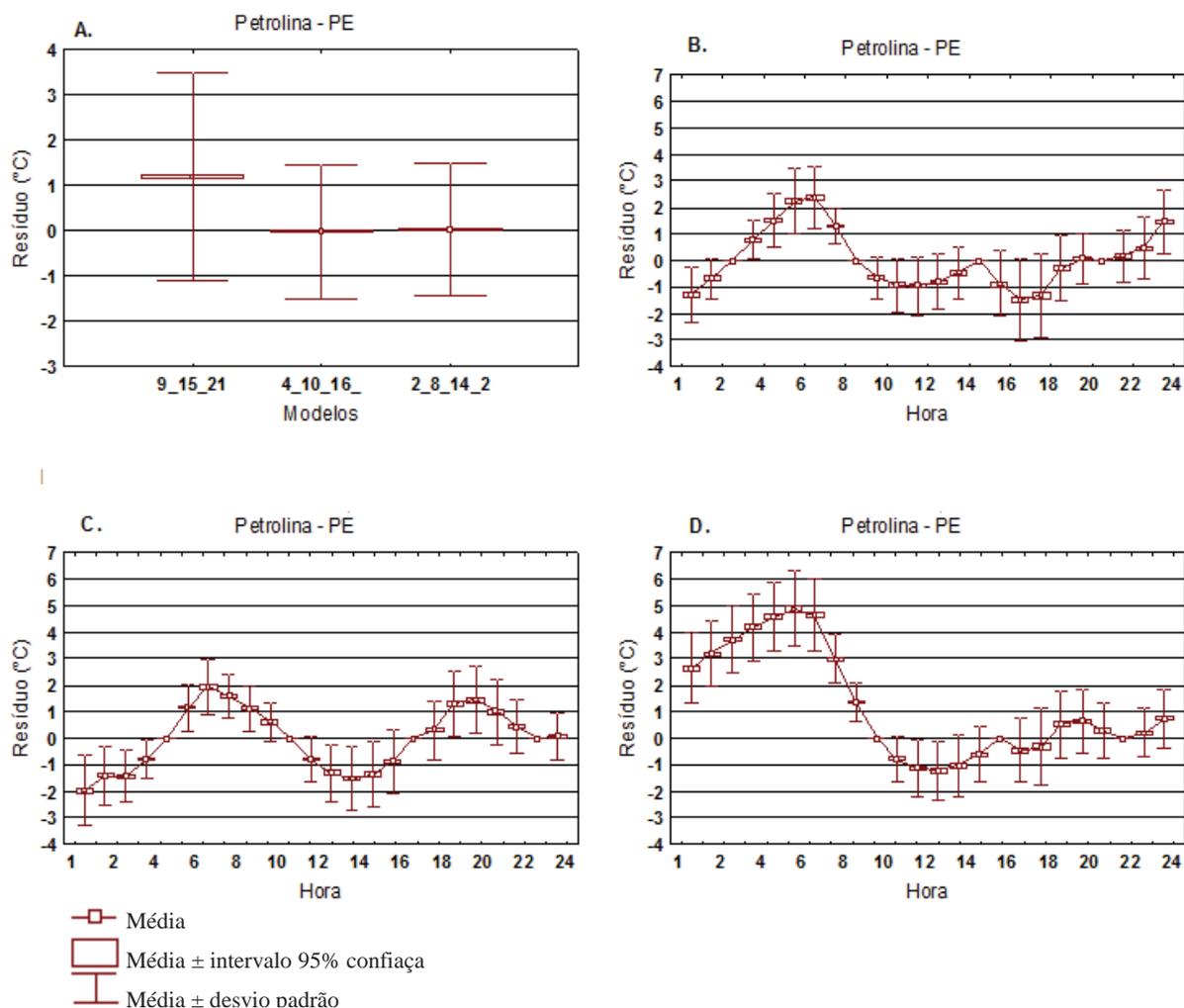


Figura 4 . Modelagem da temperatura do ar para a cidade de Petrolina, PE, nos anos de 2004 e 2005. Box-plot da média dos resíduos dos modelos gerados a partir dos três conjuntos de registros estudados (A); média dos resíduo da estimativa horária da temperatura do ar modelada pelo conjunto de registros T2-8-14-20 (B); média dos resíduo da estimativa horária da temperatura do ar modelada pelo conjunto de registros T4-10-16-22 (C); média dos resíduo da estimativa horária da temperatura do ar modelada pelo conjunto de registros e T9-15-21 (D)

1.4- Conclusões

1. A dependência temporal entre os dados de temperatura horária do ar ao longo do dia, existe em Botucatu, SP, e Petrolina, PE, com variância estruturada a partir de um intervalo 12 h entre as observações realizadas em ambas as localidades, havendo assim a possibilidade de modelar a variação horária da temperatura com a técnica de geoestatística.

2. O horário de medida da temperatura do ar assim como as condições climáticas locais, são fatores importantes que interferem na exatidão do modelo ao se estimar a variação da temperatura do ar.

3. O uso de registro de temperatura do ar em três horários (9, 15 e 21 h) para modelagem da variação da temperatura do ar ao longo do dia, é o menos exato, quando se leva em conta os horários entre 22 h e 8 h da manhã do dia seguinte.

1.5- Referências

ALMEIDA, A. Q. et al. Geoestatística no estudo de modelagem temporal da precipitação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 4, p.354-358, 2011.

CAMARGO, A. P.; SENTELHAS, P. C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da Evapotranspiração potencial no estado de São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 5, n. 1, p. 89-97, 1997.

CARGNELUTTI FILHO, A.; MATZENAUER, R.; MALUF, J. R. T. Variabilidade temporal e espacial do tamanho de amostra da temperatura mínima do ar no Rio Grande do Sul, Brasil. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 4, p. 1156-1163, 2006.

CAVALCANTI, E. P.; SILVA, V. P. R.; SOUSA, F. A. S. Programa computacional para a estimativa da temperatura do ar para a Região Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 1, p. 140-147, 2006.

CUNHA, A. R. et al. Classificação climática para o município de Botucatu, SP, segundo Köppen. In: SIMPÓSIO EM ENERGIA NA AGRICULTURA, 1, 1999, Botucatu. **Anais...** Botucatu: UNESP, FCA, 1999. v. 1, p. 487-490.

ESTEFANEL, V.; SCHNEIDER, F. M.; BURIOL, G. A. Probabilidade de ocorrência de temperaturas máximas do ar prejudiciais aos cultivos agrícolas em Santa Maria, RS. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 2, p. 57-63, 1994.

- GURGEL, H. C. **Variabilidade espacial e temporal do NDVI sobre o Brasil e suas conexões com o clima**. 2003. 120 f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2003.
- GURGEL, H. C.; FERREIRA, N. J.; LUIZ, A. J. B. Estudo da variabilidade do NDVI sobre o Brasil, utilizando-se a análise de agrupamentos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 7, n. 1, p. 85-90, 2003.
- LANDIM, P. M. B. Sobre Geoestatística e mapas. **Terra Didática**, Campinas, v. 2, n. 1, p. 19-33, 2006.
- LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: Rima, 2000. 531 p.
- LIMA, R. V.; LOPES, J. C.; COELHO, R. I. Germinação de sementes de urucu em diferentes temperaturas e substratos. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 4, p. 1219-1224, 2007.
- LOPES, J. C. et al. Influência de temperatura, substrato e luz na germinação de sementes de bortalha. **Revista Brasileira de Sementes**, Pelotas, v. 27, n. 2, p. 18-24, 2005.
- LOPES, J. C.; PEREIRA, M. D. Germinação de sementes de cubiu em diferentes substratos e temperaturas. **Revista Brasileira de Sementes**, Pelotas, v. 27, n. 2, p. 146-150, 2005.
- MEDEIROS, S. S. et al. Estimativas e espacialização das temperaturas do ar mínimas, médias e máximas na Região Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, n. 2, p. 247-255, 2005.
- MOURA, M. S. B. et al. Variação espacial da precipitação e temperatura do ar no Submédio São Francisco. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 14., 2006, Florianópolis. **Anais ...** Florianópolis: Sociedade Brasileira de Meteorologia, 2006. Disponível em: <<http://www.cbmet.com>>. Acesso em: 17 ago. 2011.
- ROBERTSON, G. P. **GS+**: geostatistics for the environmental sciences – gs+ user's guide. Plainwell: Gamma Desing Software, 2009. 152 p.
- SANTOS, E. H. M.; GRIEBELER, N. P.; OLIVEIRA, L. F. C. Variabilidade espacial e temporal da precipitação pluvial na bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite - GO. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 31, n. 1, p. 78-89, 2011.
- SILVA, L. M. de M.; AGUIAR, I. B. Efeito dos substratos e temperaturas na germinação de sementes de *Cnidoculus phyllacanthus* Pax & K. Hoffm (Faveleira). **Revista Brasileira de Sementes**, Pelotas, v. 26, n. 1, p. 9-14, 2004.
- STECKEL, L. E. et al. Temperature effects on germination of nine *Amaranthus* Species. **Weed Science**, Lawrence, v. 52, n. 2, p. 217-221, 2004.

TEIXEIRA, A. H. de C. et al. Consumo hídrico da bananeira no Vale do São Francisco estimado pelo método da razão de Bowen. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 10, n. 1, p. 45-50, 2002.

THOMPSON, R.; CLARK, R. M. Spatio-temporal modelling and assessment of within-species phenological variability using thermal time methods. **International Journal of Biometeorology**, v. 50, p. 312-322, 2006.

VIEIRA, S. R. et al. Geostatistical theory and application to variability of some agronomical properties. **Hilgardia**, v. 51, n. 3, p. 1-75, 1983.

VIEIRA, S. R.; NIELSEN, D. R.; BIGGAR, J. W. Spatial variability of field-measured infiltration rate. **Soil Science Society of America Journal**, Madson, v. 45, n. 6, p. 1040-1048, 1981.

WARRICK, A. W.; NIELSEN, D. R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D. (Org.). **Application of soil physics**. New York: Academic Press, 1980. 385 p.

WILLMOTT, C. J. et al. Statistics for the Evaluation and Comparison of Models. **Journal of Geophysical Research**, v. 90, n. c5, p. 8995-9005, 1985.

ZIMBACK, C. R. L. **Análise espacial de atributos químicos de solos para fins de mapeamento da fertilidade do solo**. 2001. 114 f. Tese (Livre-Docência) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2001.

CAPITULO 2 - VARIAÇÃO TEMPORAL DA PRECIPITAÇÃO PLUVIAL NA BACIA DO RIO PONTAL - PE

Clóvis M. C. Ramos¹, Luís H. Bassoi² & Célia R. L. Zimback³

¹ Doutorando em Irrigação e Drenagem/FCA-UNESP. Fone (87) 9912-1818. Email: clovis-ramos@oi.com.br

² Embrapa - Semiárido, CP 23, CEP 56302-970, Petrolina, PE. Fone (87) 3861-1711. Email: lhbassoi@cpatsa.embrapa.br

³ FCA/UNESP, CP 237, CEP 18610-307, Botucatu, SP. Fone (14) 3811-7165. Email: czimback@fca.unesp.br

Resumo: A determinação prévia da variação de elementos climatológicos ao longo do ano é de interesse do planejamento e de previsão de cenários na agricultura e em outras atividades. Assim, este trabalho teve por objetivo avaliar a variabilidade temporal da precipitação pluvial na Bacia do Rio Pontal, com 6.023 km², nos municípios de Petrolina e Afrânio, em Pernambuco, utilizando técnicas geoestatísticas. Foram utilizados os dados das ocorrências mensais de chuva de 5 estações meteorológicas, pertencentes à Embrapa Semiárido e Agência Nacional de Águas (banco de dados Hidros). A precipitação apresentou dependência temporal, sendo que a mesma se concentrou no período de novembro a abril, com os demais meses com baixa incidência de chuva.

Palavra-chave: semiárido, krigagem, probabilidade

Temporal variability of rainfall at Pontal River Basin

Abstract: The previous determination of climatic parameters variation throughout the year is of interest for planning and preview of scenarios in agriculture and other activities. Hence, this work had the purpose of evaluate the temporal variability of rainfall in Pontal River Basin, with 6,023 km², in Petrolina and Afrânio Municipios, Pernambuco State, Brazil, using geostatistics. Monthly rainfall data were obtained from weather stations from Embrapa Semiárido and Agencia Nacional de Águas (Hidros data bank). Rainfall has presented temporal dependency, with the rainy season from November to April, and with the remaining months with low rainfall.

Key-words: semi-arid, krigging, probability

2.1- Introdução

A determinação prévia da variação dos elementos meteorológicos ao longo do ano possibilita um melhor planejamento das diversas atividades agropecuárias. A precipitação pluvial é um dos elementos meteorológicos de grande importância, pois está diretamente relacionados aos mais diversos setores da sociedade, de forma que o regime pluviométrico afeta a economia, o meio ambiente e a sociedade, como um todo.

Na agricultura, o conhecimento antecipado das condições locais temperatura do ar e precipitação pluvial, e suas variações ao longo de um ciclo de cultivo, são importantes para a obtenção de rendimentos satisfatórios, visto que esses fatores são determinantes para o sucesso nos cultivos. Ribeiro e Lunardi (1997) salientaram a importância da caracterização da precipitação pluvial em um local para o planejamento de atividades agrícolas, sendo imprescindível, também, no dimensionamento de reservatórios de água, na elaboração de projetos de proteção e conservação de solos e em atividades de lazer e esportivas. Segundo Molion (1987), a produção agrícola é controlada principalmente pela quantidade e distribuição de chuva. As características do regime de chuva também afetam as variações na temperatura e umidade do ar, nebulosidade e quantidade de radiação solar incidente à superfície. Para a prática da agricultura que dependente basicamente do regime de

precipitação, é importante o conhecimento, não apenas da quantidade total de chuva, mas também da sua variabilidade e das probabilidades de ocorrência de precipitação para fins de planejamento das atividades agrícolas. Para a agricultura irrigada a informação da ocorrência de eventos de precipitação também se torna importante no aspecto da disponibilidade de água, de fatores fitossanitários e por causa da sensibilidade de algumas culturas determinadas fases fenológicas.

Diversos estudos visando o mapeamento da precipitação pluvial têm sido desenvolvidos com aplicação de várias técnicas, uma vez que a disponibilidade de dados climáticos e hidrológicos é pequena se comparada com grandes extensões territoriais, em especial em países em desenvolvimento (MARTINEZ-Cob, 1996; MARQUÍNEZ *et al.*, 2003;; MELLO *et al.*, 2007). Sabe-se que o fenômeno da precipitação pluvial apresenta alta variabilidade espaço-temporal, razão pela qual é considerado probabilístico e aleatório pela hidrologia estocástica, passível de ajuste de modelos estocásticos multivariados (DALY *et al.*, 1994; GOODALE *et al.* 1998; WU *et al.*, 2006).

Para caracterizar a variabilidade da precipitação pluvial é necessário analisar a distribuição dessas variáveis. Sendo assim, a variabilidade temporal pode ser estudada por meio das ferramentas da geoestatística, que se fundamenta na teoria das variáveis regionalizadas, segundo a qual os valores de uma variável estão de alguma maneira, relacionado à sua disposição temporal e, portanto, as observações tomadas um curto tempo se assemelham mais do que aquelas tomadas a tempos maiores (VIEIRA *et al.*, 1981; VAUCLIN *et al.*, 1983).

Assim, este trabalho teve por objetivo avaliar a variabilidade temporal da precipitação pluvial na Bacia do Rio Pontal, localizada nos municípios de Petrolina e Afrânio, em Pernambuco, utilizando técnicas geoestatísticas. Além de utilizar a krigagem indicativa para estudar a possibilidade de ocorrência de volumes mensais de precipitação pluvial ao longo do ano, com intuito de verificar se esta ferramenta tem condições de indicar períodos mais propensos à ocorrência determinados volumes de chuva.

2.2- Material e Métodos

Descrição da Região

A Bacia do Rio Pontal, com uma área de 6.023km², situada entre os municípios de Petrolina, Afrânio, Dormentes e Lagoa Grande, no estado de Pernambuco, tem seu dreno natural como tributário do rio São Francisco na sua margem esquerda. O dreno principal da bacia tem um comprimento de 206 km e segundo a classificação de Strahler (1957) é um rio de ordem quatro (GALVINCIO *et al.*, 2006).

Com declividade abaixo de 15%, tem a mediana na ordem de 2%, com relevo plano na maior parte do território, com cotas que variam entre 700 a 360 m. A vegetação é do tipo Caatinga e classificada como Savana Estépica Arborizada (GALVINCIO *et al.*, 2006). A precipitação pluviométrica, principal fonte hídrica da região, registra historicamente, totais anuais inferiores a 600 mm, com trimestre mais chuvoso de janeiro a março, e déficit hídrico em 8 a 10 meses na maioria dos anos, com igual período de severa seca edáfica (CBHSF, 2004). O clima local foi classificado, segundo Köeppen, como sendo megatérmico e semi-árido, do tipo BSw^h' (REDDY & AMORIM NETO, 1983).

Base de Dados

Foram utilizados os dados das ocorrências mensais de precipitação pluvial da estação meteorológica de Bebedouro, pertencente à Embrapa Semiárido (09°09' S; 40°22' W, Petrolina) com 35 anos de dados e das estações meteorológicas de Afrânio (08 29' S, 41° 00' W, Afrânio) com 19 anos de dados, Arizona (08° 40' S, 40° 58' W, Afrânio) com 61 anos de dados, Fazenda Poço da Pedra (08° 32' S, 40° 39' W, Petrolina) com 28 anos de dados e Sitio Carretão (08° 42' S, 40° 37' W, Petrolina) com 30 anos de dados (Figura 5), pertencentes a Agência Nacional de Águas (ANA), com informações obtidas por meio do banco de dados Hidros.

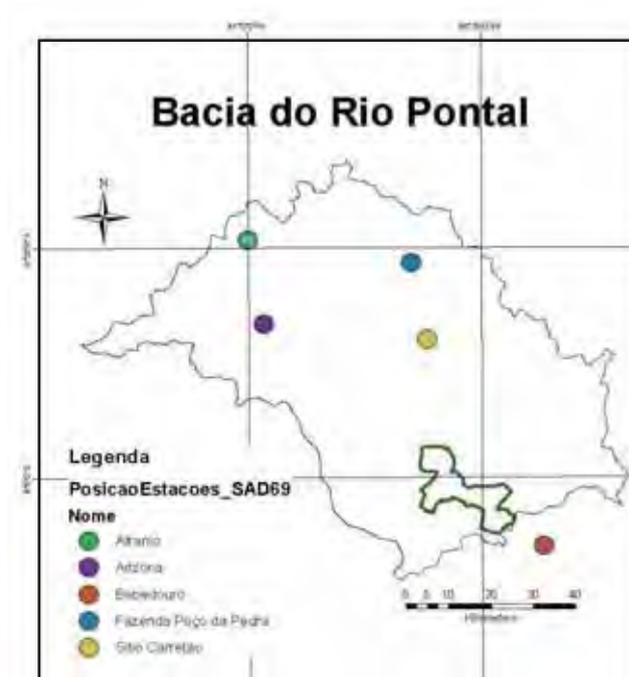


Figura 5. Posição das estações meteorológicas utilizadas para o estudo da variabilidade temporal da precipitação

Análise de Dados

A geoestatística é uma ferramenta de análise espacial (KRIGE, 1951), com a finalidade de estimar valores não amostrados. Utiliza o modelo probabilístico associado à localização espacial dos pontos amostrados possibilitando, desta forma, uma análise da variabilidade entre os valores observados (ALMEIDA et al., 2011). Está baseada na teoria das variáveis regionalizadas (MATHERON, 1963), que parte da premissa de haver dependência espacial entre as observações vizinhas de uma variável aleatória qualquer, distribuída continuamente no espaço. Da mesma forma que Almeida et al (2011), neste estudo será analisada a dependência na escala do tempo, o que será feito entre pares de observações subsequentes. Assim sendo, à distância h será substituída pelo intervalo de tempo t ; o modelo de semivariograma será dado pela Eq. 1:

$$\gamma^*(h) = \left(\frac{1}{2N(h)} \right) \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad \text{Eq. 4}$$

em que: $\gamma^*(h)$ é o semivariograma para um vetor mês t ; $Z(x)$ e $Z(x+h)$ são os pares de valores de precipitação separados por um intervalo de tempo (mês) e $N(h)$ é o número de pares de valores medidos.

Do ajuste de um modelo matemático aos valores calculados de $\gamma^*(h)$, foram estimados os coeficientes efeito pepita (C_0), patamar ($C_0 + C$) e o alcance (A_0) do modelo teórico para o variograma. Os modelos foram ajustados pelo programa GS+ 9.0 (Robertson, 2009), considerando-se a menor soma do quadrado dos resíduos, o maior coeficiente de determinação (r^2) e pelo coeficiente de correlação obtido pelo método de validação cruzada. Comprovada a dependência temporal, utilizou-se o método da krigagem indicativa a fim de modelar a probabilidade de ocorrência de chuva no período considerado.

O índice de dependência temporal (IDT), considerando-se a classificação proposta por Zimback (2001) para dependência espacial, leva em consideração a relação entre variância estruturada (C) e o valor do patamar ($C_0 + C$), na qual a dependência espacial é fraca, quando $IDE > 25\%$, moderada, quando $25\% \leq IDE \leq 75\%$ e alta quando $IDE > 75\%$.

Desta forma os dados passaram por uma análise descritiva e exploratória para a verificação de outliers. Em seguida, realizou-se uma transformação não linear sobre o conjunto de dados, denominada codificação por indicação, considerada como o primeiro passo para realização da krigagem indicativa, a qual consiste em transformar os dados originais em indicadores, isto é, transformar os valores que estão acima de um determinado nível de corte em um (1) e os que estão abaixo, em zero (0):

$$i_j(V_c) = \begin{cases} 0 & \text{se } V_j \leq V_c \\ 1 & \text{se } V_j > V_c \end{cases} \quad \text{Eq. 5}$$

em que V_c é o nível de corte e V_j é o valor observado.

Esta ferramenta geoestatística busca estimar as probabilidades de uma variável de interesse seja menor ou igual a um valor limite especificado, nível de corte (JOURNAL, 1983)

Foram definidos quatro níveis de corte para a análise dos dados, a fim de verificar a possibilidade de ocorrência de volumes mensais de precipitação pluvial maiores que 10, 50, 100 e 200 mm, ao longo do ano, para o período de estudo, em cada uma das estações meteorológicas.

2.3- Resultados e Discussão

Na Tabela 5 são apresentados os modelos e os parâmetros dos variogramas médios da precipitação mensal nas estações em estudo, que apresentaram dependência temporal moderada, com valores próximos entre elas apesar da diferença de período analisado. O modelo teórico que se ajustou ao variograma experimental dos dados foi o modelo esférico em todos os casos. Os resultados diferem dos encontrados por Silva *et al.* (2003), que encontrou efeito pepita puro na análise variográfica da precipitação pluvial em Uberaba-MG. Vale ressaltar que este autor analisou a variação da precipitação de cada mês ao longo de vários anos, e o que se observa é que a dependência temporal ocorre entre os meses ao longo do ano.

O alcance para a precipitação pluvial variou entre 6,8 a 9,9 meses o que sugere um período homogêneo de nove meses na distribuição da precipitação. Moura *et al.* (2006), analisando a variação da precipitação na Região do Sub-médio São Francisco, observaram a existência de um quadrimestre mais chuvoso, que concentra a maior parte da precipitação, com o restante do ano praticamente sem chuva. Galvinctio e Moura (2005) observaram que a estação seca (ausência de chuvas), de um modo geral, estende-se em torno de sete meses do ano em períodos normais, ou às vezes mais longos em períodos de estiagem para o estado de Pernambuco, variando assim entre cinco a três meses o período de chuva na região. Tais informações concordam com as observações de Carvalho e Egler (2003), uma vez que a variabilidade pluviométrica, no tempo, significa que as chuvas que ocorrem em um determinado território, acontecem em um número reduzido de dias, ao longo do período

normal de ocorrência das chuvas no Semiárido (3 a 5 meses), alcançando volume equivalente ou próximo das médias normais históricas, registradas para aquele território.

Tabela 5. Modelos e parâmetros dos variogramas da precipitação pluviométrica mensal para cada uma das estações meteorológicas estudadas da Bacia do Rio Pontal.

Estação	Modelo	C_0	$C_0 + C$	Ao (meses)	r^2	SQR	IDT (%)
Afrânio	esférico	2410	5998	7,1	0,92	723173	60
Arizona	esférico	1710	3439	8,9	0,97	69761	50
Faz. Poço da Pedra	esférico	2469	4939	6,8	0,87	533358	50
Sítio Carretão	esférico	1871	3743	7,6	0,94	167357	50
Bebedouro	esférico	2234	4551	9,9	0,96	188788	51

Ao: alcance; C_0 : efeito pepita; C_0+C : patamar; r^2 : coeficiente de determinação múltipla do ajuste; SQR: soma dos quadrados de resíduos, IDT: índice de dependencia temporal

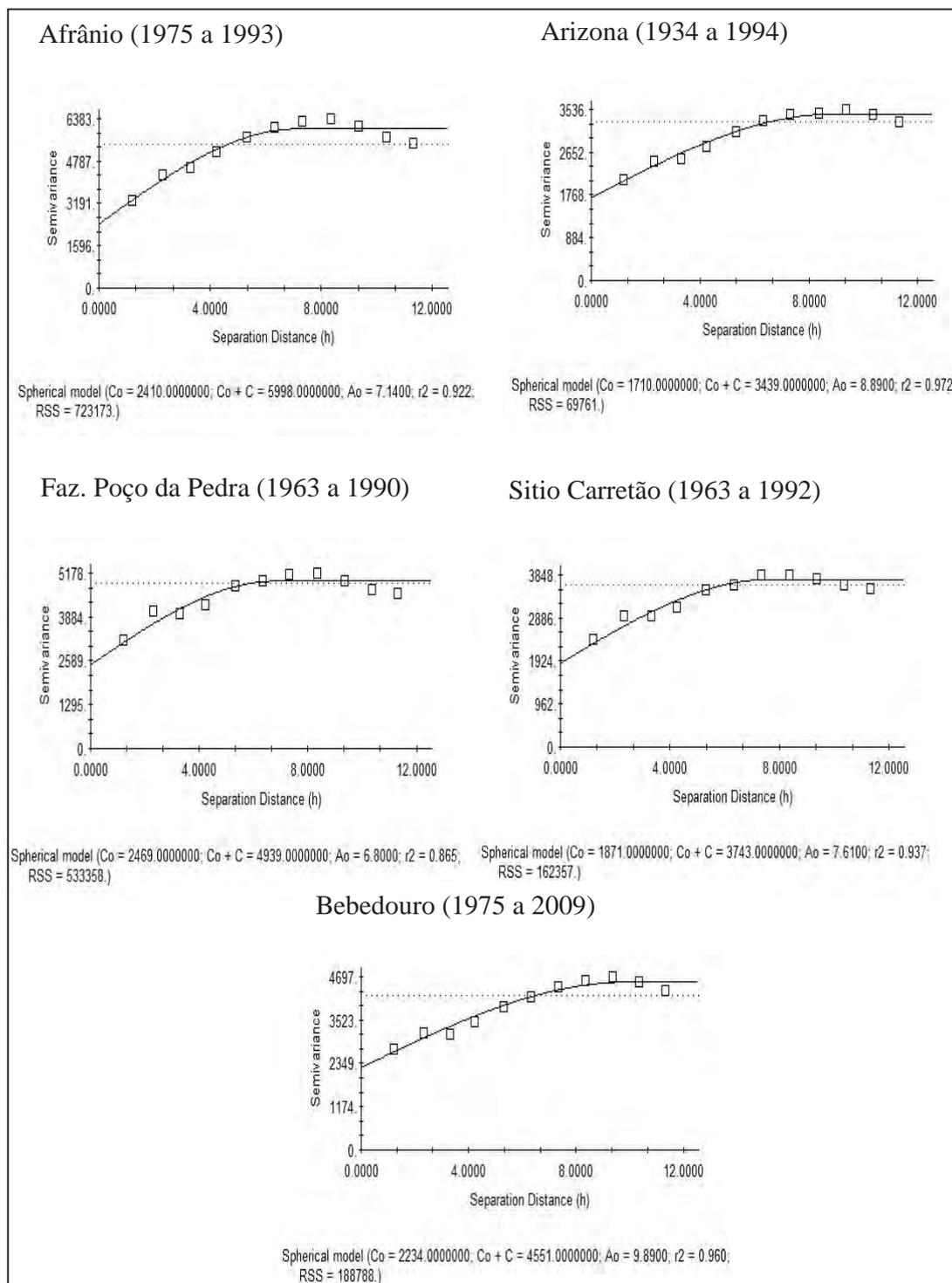


Figura 6. Modelos e parâmetros do variograma da precipitação pluviométrica mensal para cada uma das estações meteorológicas estudadas da Bacia do Rio Pontal.

Nas Tabelas 6, 7, 8 e 9 são apresentados os modelos e os parâmetros dos variogramas médios das precipitações mensais acima de 10, 50, 100 e 200 mm, respectivamente, para as estações meteorológicas em estudo. Observa-se à medida que cresce a lâmina de chuva total no mês, a dependência temporal moderada torna-se fraca. Os modelos teóricos que se ajustaram foram o esférico e o exponencial. Até a ocorrência de chuvas mensais acima de 100 mm os modelos de probabilidade de ocorrência responderam bem de acordo com os parâmetros de avaliação do modelo teórico, porém para os eventos de precipitação acima de 200 mm, observa-se efeito pepita puro, o que indica uma variabilidade aleatória para este fenômeno no tempo, como pode ser observado na Figura 10.

O alcance para a precipitação pluvial se manteve entorno de cinco meses o que sugere uma distribuição maior durante os meses do ano com precipitação a partir de 10 mm. Isso corrobora com as observações de Galvncio e Moura (2005), que observaram que a estação seca (ausência de chuvas) se estende por um período de até sete meses do ano em períodos normais, ou às vezes mais longos em períodos de estiagem para o estado de Pernambuco. Por sua vez, quando se observa as ocorrências de acima de 50 e 100 mm o alcance fica mais próximo dos observados na distribuição temporal de precipitação observado na Figura 6. Desta forma, observa-se que a melhor resposta quanto à probabilidade de ocorrência de eventos de precipitação pluvial é com base em eventos acima de 50 mm.

Tabela 6. Modelos e parâmetros dos variogramas da precipitação pluviométrica mensal acima de 10mm para cada uma das estações meteorológicas estudadas da Bacia do Rio Pontal.

Estação	Modelo	C_0	$C_0 + C$	Ao (meses)	r^2	SQR	IDT (%)
Afrânio	esférico	0,085	0,26	4,8	0,725	0,004741	67
Arizona	esférico	0,0714	0,2608	5,55	0,872	0,002621	73
Faz. Poço da Pedra	esférico	0,0828	0,2456	5,25	0,745	0,004327	66
Sítio Carretão	esférico	0,103	0,263	5,87	0,871	0,002005	61
Bebedouro	esférico	0,1034	0,2578	5,73	0,863	0,001935	60

Ao: alcance; C_0 : efeito pepita; C_0+C : patamar; r^2 : coeficiente de determinação múltipla do ajuste; SQR: soma dos quadrados de resíduos, IDT: índice de dependência temporal

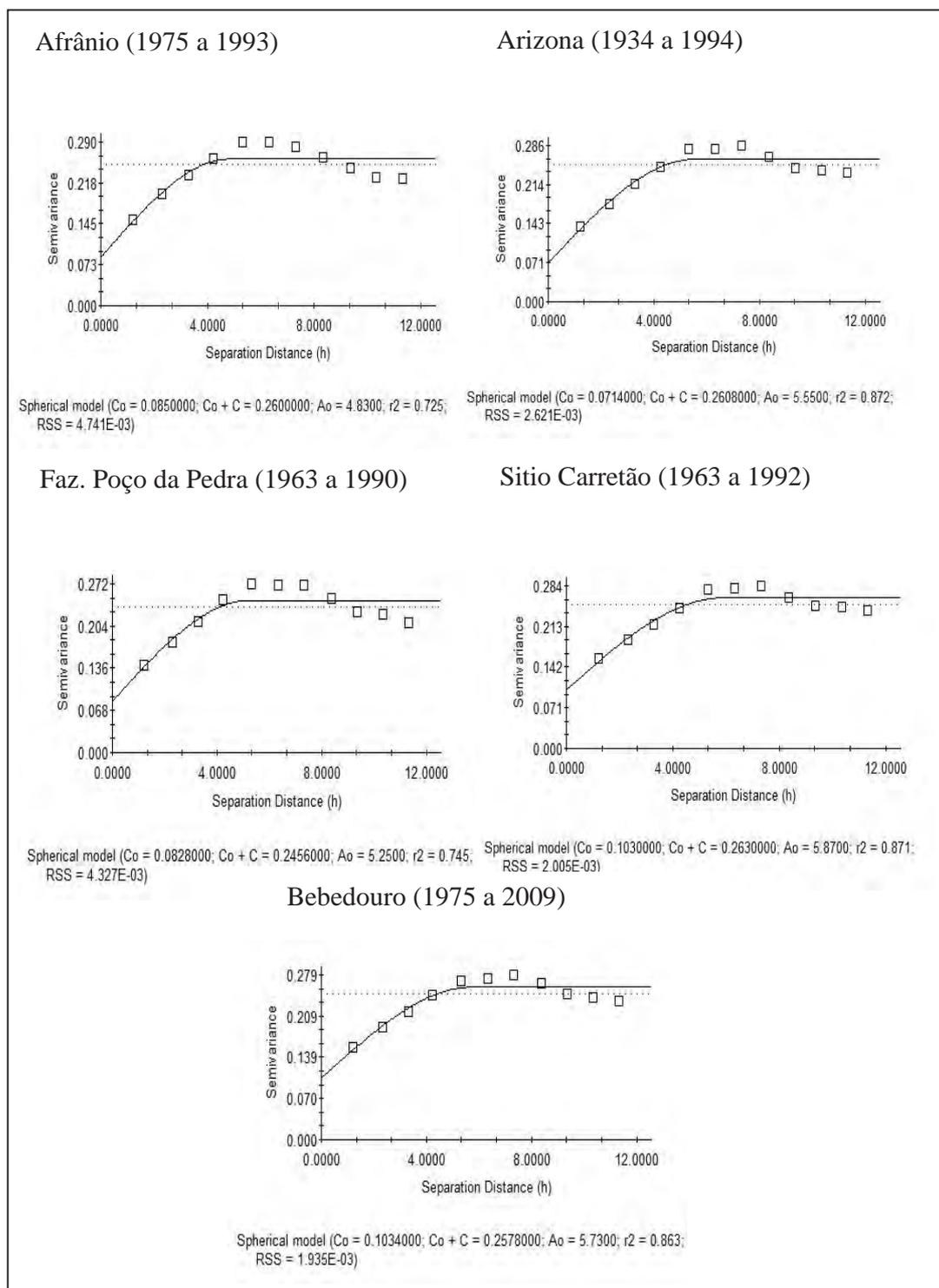


Figura 7. Variograma da precipitação pluviométrica mensal acima de 10mm para cada uma das estações meteorológicas estudadas da Bacia do Rio Pontal.

Tabela 7. Modelos e parâmetros dos variogramas da precipitação pluviométrica mensal acima de 50mm para cada uma das estações meteorológicas estudadas da Bacia do Rio Pontal.

Estação	Modelo	C_0	$C_0 + C$	Ao (meses)	r^2	SQR	IDT (%)
Afrânio	Esférico	0,1082	0,2254	7,52	0,986	0,0001388	52
Arizona	Esférico	0,0985	0,201	8,34	0,994	0,00005234	51
Faz. Poço da Pedra	Esférico	0,0987	0,2424	7,76	0,993	0,0001058	59
Sítio Carretão	Esférico	0,1086	0,2182	8,33	0,963	0,0003508	50
Bebedouro	Esférico	0,1124	0,2258	8,34	0,962	0,0003794	50

Ao: alcance; C_0 : efeito pepita; C_0+C : patamar; r^2 : coeficiente de determinação múltipla do ajuste; SQR: soma dos quadrados de resíduos, IDT: índice de dependência temporal

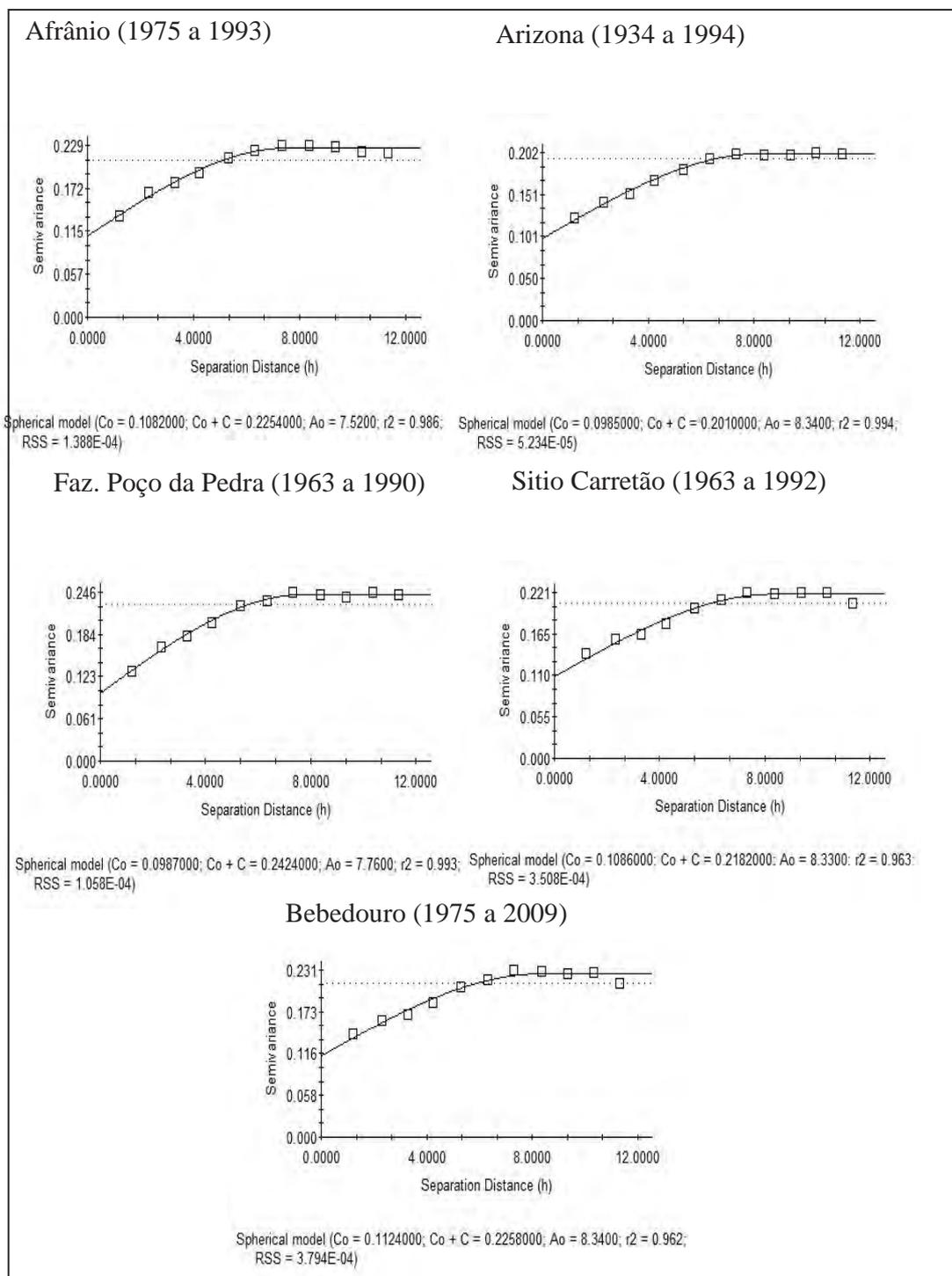


Figura 8. Variograma da precipitação pluviométrica mensal acima de 50mm para cada uma das estações meteorológicas estudadas da Bacia do Rio Pontal.

Tabela 8. Modelos e parâmetros dos variogramas da precipitação mensal acima de 100mm nas estações meteorológicas estudadas da Bacia do Rio Pontal.

Estação	Modelo	C_0	$C_0 + C$	Ao (meses)	r^2	RSS	IDT (%)
Afrânio	exponencial	0,0721	0,1542	4,22	0,940	0,0001013	53
Arizona	exponencial	0,0773	0,1556	13,82	0,888	0,0001932	50
Faz. Poço da Pedra	exponencial	0,016	0,144	1,3	0,662	0,001005	89
Sítio Carretão	exponencial	0,0855	0,172	11,47	0,919	0,0001996	50
Bebedouro	exponencial	0,0719	0,1558	11,18	0,878	0,0003257	54

Ao: alcance; C_0 : efeito pepita; C_0+C : patamar; r^2 : coeficiente de determinação múltipla do ajuste; SQR: soma dos quadrados de resíduos, IDT: índice de dependencia temporal

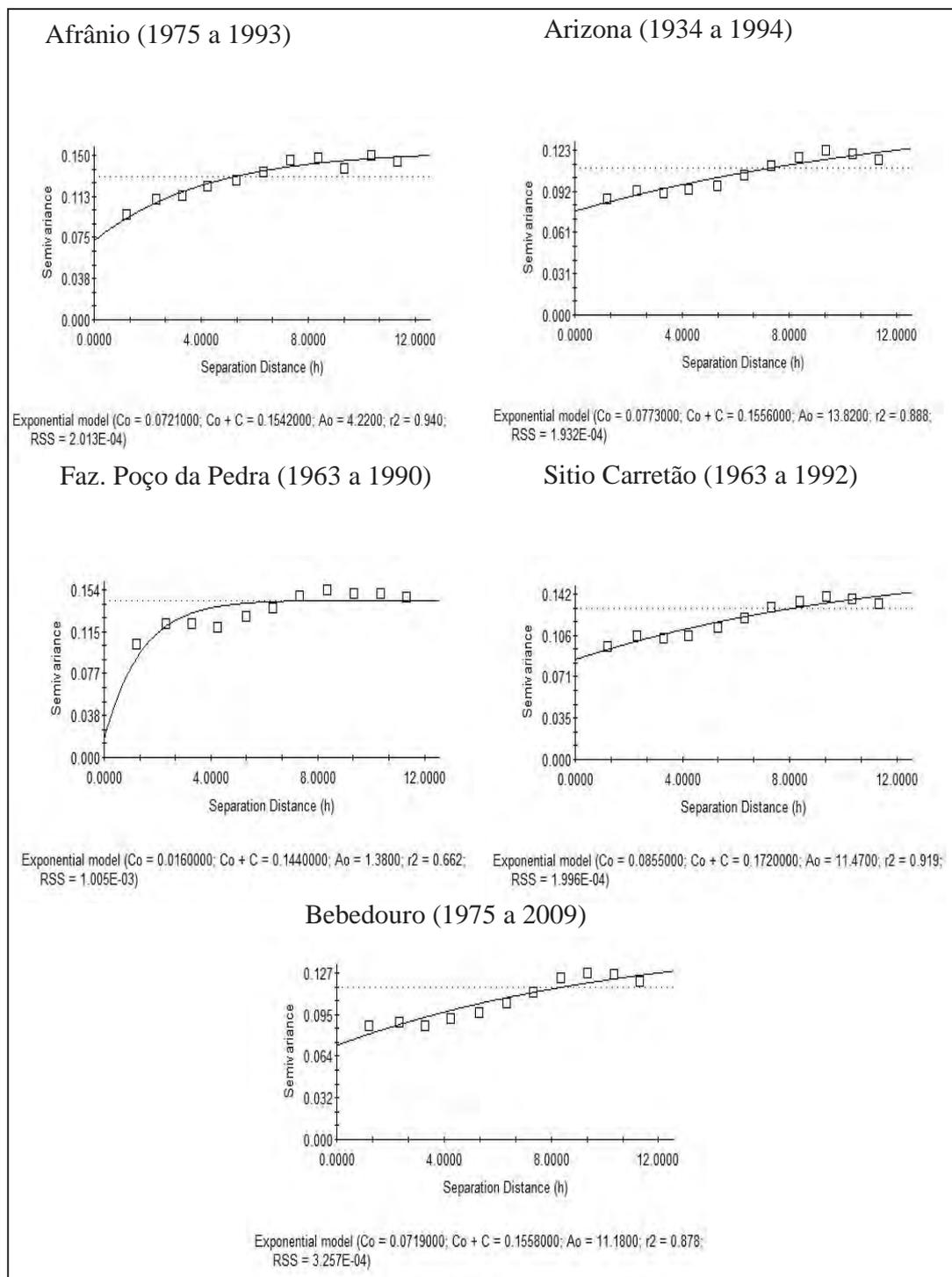


Figura 9. Variograma da precipitação mensal acima de 100mm para cada uma das estações meteorológicas estudadas da Bacia do Rio Pontal.

Tabela 9. Modelos e parâmetros dos variogramas da precipitação pluviométrica mensal acima de 200mm para cada uma das estações meteorológicas estudadas da Bacia do Rio Pontal.

Estação	Modelo	C_0	$C_0 + C$	Ao (meses)	r^2	SQR	IDT (%)
Afrânio	Linear	0.053381	0.053406	-	0.45	0.0003704	-
Arizona	Linear	0.01874	0.02229	-	0.557	0.00004848	-
Faz. Poço da Pedra	Linear	0.03898	0.03979	-	0.009	0.00006292	-
Sítio Carretão	Linear	0.02539	0.02547	-	0.6094	0.00006	-
Bebedouro	Linear	0.036318	0.043756	-	0.741	0.0001257	-

Ao: alcance; C_0 : efeito pepita; C_0+C : patamar; r^2 : coeficiente de determinação múltipla do ajuste; SQR: soma dos quadrados de resíduos, IDT: índice de dependência temporal

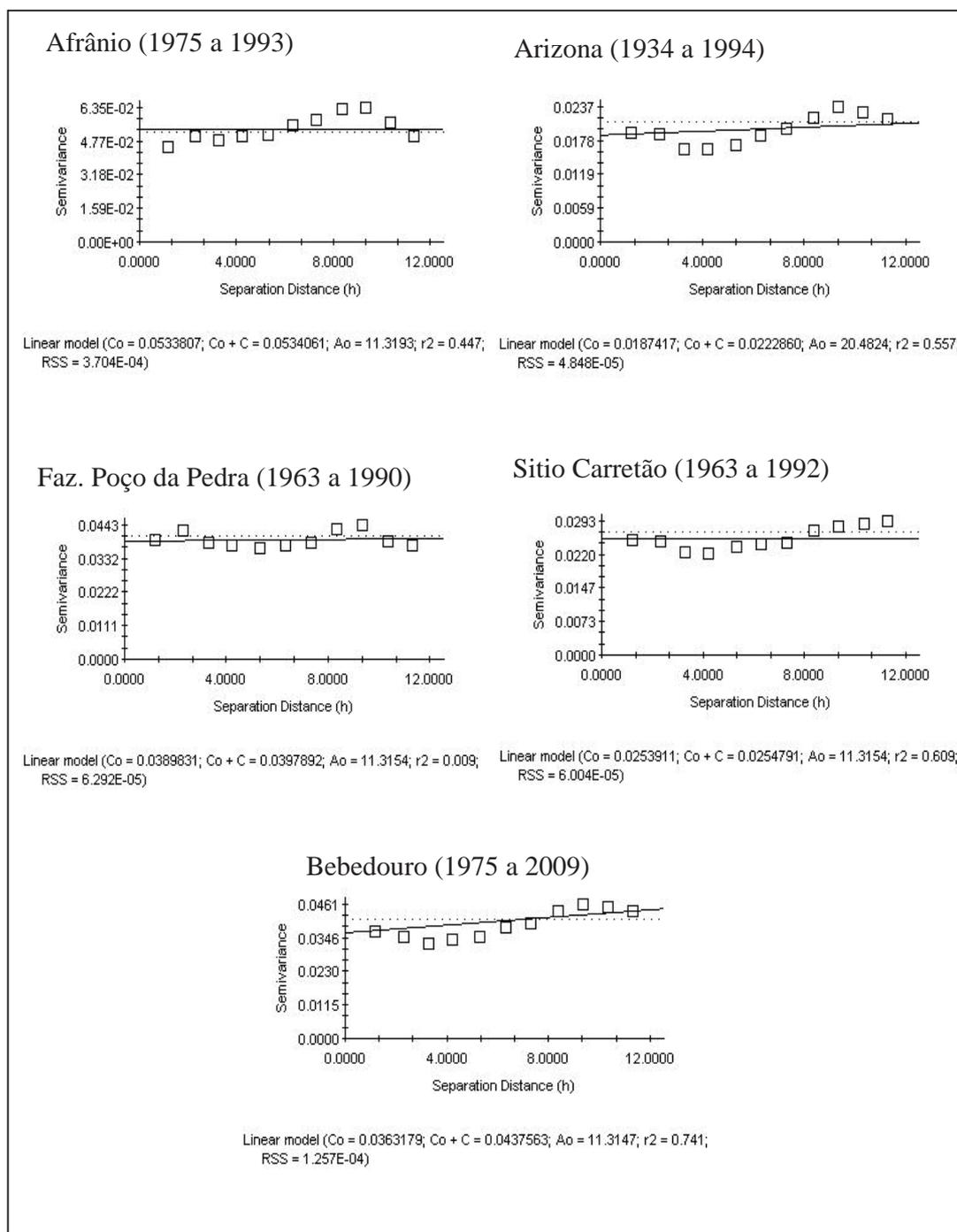


Figura 10. Variograma da precipitação pluviométrica mensal acima de 200mm para cada uma das estações meteorológicas estudadas da Bacia do Rio Pontal.

Quando se observa a probabilidade de ocorrência de um total de precipitação pluvial mensal nos intervalos apresentados nas Figuras 11 a 15, constata-se probabilidades mais altas nos meses de fevereiro e março para chuvas acima de 100 mm. As maiores probabilidades de precipitações mensais de 50 a 100 mm ocorrem nos meses de novembro a abril. Nos meses de maio a outubro a probabilidade cresce para as chuvas mensais abaixo de 10 mm, invertendo a posição com as chuvas acima de 50 mm, e coincidindo com os estudos anteriores realizados por Moura et al. (2005), Ramos et al. (2009), entre outros em estudos realizados em Petrolina.

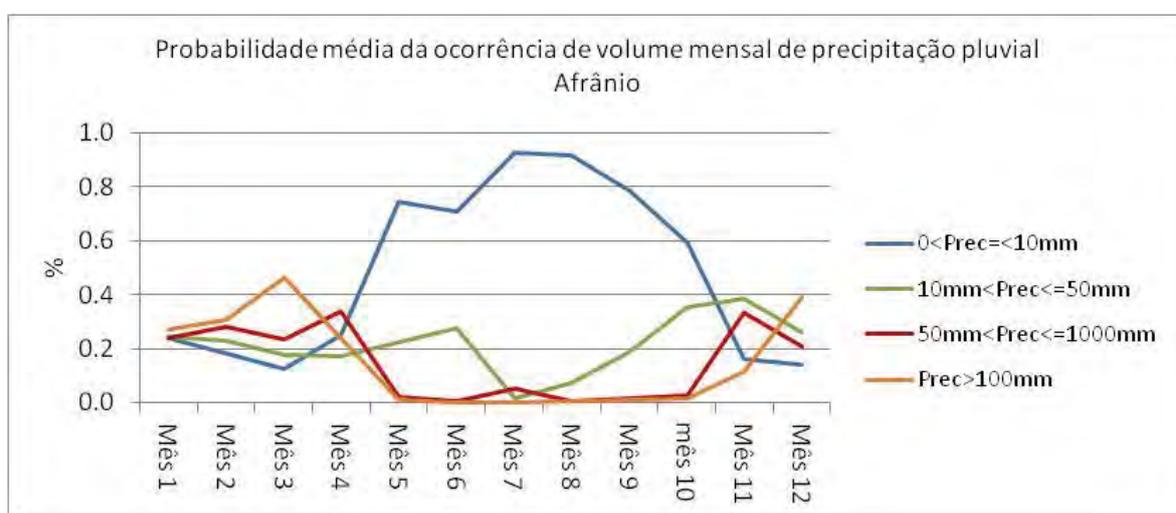


Figura 11. Probabilidade média obtida por Krigagem indicativa da ocorrência de volume mensal de precipitação pluvial (P, mm) para cada uma a estação meteorológica Afrânio na Bacia do Rio Pontal.

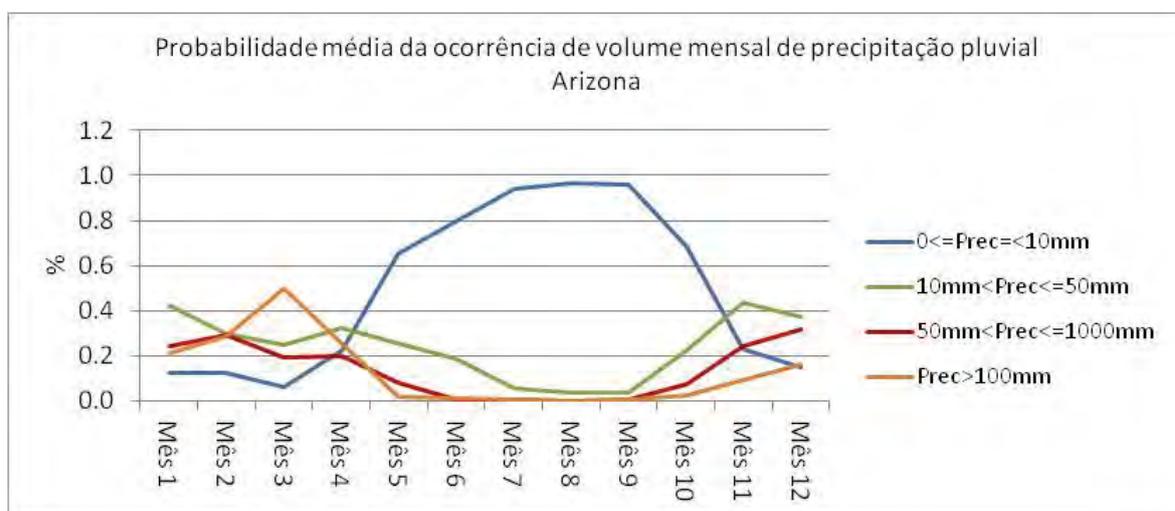


Figura 12. Probabilidade média obtida por Krigagem indicativa da ocorrência de volume mensal de precipitação pluvial (P, mm) para cada uma a estação meteorológica Arizona na Bacia do Rio Pontal.

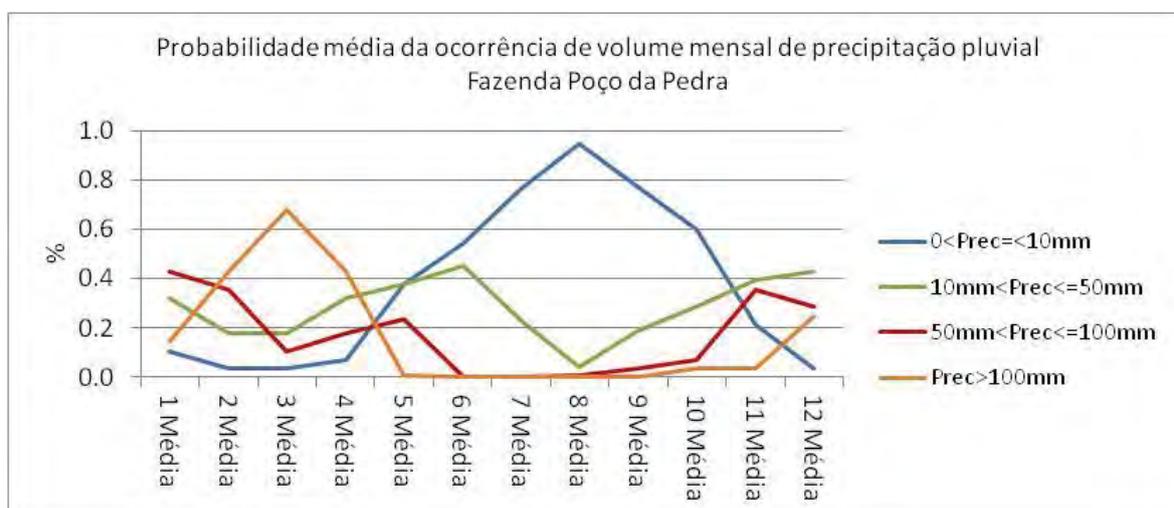


Figura 13. Probabilidade média obtida por Krigagem indicativa da ocorrência de volume mensal de precipitação pluvial (P, mm) para cada uma a estação meteorológica Faz. Poço da Pedra na Bacia do Rio Pontal.

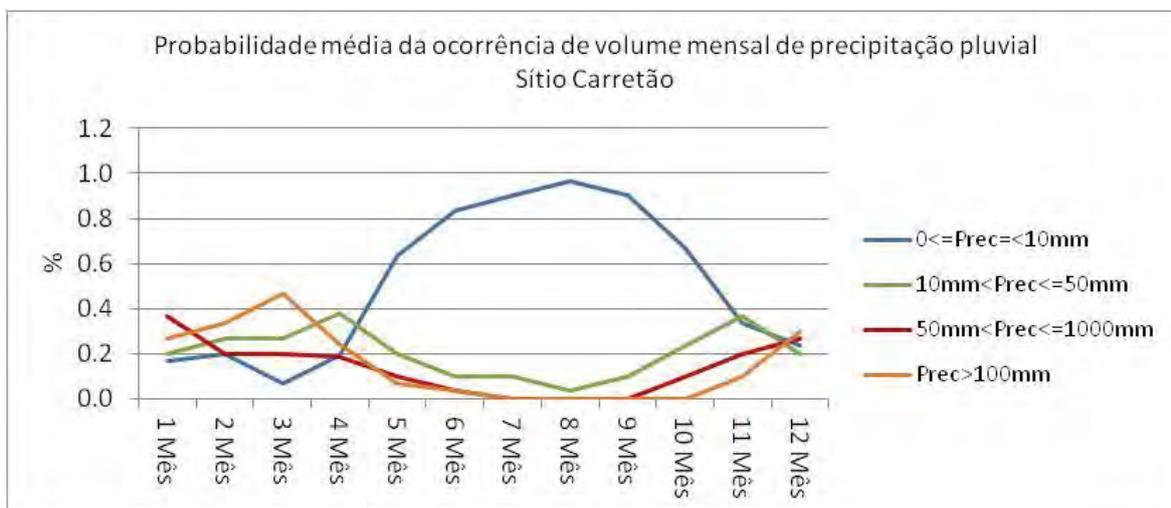


Figura 14. Probabilidade média obtida por Krigagem indicativa da ocorrência de volume mensal de precipitação pluvial (P, mm) para cada uma a estação meteorológica Sítio Carretão na Bacia do Rio Pontal.

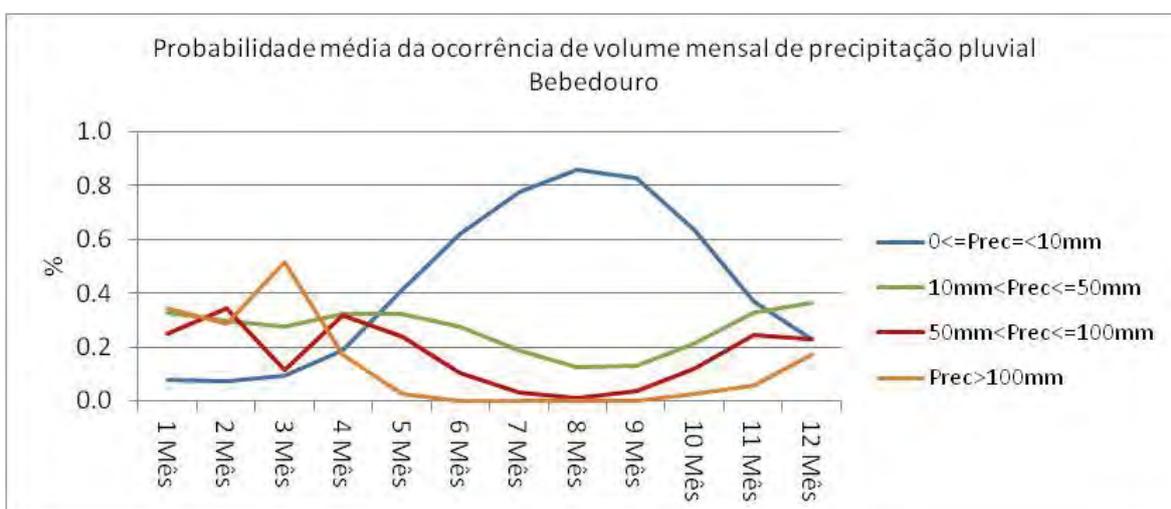


Figura 15. Probabilidade média obtida por Krigagem indicativa da ocorrência de volume mensal de precipitação pluvial (P, mm) para cada uma a estação meteorológica Bebedouro no Município de Petrolina.

Observa-se que a concentração da precipitação pluvial é marcante ao longo do ano com um período chuvoso que se concentra entre os meses de novembro a abril, com os meses de janeiro a março apresentando os de maior volume de chuva, o que pode explicar o alcance de nove meses calculado e apresentado pelo modelo matemático gerado no variograma.

2.4- Conclusões

1. Na Bacia do Rio Pontal, em Pernambuco, o uso de técnicas geoestatísticas determinou a existência de dependência temporal nos valores médios de precipitação mensal acima de 10mm, 50mm e 100mm para um período superior a dezenove anos, com um período de homogeneidade semelhante ao que ocorre em relação à distribuição de precipitações.

2. Assim, é possível a obtenção de estimativas da probabilidade de ocorrências de precipitações dessas magnitudes para cada mese ao longo do ano.

2.5 - Referências

ALMEIDA, A. Q. et al. Geoestatística no estudo de modelagem temporal da precipitação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 4, p. 354-358, 2011.

CARVALHO, O.; EGLER, C. A. G. **Alternativas de Desenvolvimento para o Nordeste Semi-Árido**. Fortaleza: Ministério da Fazenda; Banco do Nordeste do Brasil, 2003. 204 p.

COMITÊ DE BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO FRANCISCO (Brasil). **Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco**. Salvador: ANA; GEF; PNUMA; OEA, 2004. 337 p.

DALY, C.; NEILSON, R. P.; PHILLIPS, D. L. A statistical-topographic model for mapping climatological precipitation over mountainous terrain. **Journal of Applied Meteorology**, Corvallis, v. 33, p. 140-158, 1994

GALVINCIO J. D.; MOURA, S. B. DE. Aspectos climáticos da captação de água de chuva no Estado de Pernambuco. **Revista de Geografia**, Recife, v. 22, n. 2, p.96-113, 2005.

GOODALE, C. L.; ALBER, J. D.; OLLINGER, S. V. Mapping monthly precipitation, temperature and solar radiation for Ireland with polynomial regression and digital elevation model. **Climate Research**, v. 10, n. 1, p. 35-49, 1998.

JOURNAL, A. G. Nonparametric estimation of spatial distributions. **Mathematical Geology**, Columbia, v. 15, n. 3, p. 445 - 468, 1983.

KRIGE, D. G. A statistical approach to some basic mine evaluation problems on the Witwatersrand. **Johannesburg Chemistry Metallurgy Mining Society South Africa**, Johannesburg, v. 52, p. 151-163, 1951.

MARQUÍNEZ, J.; LASTRA, J.; GARCIA, P. Estimation models for precipitation in mountainous regions: the use of GIS and multivariate analysis. **Journal of Hydrology**, Wellington, v. 270, n. 1, p. 1-11, 2003.

MARTINEZ-COB, A. Multivariate geostatistical analysis of evapotranspiration and precipitation in mountainous terrain. **Journal of Hydrology**, Wellington, v. 174, n. 1/2, p. 19-35, 1996.

MATHERON, G. Principles of geostatistics. **Economic Geology**, v. 58, p. 1246-1266, 1963.

MELLO, C. R. et al. Erosividade mensal e anual da chuva no Estado de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 42, n. 4, p. 537-545, 2007.

MOLLON, L. C. B. On the dynamic climatology of the Amazon basin and associated rain-producing mechanisms. In: DICKINSON, R. E. **The geophysiology of amazonia vegetation and climate interactions**. New York: John Wiley, 1987.

MOURA, M. S. B. et al. Variação espacial da precipitação e temperatura o ar no submédio São Francisco. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 14., 2006, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: SUBMET, 2006. p 1-6

MOURA, M. S. B.; SILVA, T. G. F.; BORGES, C. J. R. Análise da precipitação e do número de dias de chuva no município de Petrolina – PE. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CAPTAÇÃO E MANEJO DE ÁGUA DE CHUVA, 5., 2005, Teresina. **Anais...** Petrolina: Embrapa, 2005.

RAMOS, C. M. C. et al. Análise temporal de fatores climáticos em Petrolina – PE. In: CONGRESO ARGENTINO DE INGENIERÍA RURAL Y II DEL MERCOSUR, 10., 2009, Rosário. **Actas...** Rosário: Universidade Nacional de Rosario, 2009. p. 1-7

REDDY, S. J.; AMORIM NETO, M. S. **Dados de precipitação, evapotranspiração potencial, radiação solar global de alguns locais e classificação climática do Nordeste do Brasil**. Petrolina: EMBRAPA, CPATSA, 1983. 280 p.

RIBEIRO, A. M.; 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, 1997.

ROBERTSON, G. P. **GS+: Geostatistics for the environmental sciences - GS+ User's Guide**. Plainwell: Gamma Design Software, 2009. 152 p.

SILVA, B. B. et al. Desempenho de modelo climático aplicado à precipitação pluvial do Estado de Pernambuco. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 4, p. 387-395, 2010.

SILVA, J. W.; GUIMARÃES, E. C.; TAVARES, M. Variabilidade temporal da precipitação mensal e anual na estação climatológica de Uberaba-MG. **Ciência Agrotécnica**, Lavras, v. 27, n. 3, p. 665-674, maio/jun. 2003.

VAUCLIN, M. et al. The use of cokriging with limited field soil observation. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 47, p. 175-184, 1983

VELOSO, H. P.; RANGEL-FILHO, A. L. R.; LIMA, J. C. A. **Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal**. Rio de Janeiro: Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 1991. 124 p.

VIEIRA, S. R.; NIELSEN, D. R.; BIGGAR, J. W. Spatial variability of field-measured infiltration rate. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 45, p. 1040-1048, 1981.

WU, S. J.; TUNG, Y. K.; YANG, J. C. Stochastic generation of hourly rainstorm events. **Stochastic Environmental Research Risk Assessment**, v. 21, p. 195-212, 2006.

ZIMBACK, C. R. L. **Análise espacial de atributos químicos de solos para fins de mapeamento da fertilidade do solo**. 2001. 114 f. Tese (Livre-Docência) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2001.

CAPITULO 3 - DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO NO PERÍMETRO IRRIGADO PONTAL SUL, EM PETROLINA – PE

Clóvis M. C. Ramos¹, Luís H. Bassoi² & Célia R. L. Zimback³

¹ Doutorando em Irrigação e Drenagem/FCA-UNESP. Fone (87) 9912-1818. Email: clovis-ramos@oi.com.br

² Embrapa - Semiárido, CP 23, CEP 56302-970, Petrolina, PE. Fone (87) 3861-1711. Email: lhbassoi@cpatsa.embrapa.br

³ FCA/UNESP, CP 237, CEP 18610-307, Botucatu, SP. Fone (14) 3811-7165. Email: czimback@fca.unesp.br

Resumo: Devido à complexidade inerente aos problemas de demandas e ofertas de água em um perímetro irrigado, é necessária a utilização de técnicas e instrumentos capazes de auxiliar os profissionais responsáveis pelo planejamento e gerenciamento de recursos hídricos. O conhecimento da variabilidade espacial das propriedades físicas do solo, principalmente das relacionadas à distribuição granulométrica, que influenciam diretamente o fluxo superficial e o movimento de água no solo, pode contribuir na definição de melhores estratégias para o manejo sustentável do solo e fundamentais para o planejamento ambiental. O trabalho teve como objetivo estudar a variação espacial das frações granulométricas do solo na área do perímetro de irrigação do Pontal Sul e confeccionar modelos de distribuição espacial destas frações. Os percentuais das

frações granulométricas apresentaram dependência espacial forte para areia, silte e argila, a 0-0,2 m e 0,2-0,4 m de profundidade. Os semivariogramas teóricos permitiram a geração de mapas da distribuição ao longo da área do perímetro irrigado. Observou-se a partir do alcance que há uma maior uniformidade na camada onde a fração granulométrica considerada tem maior percentual.

Palavra-chave: geoestatística, areia, silte, argila, semiárido

Spatial distribution of size fractions in Pontal Sul, Petrolina - PE

Abstract: Due to the inherent complexity of the problems of demand and supply of water in an irrigation district, it is necessary to use techniques and tools to help professionals responsible for planning and management of water resources. Knowledge of the spatial variability of soil physical properties, especially those related to the particle size distribution, which directly influence the flow and movement of surface water in the soil, can contribute to define better strategies for sustainable management of soil and critical to the environmental planning . The work aimed to study the spatial variability of soil size fractions in the perimeter irrigation Pontal Sul and designing models of spatial distribution of these fractions. The percentages of size fractions showed strong spatial dependence for sand, silt and clay, 0.0 to 0.20 m 0.20 to 0.4 m deep. The theoretical semivariograms allowed us to create maps of the distribution over the irrigated area. It was observed from the reach there is a greater uniformity in the depth where the particle size fraction is considered the highest percentage

Key words: geostatistic, sand, silt, clay, semiarid

3.1- Introdução

Diante da crescente demanda de água e a natural necessidade de gerenciar os recursos hídricos disponíveis, a bacia hidrográfica tem sido reconhecida como o espaço geográfico mais adequado para tratar de assuntos ambientais, constituindo-se em unidade de gestão administrativa. É um espaço de planejamento e de gestão das águas,

adequando-se e compatibilizando-se às diversidades demográficas, sociais, culturais e econômicas das regiões. Devido à complexidade inerente aos problemas de demanda e oferta de água em uma bacia hidrográfica, é necessária a utilização de técnicas e instrumentos capazes de auxiliar os profissionais responsáveis pelo planejamento e gerenciamento de recursos hídricos. A Bacia do Rio Pontal, com uma área de 6.023km², situada entre os municípios de Petrolina, Afrânio, Dormentes e Lagoa Grande, no estado de Pernambuco, tem seu dreno natural como tributário na margem esquerda do rio São Francisco. O dreno principal da Bacia do Rio Pontal tem um comprimento de 206 km e segundo a classificação de Strahler (1957) é um rio de ordem quatro. Bacia do Rio Pontal apresenta declividade abaixo de 15%, com mediana na ordem de 2%, e relevo praticamente plano com cotas que variam entre 700 a 360m. A vegetação é do tipo Caatinga, classificada segundo Velloso *et al.* (1991) como Savana Estépica Arborizada. De acordo com Galvíncio *et al.* (2006), cerca de 52% da sua área foi modificada pela ação humana, sendo o restante coberta com remanescente de vegetação natural. O clima local foi classificado, segundo Köeppen, como sendo megatérmico e semi-árido, do tipo BSw^h' (REDDY & AMORIM NETO, 1983).

Na área da bacia do rio Pontal, serão implantados dois perímetros irrigados com um total de 7,7 mil ha com captação de água no Rio São Francisco da ordem de 7,8 m³/s. Existe uma demanda de perenização do curso da água por parte dos proprietários de terras ao longo do Rio Pontal e seus afluentes, com projetos e construções de barragens desde a década de 1970. No Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco coordenado pelo Comitê da Bacia Hidrográfica do São Francisco (CHBSF), a unidade hidrográfica do Pontal está entre as unidades com maiores problemas na relação entre os usos e a vazão média (que chega a mais de 20%), caracterizando uma situação crítica e exigindo intenso gerenciamento dos recursos hídricos e necessidade de investimentos.

A textura do solo tem grande influência no manejo da irrigação, pois está relacionada com a capacidade de retenção de umidade, a permeabilidade e o seu preparo. Embora a capacidade de retenção de água e nutrientes esteja relacionada com outras características, como estrutura, conteúdo de matéria orgânica, tipo de argila e de cátions, possui boa relação com os teores de argila, aumentando, em geral, proporcionalmente a estes. De modo geral, os solos com elevados teores de argila possuem faixa mais ampla de umidade, enquanto a dos arenosos é bem mais estreita (KITAMURA *et al.* 2007).

O conhecimento da variabilidade espacial das propriedades físicas do solo, principalmente das relacionadas à distribuição granulométrica, que influenciam diretamente o fluxo superficial e o movimento de água no solo, pode contribuir na definição de melhores estratégias para o manejo sustentável do solo e fundamentais para o planejamento ambiental. Silva (2011) afirma que nas paisagens naturais, os solos apresentam heterogeneidade, tanto no sentido vertical (profundidade) como no plano horizontal, resultante das interações dos seus fatores de formação, dados por clima, organismos, relevo, material de origem e tempo.

A geoestatística é uma ferramenta de análise espacial (KRIGE, 1951), com a finalidade de estimar valores não amostrados. Como consequência da variação contínua dos solos, utiliza o modelo probabilístico associado à localização espacial dos pontos amostrados para uma análise da variabilidade entre os valores observados (ALMEIDA et al., 2011), pressupondo que os atributos localizados mais próximos são mais semelhantes entre si do que os mais distantes (MATHERON, 1963; ISAAKS & SRIVASTAVA, 1989; KUZUYAKOVA *et al.*, 2001). Baseia-se na teoria das variáveis regionalizadas (MATHERON, 1963) que parte da premissa de haver dependência espacial entre as observações vizinhas de uma variável aleatória qualquer, distribuída continuamente no espaço.

Assim sendo, o trabalho teve como objetivo estudar a variação espacial das frações granulométricas do solo na área do perímetro de irrigação do Pontal Sul e confeccionar modelos de distribuição espacial destas frações.

3.2- Material e Métodos

Coleta de dados

Foram distribuídos ao longo da área do Perímetro Irrigado (Figura 16) 64 pontos de amostragem para coleta de amostra nas camadas de 0,00 a 0,20 m e outra de 0,20 a 0,40 m -. Os pontos foram marcados levando em consideração a classificação de solos realizada pela Embrapa, e de forma a melhor distribuição e posterior espacialização dos dados. Dos pontos marcados foram coletadas 122 amostras, 62 amostras de 0,00 a 0,20 m e 60 amostras de 0,20 a 0,40 m.

Utilizaram-se amostras com estrutura deformada. Depois de secadas ao ar, desagregadas e passadas por peneira com 2 mm de abertura de malha, as amostras foram utilizadas para determinação da granulometria com base em metodologia descrita no manual de métodos de análises físicas (EMBRAPA, 1997).

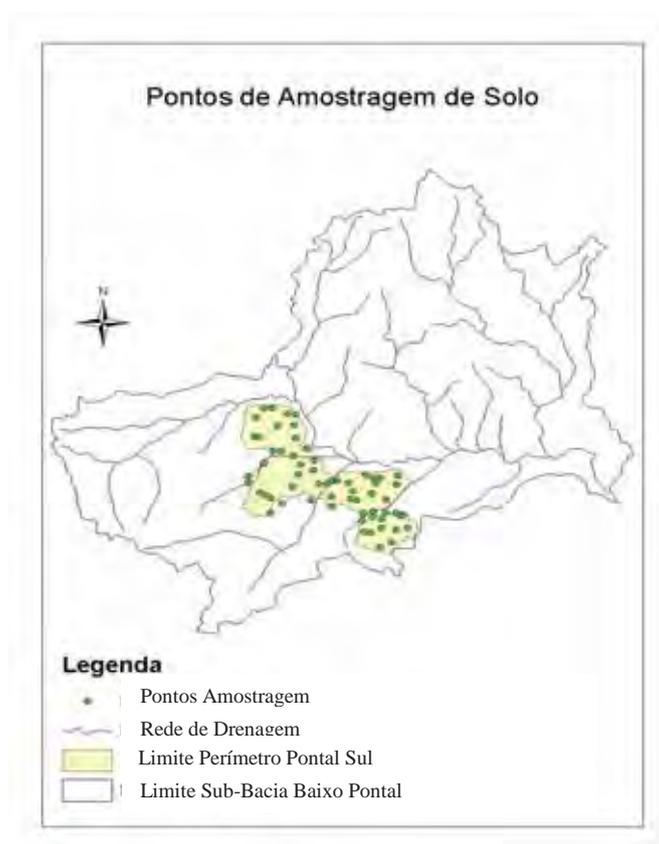


Figura 16. Distribuição dos pontos de amostra na área do Perímetro Irrigado do Pontal Sul

Análise de Dados

A dependência das variáveis físicas do solo na escala do espaço foi feita entre pares de observações subsequentes. Assim sendo, os valores de $\gamma^*(h)$ nos modelos dos semivariograma foi dado pela Eq. 1:

$$\gamma^*(h) = \left(\frac{1}{2 N(h)} \right) \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad \text{Eq. 6}$$

em que: $\gamma^*(h)$ é o semivariograma para um vetor espaço; $Z(x)$ e $Z(x+h)$ são os pares de valores de percentual de uma das fases granulométricas separados por um intervalo e $N(h)$ é o número de pares de valores medidos. Do ajuste de um modelo matemático aos valores calculados de $\gamma^*(h)$, são estimados os coeficientes efeito pepita (C_0), patamar ($C_0 + C_1$) e o alcance (A_0) do modelo teórico para o variograma, que corresponde ao conceito da Zona de Influência ou de Dependência Espacial de uma amostra, marcando a distância a partir da qual as amostras tornam-se independentes (GUERRA, 1988).

Os modelos foram ajustados pelo programa GS+ 9.0 (ROBERTSON, 2009), considerando-se a menor soma do quadrado dos resíduos, o maior coeficiente de determinação (r^2) e pelo coeficiente de correlação obtido pelo método de validação cruzada.

O índice de dependência espacial (IDE), considerando-se a classificação proposta por Zimback (2001), leva em consideração a relação entre variância estruturada (C) e o valor do patamar ($C + C_0$), na qual a dependência espacial é fraca, quando $IDE > 25\%$, moderada, quando $25\% \leq IDE \leq 75\%$ é alta, quando $IDE > 75\%$. Comprovada a dependência espacial, utilizou-se a função semivariograma na produção de mapas interpolados por krigagem.

3.3- Resultados e Discussão

Na Tabela 10 observam-se os parâmetros dos modelos teóricos gerados, que ficaram entre o gaussiano, exponencial e esférico. Para todas as variáveis os modelos diferiram em relação a camada de estudo. Abreu *et al* (2003), em Argissolo Franco Arenoso, ajustaram modelos exponencial para as frações areia e silte. Souza *et al.* (2004), por sua vez, ajustaram os modelos esférico e exponencial para as frações argila, silte e areia, em um Latossolo Vermelho eutroférico. Silva *et al.* (2010) ajustaram modelos esféricos para as frações areia e argila, com Latossolo Vermelho Amarelo, enquanto Silva *et al.* (2011) ajustaram o modelo esférico para a fração areia, e modelo exponencial para a fração argila, enquanto que para o silte foi obtido o efeito pepita puro. Bertolani *et al.* (2000) afirmaram que

os modelos esférico e exponencial são os que mais se ajustam aos dados de atributos físicos do solo.

Ao observar o alcance vê-se que as frações areia e argila tem a variação invertida em relação à camada, tendendo a uma maior uniformidade na camada onde a fração granulométrica considerada é maior, fato observado em Abreu *et al* (2003) e Mello *et al.* (2006).

Com relação ao índice de dependência espacial (IDE) todas as variáveis estudadas apresentaram dependência espacial alta, baseado na a classificação proposta por Zimback (2001), exceto para o silte com dependência espacial moderada. Abreu *et al* (2003), Mello *et al.* (2006) e Leão *et al.* (2010) e também observaram classificação semelhante para dependência espacial nas frações argila, areia e silte, enquanto Wojciechowski *et al.* (2009) encontrou uma dependência espacial forte para a fração argila e Silva *et al.* (2011) encontrou moderada na camada de 0-20cm e moderada à 20-40cm. Segundo Cambardella *et al.* (1994), a forte dependência espacial das variáveis, como textura e mineralogia, está associada a variações intrínsecas de propriedades do solo.

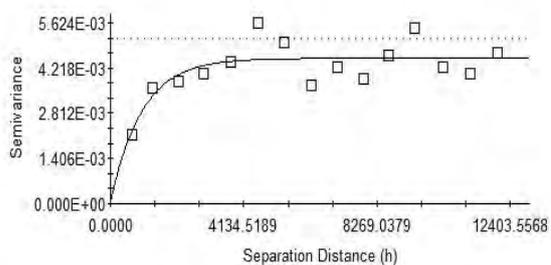
Tabela 10. Modelos e parâmetros dos variogramas para os atributos físico do solo percentual de areia, argila e silte.

Fração	Modelo	Co	Co + C	Ao	r ²	RSS	IDE
Granulométrica							
Areia 0-20	Exponencial	0,00001	0,00452	970	0,58	0,0000042	99,8%
Areia 20-40	Gausiano	0,00064	0,00686	930	0,84	0,0000027	90,7%
Argila 0-20	Gausiano	0,00000	0,00114	1070	0,69	0,0000003	100,0%
Argila 20-40	Exponencial	0,00000	0,00287	1820	0,70	0,0000026	100,0%
Silte 0-20	Gausiano	0,00126	0,00294	2570	0,77	0,0000011	57,1%
Silte 20-40	Esférico	0,00003	0,00224	3350	0,86	0,0000005	98,7%

Co - efeito pepita; Co + C – patamar, Ao – alcance, r²: coeficiente de determinação múltipla do ajuste; RSS – soma de resíduos, IDE: índice de dependência espacial

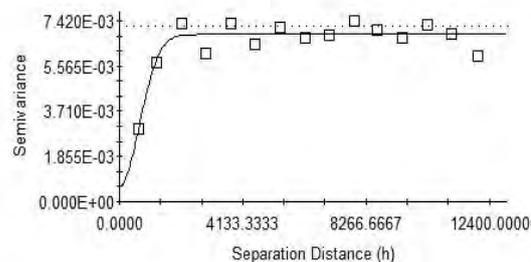
Os parâmetros dos modelos de semivariogramas ajustados (Figura 17) foram utilizados para estimar valores em locais não amostrados por meio da krigagem (Figura 18). Os mapas espaciais dos atributos argila e areia têm comportamento inverso, quando comparados entre si, em ambas as camadas avaliadas.

Percentual de Areia à Profundidade de 0,00-0,20m



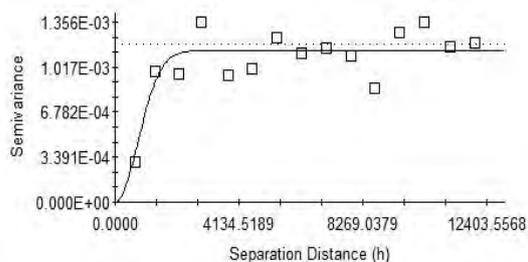
Exponential model ($C_0 = 0.0000100$; $C_0 + C = 0.0045200$; $A_0 = 970.0000$; $r^2 = 0.580$; $RSS = 4.203E-06$)

Percentual de Areia à Profundidade de 0,20-0,40m



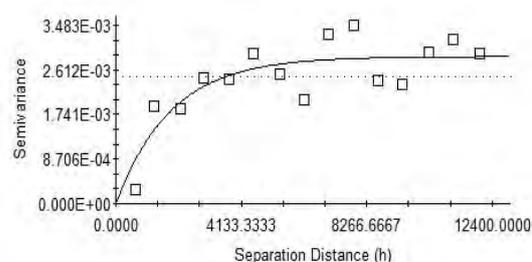
Gaussian model ($C_0 = 0.0006400$; $C_0 + C = 0.0068600$; $A_0 = 930.0000$; $r^2 = 0.844$; $RSS = 2.672E-06$)

Percentual de Argila à Profundidade de 0,00-0,20m



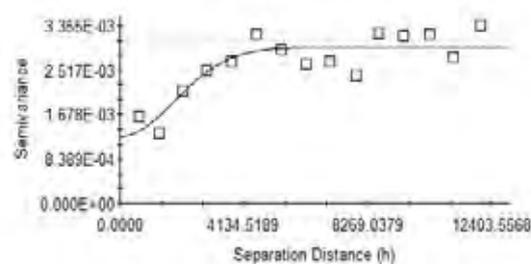
Gaussian model ($C_0 = 0.0000010$; $C_0 + C = 0.0011420$; $A_0 = 1070.0000$; $r^2 = 0.689$; $RSS = 2.982E-07$)

Percentual de Argila à Profundidade de 0,20-0,40m



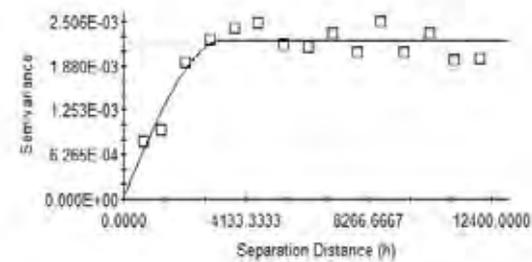
Exponential model ($C_0 = 0.0000010$; $C_0 + C = 0.0028720$; $A_0 = 1820.0000$; $r^2 = 0.702$; $RSS = 2.610E-06$)

Percentual de Silte à Profundidade de 0,00-0,20 m



Gaussian model ($C_0 = 0.0012620$; $C_0 + C = 0.0029440$; $A_0 = 2570.0000$; $r^2 = 0.773$; $RSS = 1.101E-06$)

Percentual de Silte à Profundidade de 0,20-0,40m



Spherical model ($C_0 = 0.0000280$; $C_0 + C = 0.0022360$; $A_0 = 3350.0000$; $r^2 = 0.857$; $RSS = 4.960E-07$)

Figura 17. Modelos e parâmetros do variograma para os atributos físicos do solo percentual de areia, argila e silte.

A textura do solo tem grande influência no manejo da irrigação, pois está relacionada com a capacidade de retenção de umidade, a permeabilidade e o seu preparo. Embora a capacidade de retenção de água e nutrientes esteja relacionada com outras características, como estrutura, conteúdo de matéria orgânica, tipo de argila e de cátions, possui boa relação com os teores de argila, aumentando, em geral, proporcionalmente a estes. De modo geral, os solos com elevados teores de argila possuem faixa mais ampla de umidade, enquanto a dos arenosos é bem mais estreita (KITAMURA *et al.* 2007).

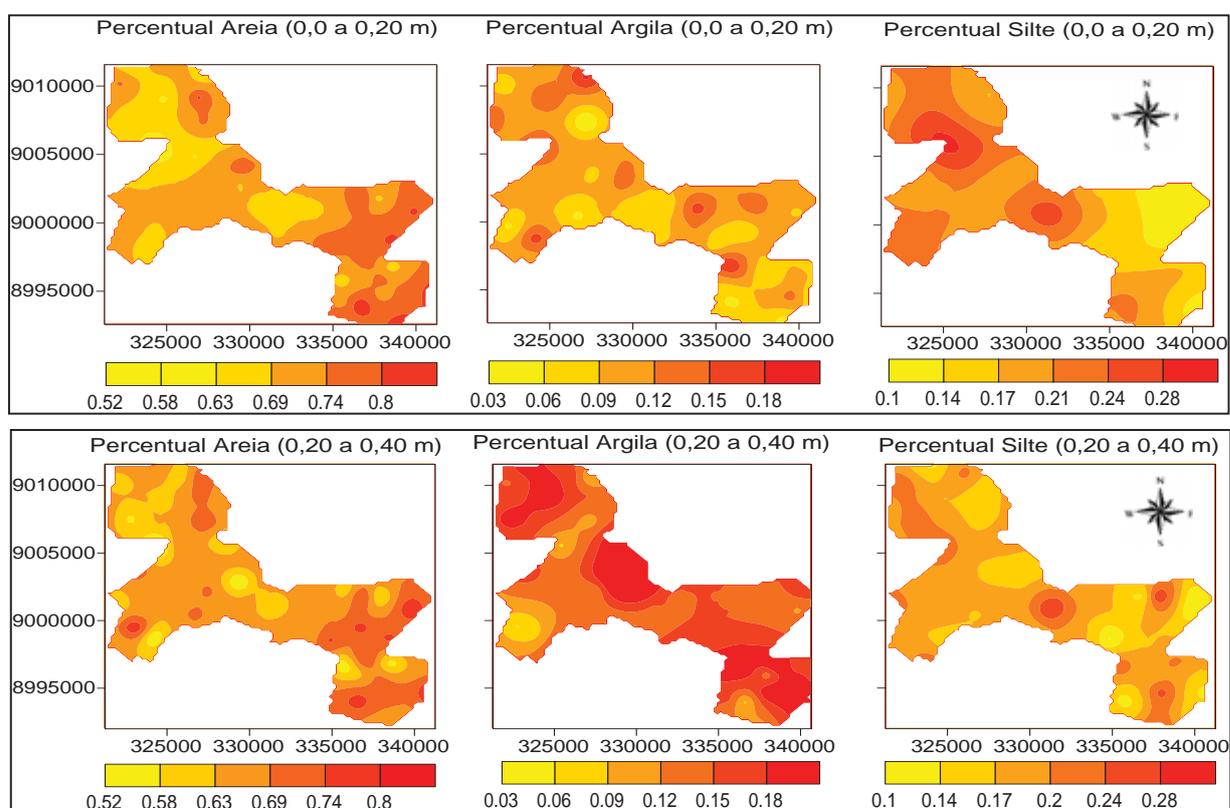


Figura 18. Mapas da distribuição espacial das frações areia, argila e silte no Perímetro Irrigado do Pontal Sul, PE.

O visível aumento do percentual de argila com a profundidade do solo foi observado também por Santos e Ribeiro (2000), em estudos no Vale do São Francisco que encontraram um aumento da relação textural com a prática da agricultura irrigada. Desta forma são importantes os cuidados com as práticas de preparo de solo e manejo de irrigação para evitar formação de camadas adensadas no perfil do solo.

3.4- Conclusões

Os percentuais das frações granulométricas apresentaram dependência espacial forte para areia, silte e argila, nas camadas de 0-0,20 m e 0,20-0,40 m. Os semivariogramas teóricos permitiram a geração de mapas da distribuição ao longo da área do perímetro irrigado. Observou-se que há uma maior uniformidade da fração granulométrica considerada, na camada onde seu percentual é maior. Há que se observar as práticas de preparo de solo e manejo de água para que não haja um aumento na relação textural entre as camadas estudadas.

3.5- Referências

- ABREU, S. L. de. et al. Variabilidade espacial de propriedades físico-hídricas do solo, da produtividade e da qualidade de grãos de trigo em Argissolo Franco Arenoso sob plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, n. 2, p. 275-282, 2003.
- ALMEIDA, A. Q. de. et al. Geoestatística no estudo de modelagem temporal da precipitação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 4, p. 354-358, 2011.
- BERTOLANI, F. C. et al. Variabilidade espacial da rugosidade superficial do solo medida com rugosímetros de agulhas e laser. **Bragantia**, Campinas, v. 59, n. 2, p. 227-234, 2000.
- CAMBARDELLA, C. A. et al. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. **Soil Science Society America Journal**, v. 58, n. 4, p. 1501-1511, 1994.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa dos Solos da. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, CNPS, 1997. 212 p.
- GALVÍNCIO, J. D.; MOURA, M. S. B.; RIBEIRO, J. G. Análise fisiográfica e da dinâmica da bacia hidrográfica do Rio Pontal - PE. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 8., 2006, Gravatá. **Anais...** Gravatá: ABRH, 2006.
- GUERRA, P. A. G. **Geoestatística operacional**. Brasília: Ministério de Minas e Energia; Departamento Nacional de Produção Mineral, 1988. 145 p.
- ISAAKS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. **Applied geostatistics**. New York: Oxford University Press, 1989. 561 p.

KRIGE, D. G. A statistical approach to some basic mine evaluation problems on the Witwatersrand. **Johannesburg Chemistry Metallurgy Mining Society South Africa**, v. 52, p. 151-163, 1951.

KUZYAKOVA, I. F.; ROMANENKOV, V. A.; KUZYAKOV, Y. A.V. Geostatistics in soil agrochemical studies. **European Soil Science**, v. 34, n. 9, n. 34, p. 1011-1017, 2001.

LEÃO, M. G. A. et al. Variabilidade espacial da textura de um latossolo sob cultivo de citros. **Ciência Agrotécnica**, Lavras, v. 34, n. 1, p. 121-131, 2010.

MATHERON, G. Principles of geostatistics. **Economic Geology**, v. 58, p. 1246-1266, 1963.

MELLO, G.; BUENO, C. R. P.; PEREIRA, G. T. Variabilidade espacial das propriedades físicas e químicas do solo em áreas intensamente cultivadas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 2, p. 294-305, 2006.

REDDY, S. J.; AMORIM NETO, M. S. **Dados de precipitação, evapotranspiração potencial, radiação solar global de alguns locais e classificação climática do Nordeste do Brasil**. Petrolina: EMBRAPA, CPATSA, 1983. 280 p.

SILVA, S. de A. et al. Variabilidade espacial do fósforo e das frações granulométricas de um latossolo vermelho amarelo. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 41, n. 1, p. 1-8, 2010.

SILVA, S. de A.; LIMA, J. S. de S.; ZUCOLOTO, M. Distribuição espacial das frações granulométricas em um latossolo vermelho amarelo utilizando krigagem indicativa. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, MG, v. 19, n. 3, p. 195-202, 2011.

SOUZA, Z. M. et al. Variabilidade espacial da textura de um latossolo vermelho eutroférico sob cultivo de cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, Viçosa, MG, v. 24, n. 2, p. 309-319, 2004.

SOUZA, Z. M. et al. Variabilidade espacial de atributos físicos em um latossolo vermelho distrófico sob semeadura direta em selvíria (MS). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 3, p. 699-707, 2001.

WOJCIECHOWSKI, J. C. et al. Geoestatística aplicada ao estudo das características físico-químicas do solo em áreas de floresta estacional decidual. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 19, n. 4, p. 383-391, 2009.

ZIMBACK, C. R. L. **Análise espacial de atributos químicos de solos para fins de mapeamento da fertilidade do solo**. 2001. 114 f. Tese (Livre-Docência) - Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2001.

CONCLUSÕES

A análise da variabilidade temporal da precipitação na Bacia do Rio Pontal, nos municípios de Petrolina - PE e Afrânio – PE, permite o conhecimento da probabilidade de ocorrência de precipitação mensal, e poderá ser utilizado no planejamento da atividade agrícola. A dependência temporal entre os dados de temperatura horária do ar ao longo do dia, em Petrolina - PE, apresentou variância estruturada a partir de um intervalo 12 h entre as observações realizadas. O horário de medida da temperatura do ar e as condições climáticas locais interferem no desempenho do modelo de estimativa da variação horária da temperatura do ar. A variabilidade espacial das frações granulométricas do solo ao longo da área do Projeto de Irrigação Pontal Sul permitiu a geração de mapas da distribuição ao longo da área do perímetro irrigado. Assim, as estratégias de manejo de solo e água serão planejadas de forma macro ao nível do perímetro irrigado. Estudos complementares quanto aos atributos físico-hídricos do solo serão necessários, a fim de simular o balanço hídrico em função das diversas possibilidades de culturas a serem exploradas na área.

REFERÊNCIAS

- ANJOS, E. F. S. **Os comitês de bacia hidrográfica**: lições da experiência de Minas Gerais. 2003. 139 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Sustentável)-Centro de Desenvolvimento Sustentável, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2003.
- GALVÍNCIO, J. D. ; MOURA, M. S. B. ; RIBEIRO, J. G. Análise fisiográfica e da dinâmica da bacia hidrográfica do Rio Pontal - PE. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 8., 2006, Gravatá. **Anais...** Gravatá: ABRH, 2006. 1 CD-ROM.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Programa de ações estratégicas para o gerenciamento integrado da Bacia do Rio São Francisco e da sua Zona Costeira - PAE**: GEF São Francisco: relatório final. Brasília, DF, 2004. 336 p.
- REDDY, S. J.; AMORIM NETO, M. S. **Dados de precipitação, evapotranspiração potencial, radiação solar global de alguns locais e classificação climática do Nordeste do Brasil**. Petrolina: EMBRAPA, CPATSA, 1983. 280 p.
- TUCCI, C. E. M.; MENDES, C. A. **Curso de avaliação ambiental integrada de bacia**. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Qualidade Ambiental; Rhama Consultoria Ambiental, 2006. 311 p.

TUCCI, C. E. M.; HESPANHOL, I.; CORDEIRO NETTO, O. M. **Gestão da água no Brasil**. Brasília, DF: UNESCO, 2001. 153 p.

APENDICE 1

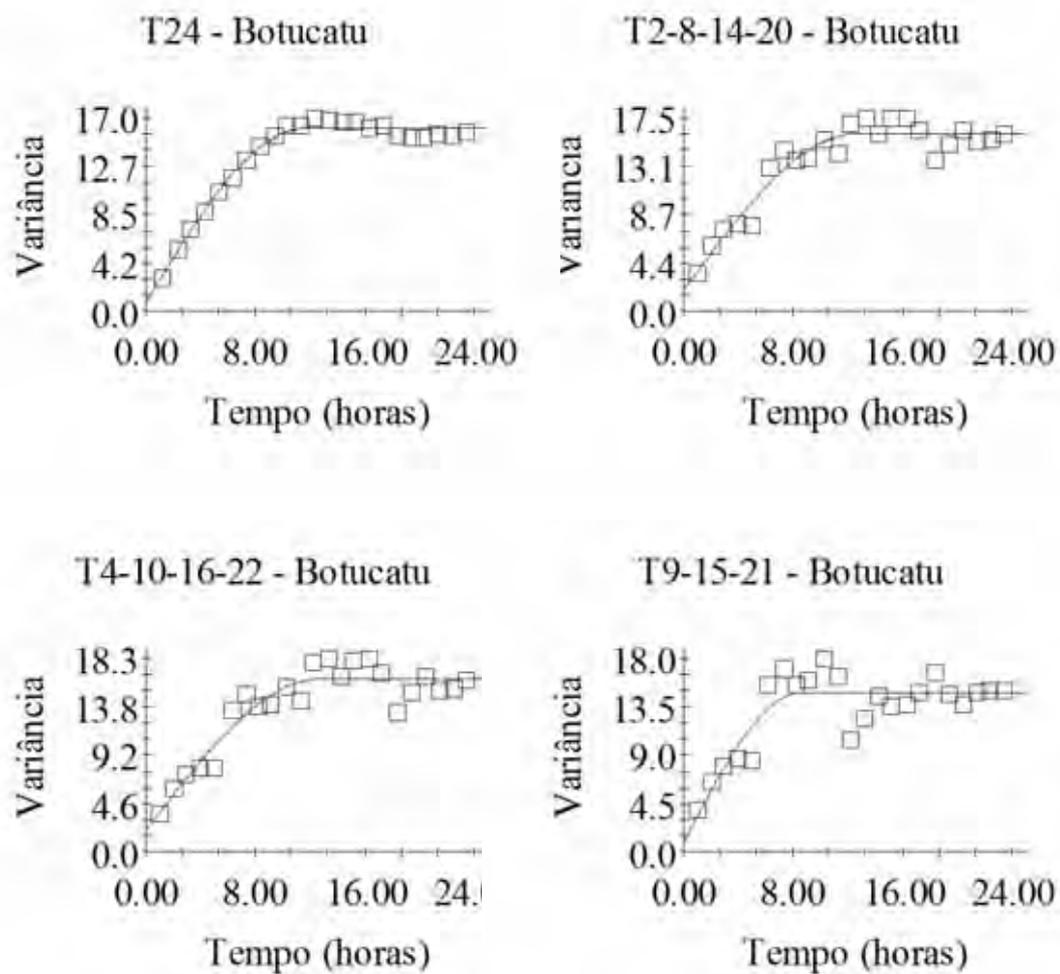


Figura 19- Modelos e parâmetros dos variogramas da temperatura do ar para dados de Botucatu, SP (Capítulo 1)

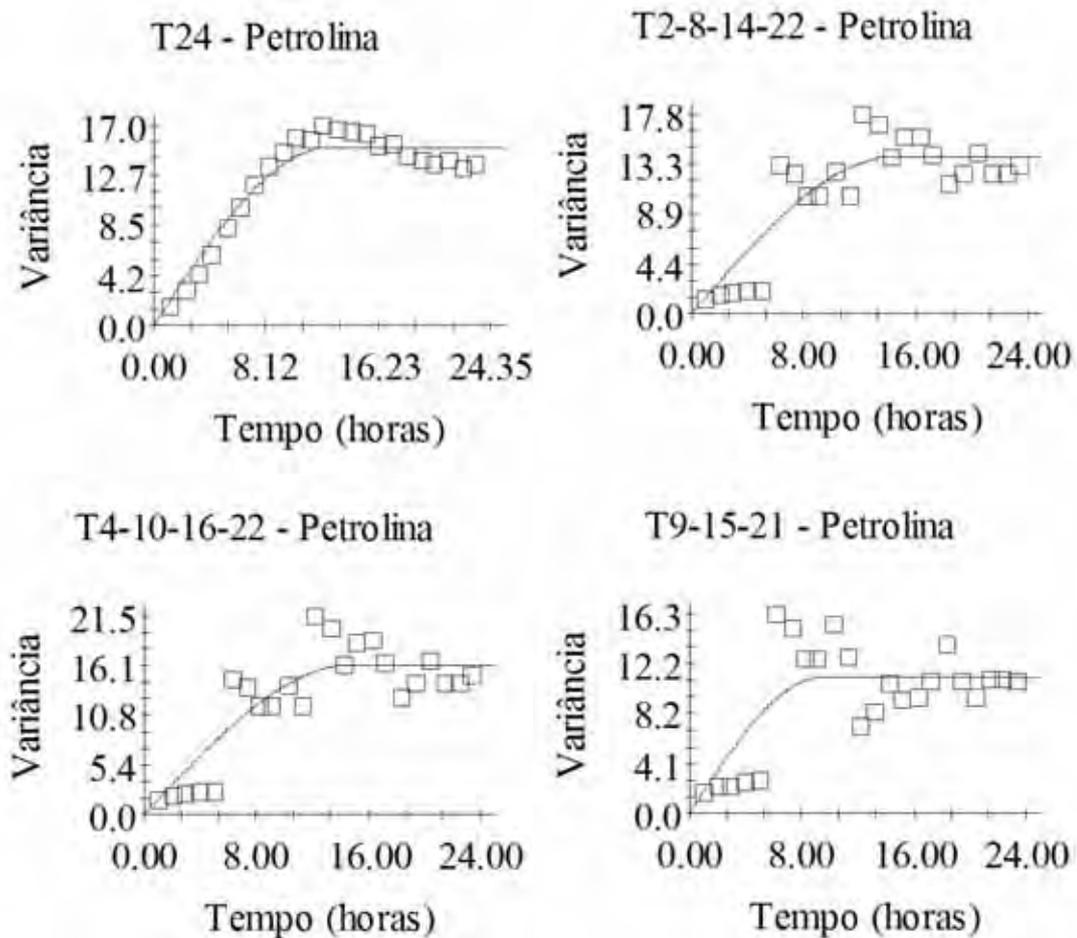


Figura 20- Modelos e parâmetros dos variogramas da temperatura do ar para dados de Petrolina, PE (Capítulo 1)

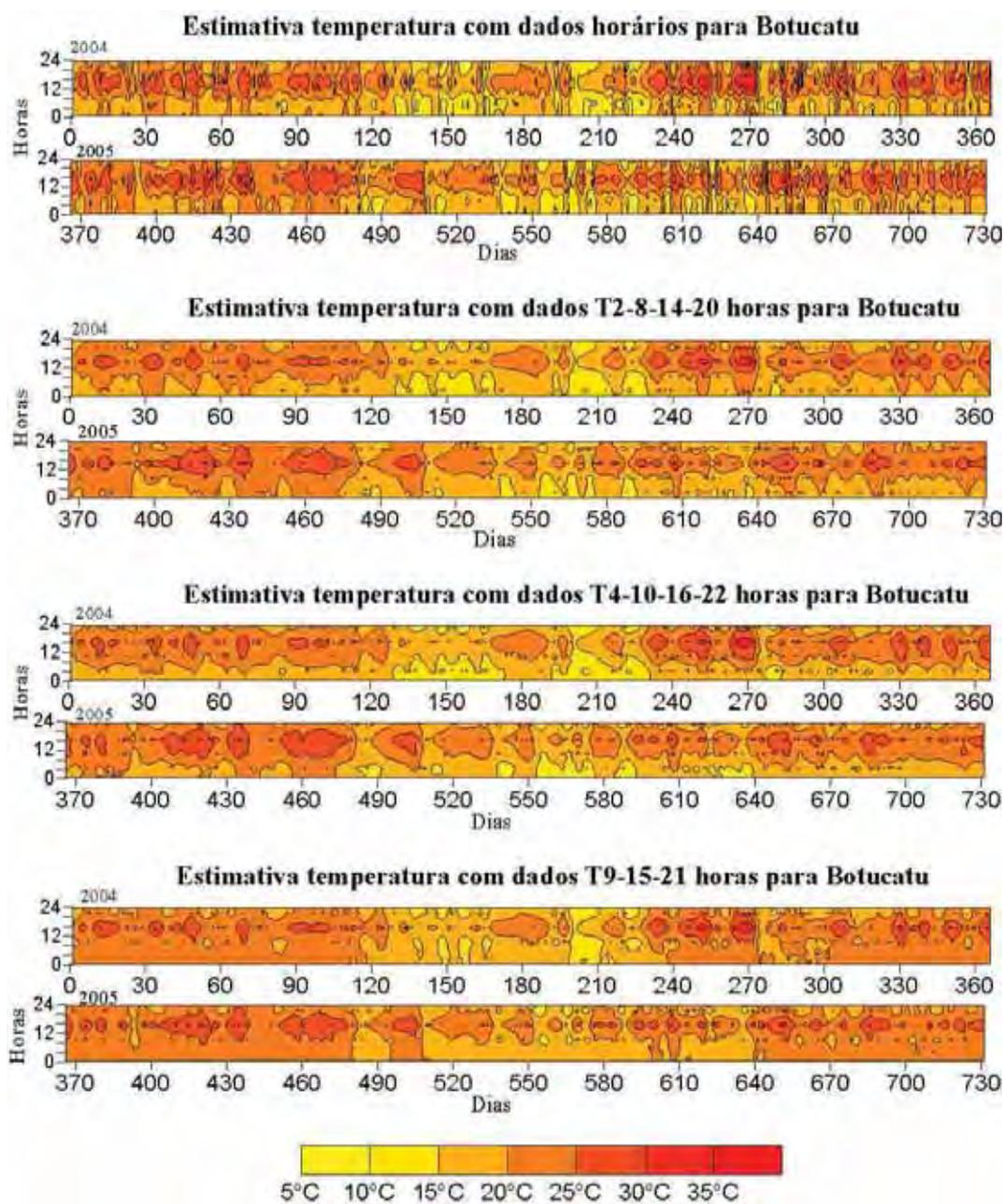


Figura 21- Mapa temporal com a estimativa da variação horária da temperatura para Botucaru-SP (Capítulo 1)

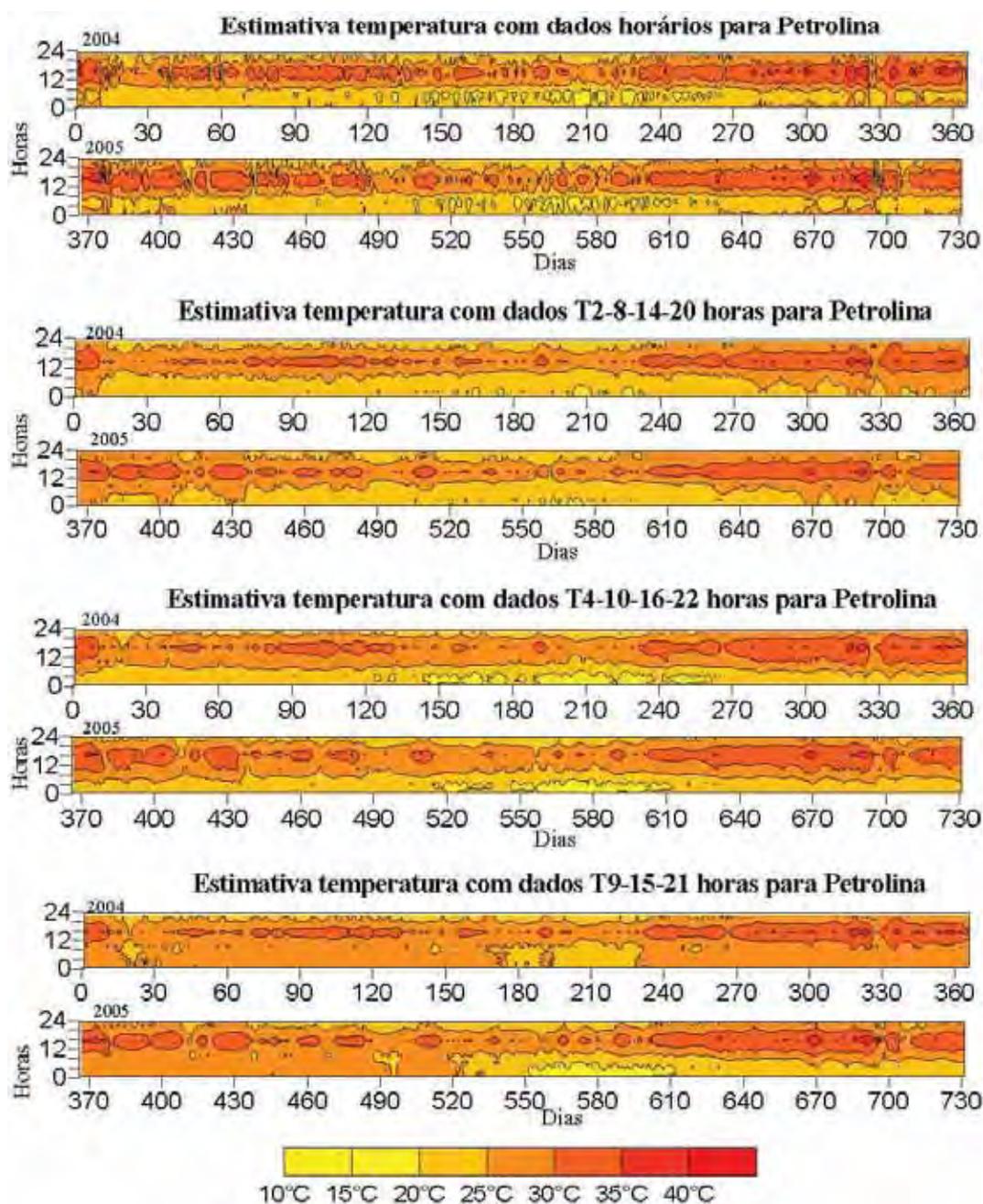


Figura 22- Mapa temporal com a estimativa da variação horária da temperatura para Petrolina-PE (Capítulo 1)

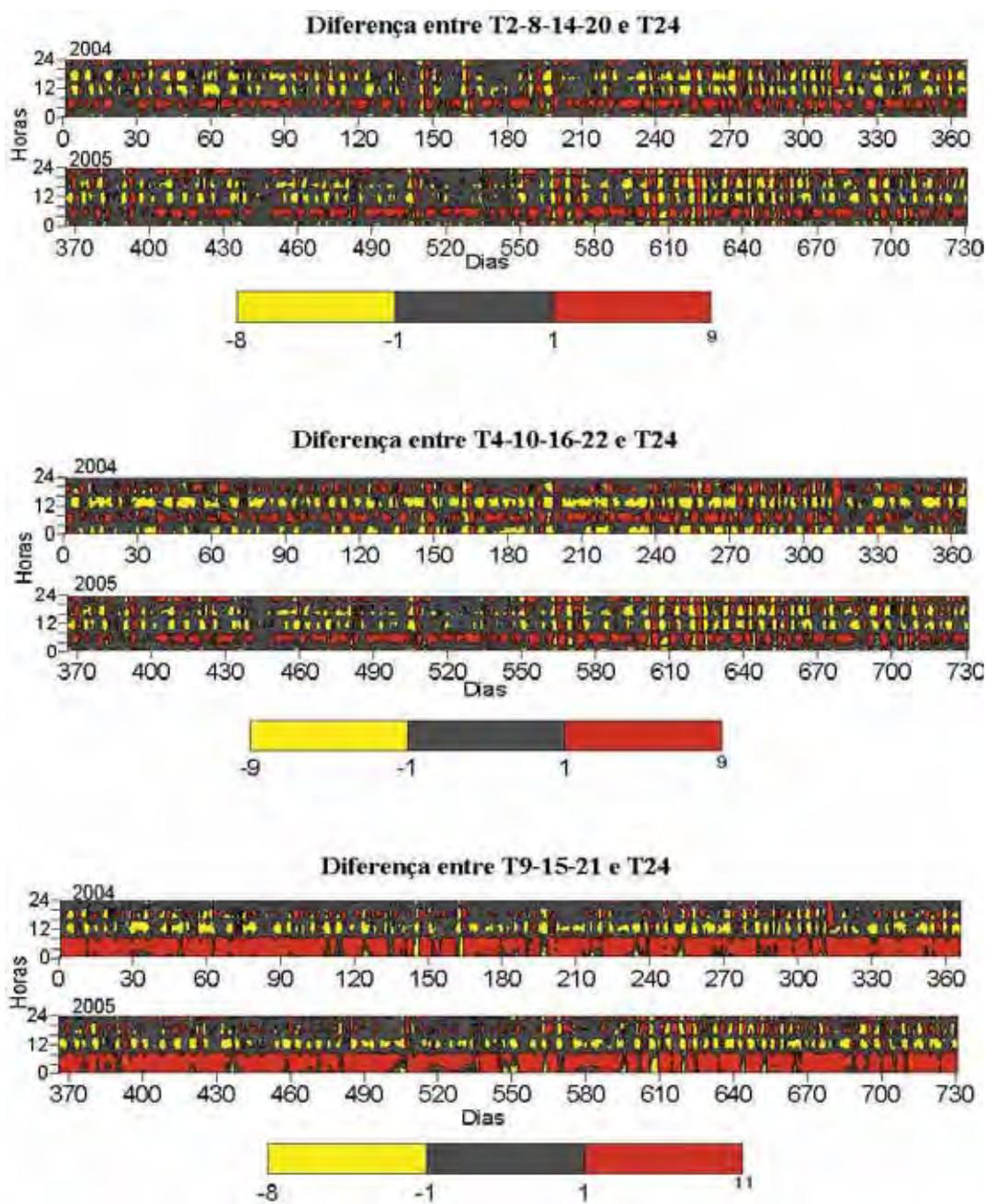


Figura 23- Mapa temporal com a diferença entre a estimativa da variação horária da temperatura e os registros horários de Botucaru-SP (Capítulo 1)

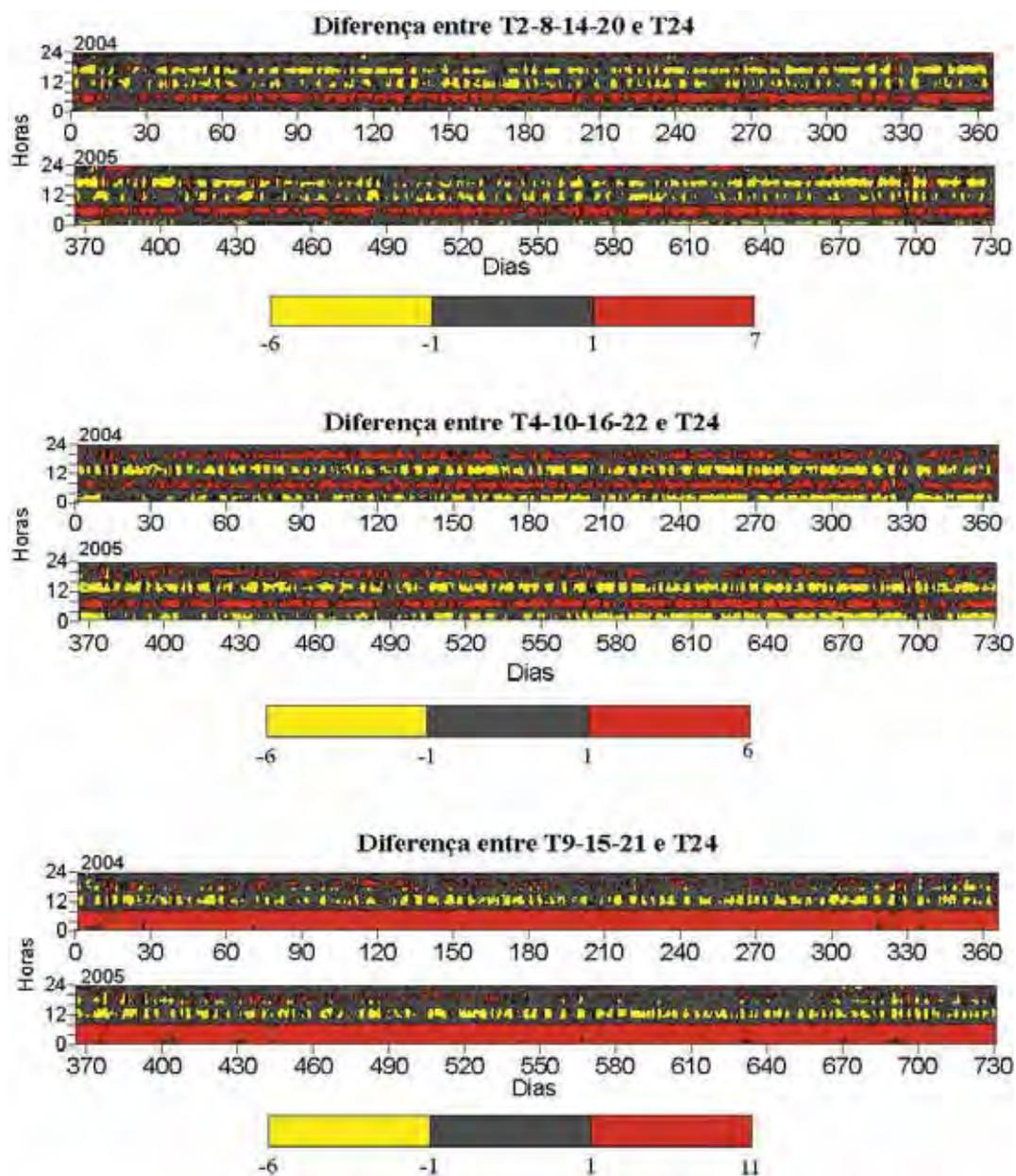


Figura 24- Mapa temporal com a diferença entre a estimativa da variação horária da temperatura e os registros horários de Petrolina-PE (Capítulo 1)