

EGON WALTER WILDAUER

**SISTEMA COMPUTACIONAL PARA PROJEÇÃO DE CENÁRIOS DE
TEMPERATURAS FAVORÁVEIS AO PLANTIO DE *Pinus taeda* NO
ESTADO DO PARANÁ**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do Título de Doutor em Engenharia Florestal.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Christel Lingnau.

Co-orientador: Prof. Dr. Antônio Rioyei Higa.

CURITIBA

2007



PARECER

Defesa nº. 705

A banca examinadora, instituída pelo colegiado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, do Setor de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Paraná, após arguir o doutorando Egon Walter Wildauer em relação ao seu trabalho de tese intitulado “**SISTEMA COMPUTACIONAL PARA PROJEÇÃO DE CENÁRIOS DE TEMPERATURAS FAVORÁVEIS AO PLANTIO DE *PINUS TAEDA* NO ESTADO DO PARANÁ**”, é de parecer favorável à **APROVAÇÃO** do acadêmico, habilitando-o ao título de Doutor em Engenharia Florestal, área de concentração em MANEJO FLORESTAL.

Dr. Heinrich Spiecker
Albert Ludwigs Universitat
Primeiro Examinador

Dr. Osmir José Lavoranti
Embrapa/Florestas
Segundo Examinador

Dr. Flávio André Cecchini Deppe
Instituto Tecnológico Simepar
Terceiro Examinador

Dr. Hélio Pedrini
Universidade Federal do Paraná
Quarto Examinador

Dr^a. Christel Lingnau
Universidade Federal do Paraná
Orientadora e Presidente da banca examinadora

Curitiba, 09 de Agosto de 2007.

Graciela Inês Bolzon de Muniz
Coordenadora do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal
Antônio Carlos Batista
Vice-Coodenador do Curso

A meu pai Franz (*in memoriam*),

Larissa, Ingrid e Luis Dias,

Dedico

AGRADECIMENTOS

Ao DEUS ALTÍSSIMO, o princípio e o fim de todas as coisas.

À UFPR pela excelente oportunidade deste estudo e à coordenação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal.

À professora orientadora da UFPR, Dr^a CHRISTEL LINGNAU, por acreditar em meu potencial, pela amizade, companheirismo, confiança, paciência e sempre pronta presença para realização deste projeto.

Ao professor co-orientador, Dr. ANTÔNIO RIOYEI HIGA, pelo amigo e companheiro nas orientações e estímulo na realização deste trabalho.

Ao Simepar, Iapar e à Holz Consultoria pela disponibilidade dos dados para realização deste projeto.

À Ph.D. CLÓVIS PEREIRA DA SILVA, professor aposentado da UFPR, pela amizade e excelente apoio para ingressar ao programa de pós-graduação.

Aos professores Dr. DARTAGNAN BAGGIO EMERENCIANO, Dr. SEBASTIÃO MACHADO, Dr. JÚLIO ARCE e Dr. NELSON NAKAJIMA, pelo apoio, grande amizade, paciência, além da carinhosa e profunda amizade.

Ao amigo JOHNATAN e CLARICE, pelos excelentes diálogos e inestimáveis contribuições ao estudo da estatística multivariada.

À minha querida e amada filha INGRID WILDAUER e à minha querida, companheira e amada esposa LARISSA B. WILDAUER, pela compreensão de minhas faltas em alguns momentos importantes de nossas vidas.

Ao meu pai FRANZ (*in memoriam*) e à minha mãe HELMI, pela vida e cuidados com minha educação, e ao meu irmão OTTO e sua noiva ANA, minha irmã BIRGIT e meu cunhado PAULO, meu obrigado pelo inegável e sempre apoio nas horas mais oportunas.

Ao meu sogro SIDNEY, minha sogra EDITE, meu cunhado PAULO e sua esposa KARINE e sobrinhos POLYANNA, KAROLINE e FELIPE, pela compreensão e apoio à minha família na minha falta.

Ao amigo de todas as horas, LUIS DIAS PEREIRA, por quem sempre vou ter o sentimento de amizade, gratidão, carinho e respeito, pois muito me ensinou sobre relações humanas e profissionais.

À Eng^a. Florestal LORENA STOLLE e aluna de graduação LISANEAS

ALBERGONI DO NASCIMENTO pela grande amizade e apoios logísticos, sempre com muita disposição e colaboração em todas as etapas de trabalho na área de Geoprocessamento.

Aos amigos e companheiros de pós-graduação ITAMAR ANTONIO BOGNOLA, MOACIR ALBERTO ASSIS CAMPOS, KEILLAH MARA DO NASCIMENTO BARBOSA, FRANCISCA DIONÍSIA DE ALMEIDA MATOS, JOSÉ TARCISO FIALHO e CELSO P. DE AZEVEDO pela boa convivência, momentos de descontração, apoio e amizade.

Ao colega e amigo de trabalho EMERSON JOUCOSKI, por ter a paciência e sentimento colaborativo de emprestar seu computador para realização deste trabalho, além dos momentos de prazerosas discussões acadêmicas.

Aos companheiros (as) e amigos (as), que muito me ajudaram a crescer em minha vida profissional, pelos incentivos, apoios e ensinamentos em todas as etapas dessa minha especialização: ANDREA MAXIMO SPINOLA, ANTONIO MOCHON, BRENO BELLINTANI GUARDIA, DIOMAR AUGUSTO DE QUADROS, EDMILSON PAGLIA, EDSON LUIZ MACHADO, ELÉIA GISELE MULLER, ELI LINO DE JESUS, EMÍLIO FEY NETO, LILIANI TIEPOLO, MANOEL FLORES LESAMA, MARCELO CHEMIN, MARCELO FONTANARI, NEILOR FIRMINO CAMARGO, RENATO BOCCHICIO, RODRIGO REIS, RODRIGO ROSSI HOROCHOWSKI, SIGRID ANDERSEN, VALDIR DENARDIN, WALTER MARTIN WIDMER e tantos outros que aqui não estão relacionados.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	viii
LISTA DE TABELAS.....	x
LISTA DE QUADROS.....	xi
LISTA DE SIGLAS.....	xii
RESUMO.....	xv
ABSTRACT.....	xvi
1 INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVO	5
3 REVISÃO DE LITERATURA	6
3.1 CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA E A ABORDAGEM FLORESTAL.....	6
3.2 ZONEAMENTO ECOLÓGICO PARA PLANTIOS FLORESTAIS NO PARANÁ.....	12
3.3 CLASSIFICAÇÕES CLIMÁTICAS REGIONALIZADAS.....	13
3.4 ABORDAGENS DE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO.....	19
3.4.1 Ciclo de Vida do Software.....	21
3.4.2 Entradas e Saídas do Sistema: Dado e Informação.....	22
3.5 CONSIDERAÇÕES LIGADAS À ESTATÍSTICA E À GEOESTATÍSTICA.....	23
3.6 MODELO TRIGONOMÉTRICO ESPECIAL.....	26
3.7 ESPACIALIZAÇÃO DAS REGIÕES DE TEMPERATURA.....	32
3.7.1 Geração da Malha de Interpolação.....	32
3.7.1.1 Princípio da triangulação Delaunay.....	34
3.7.1.2 Diagrama de Voronoy.....	36
4 MATERIAL E MÉTODOS	39
4.1 MATERIAL.....	39
4.1.1 Área de Estudo.....	39
4.1.2 Objeto de Estudo: <i>Pinus taeda</i>	41
4.1.3 Dados de Produção do <i>Pinus taeda</i>	43
4.1.4 Dados de Temperatura.....	43
4.1.5 Arquitetura do Sistema Proposto.....	46
4.1.6 Software de Apoio.....	46
4.2 METODOLOGIA.....	47
4.2.1 Sistema de Coordenadas.....	52
4.2.1.1 Coordenadas geodésicas.....	52
4.2.1.2 Coordenadas UTM.....	52
4.2.1.3 Conversão do sistema de coordenadas geodésicas e UTM.....	53
4.2.2 Formatação dos Dados de Temperatura.....	53
4.2.3 Análise Multivariada.....	54
4.2.3.1 Modelo estático.....	55
4.2.3.2 Modelo dinâmico.....	56
4.2.4 Relações do Sistema Computacional.....	59
4.2.5 Modelagem do Software – Diagramas.....	60
4.2.5.1 Diagrama de caso de uso.....	60
4.2.5.2 Diagramas de classe e objeto.....	63
4.2.5.3 Diagrama de interação (seqüência e colaboração).....	68
4.2.5.4 Diagrama de atividade.....	69
4.2.5.5 Diagrama de estados.....	70
4.2.5.6 Diagrama de entidade-relacionamento.....	70
4.2.5.7 Base de dados para o software apresentado.....	71
4.2.5.8 Codificação.....	71
4.2.5.9 Testes, implantação e manutenção.....	73
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	74
5.1 RESULTADOS.....	74
5.1.1 Modelo Estático – Abordagem Diária/Mensal.....	74
5.1.2 Modelo Estático – Abordagem Anual.....	77
5.1.3 Modelo Dinâmico.....	79
5.1.4 Mapas Resultantes da Espacialização dos Dados de Temperatura.....	84
5.1.5 Software e as Projeções ao Cultivo do <i>Pinus taeda</i>	89

5.2	DISCUSSÕES.....	92
5.2.1	Software e Projeções do Modelo Dinâmico.....	92
5.2.2	Interpoladores Espaciais aos Dados de Clima e Variações.....	97
5.2.3	A Estatística dos Modelos Estático e Dinâmico.....	100
5.2.4	O Software, a Relação do Clima e Produção de <i>Pinus taeda</i>	103
6	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	106
6.1	CONCLUSÕES.....	106
6.2	RECOMENDAÇÕES PARA CONTINUIDADE DO PROJETO.....	107
7	REFERÊNCIAS.....	110
8	ANEXO A - MAPAS RESULTANTES DA ESPACIALIZAÇÃO DE DADOS DE TEMPERATURA.....	127
9	ANEXO B - PLOTAGEM DA CURVA DE TENDÊNCIA DOS VALORES DE TEMPERATURA MÍNIMA, MÉDIA E MÁXIMA DIÁRIA PARA CADA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA.....	144

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 -	TRIANGULAÇÃO <i>DELAUNAY</i> E CORRESPONDENTE REDE DE POLÍGONOS <i>THIESSEN</i> PARA UM CONJUNTO DE PONTOS PLOTADOS.....	33
FIGURA 2 -	REDE DE POLÍGONOS <i>THIESSEN</i> RESULTANTES DA INTERPOLAÇÃO SOBRE PONTOS.....	33
FIGURA 3 -	CIRCUNCENTRO DE UM TRIÂNGULO.....	35
FIGURA 4 -	MEDIANA DE UM TRIÂNGULO.....	36
FIGURA 5 -	MEDIANAS DOS TRIÂNGULOS DE <i>DELAUNAY</i>	37
FIGURA 6 -	BISSETRIZES DOS LADOS DOS TRIÂNGULOS DA REDE.....	38
FIGURA 7 -	LOCALIZAÇÃO DO ESTADO DO PARANÁ.....	40
FIGURA 8 -	MAPA INDICATIVO DA PRODUÇÃO DE <i>Pinus taeda</i> NO ESTADO DO PARANÁ.....	44
FIGURA 9 -	LOCALIZAÇÃO DAS 50 AWS DO SIMEPAR-IAPAR NO ESTADO DO PARANÁ.....	45
FIGURA 10 -	UNIDADES DA ARQUITETURA EXPRESSA EM TERMOS DE PACOTES UML.....	46
FIGURA 11 -	PACOTES EM UML PERMITEM A VISUALIZAÇÃO EM CAMADAS.....	46
FIGURA 12 -	FLUXOGRAMA ILUSTRATIVO DA METODOLOGIA UTILIZADA PARA O SOFTWARE.....	51
FIGURA 13 -	DIAGRAMA DE CASO DE USO, DEFININDO O CENÁRIO DO SISTEMA.....	61
FIGURA 14 -	DIAGRAMA DE CLASSES REPRESENTANDO CLASSES E ARQUIVO DO SOFTWARE APRESENTADO.....	64
FIGURA 15 -	DIAGRAMA DE CLASSES DO ARQUIVO E REGISTROS DE <i>SHAPETYPES</i>	65
FIGURA 16 -	DIAGRAMA DE CLASSES DO ARQUIVO <i>SHAPETYPES</i>	66
FIGURA 17 -	EXEMPLO DE DIAGRAMA DE SEQUÊNCIA DENOTANDO A SELEÇÃO DE UM TEMA AO SISTEMA.....	68
FIGURA 18 -	DIAGRAMA DE COLABORAÇÃO ONDE USUÁRIO ACESSA TELA INICIAL DO SISTEMA.....	69
FIGURA 19 -	DIAGRAMA DE ATIVIDADE PARA O ACESSO AO SISTEMA.....	69
FIGURA 20 -	DIAGRAMA DE ESTADOS PARA APRESENTAR UM <i>SHAPE FILE</i>	70
FIGURA 21 -	PLOTAGEM DAS CURVAS DE TEMPERATURAS DIÁRIAS DAS AWS UTILIZADAS PELO SIMEPAR E IAPAR NO PARANÁ.....	84
FIGURA 22 -	ISOLINHAS DELIMITANDO ÁREAS (INTERPOLAÇÃO INVERSO QUADRADO DA DISTÂNCIA) DAS TEMPERATURAS MÉDIAS DAS MÉDIAS MENSAS.....	88
FIGURA 23 -	TELA DE ABERTURA DO SOFTWARE APRESENTADO.....	89
FIGURA 24 -	APRESENTAÇÃO DA OPÇÃO “ESTIMATIVAS” DO SOFTWARE E SUAS OPERAÇÕES.....	90
FIGURA 25 -	APRESENTAÇÃO DOS MAPAS DAS TEMPERATURAS MÍNIMAS, MÉDIAS E MÁXIMAS ABSOLUTAS CARACTERIZANDO REGIÕES, NO PERÍODO SELECIONADO: 01/01/2007 À 31/12/20012.....	91
FIGURA 26 -	APRESENTAÇÃO DOS MAPAS DAS TEMPERATURAS MÉDIAS POR PERÍODO DETERMINADO.....	91

FIGURA 27 -	APRESENTAÇÃO DOS MAPAS DAS TEMPERATURAS MÍNIMAS E MÁXIMAS EM CORES DIFERENCIADAS.....	92
FIGURA 28 -	SEMIVARIOGRAMA GERADO NO ARCGIS 9.1 PARA INTERPOLAÇÃO POR KRIGAGEM DA TEMPERATURA MÍNIMA CONSIDERANDO ANISOTROPIA.....	98

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 -	SISTEMAS COMPUTACIONAIS UTILIZADOS.....	47
TABELA 2 -	INSTÂNCIAS ASSUMIDAS PELO OBJETO CAMADAS.....	67
TABELA 3 -	RESUMO DOS MÉTODOS DE ENTRADA ESTATÍSTICOS APLICADOS AOS DIFERENTES BANCOS DE DADOS.....	75
TABELA 4 -	COEFICIENTES DOS MODELOS ESTATÍSTICOS APLICADOS AOS DIFERENTES BANCOS DE DADOS.....	75
TABELA 5 -	RESUMO DOS COEFICIENTES ESTATÍSTICOS DA ANÁLISE DE REGRESSÃO MÚLTIPLA APLICADA AOS DIFERENTES BANCOS DE DADOS.....	76
TABELA 6 -	RESULTADO DOS COEFICIENTES AO MODELO DE REGRESSÃO LINEAR MÚLTIPLA DESCRIVENDO A RELAÇÃO ENTRE AS DIFERENTES TEMPERATURAS E ÀS VARIÁVEIS INDEPENDENTES.....	76
TABELA 7 -	MÉDIAS ANUAIS DA VARIÁVEL TEMPERATURA DA ESTAÇÃO INVERNO.....	77
TABELA 8 -	MÉDIAS ANUAIS DA VARIÁVEL TEMPERATURA DA ESTAÇÃO VERÃO.....	77
TABELA 9 -	MÉDIAS ANUAIS DA TEMPERATURA.....	78
TABELA 10 -	VALORES DA ESTATÍSTICA F AO MODELO ESTÁTICO.....	78
TABELA 11 -	COEFICIENTES DA TEMPERATURA MÁXIMA MODELADA ÀS SÉRIES TEMPORAIS AO ESTADO DO PARANÁ.....	80
TABELA 12 -	COEFICIENTES DA TEMPERATURA MÉDIA MODELADA ÀS SÉRIES TEMPORAIS AO ESTADO DO PARANÁ.....	81
TABELA 13 -	COEFICIENTES DA TEMPERATURA MÍNIMA MODELADA ÀS SÉRIES TEMPORAIS AO ESTADO DO PARANÁ.....	82
TABELA 14 -	VALORES DA ESTATÍSTICA F AO MODELO DINÂMICO.....	83
TABELA 15 -	VALORES DO USO DO INTERPOLADOR IDW OBTIDOS DOS SEMIVARIOGRAMAS, CONSIDERANDO SAÍDAS COMO MAPAS PREDITOS.....	85
TABELA 16 -	VALORES ESTATÍSTICOS DA KRIGAGEM OBTIDOS DOS SEMIVARIOGRAMAS CONSIDERANDO INTERPOLAÇÃO UNIVERSAL 100% LOCAL, ANISOTROPIA E SAÍDAS COMO MAPAS PREDITOS.....	86
TABELA 17 -	VALORES ESTATÍSTICOS DA COKRIGAGEM OBTIDOS DOS SEMIVARIOGRAMAS CONSIDERANDO INTERPOLAÇÃO UNIVERSAL 100% LOCAL, ANISOTROPIA E SAÍDAS COMO MAPAS PREDITOS.....	87

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 –	PARÂMETROS DO ELIPSÓIDE PARA CONVERSÃO DAS COORDENADAS GEOGRÁFICAS EM COORDENADAS PLANO-RETANGULARES (PROJEÇÃO UTM) DAS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS.....	53
QUADRO 2 –	REGISTROS DE CADA TABELA DOS DADOS COLETADOS EM DEZ ANOS.....	54
QUADRO 3 –	ALGORITMO R PARA CÁLCULO DA DATA JULIANA.....	57
QUADRO 4 –	CÓDIGO DE PROGRAMA DESENVOLVIDO PARA O SOFTWARE ESTATÍSTICO “R” COM OBJETIVO DE REALIZAR OS CÁLCULOS DOS COEFICIENTES DO MODELO DINÂMICO.....	57

LISTA DE SIGLAS

- *.dbf – *Data Base File* - Formato em Banco de Dados.
- *.class - arquivo que armazena o código fonte compilado Java.
- *.java – arquivos de código fonte Java.
- *.shp – *Shape file* - Formato Shape.
- *.txt – *Text file* - Formato Texto.
- 3D – Três Dimensões.
- API – *Application Programming Interface* – Interface de Programação de Aplicativos.
- AT&T – American Telephone and Telegraph – Telefonia e Telégrafos da América.
- AWS – Automatic Weather Station - Estação Meteorológica Automática.
- C – Linguagem de Programação C.
- C++ - Linguagem de Programação C++.
- CDF - *Cumulative Distribution Function* - Função de Distribuição Cumulativa.
- Cfa – Clima subtropical com chuvas bem distribuídas durante o ano e verões quentes.
- Cfb – Clima subtropical com chuvas bem distribuídas durante o ano e verões amenos.
- Cwa - Clima subtropical com verões quentes e invernos secos.
- DAP – Diâmetro a Altura do Peito.
- DDC - *Data Distribution Center* – Centro de Distribuição de Dados.
- DER - Diagrama de Entidade-Relacionamento.
- DK – *Disjunctive Kriging* - Kriging Disjuntivo.
- ERDAS – *Earth Resources Data Analysis System* - Sistema de Análise de Dados dos Recursos Terrestres.
- ESRI - *Environmental System Research Institute* – Instituto de Pesquisa de Sistemas Ambientais.
- Fortran - *Formula Translation* – Tradutor de Fórmulas.
- FSF – *Free Software Foundation's* – Fundação de Software Livre.
- GNU - *General Public Licence* – Licença Pública Geral.
- GOES – *Geostationary Operational Environmental Satellite* – Satélite Operacional Geostacionário Ambiental.
- GUI - *Graphical User Interface* - Interface Gráfica ao Usuário
- IAPAR – Instituto Agrônomo do Paraná
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
- ICA – Incremento Corrente Anual

IDH - Índice de Desenvolvimento Humano

IDK – *Isofactorial Disjunctive Kriging* - Kriging Isofatorial Disjuntivo

IDRISI – Mnemônico do nome do software GIS referente ao geógrafo Abu Abd Allah Muhammed al_Idrisi (1000 – 1166 A.D.).

IDW - *Inverse Distance Weighting* - Ponderação do Inverso das Distâncias.

IK – *Indicator Kriging* - Kriging Indicativo.

IMA – Incremento Médio Anual.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia.

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

IPCC – *Intergovernmental Panel of Climatic Change* - Painel Intergovernamental sobre Mudança Climática.

JVM - *Java Virtual Machine* – Máquina Virtual do Java.

LK – *Lognormal Kriging* - Kriging Lognormal.

MDT - Modelo Digital de Terreno.

NID – *Natural Interval Data* – Dados de Intervalos Naturais.

MK – *Multigaussian Kriging* - Kriging Multigaussiano.

NNI - *Natural Neighbor Interpolation* - Interpolação pela Vizinhança Natural.

OK – *Ordinary Kriging* - Kriging Ordinário.

OMM - Organização Meteorológica Mundial.

OO – *Object Oriented* - Orientado a Objeto.

PIB - Produto Interno Bruto.

PK – *Probability Kriging* - Kriging Probabilístico.

PNUD – Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento.

PNUMA - Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente.

POO - Programação Orientada a Objetos.

R – Software Estatístico R.

S – Software Estatístico S.

SAD – *South American Datum* – Datum da América do Sul.

SIG – Sistema de Informação Geográfica.

SIMEPAR – Instituto Tecnológico Sistema de Informações Meteorológicas do Paraná.

SOFTWARE APRESENTADO – Sistema Clima Paraná.

SK – *Simple Kriging* - Kriging Simples.

SPRING - Sistema de Processamento de Informações Geográficas.

SPSS – *Statistical Package for the Social Sciences* – Pacote Estatístico para Ciências

Sociais.

TASA – Telecomunicações Aeronáutica S/A.

TIN - *Triangulated Irregular Network* - Rede Irregular de Triângulos.

UK – *Universal Kriging* - Kriging Universal.

UML – *Unified Modeling Language* – Linguagem de Modelagem Unificada.

UNIX – Acrônimo do sistema operacional da AT&T UNICS – Uniplexed Information and Computing Service.

UTM – Universal Transverse de Mercator.

RESUMO

Este trabalho aborda o desenvolvimento de um aplicativo computacional, que pode ser usado como uma ferramenta orientadora à tomada de decisões na escolha da área de plantio e cultivo do *Pinus taeda*, no Estado do Paraná. A temperatura é o elemento decisório para definição destas regiões. O sistema disponibiliza dados de temperaturas, em mapa do Estado do Paraná, delimitando áreas que caracterizem similaridades de regiões climáticas em termos de temperaturas mínimas, médias e máximas, associadas ao *Pinus taeda*. O período da projeção das alterações de temperatura é especificado pelo usuário, tendo como referência dados climáticos de temperatura fornecidos por 50 estações meteorológicas de instituições parceiras, com registro histórico de aproximadamente dez anos. Foram normalizados e agregados, dados de temperatura e então submetidos a um modelo matemático através do uso de técnicas da análise multivariada, utilizando programas computacionais estatísticos e algoritmos de classificação baseado no módulo *geostatistics* do *ArcView*, que possibilitou gerar mapas das regiões do Paraná delimitados pela temperatura. Uma vez detectada a similaridade entre áreas, por classes de temperaturas, foi possível confirmar regiões propícias à produtividade de *Pinus taeda*, de acordo com suas restrições de temperatura, se comparadas com um mapa de produtividade da espécie ao Estado. Foram calculadas as coordenadas geográficas das estações meteorológicas sobre um mapa do Paraná, permitindo ao usuário visualizá-lo a partir do formato *shapefile* em tela de computador (dentro de uma amplitude considerável de valores). As regiões foram interpoladas de acordo com a abrangência da área de influência da estação meteorológica, facilitado pelo uso da triangulação Delaunay e pela segmentação de Voronoi para caracterizar as regiões. Em termos florestais, o sistema fornece subsídios que caracteriza os locais de produção de *Pinus taeda*, servindo como um sistema de apoio à decisão e às ações a serem empreendidas nas regiões, tendo sempre no profissional florestal a avaliação e resposta final da ação a ser executada.

Palavras-Chave: Orientado a Objeto, Java, Regiões Climáticas, Temperatura, Geoestatística, Produtividade de *Pinus taeda*.

ABSTRACT

This work approaches the development of an information system, which can be used as a tool, in order to orient the decisions taken in the choice of the plantation area and culture of the *Pinus taeda*, in the State of Paraná. The temperature is the decisive element power to definition these regions. The system offer data of temperature, in a map of the State of Paraná, delimiting areas that characterize similarities of climatic regions in terms of minimum, average and maximum, temperatures associates to the *Pinus taeda*. The period of projection of the temperature alterations is specified by the user, having as reference the climatic data of temperature supplied per 50 automatic weather stations of partners institutions, with historical register of approximately ten years. They had been normalized and aggregates, data of temperature and then had been submitted to a mathematical model through the use of techniques of the multivaried analysis, using statistical computational programs and algorithms of classification based on the geostatistics modules of the ArcView, that they had become possible to generate maps from regions of the State of Paraná delimited by similarities of temperatures (minimum, average and maximum). A detected time the similarity between areas, for classes of temperatures, was possible to confirm regions propitious to the productivity of *Pinus taeda*, in accordance with its restrictions of temperature, if compared with a map of productivity of the species with the State. The geographic coordinates of the meteorological stations on a map of the Paraná had been calculated, allowing the user to visualize it from the shape file format in computer screen (inside of a considerable amplitude of values). The regions had been interpolated in accordance with the area of influence of the meteorological station, facilitated by use of the Delaunay triangulation and by segmentation of Voronoi to characterize the regions. In forest terms, the system supplies subsidies that characterizes the places in order to produce *Pinus taeda*, serving as a support decision system to the actions to be undertaken in the regions, having always in the forest professional the evaluation and final reply of the action to be executed.

Key Words: *Object Oriented, Java, climate regions, temperature, geostatistics, Pinus taeda productivity.*

1 INTRODUÇÃO

Desde a década de 80 do século XX, evidências científicas sobre a possibilidade de mudança do clima mundial vêm despertando interesse crescente no público e na comunidade científica. Em 1988, duas agências das Nações Unidas (Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente - PNUMA) e a Organização Meteorológica Mundial (OMM) estabeleceram o Painel Intergovernamental sobre Mudança Climática (IPCC).

O IPCC define a mudança climática como uma variação estatisticamente significativa em um parâmetro climático médio ou em sua variabilidade, persistindo por um período extenso (tipicamente décadas ou por mais tempo). O Painel enfatiza que a mudança climática pode ocorrer devido a processos naturais ou forças externas, ou devido a mudanças persistentes causadas pela ação do homem na composição da atmosfera ou do uso da terra. O IPCC não realiza novas pesquisas nem monitoriza dados relacionados à mudança climática nem recomenda políticas climáticas (IPCC, 2007), mas conta com o DDC (Centro de Distribuição de Dados - órgão ligado ao IPCC) que distribui uma série de dados, que é usada geralmente na construção e na aplicação de cenários de mudanças do clima, visando as avaliações dos impactos de mudanças do clima.

De acordo com o DCC (2007), mudanças na avaliação dos impactos de clima não provêm de cenários não-climáticos e de clima para o futuro, mas também boa qualidade dos dados observados que descrevem o clima presente. Frequentemente as séries de dados observadas do clima requeridas podem ser extensas (por exemplo, cobertura global) ou detalhadas (por exemplo, muitas variáveis do clima). Os dados podem ser tratados como médias mensais, como séries de tempo mensais, ou como séries de tempo diárias. O tamanho da coleta recomendada dos registros seria idealmente de pelo menos 30 anos, ou talvez por muito mais tempo.

Segundo McCarthy et al. (2001), e o próprio IPCC (2007), o aumento nas concentrações de gases de efeito estufa (dióxido de carbono, vapor d'água, nitrogênio, oxigênio, monóxido de carbono, metano, óxido nitroso, óxido nítrico e ozônio, entre outros) tende a reduzir a eficiência com que a Terra se resfria. O aquecimento total depende da relação entre a magnitude do aumento da concentração de cada gás associado ao efeito estufa, de suas propriedades

radioativas e de suas concentrações já presentes na atmosfera. Alguns dos principais efeitos adversos sinalizados e já percebidos nos dias atuais são:

- (a) aumento no nível do mar;
- (b) alteração no suprimento de água doce;
- (c) tempestades de chuva e neve fortes e mais freqüentes e
- (d) forte e rápido ressecamento do solo devido a períodos secos mais intensos.

Pelo que o IPCC expõe, fica evidenciado que coletar dados de clima, especificamente de temperatura, diário até anual, em um determinado intervalo de tempo, e tratá-los sob ótica estatística, podem apresentar resultados que permitam projetar cenários climáticos para o futuro, permitindo análises que facilitem tomadas de ação a nível regional ou global.

Dados obtidos em amostras de árvores, corais, geleiras e outros métodos indiretos sugerem que as atuais temperaturas da superfície da Terra estão mais altas do que em qualquer época dos últimos 600 anos. A partir de dados disponíveis até 1990 e da tendência de emissões nos níveis atuais, sem a implementação de políticas específicas para a redução de emissões, a projeção do IPCC é de que o aumento da temperatura média na superfície terrestre seja entre 1 a 3,5° C no decorrer dos próximos 100 anos, enquanto que o aumento observado no século XIX foi entre 0,3 e 0,6° C (INPE, 2006).

O aquecimento pode variar por região, sendo acompanhado por mudanças na precipitação que podem incluir incrementos ou reduções em diferentes regiões, e também mudanças na variabilidade do clima e na freqüência e intensidade de eventos extremos de clima. Exemplos dos impactos dessas mudanças climáticas são: aumento na freqüência de ondas de calor e diminuição da freqüência de ondas de frio; incremento na freqüência de eventos de chuva intensa que podem favorecer enchentes; secas de verão mais intensas; incremento de ciclones tropicais e variações na freqüência e intensidade de eventos tipo El Niño.

Como fato curioso, os anos da década de 90 do século XX foram os mais quentes do período de registro desde 1860. Os anos mais quentes do período foram 1997 e 1998, com um aquecimento de 0,57°C maior que a média de 1961-90. Os sete anos mais quentes da Terra ocorreram na década de 90 do século XX, e são (em ordem descendente): 1998, 1997, 1995, 1990, 1999, 1991 e 1994. Análises de

indicadores climáticos dos últimos 400 anos (anéis de árvores, mostras de gelo de geleiras, crônicas históricas) mostram que os anos da década de 90 foram os mais quentes do milênio e que o século XX foi o mais quente. O ano mais quente do milênio foi 1998 e o mais frio foi provavelmente 1601 (INPE, 2006).

Já existem indícios de ocorrência de temperaturas médias mais elevadas nos dias atuais, assim como o aumento na sua oscilação. A velocidade e a intensidade observadas no aumento da temperatura nesse período são incompatíveis com os tempos necessários à adaptação natural dos ecossistemas.

Diante desse cenário, várias organizações nacionais e internacionais armazenam dados de clima para facilitar a análise de condições futuras e minimizar erros de previsão. Esses dados podem constituir a base para diversos estudos aplicados nas mais diferentes áreas de conhecimento, sendo uma delas o manejo florestal e a silvicultura.

Desenvolver meios que proporcionem a rápida difusão de informações climáticas sempre foi um desafio para pesquisadores e a previsão de intempéries, fruto de uma estimativa decorrente de cálculos e análise de variáveis climáticas, especificamente de temperatura, de áreas que podem ser de grande ou pequena extensão, geralmente possuem um percentual de erro que pode levar a equívocos em diversas escalas.

Assim, obter informações de temperatura, definindo regiões homogêneas pode ser uma forma de determinar a característica de áreas para análise mais aprofundada, para o potencial uso florestal. Em termos de manejo florestal e silvicultura, pode resultar em informações que facilitem a delimitação de áreas ambientais, fornecer informações de regiões e insumos para facilitar a tomada de decisão para o cultivo do *Pinus taeda*, seja na seleção de espécies, seja na utilização de material genético, nas escolhas de áreas de plantio, entre outros, diferenciados pela variável temperatura.

Contando com o DCC, o IPCC divulga as informações das alterações climáticas a nível generalizado. O Simepar e o Iapar também divulgam e disponibilizam dados de monitoramento climático para apoio a projetos de pesquisa de forma análoga.

Utilizando-se dessas bases de dados, foi possível estabelecer um banco de dados das leituras de temperaturas para desenvolver este projeto, definindo a partir delas, áreas propícias ao estudo do plantio de *Pinus taeda*.

Seguindo esse contexto, é útil utilizar-se dos sistemas de informação que, como ponto básico comum, concentram-se em oferecer informações, ou seja, não apenas números ou outros itens, mas dados estrategicamente escolhidos e de conteúdo relevante para o processo decisório (ABREU et al., 2001), e nessa égide, este projeto contribui em apresentar um sistema computacional que mostra mapas do Paraná, dividido-o em regiões de temperatura semelhantes (temperaturas médias, mínimas e máximas, mensais e anuais); baseado em seus períodos diários, fornecendo subsídios a engenheiros florestais e outros profissionais, para facilitar (ou ser um instrumento facilitador) no processo decisório no que se refere a detectar áreas propícias ao plantio e à produtividade de *Pinus taeda*.

O trabalho apresenta uma metodologia utilizando modelos estatísticos e geostatísticos sobre dados climáticos, em termos de temperatura, com registro histórico de aproximadamente dez anos, para determinar as regiões climáticas (em função das temperaturas mínima, média e máxima) para o Estado do Paraná, servindo como um instrumento para apoiar decisões de potencial cultivo do *Pinus taeda*.

2 OBJETIVO

Desenvolver um sistema computacional aplicativo que apresente o mapa do Estado do Paraná, identificando regiões favoráveis à produção do *Pinus taeda*, delimitadas por temperaturas.

Apresentar um modelo matemático que possibilite caracterizar as regiões potenciais ao cultivo da espécie, tendo a variável temperatura como elemento central e restritivo.

Objetivos específicos:

a) permitir a interação do sistema com o usuário, com especificação de diferentes períodos (datas), projetando cenários com diferenças de temperatura, categorizados por regiões e,

b) apresentar os índices (coeficientes) que melhor expressam a relação de temperatura entre regiões do Paraná para o *Pinus taeda*.

Este projeto contribui apresentando o sistema computacional e, quando do seu uso por parte do engenheiro florestal, para apoio à tomada de decisão na escolha da região a ser plantada a espécie *Pinus taeda*, de forma generalizada.

3 REVISÃO DE LITERATURA

Este capítulo descreve estudos relativos a classificação climática e a abordagem florestal, e aplicações de sistemas computacionais e princípios de interpolação para caracterizar regiões climáticas.

3.1 CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA E A ABORDAGEM FLORESTAL

Na década de 60 do século XX, o governo brasileiro incentivou os reflorestamentos comerciais mediante a utilização de espécies exóticas de rápido crescimento. A maioria desses reflorestamentos apresentou baixa produtividade em razão de diversas causas, entre as quais o uso de material genético e de técnicas silviculturais inadequadas (REIS e REIS, 1990, 1993), aliada a uma fraca delimitação da escolha e às condições das regiões a serem introduzidas as espécies (ACOSTA, 1997).

Classificações de regiões climáticas são úteis para subsidiar a tomada de decisão de manejo de recursos naturais, como madeira, porque integram atributos da vegetação, do solo, da topografia e do clima, em áreas homogêneas (ALLEN e DIAZ, 1989) e, dentro dos fatores ambientais, o clima é considerado regulador central, exercendo influências diretas e indiretas sobre os processos de crescimento e desenvolvimento da vegetação (PATERSON, 1956).

Thornthwaite (1948) considerou a vegetação como um mecanismo físico, através do qual a água é transportada do solo para a atmosfera. Defendeu que os limites dos tipos climáticos, para classificação climática, não são subjetivos, por serem determinados pela precipitação e evapotranspiração potenciais, medidas inerentemente meteorológicas. Por isso, Nimer (1977), ao estudar a distribuição da vegetação, selecionou variáveis numéricas de temperatura e precipitação como limítrofes de classes climáticas.

Golfari (1967) considerou a metodologia de Thornthwaite para definir zoneamentos florestais a fim de introduzir espécies florestais para todo o Brasil. O mesmo autor define que o período de coleta de dados de temperatura e a distribuição das estações meteorológicas são importantes na obtenção de classificações mais precisas (GOLFARI et al., 1978). Segundo recomendação da

Organização Meteorológica Mundial (OMM), as coletas de dados de temperatura devem ser feitas em período não inferior a 30 anos, para obtenção de valores ditos normais. Aspiazú et al. (1989) concordam afirmando que as condições climatológicas ficam mais adequadamente representadas.

Porém, o trabalho de Golfari (1967) estabeleceu períodos críticos do ano sem considerar a diferenciação climática e, pelo trabalho de Aspiazú et al. (1989) muitas vezes não se dispõem de estações meteorológicas que forneçam dados em períodos suficientemente longos, e este é o caso da origem dos dados deste projeto, cujos registros climáticos contínuos são datados de 1997.

Muitos estudos de zoneamentos ecológicos para reflorestamento foram realizados desde a década de 70, muitos baseados em problemas de escassez de dados de estações meteorológicas, em sua distribuição irregular, utilização basicamente de informações de balanço hídrico, como foi o caso proposto por Golfari et al. (1978).

Em outra abordagem, Powel e Maciver (1977) apresentaram uma metodologia para determinar o período mínimo de medições necessárias para alcançar o grau de estabilidade de dados climáticos, como recomendado pela OMM. Seguindo por Martins et al. (1992), que trabalharam na interpolação de valores de altitude e de variáveis climáticas para o estado do Espírito Santo, tendo coletado dados meteorológicos contínuos de 19 anos e, mediante técnicas de análise multivariada (médias acumuladas, desvios padrão, plotagem de pontos gráficos por coordenadas e interpolação por aproximação numérica dos mesmos) evidenciaram, para todas as estações testadas, que um período de medição de, aproximadamente dez anos, tanto para a temperatura como para a precipitação, representam adequadamente as condições climatológicas expressas por valores obtidos em 30 anos, estando seus resultados de acordo com os encontrados e apresentados por Powell e Maciver (1977), para uma região do Canadá, e por Rufino (1986), para o estado de Minas Gerais, que também determinaram a aproximação de dez anos como período mínimo de medições.

É importante destacar que os trabalhos de Powel e Maciver (1977), Rufino (1986) e Martins et al. (1992) foram realizados com dados climáticos de 30 anos, que permitiram projetar as previsões para os próximos dez anos com sucesso. Concluíram que uma coleta de dez anos faria exatamente as mesmas projeções,

apresentando coeficiente de determinação múltiplo de 0,7 ao trabalho de Powel e Maciver (1977), 0,72 para Rufino (1986) e 0,83 para Martins et al. (1992). Todos enfatizaram a dificuldade da elaboração de classificações climáticas devido à má distribuição geográfica das estações meteorológicas. Baseado nestas conclusões, este trabalho aborda a coleta de dez anos como válida a uma projeção futura, ao mesmo período.

Galvão (1967) classificou os climas do Brasil, mostrando a correlação das diferentes modalidades climáticas com os diferentes tipos de vegetação, com a dinâmica das massas de ar que predominam sobre as diversas áreas do país, com o relevo e com a altitude.

Maack (1981) realizou trabalhos geomorfológicos em todo o Estado do Paraná, fazendo, principalmente, uma análise geográfica dos diversos fatores naturais de várias regiões, possibilitando a caracterização de regiões baseada em dados climáticos.

A importância da análise dos perfis verticais de temperatura e umidade, dos momentos de ocorrência das máximas e das mínimas diárias, das razões de variação da temperatura por unidade de tempo e da análise de variância dos ritmos diários e sazonais, levaram Ribeiro (1981), a apresentar os aspectos dos microclimas de áreas reflorestadas com *Eucalyptus sp.*, impostos pelos controles macroclimáticos, abrangendo o nordeste de Minas Gerais. Concluiu que as alterações do balanço térmico podem ser encontradas no dinamismo da atmosfera e nos ventos, nas precipitações e nas modificações da cobertura do céu (parâmetros que não puderam ser medidos). Ribeiro (1981) ainda reafirma a validade do método de climatologia geográfica, cuja base fundamental é o ritmo, o qual por sua vez, só pode ser percebido/apreendido no nível diário e/ou horário da análise rítmica (MONTEIRO, 1969), às cartas sinóticas e às imagens de satélite associadas às variações temporais (e espaciais) dos elementos climáticos num dado lugar.

A temperatura, radiação solar, umidade do ar, vento entre outras características do clima exercem influência direta sobre as propriedades do solo e, conseqüentemente, sobre sua atividade biológica bem como na delimitação de áreas suscetível a ataque de pragas, doenças e incêndios florestais (MATTER e YOSHIOKA, 1973) e, conforme apresentado por Wilsie (1962) e MOTA (1986) deveriam ser as bases para a introdução de uma espécie arbórea em uma região.

Nos trabalhos de Hare (1973) e também de Vianello e Alves (1991) há referência à Köppen, que propôs uma classificação climática, em 1901, que ofereceu grande contribuição para a climatologia moderna, residindo no fato de permitir, de uma maneira objetiva, com bases numéricas, que diferentes climatologistas passem a referir-se a uma mesma condição climática, em locais geograficamente distantes, baseando-se nos dados de temperatura média mensal e anual, precipitação média mensal e anual e a vegetação nativa como a melhor expressão do clima, defendendo que o desenvolvimento e crescimento da planta dependem da sua quantidade, intensidade de evaporação e transpiração (TREWARTHA, 1968).

Segundo Golfari (1978), o balanço hídrico baseado em Thornthwaite e Hare é um sistema de classificação climática de grande importância no campo florestal, pois permite correlacionar os valores hídricos com os valores térmicos por meio dos parâmetros de precipitação e evapotranspiração. Através dos gráficos obtidos pelo sistema de classificação climática, pode-se:

a) estudar comparativamente a área de ocorrência natural da espécie e a área de plantio, indicando com razoável eficiência onde a espécie poderá ter êxito, especificamente nas regiões onde não exista nenhuma informação sobre a espécie a nível experimental;

b) estudar as exigências climáticas das espécies, determinando os períodos críticos, épocas de produção de mudas e plantios no campo;

c) orientar, em climas de transição, até onde uma espécie pode ser usada e quando deve ser substituída por outra que se adapte melhor.

Os elementos do sistema que são mais utilizados na diferenciação das regiões são temperatura, pluviosidade e evapotranspiração, servindo para diferenciar as regiões climáticas desde microtérmicas até as megatérmicas.

Para a execução de um bom zoneamento e como conseqüência, uma boa seleção de todas as espécies regionais, há necessidade de:

a) disponibilidade de dados climáticos confiáveis em um período mais amplo possível; (de dez a trinta anos);

b) mapa detalhado dos solos da região com informações sobre propriedades morfológicas físicas e químicas;

c) informações básicas sobre a vegetação natural existente, ou que existia, e posterior utilização do solo.

d) existência de plantações florestais em ciclo de exploração, informações sobre adaptação, ritmo de crescimento e produtividade. Visitas ao maior número possível de plantios existentes dentro da área a ser reflorestada ou áreas semelhantes, fazendo observação sobre: ambiente ecológico, vegetação natural ou culturas anteriores, altitude do local, idade das plantações, comportamento silvicultural das espécies/procedências em plantações experimentais, estudo fitossanitário dos povoamentos, sua sobrevivência, medição de altura e diâmetro de árvores, estimativa da produtividade;

e) revisão pormenorizada sobre todas as espécies, por exemplo: ecologia em seu habitat natural, características silviculturais, qualidade da madeira, susceptibilidade a pragas e doenças, produtividade, etc.

É possível observar, numa mesma região bioclimática, iguais procedências de uma espécie com diferentes produtividades, que pode ser atribuído à imprecisão da delimitação das regiões bioclimáticas (MARTINS et al., 1992).

Reis et al. (1993) e Martins et al. (1992) desenvolveram na década de oitenta do século XX parte de uma metodologia de classificação que inter-relaciona variáveis climáticas, geológicas, edáficas, fisiográficas e de vegetação nativa para fins de reflorestamento, utilizando variáveis climáticas e de altitude para delimitar regiões ecológicas.

Andrade (1995) agregou as duas metodologias e, numa primeira etapa delimitou regiões ecológicas por meio do processamento de variáveis climáticas e de altitude e, numa segunda etapa, utilizou-se de variáveis biopedológicas para delimitar as sub-regiões ecológicas, a partir de estudos realizados por Reis et al. (1993).

Assad (1998) salientou que uma ferramenta importante no planejamento e programação das atividades rurais é a avaliação do potencial agroclimático das áreas, conforme a necessidade das culturas, pois o zoneamento agroclimático auxilia na tomada de decisão dos produtores rurais, ajudando a aproveitar os recursos naturais e orientar as ações municipais no incentivo da agropecuária local.

Moreira (1997) adotou a mesma teoria incorporando a subdivisão da região sudeste do Brasil em blocos, pela dificuldade de processar dados de extensas regiões, unindo-as posteriormente, obtendo a classificação ecológica para toda a área, incorporando o processo de estimação de temperaturas por meio de equações

que consideram as coordenadas geográficas e de altitude dos locais desprovidos de estações meteorológicas.

Segundo Blair e Fite (1965), citados por Acosta (1997), nenhum sistema de classificação climática pode ser considerado perfeito dado a grande combinação de fatores que influenciam as características do clima em cada tipo de ambiente e, segundo Ortolani e Camargo (1987), o fato de uma população arbórea ser altamente produtiva em um determinado ambiente, não significa que expressará as mesmas qualidades quando cultivada em outra região.

Smaltschinski (2001) apresentou uma metodologia de trabalho sobre um modelo de crescimento de florestas, envolvendo dados de clima e temperatura sobre florestas da Europa Central, com a construção de modelos e mecanismos baseados na tipificação de dados, apresentação da estrutura dos mesmos, modelagem regional, uso de inventários florestais de autores europeus e americanos consagrados e, finalmente, apresentação de uma prognose de crescimento em camadas.

Com o objetivo de analisar os efeitos de variáveis de clima e solo sobre a produção de madeira, Hunter e Gibson (2004) mostraram que variáveis de solo e clima têm sido amplamente consideradas, inclusive na confecção de modelos de crescimento e produção de espécies florestais.

Nobre et al. (1991) e Rocha (2001) apresentaram as modificações de temperatura para a região amazônica, onde se nota que a projeção de aumento de temperatura global segue a mesma tendência de aumento de temperatura à superfície devido ao desmatamento. As várias simulações dos efeitos climáticos, da substituição da floresta por pastagens na Amazônia e as observações dos projetos (GASH et al. 1996; GASH e NOBRE, 1997) em experimento de grande escala da biosfera/atmosfera na Amazônia, indicaram que há um aumento entre 1°C e 2°C devido à mudança de vegetação de floresta para pastagem.

Assad (2003) apresentou um trabalho para o tratamento de informações espaciais que proporcionam visões para facilitar o controle e ordenação da ocupação de unidades físicas do meio ambiente e em áreas florestais. Criticou e levou em consideração a pressão por decisões que invariavelmente se contrapõem a uma lógica racional de seu uso. Apresentou técnicas que provêm referências espaciais da ordenação dessa ocupação, passíveis de tratamentos automatizados

pelo uso de um SIG (Sistema de Informações Geográficas), definindo-o como sendo sistemas destinados ao tratamento automatizado de dados georeferenciados, com rotinas que manipulam dados de diversas fontes e formatos, dentro de um ambiente computacional ágil e capaz de integrar as informações espaciais temáticas e gerar novos dados derivados dos originais.

3.2 ZONEAMENTO ECOLÓGICO PARA PLANTIOS FLORESTAIS NO PARANÁ

O potencial silvicultural das espécies de *Pinus* no Brasil é um fator fundamental para a sustentação do seu parque industrial madeireiro, sendo as mais plantadas e industrializadas o *Pinus elliottii* e o *Pinus taeda*. No entanto, existem muitas outras espécies de *Pinus* com grande potencial de utilização, que devem ser objeto de pesquisa tecnológica (IWAKIRI et al., 2005).

As estimativas indicaram que 35% do volume de madeira serrada, produzida, é formado de madeira desse gênero e no país existem, aproximadamente, 1,5 milhões de hectares de plantações. Portanto, tratam-se de espécies fundamentais para o fornecimento de matéria-prima, com destaque as Regiões Sul e Sudeste (BALLARIN e PALMA, 2003).

As condições de adaptação do *Pinus* aos solos ligeiramente ácidos, que constituem a grande maioria dos solos do país, permitiram a implantação de extensas áreas que, juntamente com a adoção de práticas silviculturais adequadas, tornam as espécies deste gênero importante fonte de matéria-prima, proveniente de florestas estabelecidas dentro dos padrões de sustentabilidade (KRONKA et al., 2005).

Deve-se ressaltar que algumas espécies do gênero *Pinus* apresentam boa adaptação ecológica em diferentes condições edafoclimáticas existentes no Brasil. Dessa maneira conseguem reproduzir, propagar e se desenvolver naturalmente em condições de pequena competição com a vegetação local. Para contornar possíveis problemas com essa característica do gênero, é importante o correto manejo e a escolha adequada da área e das espécies o que é comumente feito nas principais empresas do setor que trabalham com esse gênero (MÜLLER et al., 2006). De acordo com os autores, a escolha da espécie ideal é fundamental para eficiência e

eficácia do plantio, portanto deve-se levar em consideração a finalidade e aspectos gerais do local, como clima, solo, entre outros.

3.3 CLASSIFICAÇÕES CLIMÁTICAS REGIONALIZADAS

A caracterização climática do Brasil Meridional foi obtida após uma série de ensaios sobre a metodologia geográfica da análise climática, realizada por Monteiro (1969), que propôs uma tipologia para os fluxos polares de inverno, ou conforme suas palavras, a “qualificação” das invasões polares que caracterizam o ritmo de sucessão do tempo no inverno, no Estado de São Paulo. Um índice de participação de massas de ar foi sugerido por Monteiro (1964), que consiste na contagem diária através da leitura de cartas sinóticas para o estado de São Paulo.

Referenciando seu trabalho passado, Monteiro (1969) projetou-o numa continuação da corrente de investigações climatológicas necessárias à geografia brasileira, numa tentativa de desenvolver, ampliar, corrigir e melhorar o que foi apresentado anteriormente, analisando as dinâmicas para constituir o programa de pesquisa na climatologia brasileira, concentrando-se na identificação dos elementos que apóiam o estudo de climatologia no Brasil:

- Secas que se alteram com enchentes e inundações;
- Mecanismos gerais de circulação regional;
- Participação da convergência dos alíseos ou da equatorial continental no teor de chuvas em regiões; a influência efetiva da Frente Polar no aumento da pluviosidade;
- Necessidades de análises rítmicas ao longo de eixos que, partindo do litoral, atravessem o Planalto Central, até a Amazônia;
- O intercâmbio com os países do extremo norte do continente sul-americano como proveito à melhor caracterização climática da Amazônia Brasileira para a qual se voltam promessas e atenções;
- Obediência às questões metodológicas, entre outros.

Hertz (1977) apresentou uma pesquisa apoiada na técnica de sensoriamento remoto utilizando imagens Landsat. Mostrou as relações entre a circulação atmosférica regional (dinâmicas das massas de ar) e a circulação superficial das águas da região da Lagoa dos Patos, lagunas e costeiros do Rio Grande do Sul, em

razão do comportamento das partículas em suspensão nas águas e sua qualificação espectral e espacial, como traçador natural das tendências de circulação à superfície. Buscou captar o ritmo climático da área em estudo através das “*análises sinóticas das sucessões de tempo*” citadas por Monteiro (1968), fez uso de dados pluvio-fluviométricos, linimétricos, sentido de vazão das águas, salinidade e cotas horárias da variação do nível d’água (maregramas). Mostrou que as cartas sinóticas são utilizadas para a identificação da circulação atmosférica, atuante nos episódios estudados, não utilizando, no trabalho, o conceito de tipos de tempo e gráficos de análise rítmica.

Tarifa (1975) exprimiu quantitativamente os diferentes tipos de fluxos polares e as chuvas de primavera-verão no estado de São Paulo pelo centro isobárico de ação. Sintetizou sua hipótese de trabalho baseando-se que os tipos de tempo produzem a chuva, o ritmo conduz a períodos secos ou chuvosos, e o anticiclone polar atlântico imprime diferentes tipos de ritmo aos fluxos tropicais e extratropicais, baseando-se também no tratamento estatístico da análise linear da correlação e regressão (simples e múltipla), procurando, nos seus procedimentos, melhorar o máximo possível a definição dos sistemas atmosféricos, intensidade das chuvas e sistemas atmosféricos atuantes, num nível diário e mensal de relações e correlações.

Na tentativa de classificação climática para o estado da Bahia (uma análise quantitativa dos atributos locais associada à análise qualitativa do processo genético), Aouad (1978) propôs um sistema de classificação climática para a Bahia, através da associação dos valores quantitativos dos atributos locais aos componentes genéticos da circulação atmosférica regional. As técnicas aplicadas aos valores quantitativos referiram-se à análise fatorial e de agrupamento, enquanto que a circulação secundária foi analisada conforme a abordagem proposta por Monteiro (1969). Na análise dinâmica, que privilegiou três anos-padrão (1953, 1958 e 1964), respectivamente representativos do caráter pluvial habitual, a autora utilizou cartas sinóticas do INMET e controlou a área de estudo a partir dos dados meteorológicos de 17 localidades, estrategicamente localizada, produzindo gráficos de análise rítmica que, segundo a autora não atingiu o grau de consistência desejado a ponto de obter índices de participação dos diferentes sistemas meteorológicos envolvidos na circulação regional, limitando-se a observar a

evolução anual dos padrões sinóticos, que a conduziu a uma aproximação razoável do ritmo climático.

Orselli (1983) apresentou uma proposta de classificação climática aplicada ao estado de Santa Catarina de modo quantitativo ao usar valores numéricos para definir os limites dos grupos e tipos climáticos. A autora trata as seqüências rítmicas atmosféricas (ou cadeias de tipos de tempo) por meio de equações provando que é verdadeiramente exeqüível e geograficamente válida uma equação que busca o tempo médio à proposição de um modelo climatológico, no qual diferentes variáveis analisadas são expressas espacialmente; reconhecido o traçado, nas orientações, nos desvios e nas deflexões das isolinhas, que a autora chama de “fato dinâmico auxiliar”. Procurou definir por equações, propondo a partir de uma equação exponencial, uma nova possibilidade de interpretação para a climatologia analítica.

Na análise espacial e temporal da pluviosidade no estado de Sergipe, Pinto (1985) usou de técnicas matemático-estatísticas para transformar dados estatísticos em informações científico-climatológicas, realizando uma abordagem dinâmica através da análise rítmica para estabelecer a essência geográfica do clima.

Na visão de Pitton (1985) o clima, juntamente com outros elementos do quadro natural, interage dinamicamente, definindo dentro de espaços determinados as paisagens que são estudadas de forma integrada pela geografia. Defendeu a efetivação da classificação climática para que se possa observar os efeitos do clima no todo ambiental, organizando o meio climático, em diversas bases, definindo os limites geográficos dos diferentes tipos climáticos sobre a superfície terrestre, apesar de não apresentar gráficos de análise rítmica ou exemplo de carta sinótica ou de imagem de satélite meteorológico.

O estudo da dinâmica atmosférica e a distribuição das chuvas no Mato Grosso do Sul, realizado por Zavatini (1990) representa uma contribuição à compreensão do ritmo de sucessão dos tipos de tempo e das chuvas a eles associados. Procurou esclarecer como se comporta a faixa climática, constatando a existência de dez unidades climáticas, cinco delas estando ao norte da faixa climática transacional, que atravessa São Paulo e avança pelo Mato Grosso do Sul; as outras cinco localizadas ao sul dessa faixa.

Por intermédio da análise rítmica, Deffune (1990) constatou que há uma grande interferência dos sistemas atmosféricos sobre a configuração rítmica dos

elementos climáticos quando estuda o clima e uso da terra no norte e noroeste do estado do Paraná, no período de 1975/1986, a fim de coletar subsídios ao planejamento regional. Aplicou técnicas estatísticas quantitativas para alcançar uma tipologia do ritmo climático, filtrando dados para traçar um perfil dos desvios e dos coeficientes de oscilações de cada variável, no tempo e no espaço.

Ao estudar a dinâmica atmosférica e variações pluviiais no sudoeste e nordeste paulista, Menardi (1992) iniciou explicando que trabalhar com climatologia deve ser um assunto ligado mais diretamente à “geografia física” e que foge totalmente ao seu propósito de analisar as variações pluviiais das regiões do estado se não correlacioná-lo aos demais setores da geografia, assim como as atividades humanas e econômicas. Desta forma, procurou associar as variações da pluviosidade à dinâmica atmosférica regional, apresentando as conseqüências dessas diferenças para a vida econômica e organização do espaço daquela região.

Procurando entender o ritmo climático e a gênese das chuvas na zona oeste do pantanal sul-mato-grossense, Gonçalves (1993) traçou isolinhas para elucidar o efeito orográfico das chuvas na “tentativa” de síntese das feições climáticas da zona oeste o pantanal. A carência de estações meteorológicas e postos pluviométricos nas encostas das serras (cujas vertentes se expõem em direção ao sul) dificultaram a análise do efeito orográfico das precipitações, tornando impossível a sua quantificação e sua participação no cômputo da pluviosidade, apresentando, contudo, gráficos da análise rítmica da climatologia da região.

Gutjahr (1993) apresentou critérios relacionados à compartimentação climática de bacias hidrográficas focados na bacia do rio Ribeira do Iguape, bem como, caracterizou a variação têmpero-espacial das chuvas no espaço daquelas bacias em função da distribuição mensal e da variação anual; define uma estrutura espacial das mesmas caracterizada no período de 10 anos, levando em consideração a maritimidade/continentalidade na variação de temperatura, procurando explicar do porquê do distanciamento das abordagens de classificação climática tradicionais, oferecendo assim uma alternativa à compartimentação climática de bacias hidrográficas.

Jesus (1995) abordou os aspectos conceituais dos termos espaço, tempo e escala em climatologia, concentrando-se na epistemologia do assunto, abordando questões de natureza teórico-metodológica. Efetuou uma retrospectiva do

conhecimento geográfico do clima, realizando todo um processo de evolução dos conceitos nas diversas escolas, resgatando obras clássicas num processo de ordenação da essência do conteúdo climatológico e seus vínculos com as variáveis: espaço, tempo e escala.

Ao perceber certa insatisfação de práticas e métodos entre aqueles que têm perseguido uma compreensão mais conjuntiva da importância e do papel da atmosfera, Sant'anna Neto (1995) apresentou a análise das chuvas no estado de São Paulo, oferecendo uma contribuição ao estudo da variabilidade e tendência da pluviosidade na perspectiva da análise geográfica. Enfatiza que tanto nos modelos matemáticos, quanto as técnicas estatísticas mais usuais não têm conseguido oferecer um instrumental adequado para o progresso da climatologia, de tal forma que esta pudesse responder e esclarecer os grandes problemas ainda não resolvidos na época, principalmente no que se refere as questões relativas às mudanças climáticas.

Flores (1995) apresentou um sistema de informação climatológico através do desenvolvimento e inserção baseado no sistema de informação geográfico "Geo-Inf-Map" para desenvolver outro, capaz de atender às necessidades de pesquisadores em climatologia, procurou cobrir uma ampla gama de técnicas empregadas na área: isopletas, painéis tempo-espaciais, diagramas, cartogramas, balanço hídrico, pluviogramas, medidas de tendência central e dispersão, regressão e correlação linear simples, classificação hierárquica por pares recíprocos e, também, os gráficos de análise rítmica. Enfatizou seu uso como um recurso cartográfico que permite a representação de elementos de clima dando a idéia de ritmo climático, auxiliando no entendimento da seqüência dos estados de tempo.

Em função de dificuldades encontradas para utilizar a fraca rede de estações meteorológicas ou as imagens de satélite de órbita baixa, Souza (1997) trabalhou com dados colhidos da imprensa e em fotografias tomadas por moradores locais para trabalhar a ocorrência de neve em planaltos subtropicais: o caso do sul do Brasil. Apresentou gráficos de análise rítmica e uso de cartas sinóticas de superfície do INMET, da TASA e imagens do satélite GOES do INPE, revelando a seqüência de fenômenos que se sucederam e foram responsáveis pela neve naquela região brasileira.

Acosta (1997) ajustou equações de regressão para estimar valores médios mensais e anuais de temperaturas mínima, média e máxima com a finalidade de ampliar a rede de dados climáticos do território brasileiro situado entre 16 e 24° latitude Sul e 48 e 60° longitude Oeste, para fins de classificação ecológica. As equações de regressão foram ajustadas com base em dados de 57 estações meteorológicas, utilizando-se como variáveis independentes a longitude, a latitude e a altitude. Os resultados mostraram que o ajuste de modelos para as estimativas de temperatura é uma alternativa viável para ampliar a base de dados climáticos e o teste de identidade de modelos aplicável nesse tipo de estudo.

Nery et al. (1997) estudaram a bacia hidrográfica do Rio Ivaí e apresentaram uma definição de períodos chuvoso e seco, bem como a distribuição interanual, apresentando sua precipitação pluviométrica e sua variabilidade em anos considerados anômalos, explicados principalmente pela ocorrência dos fenômenos El Niño e La Niña, a ocorrência de máximos e mínimos de precipitação com base em dados climáticos, com significativa influência em toda a dinâmica da região Sul do Brasil.

No estudo da dinâmica climática e das chuvas no nordeste brasileiro, no eixo Barra do Corda/MA – Natal/RN, e relações com o fenômeno El Niño, Souza (1998) justificou seu interesse no tema devido à existência, entre estes dois extremos, de uma área semi-árida caracterizada pelos baixos índices pluviométricos. Investigou a orografia da área de estudo e verificou que a ocorrência de El Niño contribui para acentuar o índice de semi-aridez dessa região. Concluiu suas idéias a respeito das questões climáticas englobando os aspectos sociais e político-administrativos relativos ao nordeste brasileiro, realçando a importância do conhecimento da estrutura climática que influencia tanto a organização do espaço nordestino como também a organização social e política que rege as atividades humanas.

Boin (2000) realizou um estudo sobre as chuvas e erosão no oeste paulista sob uma análise climatológica aplicada, analisando especialmente a ação da dinâmica pluvial sobre o meio ambiente físico do oeste paulista. Procurou a identificação das áreas submetidas a diferentes impactos pluviométricos e suas consequências erosivas nos diversos compartimentos ambientais, por meio dos preceitos da climatologia dinâmica. Procura explicar a integração de classificações de base genética e detalhamento das unidades climáticas da região, bem como, da

relação clima e erosividade. É um trabalho que usa bases conceituais do método sintético das massas de ar e dos tipos de tempo e da análise rítmica apresentados por Monteiro (1969), alcançando a noção de ritmo climático aplicado à climatologia dinâmica.

Estudos realizados Sette (2000) sobre as paisagens, ritmos, interações atmosfera-biosfera, holorritmos à circulação da baixa atmosfera, distribuição da pluviosidade, evolução dos sistemas atmosféricos, relações entre os atributos e os controles climáticos do Estado do Mato Grosso, teve como resultado a evidência das interações entre os sistemas intertropicais e os extratropicais e que as mesmas são resultantes dos ritmos globais, afetados pelo El Niño no Mato Grosso.

Ao apresentar um estudo do ritmo do clima de todo o território brasileiro, Zavattini (2004), referenciou vários autores que estudaram climatologia, obtendo a cronologia decenal do ritmo do clima no Brasil desde a década de 40 do século XX até o ano 2000. Elencou diversas abordagens de natureza climática e geográfica propostas por diversos pesquisadores, apresentando cartogramas que permitem visualizar detalhes de suas análises, o que foi útil para entender o efeito dinâmico do clima e seus elementos nesta tese.

3.4 ABORDAGENS DE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO

Um sistema de informação pode ser definido como um conjunto de componentes inter-relacionados trabalhando juntos para coletar, recuperar, processar, armazenar e distribuir informação, com a finalidade de facilitar o planejamento, controle, a coordenação, a análise e o processo decisório em empresas e outras organizações (LAUDON e LAUDON, 1999).

Os sistemas de informação consistem, em três atividades básicas – entrada, processamento e saída – que transformam dados em informações úteis. Não envolvem apenas computadores, mas, além componentes técnicos, tendo dimensões organizacionais e humanas.

Os sistemas de informação existem para responder a necessidades organizacionais, incluindo problemas apresentados pelo ambiente externo, criados por tendências ambientais, políticas, econômicas, demográficas e sociais. Podem causar impacto numa organização e, para entendê-lo, é necessário entender os

problemas e necessidades para os quais eles são projetados, como propostas de soluções aos processos organizacionais (ABREU e REZENDE, 2001).

Segundo Pressman (2002) os sistemas de informação podem ser concebidos, projetados e desenvolvidos sob duas principais óticas arquiteturais, de modo a tornar possível um controle do desenvolvimento interativo e incremental: visão estruturada e a visão orientada a objetos (OO).

Este trabalho baseia-se na segunda visão, em que o foco está centrado em uma perspectiva de desenvolvimento de um sistema computacional OO, que procura descrever o comportamento do mundo real, tal qual o é, unindo a visão comportamental ou dinâmica do sistema à visão estática do mesmo, em classes, proporcionando uma melhor caracterização dos aspectos estruturais e semânticos para o desenvolvedor, sendo utilizada a UML (*Unified Modeling Language*) para seu desenvolvimento (BOOCH et al., 2000).

Segundo Furlan (1998) a UML distingue as noções de modelo e diagramas. Um modelo contém informações a respeito dos elementos subjacentes de um sistema em estudo, de maneira independente como são apresentados visualmente. Um diagrama, por sua vez, é uma visualização particular de certos “elementos de tipos de um modelo”, e geralmente expõe apenas um subconjunto de informação detalhada sobre esses elementos.

Para a construção do modelo computacional, Booch et al. (2000) apresentam o mais avançado tutorial sobre UML, descrevendo-a como uma linguagem gráfica para visualização, especificação, construção e documentação de artefatos de sistemas complexos de software, proporcionando uma forma padrão para a preparação de planos de arquitetura de projetos de sistemas computacionais, incluindo aspectos conceituais tais como processos de negócios e funções de sistema, além de itens concretos como as classes escritas em determinada linguagem de programação, esquemas de banco de dados e componentes de software reutilizáveis. Com a UML será possível descrever o ciclo de vida completo do software, mesmo sendo amplamente independente do processo. Isso significa que não se limita ao ciclo de vida de desenvolvimento de determinado software. E, para obter o máximo proveito leva em consideração um processo interativo que envolve características de orientação a casos de uso, centrado na arquitetura e incremental, envolvendo fases: Concepção, que aborda o caso de negócio para o

projeto; Elaboração, que estabelece um plano de projeto e uma arquitetura sólida; Construção, fase de desenvolvimento do sistema e Transição, que fornece o sistema a seus usuários finais de todos os processos que compõem o sistema.

Como a tecnologia da informação tem sido fortemente empregada para suportar modelos empresariais incluindo aspectos importantes como recursos físicos e lógicos, regras de negócio, objetivos e processos, há um entendimento comum sobre estruturas formais representadas por diagramas que incluem unidades e termos em uso que são apresentadas por Furlan (1998), englobando as bases para orientação a objetos e seus diagramas.

Pereira (2001) apresentou uma metodologia que permite manipular computacionalmente arquivos vetoriais em uma solução para visualização dinâmica de mapas no ambiente internet, tendo sucesso para divulgação e distribuição de objetos do tipo mapa vetorial naquele ambiente, bem como apresentou tópicos iniciais para programação em linguagem de programação como fundamentos, programação e manipulação de arquivos e banco de dados, depuração, impressão de componentes, instalação e distribuição de programas, bem como a descrição de implementação e uso de classes e programação orientada a objetos.

Savitch (2004) fundamentou e apresentou a programação orientada a objetos (*Object-oriented programming – OOP*) e suas principais características. Descreveu o encapsulamento como a forma de ocultação de informação ou abstração; a herança como forma de escrita de código reutilizável e polimorfismo, que se refere à forma pela qual um único nome pode ter múltiplos significados no contexto da herança. Mostra ainda como a OOP compatibiliza seus recursos com preocupações em relação à eficiência e o que poderíamos chamar de “praticidade” de programação.

3.4.1 Ciclo de vida do software.

Todo sistema, usando ou não recursos de Tecnologia da Informação (TI), pode ser genericamente considerado sistema de informação (ABREU e REZENDE, 2001), e possui um ciclo de vida, utilizado para o desenvolvimento de projetos computacionais, sendo, segundo Pressman (2002) e Larman (2000) particionado em fases, que foram seguidas para a concepção e desenvolvimento do software aqui proposto:

a) Especificação dos Requisitos: é o início, a sua concepção. São levantados os requisitos do sistema, entrada de dados e sua formatação bem como as necessidades do futuro usuário, fruto de suas solicitações por meio da abstração, de modo a formar a modelagem do negócio;

b) Análise: é descrito o enunciado do problema, utilizando-se da abstração para concepção de diagramas (FURLAN, 1998), que descrevem sua estrutura estática e dinâmica;

c) Projeto: é a descrição da arquitetura do sistema, devendo ser concisa, precisa, coesa e altamente funcional (COAD, 1995), respeitando as visões da análise;

d) Implementação ou Codificação: é a programação em um ambiente que utilize a linguagem de programação que suporte os conceitos da análise e as especificações do projeto, que podem ser implementadas na plataforma Java, utilizando-se de aplicações ou applets, composta por três elementos principais: Java Packages API's, Linguagem Java e Java Virtual Machine-JVM (RAMON, 2001).

e) Teste: é a fase que aborda a verificação, a confirmação, o respeito às especificações da análise e projeto do sistema como um todo. Caso haja incoerências ou disfuncionalidades, o sistema é revisto, aplicando manutenção, melhoria ou até ampliação dos módulos;

f) Implantação: é a aceitação, por parte do usuário, da aplicabilidade do sistema, fazendo uso do mesmo para que possa utilizá-lo na realização de alguma atividade a qual o software se destina.

3.4.2 Entradas e saídas do sistema: dado e informação.

Conceitualmente, dado é um termo utilizado para indicar elementos, como números, letras, símbolos ou fatos que se referem à descrição de um determinado objeto, idéia, condição ou situação. Computacionalmente, é o valor assinalado a um atributo, podendo ser único (literal), ou identificado em conjunto, por vetores ou registros, referenciados como variáveis.

Nos sistemas de informações, dados são os conteúdos assumidos por literais ou variáveis que, somados a um significado (nome de campo, por exemplo) ou processados por rotinas computacionais, irão compor uma fonte de recursos facilmente interpretados pelo usuário (SAVITCH, 2004).

Informação é aquilo que podemos obter através de uma operação sobre uma quantidade finita de atributos (FURLAN, 1998). É qualquer sinal organizado, ou seja, é um conjunto de dados organizados que apresentam tempestividade, pertinência e exatidão. A informação é todo dado trabalhado, útil, com valor significativo atribuído ou agregado a ele e com um sentido natural e lógico para quem a usa. (ABREU e REZENDE, 2001).

3.5 CONSIDERAÇÕES LIGADAS À ESTATÍSTICA E À GEOESTATÍSTICA

A metodologia proposta pela geoestatística difere da proposta pela estatística clássica, basicamente, na forma de avaliar a variação dos dados. Enquanto a estatística clássica pressupõe não haver relação entre a variação e a distância entre pontos de amostragem, a geoestatística considera existir uma dependência da variação com o espaço de amostragem e que, em parte, essas variações são sistemáticas (WACKERNAGEL, 1988).

Sendo assim, a variabilidade espacial das variáveis 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, relacionados à sua disposição espacial e, portanto, as observações tomadas a curta distância se assemelham mais do que aquelas tomadas a distâncias maiores (VIEIRA et al., 1981; VAUCLIN et al., 1983).

Uma premissa básica é que, em todas as áreas, existem regiões mais ricas do que outras, para uma determinada variável. Logo, amostras tomadas numa região mais rica seriam, em média, mais ricas do que aquelas tomadas numa região mais pobre, ou seja, o valor da variável regionalizada depende de sua localização (SOUZA, 1992; MATA, 1997), isto é, o valor da variável regionalizada $f(x)$ depende da posição espacial x (MATA, 1997).

Segundo Grossi Sad (1986), a geoestatística dedica-se ao estudo da distribuição e da variabilidade dos valores, em função do seu arranjo espacial ou temporal, ou seja, de valores regionalizados. Um fenômeno que se modifica no espaço e que é provido de uma certa estrutura, comporta-se de modo "regionalizado". Se $Z(x)$ é o valor de uma variável Z no ponto x , é possível descrever

a variabilidade da função $f[Z(x)]$ no espaço, com Z variando dependentemente do local da amostragem.

As ferramentas da geoestatística permitem a análise de dependência espacial, a partir do ajuste de semivariogramas experimentais a uma função simples, segundo um modelo matemático, e a caracterização da variabilidade espacial, por meio do mapeamento da variabilidade a partir da estimativa, sem tendenciosidade, de dados para locais não amostrados. Com a utilização destas ferramentas pode-se analisar, adequadamente, dados de experimentos, com a possibilidade de obter informações não reveladas pela estatística clássica (SALVIANO, 1996). Segundo Folegatti (1996) para o ajuste de semivariogramas a normalidade dos dados não é necessária, mas desejável. Caso a distribuição não seja normal, mas seja razoavelmente simétrica, podem-se admitir as hipóteses necessárias à construção do semivariograma. De acordo com Vieira e Lombardi Neto (1995), os cálculos utilizados em geoestatística não requerem o conhecimento da distribuição de freqüências da variável analisada.

Dentro do contexto da geoestatística há vários exemplos de uso, destacando-se Pezzopane et al. (2004) que desenvolveram modelos matemáticos para estimativas de temperaturas e espacialização térmica no Estado do Espírito Santo por meio do modelo digital do terreno, obtendo coeficiente de determinação variando entre 0,88 e 0,98, que foram considerados satisfatórios para aquele estudo.

Comparando o resultado obtido por diferentes métodos de interpolação disponibilizados por SIG, aplicados à estimativa da temperatura média do ar em Portugal Continental, no período de 1961-1990, Silva e Amorin (2003) apresentaram mapas descrevendo a espacialização das diferentes temperaturas que ocorrem naquele país.

Macedo et al. (2001) utilizaram métodos geoestatísticos como alternativa ao interpolador média ponderada com vista a comparar diferentes métodos e identificar o mais adequado para a espacialização de datas de plantio de cereais.

Utilizando a geoestatística, Carvalho et al. (2002) estudaram a variabilidade espacial de componentes químicos no solo no cultivo de cereais, permitindo indicar a ausência de dependência espacial dos compostos nas práticas culturais.

Ao incorporarem a altitude como variável auxiliar na determinação do mapa de variabilidade espacial de precipitação pluvial para o Estado de São Paulo,

Carvalho e Assad (2003) utilizaram um interpolador geoestatístico multivariado, a cokrigagem, obtendo resultados considerados bons para o período analisado.

Camargo et al. (2003) enfatizaram a importância à modelagem da anisotropia na distribuição espacial de variáveis ambientais com uso de procedimentos geoestatísticos, especificamente a Krigagem.

Romani et al. (2003) apresentaram a simulação dos dados coletados de estações meteorológicas por meio da internet e estimam a temperatura de outros locais através de média ponderada e do método de interpolação do inverso do quadrado da distância, utilizando informações de estações vizinhas.

Em um curso que parte da estatística para a geoestatística exploratória e multivariada, Wackernagel (1998) abordou modelos, formulações e métodos de estatística espacial para resolução de problemas, apresentou exemplos de regiões mais amplas e globais em detrimento a uma especificação mais pormenorizada de microrregiões, apresentando os semivariogramas de forma didática.

Estatisticamente, usa-se a análise de regressão, que é o método de análise apropriado quando o problema envolve uma única variável dependente (critério), considerada relacionada a duas ou mais variáveis independentes, cujos valores são conhecidos, para prever os valores da variável dependente selecionada (DILLON e GOLDSTEIN, 1984).

Em regressão múltipla, a variável estatística é determinada de modo a melhor correlacionar com a variável a ser prevista. Fornece um meio de avaliar objetivamente o grau e caráter da relação entre variáveis dependentes e independentes, pela formação da variável estatística de variáveis independentes. Estas, além de sua previsão coletiva da variável dependente, também podem ser consideradas por sua contribuição individual à variável estatística e suas previsões. A interpretação da variável estatística pode se apoiar em qualquer uma de três perspectivas: a importância das variáveis independentes, os tipos de relações encontradas ou as inter-relações entre as variáveis independentes.

A correlação entre as variáveis independentes pode tornar algumas variáveis redundantes no esforço preditivo. Desse modo, elas não são necessárias para produzir a previsão ótima. Isso não reflete suas relações individuais com a variável independente, mas indica que, em um contexto multivariado, elas não são

necessárias se um outro conjunto de variáveis independentes que explique essa variância for empregado.

3.6 MODELO TRIGONOMÉTRICO ESPECIAL

Partindo das discussões de trigonometria, Graybill (1976) considera uma função $f(x)$ definida por todo x (em uma linha real). Essa função $f(x)$ é dita ser periódica em um período P se, para algum $P > 0$, $f(x + P) = f(x)$, para todo x . O menor número positivo, dito P_0 , para qual $f(x+P_0) = f(x)$ para todo x , é chamado de período fundamental de $f(x)$. Se $f(x+ P) = f(x)$, então, claramente, $f(x + 2P) = f(x)$, $f(x + 3P) = f(x)$, ..., $f(x+ kP) = f(x)$, para qualquer inteiro k .

Portanto, kP é também um período. Isso significa que, para cada unidade P no eixo x , o gráfico da função se repete recursivamente.

Se P é um período de uma função $f(x)$, então $F = 1/P$ é chamado de frequência da função, e $F_0 = 1/P_0$ é chamado de frequência fundamental de $f(x)$, se P_0 for o período fundamental. A frequência F significa o número de ciclos (ou repetições) que $f(x)$ perspassa (atravessa) por unidade de x .

Seno e Coseno são duas funções periódicas bem conhecidas, por exemplo, se

$$f(x) = \text{Cos}\left(\frac{2\pi}{P}\right)x \quad (01)$$

então teremos que:

$$\begin{aligned} f(x + P) &= \text{Cos}\left(\frac{2\pi}{P}\right)(x + P) \\ &= \text{Cos}\left(\frac{2\pi}{Px} + 2\pi\right) \\ &= \text{Cos}\left(\frac{2\pi}{Px}\right)x \text{Cos}2\pi - \text{Sen}\left(\frac{2\pi}{P}\right)x \text{Sen}.2\pi \\ &= \text{Cos}\left(\frac{2\pi}{Px}\right)x \\ &= f(x) \end{aligned} \quad (02)$$

Assim, $\text{Cos}(2\pi/P_x)x$ é periódico com um período fundamental P . Similarmente, $\text{Sen}(2\pi/P_x)x$ é periódico com o período fundamental P .

Se definirmos $\mu(x)$ por:

$$\mu(x) = \beta + \alpha \cos\left(\frac{2\pi}{P}x\right) + \delta \sin\left(\frac{2\pi}{P}x\right), \quad \text{com } -\infty < x < +\infty \quad (03)$$

Então pode-se demonstrar que $\mu(x + P) = \mu(x)$; daí $\mu(x)$ ser uma função periódica com período fundamental P .

O máximo que a função periódica $f(x) = \alpha \cos(2\pi/P)x + \gamma \sin(2\pi/P)x$ pode atender é chamada de amplitude de $f(x)$ e seu valor é igual à $\sqrt{(\alpha^2 + \gamma^2)}$.

Existem muitos fenômenos naturais que exibem periodicidade (ciclos) ou aproximação periódica, como o preço de certos *commodities* (o período deve ser de um ano), a tensão em um *outlet* (o período deve ser de 1/60 de segundo), chuvas em certa localidade (o período deve ser de um ano), a temperatura diária durante o mês de julho em certa localização (o período deve ser de um dia), levando ao modelo simples e geral de trigonometria.

Em cada um dos exemplos citados anteriormente, o modelo descritor das situações físicas incorporadas às variações periódicas podem ser dados por:

$$Y = \beta + \alpha \cos\left(\frac{2\pi}{P}x_t\right) + \delta \sin\left(\frac{2\pi}{P}x_t\right) + \varepsilon \quad (04)$$

Onde:

β , α e δ são parâmetros desconhecidos e P é um valor de atributo conhecido.

Certas condições para calcular o modelo são:

1. o atributo observado x_t , são os inteiros 1,2,3,..., n, em que $x_t = t$, com $t = 1,2,3,\dots,n$.
2. o curso do período fundamental P é um inteiro conhecido tal que $P \geq 3$,
3. considerando (descrito acima) $n = CP$, onde C é um inteiro positivo conhecido.

Esses pressupostos possuem considerações:

1. os valores de x são igualmente espaçados e, em vários modelos em que o modelo pode ser usado, podem ser considerados inteiros positivos, ou seja, temperatura horária, preço mensal, chuvas anuais e assim sucessivamente,
2. e 3. essas considerações implicam que os x 's observados tomados nos valores 1,2,3,...,P,P+1,...,2P,2P+1,...CP = n.

Se este modelo adequar-se ao modelo linear geral:

$$Y = \beta.X + \varepsilon \quad (05)$$

Então, estabelecendo as relações da *equação 4* com a *equação 5* em termos de operações de matrizes, tendo $X'X$ (matriz diagonal), X , β , $(Y'Y - \beta X'Y)$, podemos chegar, segundo Graybill (1976), a um modelo que estabeleça e teste a hipótese do modelo trigonométrico simples, $\mu(x)$ consistindo em uma constante b , um termo seno e um termo cosseno. Em situações complicadas que há ciclos na natureza, em certas condições “muito complicadas” funções periódicas podem ser aproximadas pela soma de um número finito de termos seno e cosseno, de modo que situações do mundo real que são periódicas podem ser investigadas pelo modelo apresentado, em que temos H termos seno e cosseno no mesmo. O modelo a considerar será dado por:

$$Y = \beta + \sum_{h=1}^H \left[\alpha_h \text{Cos} \left(\frac{2\pi}{P_h} \right) t + \delta_h \text{Sen} \left(\frac{2\pi}{P_h} \right) t \right] + \varepsilon_t \quad (06)$$

Onde:

β , α_h e δ_h são parâmetros desconhecidos

ε_t : é uma distribuição normal ($\varepsilon:0, \sigma^2$)

$t = 1, 2, 3, \dots$

H e P_h são constantes especificadas (conhecidas), desde que $\alpha_h \cdot \text{cos} \cdot (2\pi/P_h) \cdot t$ e $\delta_h \cdot \text{sen} \cdot (2\pi/P_h) \cdot t$ sejam conhecidos, temos um modelo linear geral.

O termo $\alpha_h \cdot \text{cos} \cdot (2\pi/P_h) \cdot t + \delta_h \cdot \text{sen} \cdot (2\pi/P_h) \cdot t$ é definido como sendo o h -ésimo componente do modelo sob o período P_h (ou freqüência F_h). Portanto, o modelo deve ser a soma de H componentes periódicos com os respectivos períodos P_1, P_2, \dots, P_H (ou respectivas freqüências F_1, F_2, \dots, F_H).

Para mostrar uma população representada por esse modelo, podem-se tomar n valores de x e, assumindo que estes x valores são os inteiros $1, 2, 3, \dots, n$. O modelo pode ser dado por:

$$Y_t = \beta + \sum_{h=1}^H \left[\alpha_h \text{Cos} \left(\frac{2\pi}{P_h} \right) t + \delta_h \text{Sen} \left(\frac{2\pi}{P_h} \right) t \right] + \varepsilon_t \quad (07)$$

Onde:

$t : 1, 2, 3, \dots, n$.

β , α_h e δ_h : são parâmetros desconhecidos e, H e P_1, P_2, \dots, P_H são constantes conhecidas e

ε_t : é uma distribuição normal ($\varepsilon:0, \sigma^2$)

Existem $2H + 2$ parâmetros desconhecidos no modelo, e se n é um inteiro ocasional (dito $n = 2M + 1$), temos a restrição $H < M$, ou então há mais parâmetros desconhecidos que observações, levando a obter uma estimativa pouco satisfatória

para os parâmetros. Se n é mesmo um inteiro (dito $n = 2M$), também há a restrição $H < M$, ou então haverá mais parâmetros que observações.

Considerando apenas um caso especial de modelo trigonométrico e refletindo sobre os valores disponíveis P_1, P_2, \dots, P_H , assume-se que o modelo trigonométrico será usado para investigar apenas um subconjunto de H dos períodos $P, P/2, \dots, P/(M - 1)$, onde P é um inteiro positivo igual a n , o tamanho da amostra, e com a equação do modelo 3 sendo periódico e, levando em consideração a soma de H componentes periódicos, o período do h -ésimo componente, $\alpha_h \text{Cos}(2\pi/P_h)t + \delta_h \text{Sen}(2\pi/P_h)t$, é P_h , o qual é membro do conjunto $\{P, P/2, \dots, P/(M - 1)\}$.

Ainda segundo Graybill (1976), um modelo trigonométrico “especial” pode ser definido como sendo um modelo trigonométrico com H componentes com períodos P_1, P_2, \dots, P_H , igualmente representado pela equação 08:

$$Y_t = \beta + \sum_{h=1}^H \left[\alpha_h \text{Cos}\left(\frac{2\pi}{P_h}\right)t + \delta_h \text{Sen}\left(\frac{2\pi}{P_h}\right)t \right] + \varepsilon_t \quad (08)$$

Onde:

ε_t são as distribuições normais ($\varepsilon : 0, \sigma^2$),

$t = 1, 2, 3, \dots, n$

$H \leq M - 1$ e

P_h = são os H números distintos do conjunto $\{n, n/2, n/3, \dots, n/(M - 1)\}$.

Investigando o modelo e considerando o modelo linear geral $Y = X\beta + \varepsilon$, onde temos:

$$X = \begin{bmatrix} 1 & \text{Cos}\left(\frac{2\pi}{P_1}\right).1 & \text{Sen}\left(\frac{2\pi}{P_1}\right).1 & \text{Cos}\left(\frac{2\pi}{P_2}\right).1 & \text{Sen}\left(\frac{2\pi}{P_2}\right).1 & \text{Cos}\left(\frac{2\pi}{P_H}\right).1 & \text{Sen}\left(\frac{2\pi}{P_H}\right).1 \\ 1 & \text{Cos}\left(\frac{2\pi}{P_1}\right).2 & \text{Sen}\left(\frac{2\pi}{P_1}\right).2 & \text{Cos}\left(\frac{2\pi}{P_2}\right).2 & \text{Sen}\left(\frac{2\pi}{P_2}\right).2 & \text{Cos}\left(\frac{2\pi}{P_H}\right).2 & \text{Sen}\left(\frac{2\pi}{P_H}\right).2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & \text{Cos}\left(\frac{2\pi}{P_1}\right).n & \text{Sen}\left(\frac{2\pi}{P_1}\right).n & \text{Cos}\left(\frac{2\pi}{P_2}\right).n & \text{Sen}\left(\frac{2\pi}{P_2}\right).n & \text{Cos}\left(\frac{2\pi}{P_H}\right).n & \text{Sen}\left(\frac{2\pi}{P_H}\right).n \end{bmatrix}$$

$$\beta' = [\beta, \alpha_1, \gamma_1, \alpha_2, \gamma_2, \dots, \alpha_H, \gamma_H]$$

$$Y' = [Y_1, Y_2, \dots, Y_n]$$

Para obter equações normais calcula-se $X'X$ e $X'Y$, obtendo:

$$X'X = \begin{bmatrix} n & \sum C_{1t} & \sum S_{1t} & \dots & \sum C_{Ht} & \sum S_{Ht} \\ \sum C_{1t} & \sum C_{1t}^2 & \sum C_{1t}S_{1t} & \dots & \sum C_{1t}C_{Ht} & \sum C_{1t}S_{Ht} \\ \sum S_{1t} & \sum S_{1t}C_{1t} & \sum S_{1t}^2 & \dots & \sum S_{1t}C_{Ht} & \sum S_{1t}S_{Ht} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \sum C_{Ht} & \sum C_{Ht}C_{1t} & \sum C_{Ht}S_{1t} & \dots & \sum C_{Ht}^2 & \sum C_{Ht}S_{Ht} \\ \sum S_{Ht} & \sum S_{Ht}C_{1t} & \sum S_{Ht}S_{1t} & \dots & \sum S_{Ht}C_{Ht} & \sum S_{Ht}^2 \end{bmatrix}$$

Onde as somatórias são para $t = 1, 2, 3, \dots, n$, e onde:

$$C_{ht} = \text{Cos}\left(\frac{2\pi}{P_h}\right)t \quad \text{e} \quad S_{ht} = \text{Sen}\left(\frac{2\pi}{P_h}\right)t$$

As seguintes relações podem ser mostradas:

$$\sum_{t=1}^n \text{Cos}\left(\frac{2\pi}{P_h}\right)t \cdot \text{Sen}\left(\frac{2\pi}{P_k}\right)t = 0, \quad \text{com } h = 1, 2, \dots, H \text{ e } k = 1, 2, \dots, H$$

$$\sum_{t=1}^n \text{Cos}\left(\frac{2\pi}{P_h}\right)t \cdot \text{Cos}\left(\frac{2\pi}{P_k}\right)t = 0, \quad \text{com } h = 1, 2, \dots, H \text{ e } k = 1, 2, \dots, H \text{ e } h \neq k$$

$$\sum_{t=1}^n \text{Sen}\left(\frac{2\pi}{P_h}\right)t \cdot \text{Sen}\left(\frac{2\pi}{P_k}\right)t = 0, \quad \text{com } h = 1, 2, \dots, H \text{ e } k = 1, 2, \dots, H \text{ e } h \neq k$$

$$\sum_{t=1}^n \text{Cos}\left(\frac{2\pi}{P_h}\right)t = \sum_{t=1}^n \text{Sen}\left(\frac{2\pi}{P_h}\right)t = 0, \quad \text{com } h = 1, 2, \dots, H$$

$$\sum_{t=1}^n \text{Cos}^2\left(\frac{2\pi}{P_h}\right)t = \sum_{t=1}^n \text{Sen}^2\left(\frac{2\pi}{P_h}\right)t = \frac{n}{2}, \quad \text{com } h = 1, 2, \dots, H$$

Onde P_h são números H distintos do conjunto $\{n, n/2, n/3, \dots, n/(M-1)\}$.

Então:

$$X'X = \begin{bmatrix} n & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \frac{n}{2} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & \frac{n}{2} & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{n}{2} \end{bmatrix} \quad \text{e} \quad X'Y = \begin{bmatrix} \sum Y_t \\ \sum Y_t \text{Cos}\left(\frac{2\pi}{P_1}\right)t \\ \sum Y_t \text{Sen}\left(\frac{2\pi}{P_1}\right)t \\ \dots \\ \sum Y_t \text{Cos}\left(\frac{2\pi}{P_H}\right)t \\ \sum Y_t \text{Sen}\left(\frac{2\pi}{P_H}\right)t \end{bmatrix}$$

Tendo a estimativa ($\hat{\cdot}$), podemos escrever:

$$\hat{\beta} = (X'X)^{-1}.X'Y \text{ e } \hat{\sigma} = (n - 2H - 1)^{-1}.(Y'Y - \hat{\beta}'X'Y), \text{ onde obteremos: } \hat{\beta} = \overline{(Y)}$$

$$\hat{\alpha}_h = \left(\frac{2}{n}\right) \sum_{t=1}^n Y_t \text{Cos}\left(\frac{2\pi}{P_h}\right)t, \quad \text{com } h = 1, 2, \dots, H$$

$$\hat{\gamma}_h = \left(\frac{2}{n}\right) \sum_{t=1}^n Y_t \text{Sen}\left(\frac{2\pi}{P_h}\right)t, \quad \text{com } h = 1, 2, \dots, H$$

$$\begin{aligned} \hat{\sigma}^2 &= (n - 2H - 1)^{-1} \left[\sum_{t=1}^n Y_t^2 - \hat{Y} \sum_{t=1}^n Y_t - \left(\frac{n}{2}\right) \sum_{h=1}^H (\hat{\alpha}_h^2 + \hat{\gamma}_h^2) \right] = \\ &= (n - 2H - 1)^{-1} \left[\sum_{t=1}^n (Y_t - \hat{Y})^2 - \left(\frac{n}{2}\right) \sum_{h=1}^H (\hat{\alpha}_h^2 + \hat{\gamma}_h^2) \right] \end{aligned}$$

Desta forma, o modelo trigonométrico será expresso por:

$$Y_t = \beta + \sum_{h=1}^H \left[\alpha_h \text{Cos}\left(\frac{2\pi}{P_h}\right)t + \delta_h \text{Sen}\left(\frac{2\pi}{P_h}\right)t \right] + \varepsilon_t \quad (09)$$

Onde:

Y_t = temperatura no tempo (data do calendário Juliano) t .

ε_t são as distribuições normais ($\varepsilon : 0, \sigma^2$).

$t = 1, 2, 3, \dots, n$. Sendo n o tempo t na data do calendário Juliano.

H, P_1, P_2, \dots, P_H são números específicos tal que $H \leq M - 1$.

$P_1, P_2, \dots, P_H =$ são H distintos e números específicos do conjunto $\{n, n/2, \dots, n/(M - 1)\}$.

β, α e δ são parâmetros desconhecidos.

$P =$ é a constante conhecida de dias do ano (365).

Com estimadores máximos de $\beta, \alpha_1, \delta_1, \dots, \alpha_H, \delta_H$, e σ^2 sendo:

$$\hat{\beta} = \overline{(Y)}$$

$$\hat{\sigma}^2 = (n - 2H - 1)^{-1} \left[\sum_{t=1}^n (Y_t^2 - \hat{Y})^2 - \left(\frac{n}{2}\right) \sum_{h=1}^H (\hat{\alpha}_h^2 + \hat{\gamma}_h^2) \right]$$

$$\hat{\alpha}_h = \left(\frac{2}{n}\right) \sum_{t=1}^n Y_t \cdot \text{Cos}\left(\frac{2\pi}{P_h}\right)t, \quad \text{com } h = 1, 2, 3, \dots, H$$

$$\hat{\gamma}_h = \left(\frac{2}{n}\right) \sum_{t=1}^n Y_t \cdot \text{Sen}\left(\frac{2\pi}{P_h}\right)t, \quad \text{com } h = 1, 2, 3, \dots, H$$

3.7 ESPACIALIZAÇÃO DAS REGIÕES DE TEMPERATURA

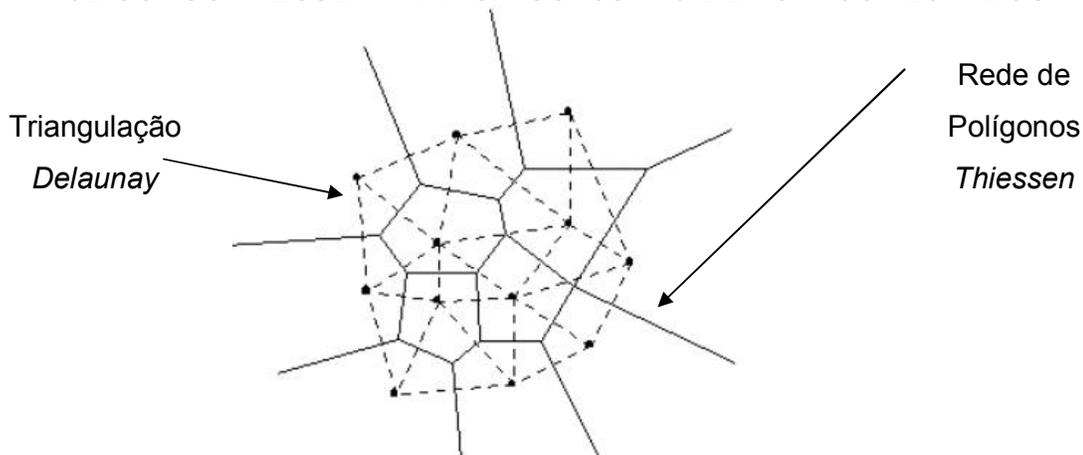
Quando não estão disponíveis dados em quantidade suficiente para se obter mapas de isolinhas ou mapas de contorno de um dado atributo para a região em estudo, é necessário recorrer a métodos que permitam estimar esses valores através dos já disponíveis. A técnica utilizada é chamada de interpolação, que é um procedimento de estimação do valor de um atributo em locais não amostrados a partir de pontos amostrados na mesma área ou região. A interpolação espacial converte dados de observações pontuais em campos contínuos, produzindo padrões espaciais que podem ser comparados com outras entidades espaciais contínuas. O raciocínio consiste em que a interpolação é, em média, valores do atributo que tendem a ser similares em locais mais próximos e menos similares em locais mais afastados (*Tobler's Law of Geography*).

Na confecção de mapas interpolados denominados de isolinhas ou isovalores, que mostram a variabilidade dos dados de temperatura e usados como entrada de dados em Sistemas de Informação Geográfica, não se podem ter certeza dos seus limites de confiança em relação aos valores estimados depois de processados e apresentados os resultados. O mesmo ocorre nos Sistemas de Informação Geográfica mais complexos e completos (LOURENÇO, 1998).

3.7.1 Geração da malha de interpolação

A interpolação IDW é resultante de uma constante ou de uma função planificada por gradientes ou quadrática, tendo na interpolação pela vizinhança natural (*Natural Neighbor Interpolation – NNI*) o método utilizado para computar os pesos e a seleção do subconjunto dos pontos plotados a serem interpolados. A interpolação NNI dos pontos plotados é baseada na rede de polígonos *Thiessen* (BRASSEL e REIF, 1979). Uma rede de polígonos *Thiessen* pode ser construída a partir da triangulação *Delaunay*, que é um modelo em que os pontos plotados são unidos por triangulações (Figura 1), semelhante ao utilizado para determinar o modelo geográfico vetorial ou modelo da rede irregular de triângulos (*Triangulated Irregular Network - TIN*). Haverá um polígono *Thiessen* na rede para cada ponto base plotado e este envolve a área que é mais próxima aos pontos envolvidos englobando o ponto base (RHYNSBURGER, 1973).

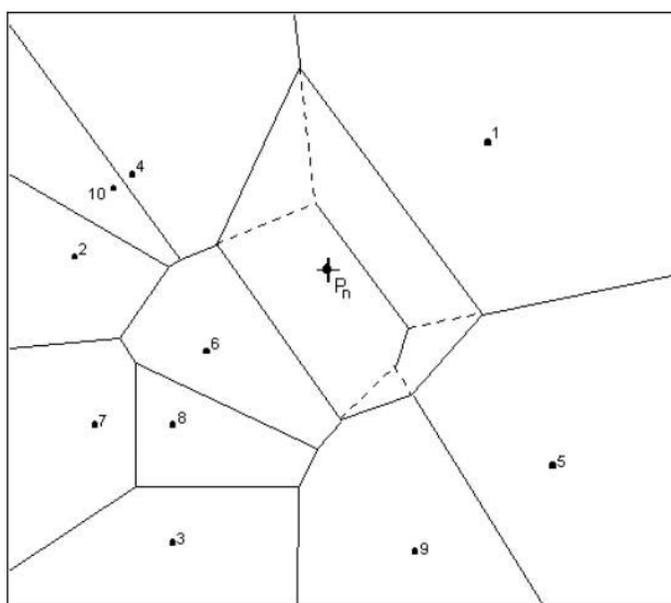
FIGURA 1 – TRIANGULAÇÃO *DELAUNAY* E CORRESPONDENTE REDE DE POLÍGONOS *THIESSSEN* PARA UM CONJUNTO DE PONTOS PLOTADOS.



FONTE: WWW.EMS-I.PT - 2006

Os polígonos no interior do conjunto dos pontos plotados são polígonos fechados e os polígonos dos pontos da borda (ou fora da área envolvente) são polígonos abertos (Figura 2). Cada polígono *Thiessen* é construído usando os circuncírculos dos triângulos resultantes da triangulação *Delaunay* dos pontos plotados, de forma que os vértices dos polígonos *Thiessen* correspondem aos centróides dos circuncírculos dos triângulos.

FIGURA 2 – REDE DE POLÍGONOS *THIESSSEN* RESULTANTES DA INTERPOLAÇÃO SOBRE PONTOS.



FONTE: WWW.EMS-I.PT - 2006

A figura 2 mostra graficamente o conceito de coordenadas locais que envolve o conceito da triangulação *Delaunay* e correspondente rede de polígonos *Thiessen*. O ponto Pn é o ponto base a partir do qual os pontos plotados 1-10 serão interpolados. Os pontos intercalados mostram os lados da rede *Thiessen* antes de Pn ser temporariamente inserido no TIN e as linhas sólidas mostram os lados da rede *Thiessen* depois de Pn ser inserido.

Entretanto, deve-se tratar da extrapolação das regiões mostradas na figura 02, cujos polígonos *Thiessen*, no perímetro da área, são polígonos abertos. Como estes polígonos têm uma área infinita, não podem ser usados diretamente para NNI. Uma técnica é usada para facilitar a interpolação das áreas e consiste em, antes da interpolação, determinar as fronteiras X e Y do objeto que está sendo interpolado, com uma caixa sendo fixada ao redor dos objetos cujas fronteiras excedam os limites, com quatro pseudopontos plotados criados para fornecer o contorno da caixa, chamado *Bounding Box* (TSAI, 1993). Destes pontos em diante, seus valores extrapolados são incluídos com os pontos plotados dentro do *Bounding Box* para proceder à estimativa dos valores de dados da área; conseqüentemente, todos os pontos a serem interpolados doravante têm a garantia de estarem dentro do processo interpolativo e, depois de completada a interpolação, os pseudopontos plotados são descartados ou mantidos para efeito de delimitação da área que envolve as regiões.

3.7.1.1 Princípio da Triangulação Delaunay

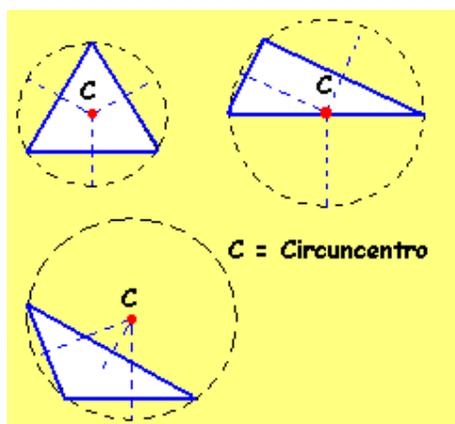
A triangulação de Delaunay é a mais freqüentemente utilizada na construção de MDT's (Modelos Digitais de Terrenos). Como principal característica desse método para o desenho de uma rede irregular de triângulos, destaca-se a circunstância de que a circunferência definida por três pontos correspondentes aos vértices de um triângulo da rede de interpolação, não conter qualquer outro ponto do conjunto de pontos que definem a triangulação.

A construção de uma rede de interpolação está intimamente ligada ao desenho dos polígonos de Voronoi (Diagrama de Voronoi), e que consiste numa divisão do espaço em polígonos, em que cada polígono constitui o conjunto de pontos do espaço mais próximo de um dado ponto, de entre o conjunto de pontos que constituem a rede, do que qualquer outro do mesmo conjunto. No caso em que

verifique que mais de três pontos da rede sejam cocirculares, então a triangulação de Delaunay não é única.

Para o início do método, escolhe-se um dos pontos da rede, que em geral se deve situar num dos cantos da área de trabalho. O processo inicia-se pelo traçado de duas circunferências com o mesmo raio, a colocar no “ponto inicial” e o ponto que lhe está mais próximo (distância Euclidiana). Determina-se o circuncentro do um triângulo (de circun + centro), que é o ponto de encontro das mediatrizes dos lados do triângulo. O circuncentro pode ser interno ou externo ao triângulo. É também o centro da circunferência circunscrita ao triângulo (Figura 3).

FIGURA 3 – CIRCUNCENTRO DE UM TRIÂNGULO.



FONTE: GEOMETRICA(UEL) - 2006

O raio das circunferências deve ser superior a metade do comprimento do segmento que une os dois pontos referidos. Pelos pontos de intersecção das duas circunferências obtém-se o segmento que é perpendicular ao segmento que une os dois pontos e que passa pelo seu ponto médio.

O processo continua, do ponto início para o ponto seguinte que está mais próximo do ponto inicial, procedendo-se da mesma forma. Obtém-se um novo segmento de reta, agora perpendicular ao segmento que une os dois novos pontos e que passa pelo seu ponto médio. O ponto de intersecção dos dois segmentos perpendiculares obtidos corresponde ao centro da circunferência, que irá passar pelos três pontos da rede.

Após o traçado da circunferência que passa pelos três pontos, deve-se garantir que não se incluirá, no seu interior, mais nenhum ponto da rede. Se assim for, obtém-se o primeiro triângulo da rede, determinado pelo método da triangulação

de Delaunay. O processo continua e propaga-se para os restantes pontos da rede. Por fim, realiza-se o fecho das concavidades mais relevantes da rede.

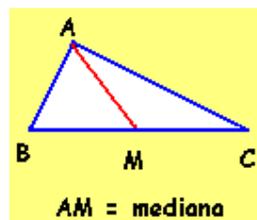
O método para construção da triangulação de Delaunay, usando uma abordagem incremental para fins computacionais, baseia-se na geração de um triângulo inicial, e da inserção, um por um, dos demais pontos do conjunto original, exatamente conforme descrito anteriormente. O ponto inserido cria dois novos triângulos e verifica-se a satisfação da propriedade do círculo circunscrito. Caso o critério não seja atendido, modifica-se a triangulação para que se obtenha a triangulação de Delaunay. Um algoritmo recursivo para geração da triangulação de Delaunay consiste em subdividir o conjunto S de pontos em dois subconjuntos S_X e S_Y . Em seguida, determina-se a triangulação de cada subconjunto recursivamente e finalmente faz-se a junção numa só triangulação. Dos métodos descritos, esta abordagem apresenta menor complexidade, em ordem de n , onde n é o número de pontos, enquanto as demais apresentam complexidades quadráticas, sendo o desejável uma complexidade $n \log n$.

3.7.1.2 Diagrama de Voronoi

Um diagrama de Voronoi consiste na divisão do espaço em polígonos, em que cada polígono constitui o conjunto de pontos do espaço mais próximo de um dado ponto, do conjunto de todos os pontos da rede, do que qualquer outro do mesmo conjunto (BOOTS et al., 1995). Nesta tese foi usado o diagrama de Voronoi para determinar as regiões que englobam as AWS em toda a área do Estado do Paraná.

O diagrama de Voronoi de dois pontos é a mediana do segmento que os une. Mediana é o segmento de reta que une um vértice ao ponto médio do lado oposto (Figura 4):

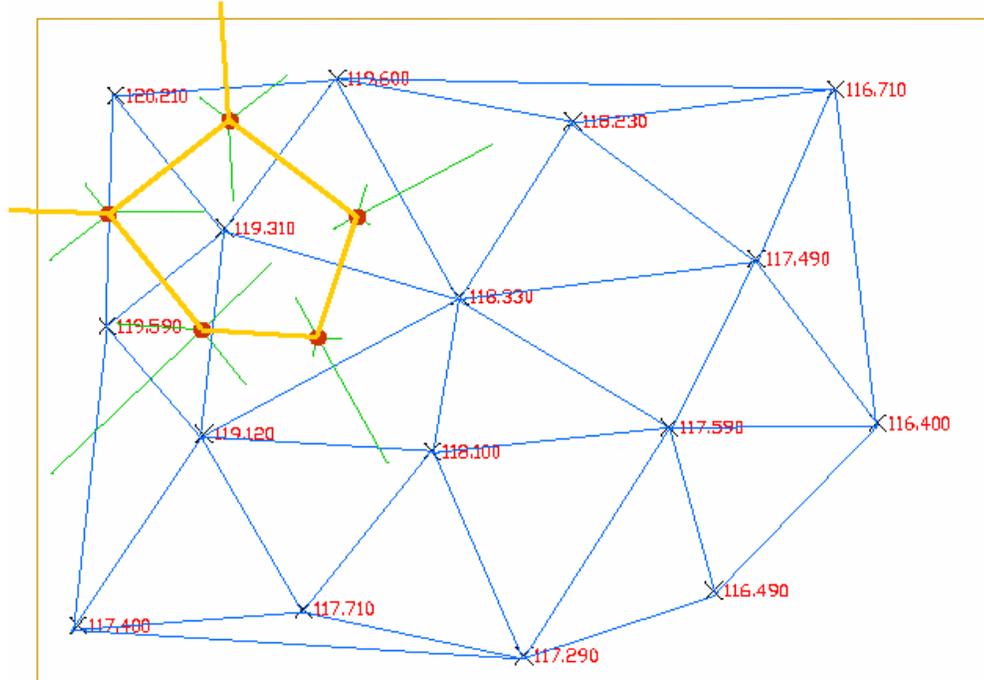
FIGURA 4 – MEDIANA DE UM TRIÂNGULO.



FONTE: GEOMETRICA (UEL) - 2006

O desenho do Diagrama de Voronoi a partir da triangulação de Delaunay é a opção mais comum quando se recorre a algoritmos de desenho de triangulação. No entanto, o desenho da triangulação de Delaunay a partir do Diagrama de Voronoi é imediato, estabelecendo-se as uniões entre pontos que partilham arestas do diagrama de Voronoi (REZENDE et al., 2000). A partir dos lados dos triângulos que compõem a rede, desenham-se as medianas dos mesmos (Figura 5).

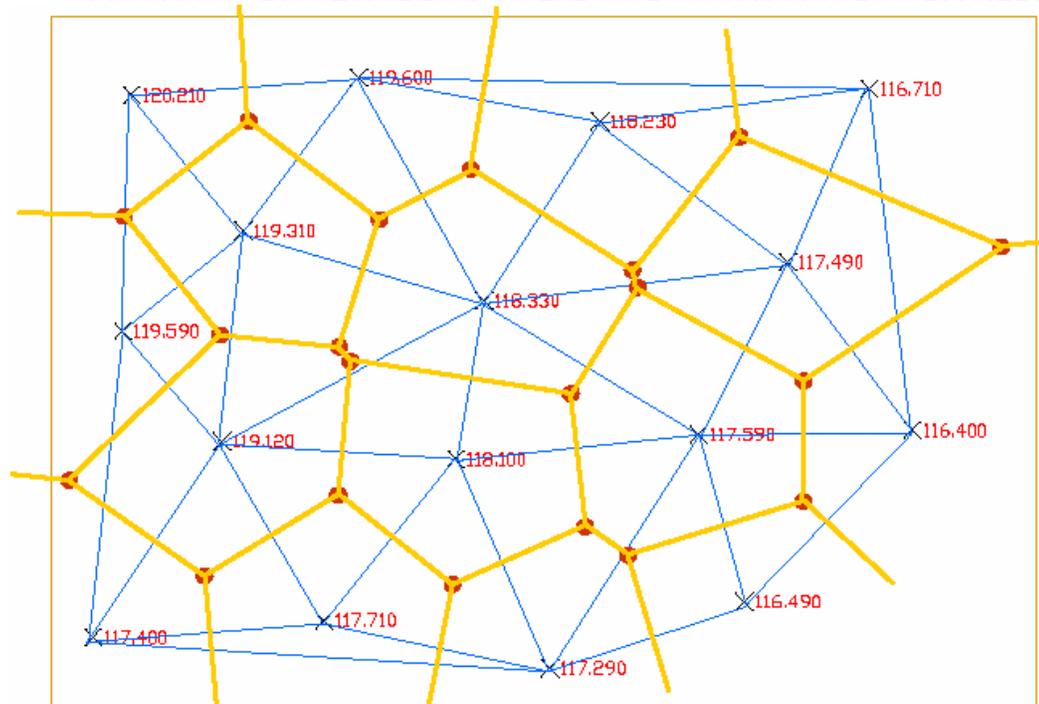
FIGURA 5 – MEDIANAS DOS TRIÂNGULOS DE DELAUNAY



FONTE: IPBEJA-PORTUGAL - 2006

Os polígonos que compõem o diagrama de Voronoi são obtidos a partir das bissetrizes dos lados dos triângulos que compõem a rede (Figura 6).

FIGURA 6 – BISSETRIZES DOS LADOS DOS TRIÂNGULOS DA REDE.



FONTE: IPBEJA-PORTUGAL - 2006

4 MATERIAL E MÉTODOS

Este capítulo apresenta a formatação dos dados, análise estatística sobre os modelos estático e dinâmico, assim como a apresentação dos diagramas para a modelagem do sistema computacional.

4.1 MATERIAL

Nesta sessão é descrita a área de estudo, os dados de apoio e os diversos tipos de software utilizados.

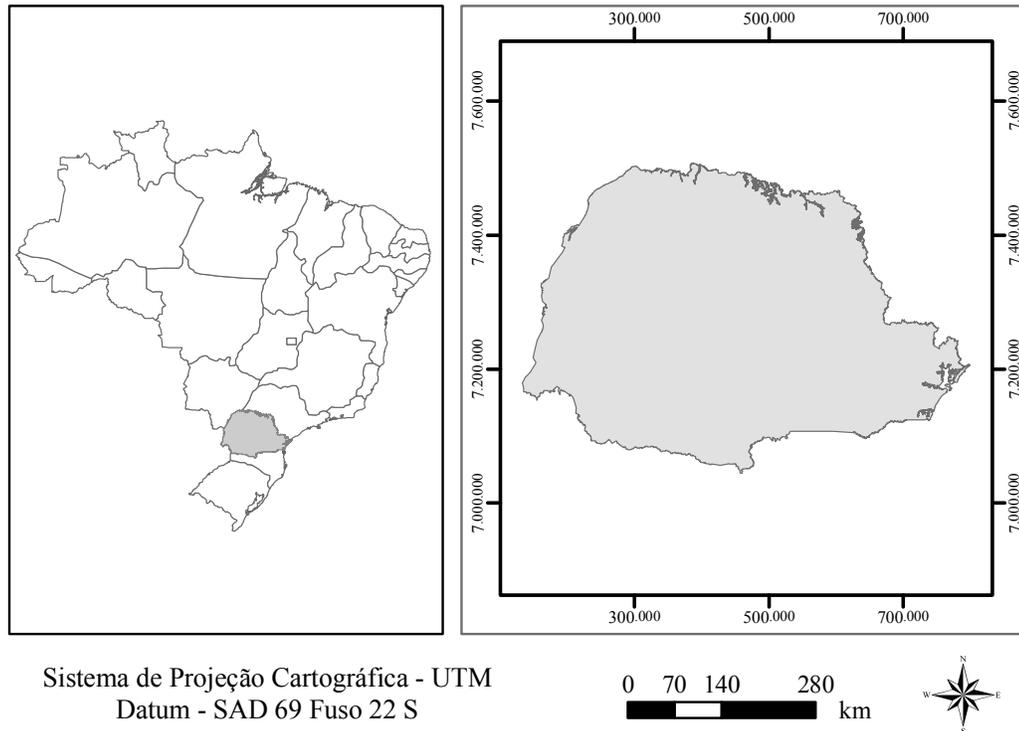
4.1.1 Área de Estudo

O Estado do Paraná, área de estudo deste projeto, é uma das 27 unidades federativas do Brasil. Ocupa uma área de 199.880 km², estendendo-se do litoral ao interior (Figura 7). Tem como limites São Paulo (a norte e nordeste), oceano Atlântico (leste), Santa Catarina (sul), Argentina (sudoeste), Paraguai (oeste) e Mato Grosso do Sul (noroeste).

De acordo com o IBGE (2006), o clima é subtropical quente e úmido, é também subtropical mesotérmico e úmido (Cfa, Cfb), possuindo influências das massas de ar Tropical Atlântica, Polar Atlântica e Tropical Continental.

Também afirmado pela Agência Brasil, Governo do Estado do Paraná e Simepar, o clima predominante no Paraná é o subtropical, com verões quentes e invernos frios. Segundo a classificação de Köppen, o clima subtropical apresenta três variações climáticas: *Cfa*, *Cfb* e *Cwa*. O clima *Cfa*, subtropical com chuvas bem distribuídas durante o ano e verões quentes, ocorre nas partes mais baixas do planalto de Guarapuava, isto é, nas regiões norte, no centro-oeste, no oeste, no sudoeste, no vale do Ribeira e na Baixada Litorânea. Registra temperaturas médias anuais de 19° C e pluviosidade de 1.500mm anuais, algo mais elevada na costa do que no interior.

FIGURA 7 – LOCALIZAÇÃO DO ESTADO DO PARANÁ.



O clima *Cwa*, subtropical com verões quentes e invernos secos, ocorre no extremo noroeste do estado. É o chamado clima tropical de altitude, pois ao contrário dos climas *Cfa* e *Cfb* que registram chuvas bem distribuídas no decorrer do ano, este apresenta pluviosidade típica dos regimes tropicais com invernos secos e verões chuvosos. A temperatura anual varia em torno de 20° C e a pluviosidade alcança 1.300mm anuais.

O clima *Cfb*, subtropical com chuvas bem distribuídas durante o ano e verões amenos, ocorre na porção mais elevada do estado e envolve o planalto de Curitiba, o planalto de Ponta Grossa e a parte oriental do planalto de Guarapuava. As temperaturas médias anuais variam em torno de 17° C e são inferiores aos 20°C. O índice pluviométrico anual alcança mais de 1.200mm anuais.

O verão costuma ser quente e chuvoso em todo o estado. As áreas mais próximas ao oceano beneficiam-se da maritimidade que funciona como um regulador térmico que evita o calor excessivo. Ainda sim podem ser registrados algumas vezes durante o verão temperaturas superiores aos 40°C na área litorânea (sendo muito freqüentes em Paranaguá e Antonina) e até 35°C em Curitiba. Já as regiões ocidentais do estado são muito mais quentes, sendo registrados freqüentemente

valores superiores a 40°C no vale do Rio Paraná, acima dos 35°C no oeste/noroeste e acima dos 30°C no sudoeste.

No inverno, a maritimidade age de modo oposto ao verão, evitando o frio excessivo no leste. Por isso, temperaturas negativas são muito mais comuns no lado ocidental do estado, até mesmo em cidades de baixa altitude como Foz do Iguaçu. As geadas são freqüentes, principalmente nas áreas elevadas nos arredores de Guarapuava e Palmas. Pequenas nevasdas ocorrem uma ou outra vez. Em eventos extremos (como Julho de 1975) pode nevar em praticamente toda a área meridional do estado. Todavia, o inverno não é frio sempre e até mesmo tende a ter mais períodos amenos que frios propriamente dito, intercalados por alguns dias de, aí sim, frio intenso, principalmente após as frentes frias (massas de ar). As menores temperaturas do estado costumam ocorrer no interior do município de Palmas, que além de ser o ponto mais ao sul do estado (26°S), é uma das áreas mais elevadas também (entre 1200m e 1400m). Nessa região, as temperaturas são estimadas para já terem alcançado patamares inferiores a até -12°C, visto que o equipamento de coleta de dados climáticos, denominada estações meteorológicas (AWS) na cidade (que fica a 1100 m de altitude) registrou a temperatura de -11,5°C em julho de 1975.

Seu relevo é dos mais expressivos: cerca de 52% do território do Paraná encontra-se acima de 600m e 45% acima de 300 metros; somente 3% fica abaixo de 200 metros. O relevo é plano e levemente ondulado, com fortes elevações na Serra do Mar.

O território do Paraná é revestido por dois tipos de vegetação original: florestas e campos. As florestas são subdivididas em floresta tropical e floresta subtropical. Os campos são subdivididos em campos limpos e campos cerrados.

4.1.2 Objeto de Estudo: *Pinus taeda*

A Associação Catarinense de Empresas Florestais (2007) afirma que o *Pinus taeda* é natural das regiões Sul e Sudeste dos Estados Unidos, geograficamente localizadas entre as latitudes 28° e 39°N e longitudes 75° a 97°W. A precipitação média anual naquela região varia de 900 a 2.200 mm, com boa distribuição durante o ano, ou estacional, com até dois meses de seca. A temperatura média anual varia de 13°C a 19°C, com média das máximas do mês mais quente entre 20°C e 25°C e a média das mínimas do mês mais frio entre 4°C e 8°C. A área de ocorrência de

Pinus taeda é dividida em duas partes. A área maior ocorre a leste do rio *Mississippi*, formando populações contínuas de *Mississippi* até *Delaware*. A oeste do rio *Mississippi* ocorre uma população isolada, em uma região sujeita a secas mais prolongadas, no Texas.

O *Pinus taeda* é, portanto, uma planta exótica no Brasil, e pode ser plantada em vários biomas: campo, cerrado, mata com araucária, entre outros. Prefere áreas sem ocorrência de geada, podendo suportar áreas com geadas leves e até severas, o que pode ocasionar danos em sua fase de germinação e crescimento inicial, e aceita regiões com drenagem do solo livre, úmido e inclusive inundável (HIGA et al., 2003).

De acordo com a Embrapa (2005):

em toda a região de ocorrência de *P. taeda*, o clima é úmido, temperado-ameno, com verões quentes e longos. A precipitação média anual varia de 1.020 mm a 1.520 mm e o período livre de geadas varia de cinco meses na parte norte até dez meses, na parte costeira sul. As temperaturas médias anuais variam de 13° C a 24° C, podendo chegar à mínima extrema de -23° C. No Brasil, esta espécie se desenvolve bem nas regiões com clima fresco e inverno frio, com disponibilidade constante de umidade durante o ano. Esta condição é encontrada em todo o planalto das Regiões Sul e Sudeste.

O *Pinus taeda* pode ser plantado no planalto das regiões Sul e Sudeste, em solo bem drenado, onde não haja déficit hídrico. Isto inclui as partes serranas do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná, bem como as partes mais chuvosas do Sul dos estados de São Paulo e Minas Gerais (EMBRAPA, 2005).

As condições climáticas são consideradas os elementos referenciais para diferenciar as regiões que melhor exprimam as exigências e tolerâncias das espécies arbóreas. Para tal a umidade e a temperatura são extremamente importantes. A umidade está relacionada ao ciclo hídrico da região. A precipitação total anual isoladamente tem pouco valor. Quando a umidade é correlacionada com a temperatura adquire maior expressão. A distribuição anual das chuvas tem grande importância, pois a atividade vegetativa das espécies está condicionada a disponibilidade de água que pode ser contínua ou periódica.

Assim, as exigências biofísicas do *Pinus taeda*, fator determinante e central deste projeto, culmina com informações importantes para delimitá-lo geograficamente em termos de melhor aproveitamento produtivo, chegando à

conclusão de que a temperatura referente aos meses mais frios pode variar de 4°C a 18°C, a temperatura média anual gira em torno de 13°C a 19°C e a temperatura referente aos meses mais quentes varia de 20°C a 25°C, em altitudes que variam de 0 (zero) a 2.500 metros, com distribuição de chuvas, que podem variar de 900 mm a 2200 mm, uniforme, principalmente no verão (HIGA et al., 2003).

Contudo, regiões carentes de estações meteorológicas (AWS) apresentam dúvidas quanto a seus limites para monitoramento de temperatura, e essa condição tem sido corrigida em classificações modernas, mediante a aplicação de técnicas de interpolação, que permitem a estimativa e a distribuição de dados em redes de pontos e células uniformemente espaçadas (GOLFARI et al., 1978) e, conforme citado, pode-se trabalhar com técnicas estatísticas multivariadas que evidenciem um período de medição (aproximadamente dez anos) para a temperatura de forma adequada.

4.1.3 Dados de Produção do *Pinus taeda*

Como subsídio, com a finalidade de melhor comparar áreas de produção, a Holz Consultoria forneceu dados das principais regiões produtoras de *Pinus taeda* no Estado do Paraná. Os dados foram espacializados (Figura 8) em um mapa que possibilita a comparação e validação futura dos valores de produtividade, de regiões delimitadas por temperaturas por parte do software desenvolvido, resultando na confirmação das áreas de possível produção da espécie.

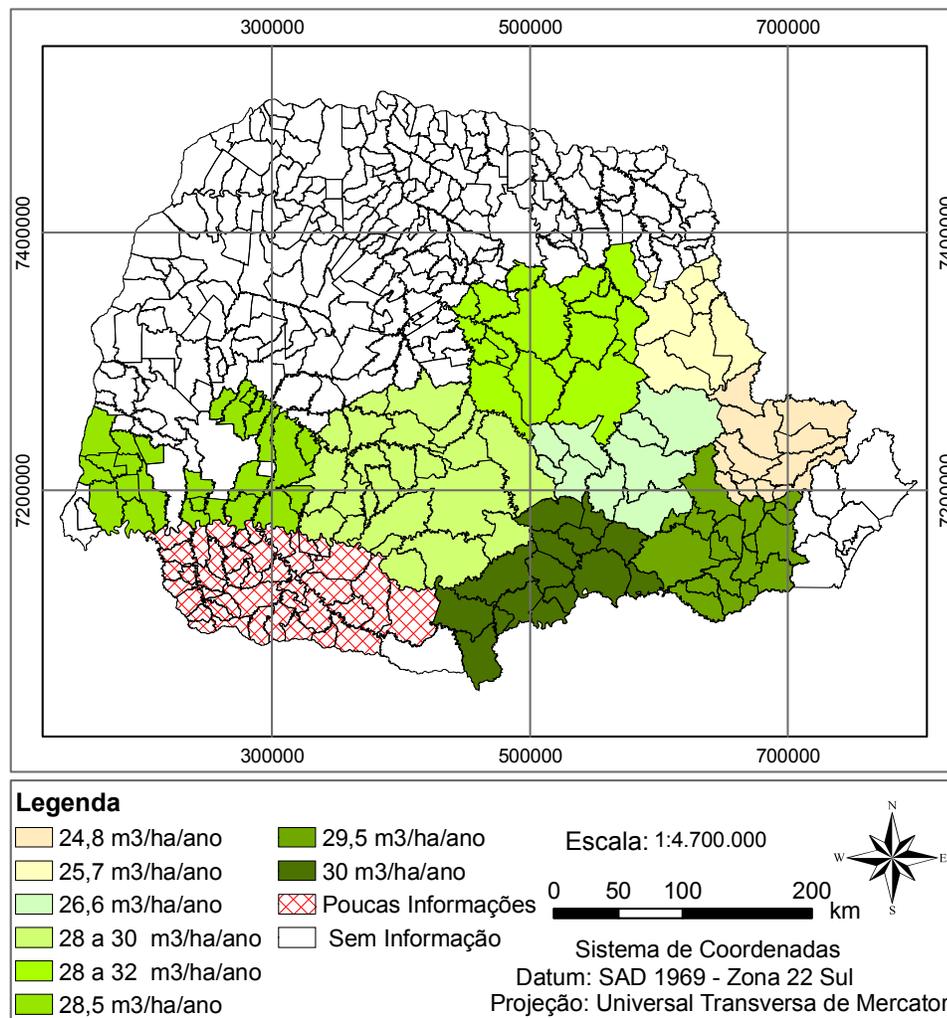
4.1.4 Dados de Temperatura

Os dados históricos de temperatura, para o Estado do Paraná foram disponibilizados pelo Simepar e Iapar, contando com registro histórico de aproximadamente dez anos, em termos de valores das temperaturas diárias: mínima, média e máxima, das 50 estações meteorológicas utilizadas pelas instituições.

O banco de dados das temperaturas foi recebido com alguns erros de leitura de temperatura por parte das AWS (erros aleatórios, de medição, quebra da estação, falha de comunicação entre outros), que foram corrigidos tomando as temperaturas dos dias anteriores e posteriores de forma a obter média das mesmas para corrigir o erro, sendo conferidos um-a-um para dirimir discrepâncias (por

exemplo, temperatura máxima diária de 70° C ou mínima de -42° C) em alguns casos.

FIGURA 8 – MAPA INDICATIVO DA PRODUÇÃO DE *Pinus taeda* NO ESTADO DO PARANÁ



FONTE: HOLZ CONSULTORIA (2007).

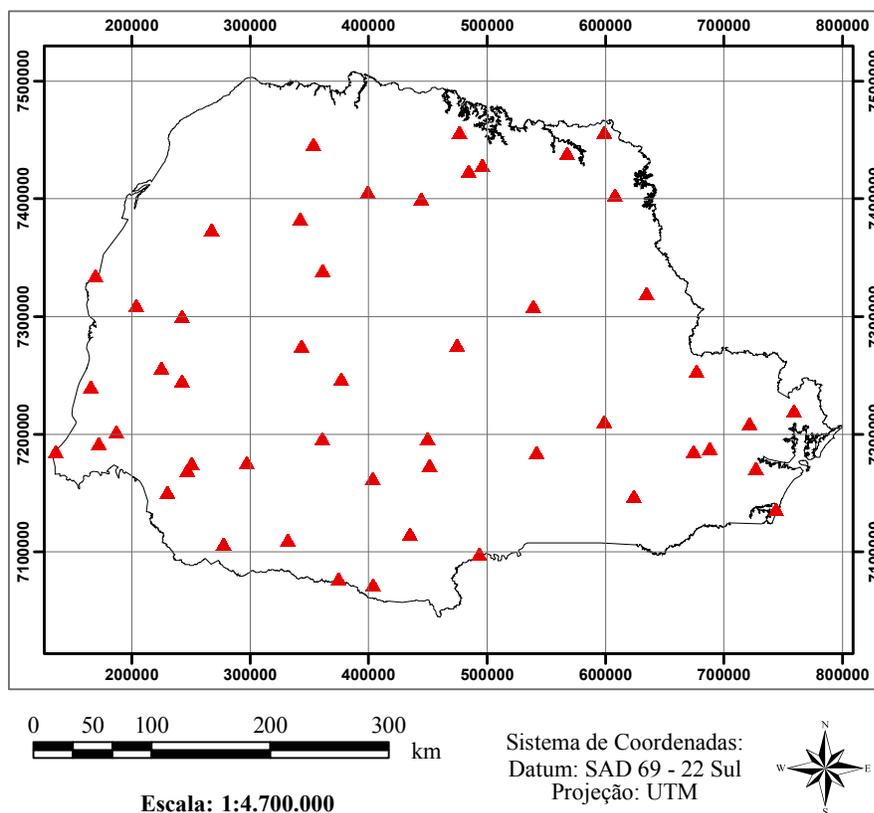
O arquivo recebido em formato texto (.txt), foi convertido em formato de banco de dados (.dbf), de acordo com sua apresentação de temperaturas diárias por AWS.

As variáveis climáticas disponibilizadas e utilizadas neste projeto são baseadas em valores das coordenadas geográficas e da altitude, de cada estação meteorológica atualmente disponível, em uso e cedida pelo Simepar e Iapar no Paraná, sendo fornecida a localização de cada estação meteorológica definida por

coordenadas geográficas de longitude (λ) e pela latitude (ϕ), considerando também a altitude (em metros).

A figura 9 apresenta a localização de cada estação meteorológica utilizada neste projeto. As coordenadas já estão convertidas para o sistema Universal Transverso de Mercator.

FIGURA 9 – LOCALIZAÇÃO DAS 50 AWS DO SIMEPAR-IAPAR NO ESTADO DO PARANÁ.



A facilidade de particionar elementos do modelo em subconjuntos menores, chamados pacotes (Figura 11), inclui a separação de responsabilidades implícitas na arquitetura, além de aglutinar elementos detalhados em abstrações maiores – dando uma visão de nível mais alto e permitindo visualizar um modelo em agrupamentos simples. A esta arquitetura soma-se a abordagem 3D (três dimensões), conforme afirma Fowler (1996, p. 45):

...a abordagem em três dimensões favorece o alto desenvolvimento nos processos de software, sendo eles: Diagnóstico, concentrando pontos principais; Desenvolvimento, desenvolvendo um plano de atualizações e Entrega: dos processos integrais do negócio.

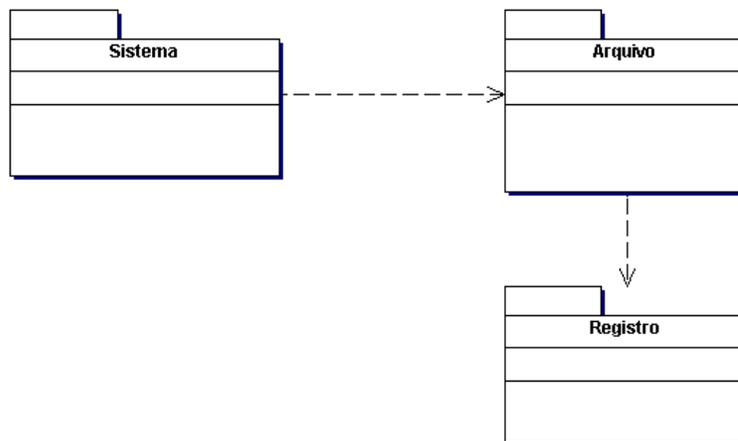
4.1.5 Arquitetura do Sistema Proposto

A arquitetura do sistema baseia-se, e é construída em três camadas (Figura 10), que incluem, de acordo com Silberschatz et al. (1989): interface de usuário (apresentação), regras do domínio e tarefas de processos (lógica da aplicação) e mecanismo de persistência de dados (armazenamento) que são detalhados em termos de pacotes, acrescidos de dependências entre os mesmos (LARMAN, 2000).

FIGURA 10 - UNIDADES DA ARQUITETURA EXPRESSA EM TERMOS DE PACOTES UML.

CAMADA	DESCRIÇÃO
Apresentação	Apresentação
Lógica da Aplicação	Domínio
	Serviços
Armazenamento	Banco de Dados

FIGURA 11 - PACOTES EM UML PERMITEM A VISUALIZAÇÃO EM CAMADAS.



4.1.6 Software de Apoio

Muitos sistemas computacionais foram utilizados neste projeto. Tratam-se de linguagens de programação, ambientes gráficos e de desenvolvimento de sistemas, aplicativos estatísticos, planilhas e banco de dados, de domínio público ou com licença paga (proprietários). Cada um está descrito na tabela 1 com sua respectiva razão de uso.

TABELA 1 – SISTEMAS COMPUTACIONAIS UTILIZADOS

Software	Motivo de Uso
R	Cálculo dos coeficientes do modelo dinâmico e plotagem das curvas de temperatura. Foi o software estatístico mais utilizado, recomendando seu uso pela facilidade de interação e agilidade.
UML (Unified Modeling Language)	Elaboração da estrutura de projeto de software, cujo vocabulário e regras têm seu foco voltado para a representação conceitual e física do sistema.
<i>Borland® Together®</i>	Modelagem e desenho da arquitetura de software. Geração da ponte entre a organização da tecnologia empregada (linguagem e ambientes para elaborar sua estrutura e linguagem de programação) e o negócio.
<i>Borland® Together® for Eclipse</i>	Análise dos processos de negócios e da modelagem de diagramas durante a criação do software aplicativo.
<i>Visual Paradigm 5.2 for UML Community Edition</i>	Análise dos processos de negócios e da modelagem de diagramas durante a criação/desenvolvimento do software aplicativo.
<i>Java™ Platform, Standard Edition 6 Development Kit – JDK™ 6</i>	Desenvolvimento do sistema computacional aplicativo, <i>applets</i> e componentes.
SPSS v.13® for Windows	Definição dos coeficientes de determinação múltipla, tabela ANOVA e outros resultados estatísticos. Testar e comprovar o uso dos modelos matemático (estático e dinâmico) para estimar temperaturas.
<i>Statgraphics® 4.1 Plus for Windows</i>	Cálculos de regressões lineares aos modelos matemáticos, obtenção dos coeficientes e outros resultados estatísticos. Testar e comprovar a hipótese de uso dos modelos matemáticos, e também para comparar seus resultados em relação ao programa SPSS.
<i>Delphi 7.0 for Windows</i>	Conversão dos dados de temperatura recebidos do arquivo no formato <i>.txt</i> para o formato <i>.dbf</i> ,
<i>ArcGIS 9.1</i>	Criação de mapas, gestão dos dados, análise geográfica, edição de dados e geoprocessamento e outras tarefas SIG.

4.2 METODOLOGIA

A metodologia adotada para execução deste projeto consistiu em obter os dados de temperatura e das coordenadas geodésicas em arquivo digital no formato texto (*.txt*) e, conforme apresentado no fluxograma da figura 12, as coordenadas foram convertidas para o sistema UTM e logo em seguida agregadas ao arquivo de dados de clima, de modo a formar uma única base de dados.

Com uma base de dados unificada foi possível utilizar seus registros para gerar vários outros arquivos de dados, separados por médias diárias por estação climática do ano (Primavera.dbf, Verão.dbf, Outono.dbf e Inverno.dbf) e também para médias mensais (MediasClima.dbf), além da base inteira consolidada

(Climas.dbf). Estes arquivos formatados foram utilizados para realizar regressões lineares múltiplas no programa *SPSS v.13* e no *StatGraphics*, obtendo os coeficientes das regressões, os coeficientes de determinação, bem como outros valores estatísticos para análise e, nessa fase, foi também submetido à regressão o modelo dinâmico que foi ampliado para o caso da natureza cíclica deste projeto, utilizando uma distribuição normal. A exceção foi o uso dos interpoladores kriging que, em vez de assumir uma distribuição normal em cada posição da estimativa, eles constroem uma função de distribuição cumulativa (CDF ou FDC) em cada ponto baseado na estrutura do comportamento e da correlação de pontos de dados transformados em indicadores de vizinhança, necessitando para isso, somente de uma série de pontos (as coordenadas das estações meteorológicas) iniciais, entre os menores e os maiores valores dos dados do conjunto.

Esses valores de ponto inicial, referenciados como interrupções da krigagem são usados para construir numericamente o FDC do ponto de estimação. Para cada interrupção da krigagem, os dados na vizinhança são transformados em zeros e em uns. Zeros se os dados forem maiores do que o ponto inicial, e uns se forem menores. A krigagem estima então a probabilidade que o ponto de estimação é menor do que o valor de ponto inicial (fornecendo vizinhança de dados transformados e um modelo da estrutura da correlação da interrupção). Executar essa operação para cada interrupção através da escala dos dados aproxima o FDC no ponto de estimação. Depois que o FDC é construído, foi posto para processar e produzir os mapas da probabilidade e valores para os mapas de estimação.

Utilizando o ambiente estatístico R, foram obtidos os coeficientes das regressões, os coeficientes de determinação, bem como outros valores estatísticos para testar e comprovar o uso do modelo dinâmico (trigonométrico especial ampliado) em relação aos mapas de estimação apresentados pelos interpoladores IDW e kriging.

Com os dados de coordenadas que definem a localização espacial de cada AWS, foi possível criar um *Shape file* com esses pontos; unindo a um outro *Shape file* que define o contorno do Estado do Paraná, foi possível visualizar a distribuição espacial dos mesmos, que foram então submetidos (juntamente com as várias bases de dados) à análise geoestatística do *software ArcGIS 9.1*. A partir de então, foram definidos os vários tipos de interpolações que definem modelos de regressão para

melhor definir regiões com similaridades dos atributos escolhidos para tal: temperaturas médias diárias, mensais, máximas médias de verão, mínimas médias de inverno, médias de outono e primavera, testando três tipos de krigagem:

1 – Simples: este assume que as médias locais são relativamente constantes e de valor muito semelhante à média da população que é conhecida. A média da população é utilizada para cada estimativa local, em conjunto com os pontos vizinhos estabelecidos como necessários para a estimativa, ou seja, assume que as médias locais são relativamente constantes e de valor muito semelhante à média da população que é conhecida. A média da população é utilizada para cada estimativa local, em conjunto com os pontos vizinhos estabelecidos como necessários para a estimativa.

2 – Ordinário: considera que as médias locais não são necessariamente próximas da média da população usando-se apenas os pontos vizinhos para a estimativa, ou seja, as médias locais não são necessariamente próximas da média da população usando-se apenas os pontos vizinhos para a estimativa. É o método mais usado em problemas ambientais.

3 – Universal: pode ser usado para estimar valores de uma superfície nos nós de uma grade regular de pontos de dados irregularmente espaçados. Considera duas porções - uma tração, ou valor previsto, e um residual, ou desvio da tração. A tração pode ser modelada por uma função polinomial local dentro de uma vizinhança que seja análoga a uma superfície local da tendência. Se a tração for removida, a superfície residual pode ser considerada como estacionária de primeira ordem em um sentido estatístico. O método de kriging universal modela a tendência e os componentes aleatórios da variação simultaneamente. As equações kriging universais serão derivadas de maneira similar às equações kriging ordinárias.

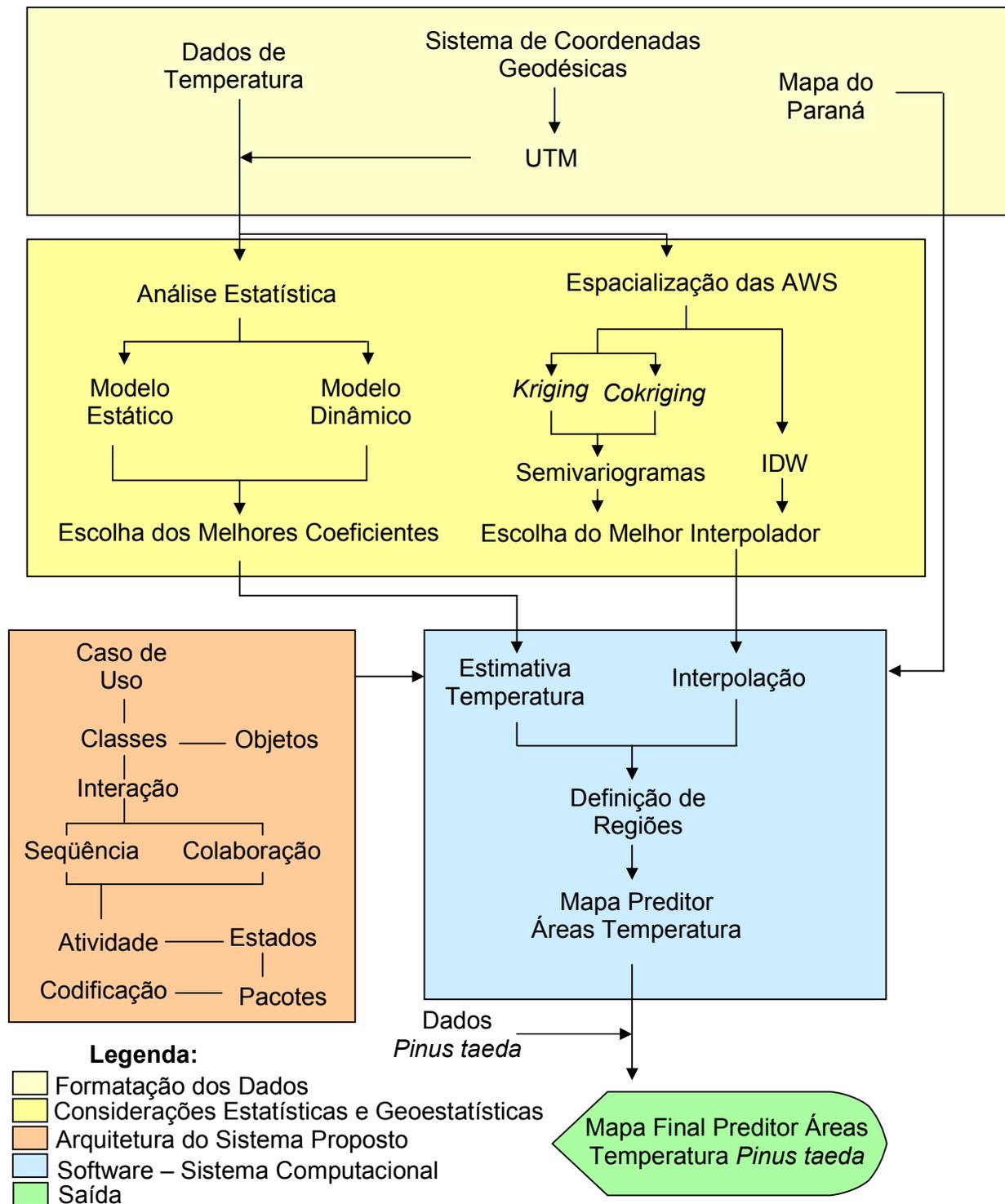
O modelo que apresentou o melhor semivariograma foi o universal, por isso foi adotado neste projeto. Dos mapas resultantes, IDW, Krigagem e CoKrigagem, foram analisados os aspectos que melhor definem as regiões similares à realidade estudada. Do modelo dinâmico (trigonométrico especial ampliado) foi possível determinar coeficientes de determinação que levaram a adotar essa abordagem.

O software foi então desenvolvido em várias etapas (fases), seguindo o ciclo de vida do software com apoio da UML e uso de seus diagramas, respeitando as definições de operacionalidade sobre arquivos do tipo *Shape file*, definida pela

ESRI/ERDAS e após, utilizada a base de dados disponível para estimar as temperaturas das regiões cobertas pelas AWS.

A interpolação dos pontos foi realizada utilizando polinômios locais com a utilização da triangulação Thiessen e os diagramas de Voronoi. Para definir as regiões, estas foram testadas com as características de temperatura do *Pinus taeda* (mínima absoluta, mínima média absoluta, mínima média, média, máxima média, máxima média absoluta e máxima absoluta), que variam de 4°C a 28°C (HIGA et al., 2003), de forma a delimitá-las em temperaturas similares para apresentar o mapa preditor ao cultivo da espécie em termos desta variável.

FIGURA 12 – FLUXOGRAMA ILUSTRATIVO DA METODOLOGIA UTILIZADA PARA O SOFTWARE.



4.2.1 Sistema de Coordenadas

4.2.1.1 Coordenadas Geodésicas

O sistema geodésico tem como coordenadas a latitude e a longitude, onde a latitude geodésica é o ângulo formado pela normal ao elipsóide de um determinado ponto e o plano do Equador, enquanto a longitude geodésica é definida como o ângulo formado pelo plano meridiano do lugar e o plano meridiano tomado como origem (Greenwich). Ambos são expressos em graus, minutos e segundos.

4.2.1.2 Coordenadas UTM

O sistema UTM (*Universal Transverse de Mercator*) é Universal pois é aplicável em toda a extensão do globo terrestre; é Transverso porque o eixo do cilindro é perpendicular à linha dos pólos, e recebe o nome de Mercator em honra ao primeiro idealizador desse tipo de projeção, o holandês Gerhard Kremer (1512 – 1594), cujo nome latinizado é Gerardus Mercator. Trata-se pois de uma projeção cilíndrica de eixo equatorial (transversa), que mantém a forma das figuras, sendo que a tangência do cilindro se mantém ao longo dos meridianos. Isso numa primeira aproximação já que, para minimizar os erros, adota-se um cilindro secante.

Dessa forma, a organização das variáveis disponibilizadas em redes de pontos em mapa, de acordo com a localização de cada estação meteorológica, são aqui tratadas e georeferenciadas pelo sistema de projeção plano-retangular UTM – SAD 69, o qual engloba o Estado do Paraná, levando em consideração 50 variáveis, sendo uma a altitude e as demais climáticas oriunda de acordo com o presente estudo, abordado doravante.

Buscou-se dispor de dados de monitoramento climático de diversas estações meteorológicas do Estado do Paraná, bem como de suas localizações, por intermédio de coordenadas geográficas e altimetria, que foram então convertidas do sistema de coordenadas geodésico para o sistema de coordenadas plano-retangulares e, para cada estação, foi determinado o cálculo que forneça as médias mensais e anuais das temperaturas mínimas, médias e máximas sendo, em seguida, aplicadas à análise de regressão, interpolação e à geoestatística para melhor caracterizar áreas em função das temperaturas, apresentando as coordenadas geográficas que identifiquem as similaridades de temperaturas determinadas pelos

dados apresentados pelas estações meteorológicas disponibilizados pelo Simepar e Iapar desde o ano de 1997.

4.2.1.3 Conversão do Sistema de Coordenadas Geodésicas e UTM

O arquivo de dados das coordenadas e cotas foi convertido do sistema de coordenadas geográficas para o sistema de coordenadas plano-retangular por meio de cálculos matemáticos relacionado à superfície de referência geodésica base de *datum* vertical Imbituba (Santa Catarina) e datum horizontal SAD 69 (Minas Gerais) com as seguintes especificidades: SAD 1969 UTM Zona 22 Sul, sistema de projeção plano-retangular Universal Transversa de Mercator (UTM), Falso Leste: 500000,000000, Falso Norte: 10000000,000000, Meridiano Central: -51,000000, Fator de escala: 0,999600 e Latitude de origem: 0,000000. Os parâmetros para a conversão das coordenadas geodésicas para as plano-retangulares estão descritas no quadro 1:

QUADRO 1 – PARÂMETROS DO ELIPSÓIDE PARA CONVERSÃO DAS COORDENADAS GEOGRÁFICAS EM COORDENADAS PLANO-RETANGULARES (PROJEÇÃO UTM) DAS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS.

$a=$	6.378.160,0000000
$b=$	6.356.774,71919531
$f=$	1/298,2500000000
MC=	-51°

Para realizar a conversão das coordenadas, foram testados vários programas (*software*), entre eles: *The Geographic Calculator*, *TransICV*, *GeoCalc*, *VersaMap*, *UTMv8*, *UTMGEO_GEOUTM*, *Pnunes*, *GEO<>UTM*, *Franson CoordTrans v2.3*, *GENCOORD* e *GeoTrans2*, sendo que apresentou melhor resultado o *TransICV*, por ter maior precisão nos cálculos plano-retangulares para apresentar a localização das AWS no Estado do Paraná, como pode ser visto na figura 03 do item 4.1.4.

4.2.2 Formatação dos Dados de Temperatura

A formatação dos dados foi realizada a partir do pacote *Microsoft Office*, especificamente a planilha eletrônica *Excell®* e o gerenciador de banco de dados *Access®*, que possibilitaram derivar outros três arquivos que expressam somente as temperaturas mínimas, médias e máximas diárias por estação (AWS), derivar ainda

um outro arquivo que expresse dados por médias mensais de cada AWS, e derivar outros quatro arquivos com separação dos dados de acordo com as estações do ano (verão, outono, inverno e primavera) por AWS e, finalmente, derivar outro arquivo com as médias anuais de cada AWS, resultando em dezoito arquivos *.dbf* para análise.

Posteriormente, o arquivo que possuía as coordenadas UTM de cada estação meteorológica foi agregado ao arquivo que continha os dados de temperatura de todas as estações. A finalidade de se ter um arquivo de dados único é a facilidade que o mesmo proporciona para se trabalhar com a espacialização dos valores de temperatura na área de estudo, e também, para gerar os mapas de interpolação no ambiente *ArcGis 9.1*, nos diferentes métodos disponíveis, e verificar o melhor a ser posteriormente utilizado no software apresentado.

Do total de dezoito arquivos, representando toda a base de dados, foram utilizados, um a um, nos programas estatísticos para realizar as análises de regressão específicas de cada caso, obedecendo ao formato e padrão exigido pelos mesmos, que podem ser resumidos no quadro 2 abaixo:

QUADRO 2 – REGISTROS DE CADA TABELA DOS DADOS UTILIZADOS EM DEZ ANOS.

Arquivo em formato <i>.dbf</i>	Atributo de temperatura	Quantidade de Registros	Observação
clima	máx, méd e min.	164.215	Trata toda a base de dados com coletas diárias
mediasclima	máx, méd e min.	5.415	Dados tratados como média mensal de cada ano
primavera	média sobre a máx, méd e min.	40.952	Dados que englobam a estação climática da primavera*
verao	máxima sobre a máx, méd e min.	39.505	Dados que englobam a estação climática da verao*
outono	média sobre a máx, méd e min.	40.840	Dados que englobam a estação climática da outono*
inverno	mínima sobre a máx, méd e min.	42.918	Dados que englobam a estação climática da inverno*

* Considerando as características do Estado do Paraná (solstício e equinócio).

4.2.3 Análise Multivariada

Para execução deste projeto foi utilizada a análise multivariada. A vantagem das técnicas de análise multivariada é sua habilidade em acomodar múltiplas variáveis em uma tentativa de compreender as relações complexas não possíveis

com métodos univariados e bivariados, sendo útil para a determinação dos modelos matemáticos que ajudem a determinar pontos (traduzidos em coordenadas geográficas) utilizados neste projeto.

Neste projeto serão testados dois modelos que permitam estimar as temperaturas nas regiões abordadas pelas AWS, o modelo estático e o modelo dinâmico.

Uma vez disponibilizados os dados de coordenadas, foram estimadas as temperaturas mínimas, médias e máximas do ar, mensais e anuais por meio de regressões lineares múltipla, utilizadas em ambos os métodos, apresentando coeficientes que retratam a distinção de cada um.

4.2.3.1 Modelo Estático

Conforme já apresentado, Acosta (1997) ajustou equações de regressão para estimar valores médios mensais e anuais de temperaturas mínima, média e máxima com a finalidade de ampliar a rede de dados climáticos do território brasileiro situado entre 16 e 24° latitude Sul e 48 e 60° longitude Oeste, para fins de classificação ecológica. O modelo proposto por Acosta, aqui denominado de *Modelo Estático*, foi empregado como objeto de estudo para comprovar sua significância e partiu da efetividade da análise de regressão empregando-se os dados de temperaturas médias, mínimas e máximas mensais e anuais, pertencentes às 50 AWS, de várias regiões do Paraná, em função das variáveis independentes altitudes, latitudes e longitudes, cuja equação é:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 Long_i + \beta_2 Lat_i + \beta_3 Alt_i + \varepsilon \quad (10)$$

Onde:

Y_i representa a variável temperatura das diferentes regiões do Paraná (média, mínima e máxima).

$\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3$: coeficientes.

$Long_i$: longitude convertida em UTM (metros)

Lat_i : latitude convertida em UTM (metros)

Alt_i : altitude em metros.

ε : erro de especificação

O teste da significância para os coeficientes estimados em análise de regressão, foi executado de acordo com Hair Jr. et al. (2005, p.160):

é apropriado e necessário quando é baseado em uma amostra da população, refletindo o interesse no quanto os resultados são generalizáveis para a população.

Da regressão é apresentada a variação esperada dos coeficientes estimados (tanto na constante quanto os coeficientes de regressão), o erro padrão dos coeficientes; a análise gráfica dos resíduos; o erro padrão da estimativa e o teste F a 5% de probabilidade.

4.2.3.2 Modelo Dinâmico

O *Special Trigonometric Model*, proposto por Franklin A. Graybill (1976), atua sobre dados de natureza cíclica, podendo ser ajustado para este estudo, dado a grande variabilidade dos valores de temperatura diária, semanal e mensal apresentado nos bancos de dados fornecidos pelo Simepar-lapar que, após ajustes necessários, passará a denominar-se *Modelo Dinâmico*.

O modelo trigonométrico especial pesquisado e utilizado neste projeto foi ampliado com a inclusão de mais dois coeficientes e mais duas variáveis a fim de melhor ajustar um modelo que enfatize a data como fator determinante para a estimativa das temperaturas diárias, permitindo projetá-las em função das suas variabilidades diárias. A inclusão da variável tempo e tempo² faz com que se defina uma precisão maior da projeção da temperatura de uma região em função dos dias (data). O modelo resultante é então denominado Modelo Dinâmico (equação 11), porque leva em consideração a variabilidade temporal para estimar temperaturas das regiões cobertas pelas 50 estações meteorológicas separadamente, bem como para determinar os coeficientes β , δ , α , t e t^2 para o mesmo. Os coeficientes são determinados tendo os dados de temperatura mínima, média e máxima processados no software "R".

$$Y_{temperatura} = \beta_0 + \alpha \cdot \text{Sen} \left[\left(\frac{2\pi}{365} \right) \cdot d \right] + \delta \cdot \text{Cos} \left[\left(\frac{2\pi}{365} \right) \cdot d \right] + t \cdot d + t^2 \cdot d^2 + \varepsilon_{temperatura} \quad (11)$$

Onde:

$Y_{temperatura}$ = valor estimado da temperatura (mínima, média ou máxima)

β_0 = coeficiente reta

α = coeficiente ao ângulo coseno à data do calendário Juliano

δ = coeficiente ao ângulo seno à data do calendário Juliano

d = data na escala de tempo Juliana, com sistema do calendário Juliano

d^2 = data na escala de tempo Juliana ao quadrado, no sistema do calendário Juliano

t = coeficientes da regressão em função de d

t^2 = coeficientes da regressão em função de d e

$\varepsilon_{temperatura}$ = erro da estimativa, com distribuição normal ($\varepsilon : 0, \sigma^2$).

O modelo é baseado no calendário Juliano, que considera as datas em dias, a contar do dia zero proposto pelo Imperador Júlio Cezar no antigo Império Romano, assim, pode ser implementado sob a forma do algoritmo apresentado no quadro 3 abaixo, projetando, mediante cálculo, a estimativa da temperatura de cada AWS em qualquer data futura.

QUADRO 3 – ALGORITMO R PARA CÁLCULO DA DATA JULIANA.

```

julian.s <- function(mes,dia,ano)
{
  ##julian.s Converts month,day,year to julian date. Becker et al., p.209
  {
    ano <-ano+ifelse(mes>2,0,-1)
    mes <-mes +ifelse(mes>2,-3,9)
    cc <- mes %/% 100
    ya <- ano - 100 * cc
    (146097 * cc) %/% 4 + (1461 * ya) %/% 4 + (153 * mes +2) %/% 5 + dia + 1721119
  }
}

```

A equação considera as temperaturas médias, mínimas e máximas diárias dos últimos dez anos, permitindo analisar o comportamento e construir o gráfico de cada uma das localidades das AWS. No quadro 4 está a listagem do código fonte utilizado para calcular os coeficientes do modelo dinâmico a fim de constatar a variabilidade da temperatura nas diferentes localidades do estado do Paraná, bem como os gráficos temporais que modelam este comportamento e o código para trabalhar na conversão das datas do calendário Juliano, base para os cálculos do modelo, para o calendário Gregoriano (utilizado atualmente).

QUADRO 4 - CÓDIGO DE PROGRAMA DESENVOLVIDO PARA O SOFTWARE ESTATÍSTICO "R" COM OBJETIVO DE REALIZAR OS CÁLCULOS DOS COEFICIENTES DO MODELO DINÂMICO.

```

egon1.R <-function (ms1c1 = F,ms1c1tt2=F, plot.by.cidade=NULL, pred.grid = F, ps =
F, read = F)
{
  ##egon1.R
  ##at command line: indent egon1.R
  ##Attach egon.df only if it is not already attached.
  if (!any (search() == "egon.df")) attach (egon.df)
  if (!any (search() == "package:lattice")) library (lattice) ## needed for plots
  if (!any (search() == "package:nlme")) library (nlme)
  ##This contains groupedData, lmList, coef.lmList.
  if (read == T)
  {
    egon.df <- read.table (file = "~/egon/data/clima2.txt", header = T)
    egon.df[, "cidade"] <- factor (egon.df$cidade, ordered = F)
    ## cidade is an ORDERED factor by default; we make
    it unordered with as.character.
    tempo <- julian.R (egon.df$mes, egon.df$dia, egon.df$ano)
    c1 <- cos(((2 * pi) / 365) * tempo)
    s1 <- sin(((2 * pi) / 365) * tempo)
  }
}

```

```

egon.df <- data.frame (egon.df, s1 = s1, c1 = c1, tempo = tempo)
egon.gd <- groupedData (tmed ~ tempo | cidade, data = egon.df)
plot(egon.gd,layout=c(6,7), aspect=.7,pch=".")
#egon.gd <- groupedData (tmed ~ s1 + c1 | cidade, data = egon.df)
##egon.gd <- groupedData (tmed ~ s1 + c1 + tempo + I(tempo)^2 |
  cidade, data = egon.df)
}
if (ms1c1 == T)
{
# s1c1.lm <- lm(tmed ~ s1 + c1 + altitude + latitude*longitude)
# s1c1.lm <- lm(tmed ~ cidade + s1 + c1 + altitude + latitude + longitude)
# s1c1.lm <- lm (tmed ~ cidade + s1 + c1)
  lmlist.s1c1 <- lmList(tmed ~ s1 + c1 | cidade, data = egon.df, na.action = na.omit)
  cat ("\n", "coef s1 c1", "\n")
  print (coef (lmlist.s1c1))
  cat ("\n", "R^2 s1 c1", "\n")
  # cat("\n","\n")
  print (round(sort(unlist(summary(lmlist.s1c1)$adj.r.squared)),2))
}
if (ms1c1tt2 == T)
{
  lmlist.s1c1.t.t2 <- lmList(tmed ~ s1 + c1 + tempo + I(tempo^2) | cidade, data =
egon.df, na.action = na.omit)
  cat ("\n", "coef s1 c1 tempo tempo^2", "\n")
  print(coef(lmlist.s1c1.t.t2))
  cat("\n", "R^2 s1 c1 tempo tempo^2", "\n")
  print(round(sort(unlist(summary(lmlist.s1c1.t.t2)$adj.r.squared)),2))
# lmlist <- lmlist.s1c1
  lmlist <- lmlist.s1c1.t.t2
  browser()
  for (nm in names (lmlist))
  {
    cat ("\n\n", nm, "\n\n");
    print (anova (lmlist[[nm]]))
  }
  plot (coef(lmList(tmed ~ s1 + c1 | cidade, data = egon.df, na.action = na.omit)))
  ## + altitude + latitude + longitude
  ## interaction latitude:longitude not significant
  #print (summary (s1c1.lm))
  cat ("\n\n")
  #print (anova (s1c1.lm, type = "resp"))
}
len <- 100
xtempos <- seq (2450555, 2454019, length = len)
s1.grid <- sin ((2 * pi / 365) * xtempos)
c1.grid <- cos ((2 * pi / 365) * xtempos)
pred.grid.df <- data.frame (s1 = s1.grid, c1 = c1.grid,tempo=xtempos)
if (pred.grid == T)
{
  number.of.cidades <- length(levels(egon.df$cidade))
  pred.lmlist.vector <- predict (lmlist, pred.grid.df)
  pred.lmlist.df <- data.frame(tmed.pred = pred.lmlist.vector, s1 = rep (s1.grid,
number.of.cidades),
c1 = rep (c1.grid, number.of.cidades),
xtempos = rep(xtempos, number.of.cidades),
cidade = rep(levels(cidade),rep(len,number.of.cidades)))
  pred.lmlist.gd <- groupedData(tmed.pred ~ xtempos | cidade, pred.lmlist.df)
  if (ps == T) trellis.device("postscript", color = F)
  print(plot(pred.lmlist.gd, pty = "l", pch = " ", aspect = .7))
}

```

```

#browser()
#
print(panel.superpose(x=egon.df$tempo,y=egon.df$tmed,groups=egon.df$cidade,subscripts=
egon.df$cidade,type="p",pch=".",data=egon.df))
  if (ps == T) dev.off()
}
if (is.character(plot.by.cidade))
{
  lm.cidade <- lm(tmed ~ s1 + c1 , data =
egon.df,subset=egon.df$cidade==plot.by.cidade, na.action = na.omit)
  pred.vector <- predict(lm.cidade, pred.grid.df)
  pred.cidade.df <- data.frame(tmed.pred = pred.vector, xtempos = xtempos)

print(plot(tempo[cidade==plot.by.cidade],tmed[cidade==plot.by.cidade],ylab=plot.by.cidade))
  par(new=T)
  print(plot(tmed.pred
xtempos,data=pred.cidade.df,type="l",xlim=par("usr")[1:2],ylim=par("usr")[3:4],
  ylab="",xlab=""))

panel.superpose(x=egon.df$tempo,y=egon.df$tmed,groups=egon.df$cidade,subscripts=egon.
df$cidade,type="p",pch=".",data=egon.df)
  par(new=F)
}
}

```

O coeficiente de determinação ajustado adotado para o modelo é obtido pela equação 12:

$$R_{aj}^2 = R^2 - \left(\frac{K-1}{N-K} \right) (1 - R^2) \quad (12)$$

Onde:

K é o número de variáveis independentes da equação;

N é o número de observações;

R² é o coeficiente de determinação.

4.2.4 Relações do Sistema Computacional

Contemplando o ciclo de vida adotado para o desenvolvimento desse sistema, utilizada a metodologia orientada a objetos e projetado utilizando a linguagem de modelagem unificada (UML), seguiu suas duas visões principais: visão comportamental ou dinâmica, composto pelo diagrama de Caso de Uso, diagrama de Interação (Seqüência e Colaboração), diagrama de Atividades e diagrama de Estados (Grafos) e visão estática, composto pelo diagrama de Classes, diagrama de Objetos (Instâncias), diagrama de Componentes e diagrama de Implantação.

Para atingir o objetivo de definir as entradas de dados, o processamento dos mesmos e a emissão das informações em saídas padronizadas, o sistema desenvolvido permite:

a) incluir arquivos vetoriais para uso específico de visualização dos mesmos de acordo com os objetivos do usuário;

b) agilizar a elaboração do plano de operações, fluxo de comunicação, cronogramas, controle, mapa de monitoramento e de decisões gerenciais relacionados a tarefas florestais;

c) facilitar o mapeamento das áreas que envolvem o uso de mapas digitais, georeferenciadas, permitindo a interpretação de regiões por parte dos seus usuários.

4.2.5 Modelagem do Software - Diagramas

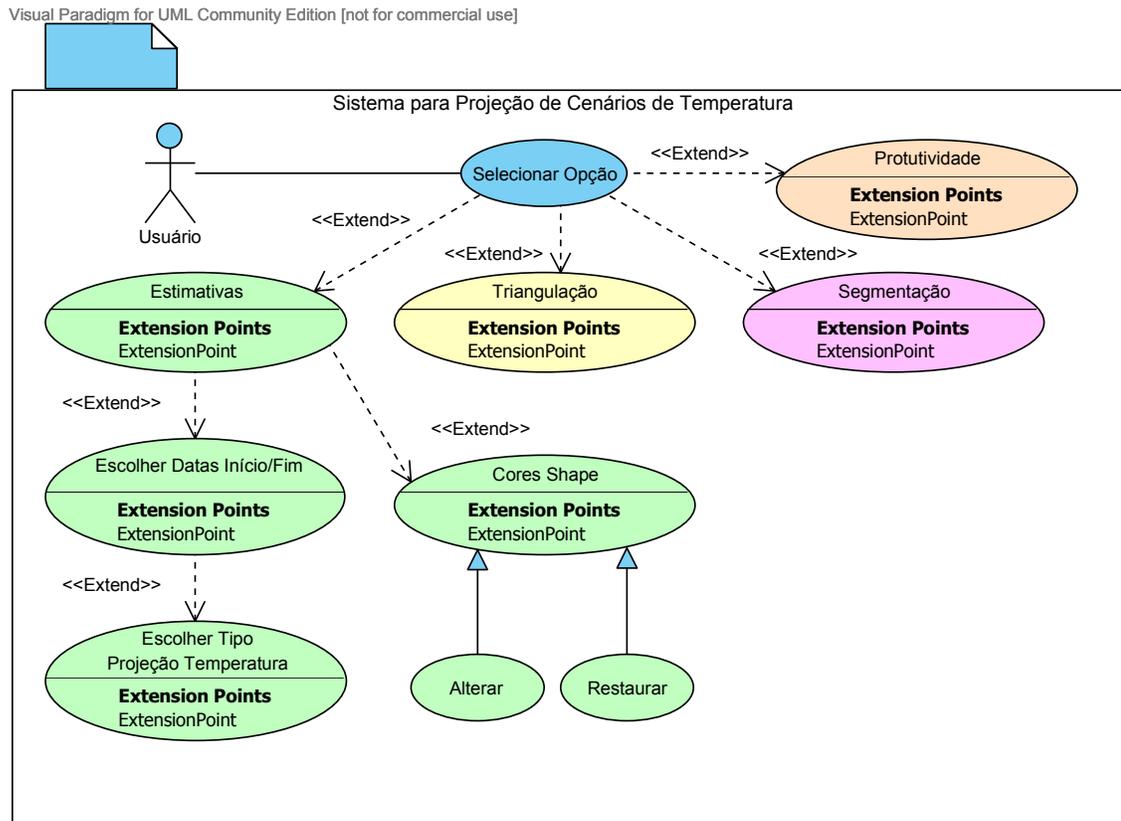
A seguir são apresentados os principais diagramas utilizados para realizar a análise e o projeto do sistema apresentado, utilizando a UML como linguagem de modelagem, respeitando o ciclo de vida do sistema proposto, que parte da especificação dos requisitos e culmina com os testes e modificações necessárias ao atendimento dos mesmos.

4.2.5.1 Diagrama de Caso de Uso

Em um sistema computacional, qualquer módulo deve ser passível de manutenção e possuir fronteiras bem definidas quanto à entrada e saída de dados. A formatação, número de parâmetros, tipagem e elos de ligação devem estar claramente definidos no escopo do problema (no enunciado da documentação inicial). Um documento formal pode ser escrito para especificá-los, acompanhado de um diagrama, chamado de “Caso de Uso”, que exemplifique seu entendimento.

O diagrama de caso de uso foi utilizado para descrever e definir os requisitos funcionais de um sistema (Figura 13), definindo cenários, modelados pela interação entre atores e casos de uso. Atores podem ser humanos, dispositivos de hardware, AWS ou até mesmo outros sistemas, representando um conjunto coerente de papéis que os identificam, enquanto interagem com um caso de uso. Cada processo está representado por uma “bolha”, que descreve a sua ação, a qual será detalhada nos códigos do sistema. A visão de caso de uso abrange os diagramas de casos de uso, que descrevem o comportamento do sistema como é visto pelos usuários finais, analistas e pessoal de teste (BOOCH et al., 2000).

FIGURA 13 - DIAGRAMA DE CASO DE USO, DEFININDO O CENÁRIO DO SISTEMA.



A aplicação do diagrama de caso de uso neste projeto visou apresentar e delimitar a fronteira do sistema com seus atores (usuários do nível administrativo) e seus módulos.

As rotinas relacionadas ao ator “Usuário”, que representa a pessoa que utiliza o sistema (para acesso às informações) foram:

- **ESTIMATIVAS:** é a opção principal do sistema, apresentado o calendário de onde devem ser definidas as datas inicial e final (campos) para que as projeções sejam efetuadas, por isso, apresenta as seguintes sub-opções:
 - **Início:** para determinar a data inicial da projeção;
 - **Fim:** para determinar a data final da projeção.

A partir desta definição, apresentam-se as escolhas dos tipos de projeções a serem calculadas e apresentadas no mapa do Paraná, pelo sistema:

- **Mínima Absoluta** para exibir o mapa que especifique regiões das temperaturas mínimas absolutas que compreendem o período (início/fim) estipulado;
- **Máxima Absoluta** para exibir o mapa que especifique regiões das temperaturas máximas absolutas que compreendem o período (início/fim) estipulado;
- **Média** para exibir o mapa que especifique regiões das temperaturas médias que compreendem o período (início/fim) estipulado;
- **Mínima Média** para exibir o mapa que especifique regiões das temperaturas mínimas médias que compreendem o período (início/fim) estipulado;
- **Máxima Média** para exibir o mapa que especifique regiões das temperaturas máximas médias que compreendem o período (início/fim) estipulado;
- **Valores** para exibir a tabela gerada pelo sistema, correspondente à do banco de dados de temperatura, que define as regiões das temperaturas.

MÍNIMA ABSOLUTA contém uma pré-definição dos valores de temperatura mínima (4° C a 18° C) sugerido para definir áreas aconselháveis ao cultivo do *Pinus taeda* no Paraná. Um mapa é apresentado definindo as regiões aconselháveis dentro do intervalo definido;

MÉDIA DO PERÍODO contém uma pré-definição dos valores de temperatura mínima (13° C a 19° C) sugerido para definir áreas aconselháveis ao cultivo do *Pinus taeda* no Paraná. Um mapa é apresentado definindo as regiões aconselháveis dentro do intervalo definido;

MÁXIMA ABSOLUTA contém uma pré-definição dos valores de temperatura mínima (20° C a 25° C) sugerido para definir áreas aconselháveis ao cultivo do *Pinus taeda* no Paraná. Um mapa é apresentado definindo as regiões aconselháveis dentro do intervalo definido;

PRODUÇÃO apresenta a opção de definir mapas com regiões que compreendam os valores das temperaturas mínimas, médias e máximas absolutas anuais, cujos anos são escolhidos pelo usuário. Uma vez definidos os intervalos de ano (inicial/final), basta clicar nos botões: **Mínima Absoluta**, **Média**, **Máxima Absoluta** e **Valores Absolutos** para projetar os mapas com as respectivas regiões.

Foram desenvolvidas ações para facilitar o uso do sistema por parte do usuário com os botões **DETALHES DE COR**, que apresenta e suprime os detalhes de cores dos mapas, **ALTERAR**, que permite ao usuário alterar os intervalos de temperatura correspondente a uma determinada cor, para facilitar a visualização da mesma no mapa. **RESTAURAR** é a opção que permite restaurar os padrões de intervalos de temperatura e cores associadas, sugeridas pelo sistema.

LIMPAR ÁREA DE TRABALHO é uma opção que permite fechar todos os mapas e tabelas da tela do computador, permitindo realizar novas projeções (consultas).

- **TRIANGULAÇÃO**: esta opção permite visualizar o modo de construção da triangulação de *Delaunay* sobre o Estado do Paraná, tendo como base as coordenadas geográficas das estações meteorológicas.
- **SEGMENTAÇÃO**: permite visualizar uma tela com o modo de construção da segmentação pelo método *Voronoi*, resultante da triangulação anteriormente efetuada.
- **PRODUTIVIDADE**: permite visualizar o mapa do Estado do Paraná que mostra as regiões produtoras de *Pinus taeda*, especificadas em incremento médio anual (IMA: m^3ha^{-1}). É útil para fins de comparação e confirmação das regiões apresentadas pelo software.

4.2.5.2 Diagramas de Classe e Objeto

Após a especificação dos diagramas de caso de uso, utilizou-se o diagrama de classes para apresentar os blocos de construção do sistema, muitas vezes referenciado como classificadores (mecanismo descritor de características estruturais e comportamentais), incluindo classes, interfaces, tipos de dados, sinais,

componentes, nós, casos de uso e subsistemas (BOOCH et al, 2000). Com classificadores foi possível modelar, além das propriedades de atributos e operações, a multiplicidade, a visibilidade, as assinaturas, o polimorfismo e outras características da UML que poderão ser implementadas pela linguagem de programação.

Conforme Savitch (2004), classe é uma estrutura com funções-membros e também dados-membros, os quais são centrais para a metodologia OO, pois reúne os objetos do domínio que compartilharão características, comportamento, semântica e relacionamentos (Figuras 14 e 15). A classe associa funções e dados, controlando o acesso a estes; defini-la implica em especificar os seus atributos e suas funções membros.

FIGURA 14 - DIAGRAMA DE CLASSES REPRESENTANDO CLASSES E ARQUIVO DO SOFTWARE APRESENTADO.

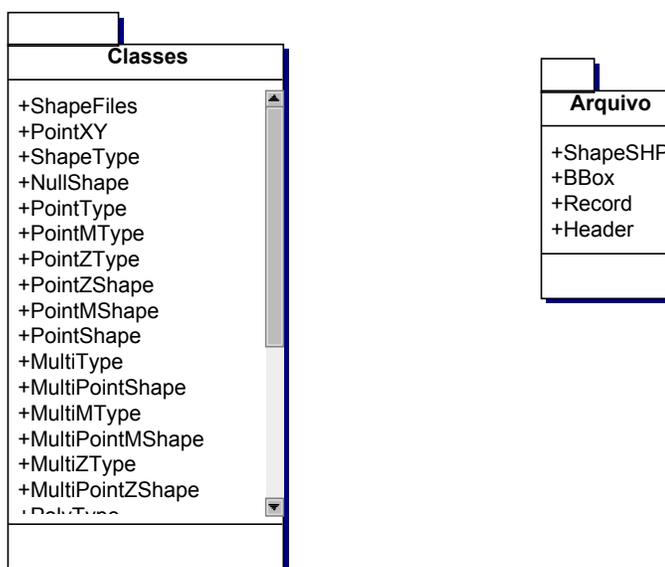
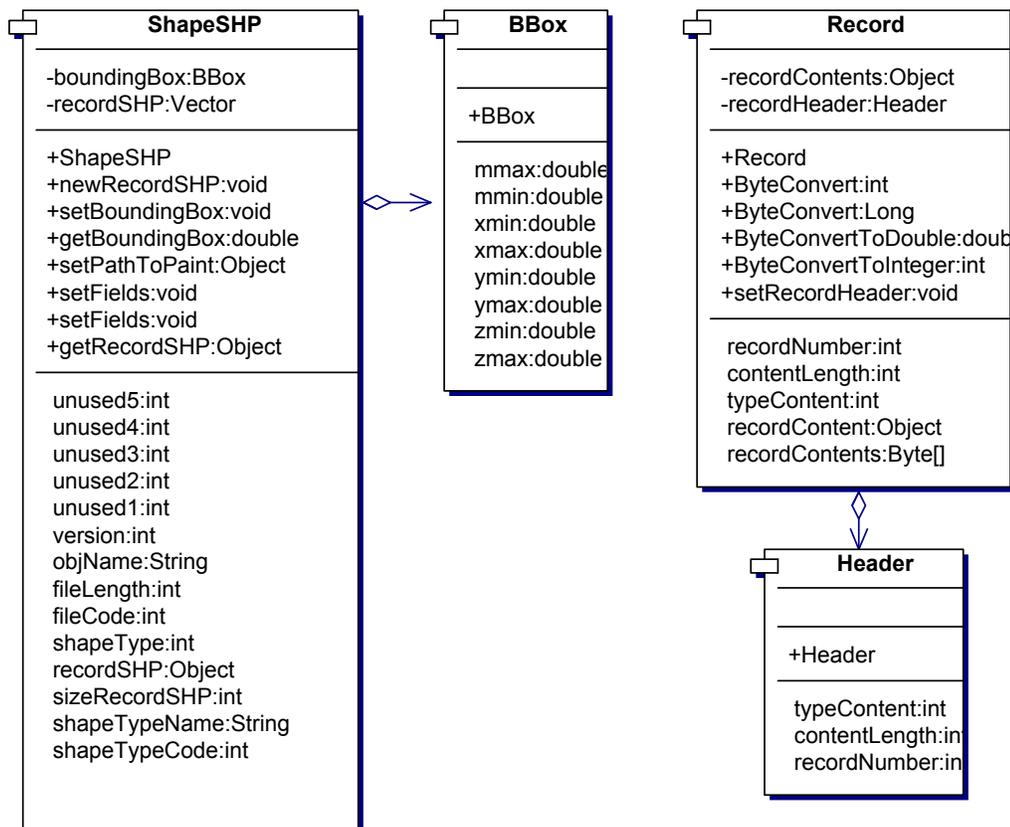
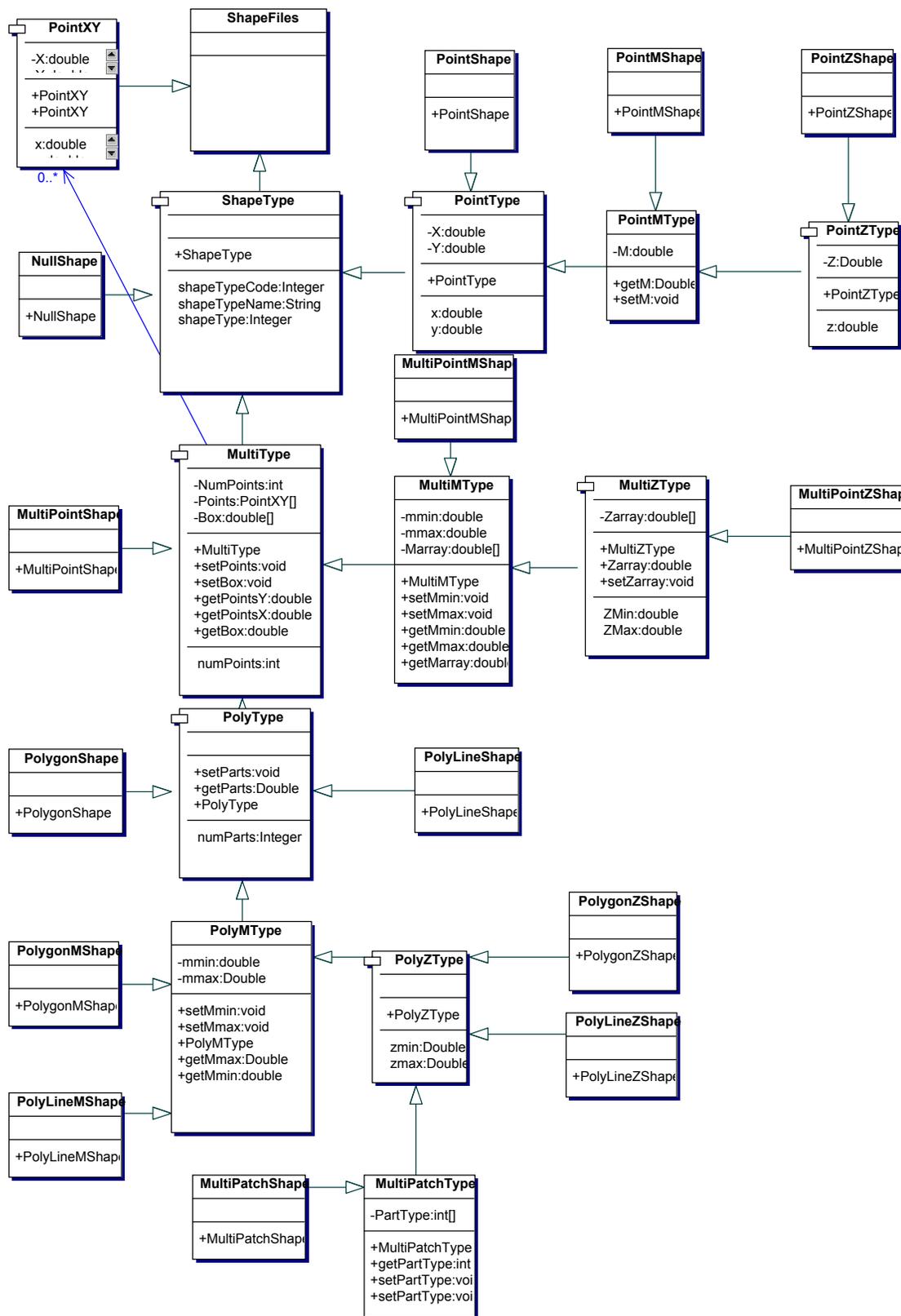


FIGURA 15 - DIAGRAMA DE CLASSES DO ARQUIVO E REGISTROS DE *SHAPETYPES*.



Conforme especificação técnica do objeto *ShapeFile*, emitida pela ESRI/ERDAS (2000), o arquivo *.shp é constituído por um cabeçalho de arquivo, seguido por um determinado número de registros, sendo cada registro dividido em duas partes: cabeçalho do registro e conteúdo do registro. *ShapeSHP* é a representação do arquivo *ShapeFile* como objeto, e *BBox* (“*Bounding Box*”) é o campo do cabeçalho do arquivo que representa o menor retângulo ortogonal, que contém toda a imagem representada pelo arquivo, e que será representado como uma extensão do objeto *ShapeSHP*. *Record* é a representação de um registro do arquivo *ShapeFile* como objeto, e *Header* é a representação do cabeçalho do registro como extensão do objeto *Record*. O objeto *ShapeSHP* deverá conter um vetor de objetos tipo *Record*, que corresponderá aos registros do arquivo no software apresentado (Figura 16).

FIGURA 16 - DIAGRAMA DE CLASSES DO ARQUIVO SHAPETYPES.



As figuras 14, 15 e 16 mostram as declarações de atributos, operações e propriedades de classes.

Na figura 15 identifica-se o objeto *ShapeFile* (nome *ShapeSHP*) com suas possíveis abstrações, onde o diagrama de classes especifica os atributos e operações.

A instância de uma classe é o objeto, este é geralmente estruturado a partir do vocabulário dos espaços problema ou solução, por isso, utilizou-se diagramas de objetos para fazer a modelagem de instâncias de itens contidos em diagramas de classes. Foram importantes para visualização, especificação, documentações de modelos estruturais, e também para a construção de aspectos estáticos de sistemas. Os atributos são dados guardados pelos objetos de uma classe, sendo informações a respeito de uma instância de um objeto. Cada atributo possui um nome distinto dentro da classe, pode ser nomeado de valor de dado. A operação é um serviço executado por um objeto em resposta a um estímulo. A operação é uma função ou transformação aplicada a objetos ou por estes a uma classe. Os objetos de uma classe compartilham as mesmas operações em que cada nome de operação deve ser seguido de sua respectiva lista de argumentos, se existirem. O tipo de resultado, se existir, não deve ser omitido, visando diferenciar das operações que não retornam valor.

As possíveis instâncias assumidas pelo objeto Camadas (Tabela 2) são identificadas como sendo as classes finais de um conjunto finito de generalizações, que visam absorver possíveis redundâncias de atributos e operações. Cada instância é a representação do conteúdo do registro, de um tipo, do arquivo *.shp.

TABELA 2 – INSTÂNCIAS ASSUMIDAS PELO OBJETO CAMADAS.

Instâncias
NullShape
PointShape
PolyLineShape
PolygonShape
MultiPointShape
PointZShape
PolyLineZShape
PolygonZShape
MultiPointZShape
PointMShape
PolyLineMShape
PolygonMShape
MultiPointMShape
MultiPatchShape

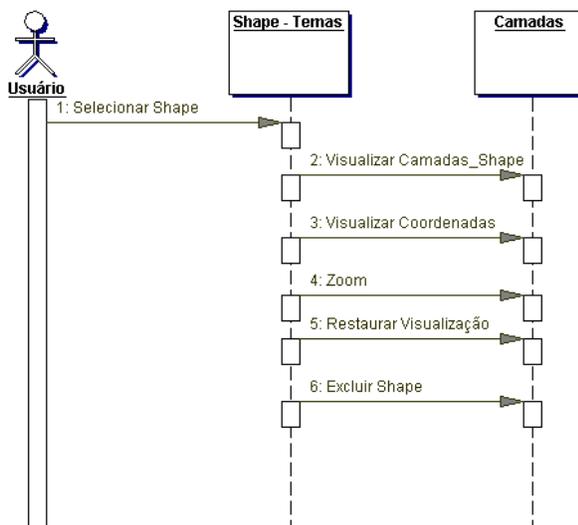
Das instâncias listadas na tabela 02, foram efetivamente utilizadas no software o NullShape, PointShape, PolyLineShape, PolygonShape, MultipointShape, MultiPointZShape, PointMShape, PolyLineMShape, PolygonMShape, MultiPointMShape e MultiPatchShape.

4.2.5.3 Diagrama de interação (seqüência e colaboração)

UML inclui diagramas de interação para ilustrar como os objetos interagem através de mensagens para cumprir tarefas e, segundo Larman (2000) deve ser criado dentro da fase de projeto de um ciclo de desenvolvimento. A UML define dois tipos de diagramas para expressar mensagens entre instâncias: diagrama de seqüência e diagrama de colaboração.

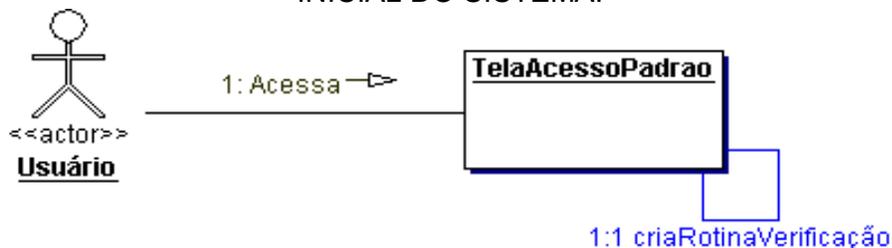
Utiliza-se o diagrama de seqüência para exibir a estrutura dinâmica que existe entre os vários objetos de um sistema, bem como os eventos que ocorrem (Figura 17). Esse diagrama mostra os objetos colaborando entre si. A ordem em que as mensagens acontecem (fluxo do tempo) é mostrada na maneira *top-down* de forma a descrever os eventos gerados por um ator, seus pedidos e os eventos internos ao sistema. Quando o ator “Usuário” selecionar um Shape, ele torna-se responsável pelo início do processo de visualização de um tema, tendo acesso a uma ou mais das ações disponíveis: visualizar as camadas do *Shape*, visualizar as coordenadas geográficas da mesma, realizar zoom do objeto, restaurar padrões de visualização ou excluir o *Shape* ora selecionado.

FIGURA 17 - EXEMPLO DE DIAGRAMA DE SEQÜÊNCIA DENOTANDO A SELEÇÃO DE UM TEMA AO SISTEMA.



O diagrama de colaboração ilustra as interações entre objetos em forma de grafo ou rede, conforme mostrado na figura 18.

FIGURA 18 - DIAGRAMA DE COLABORAÇÃO ONDE USUÁRIO ACESSA TELA INICIAL DO SISTEMA.

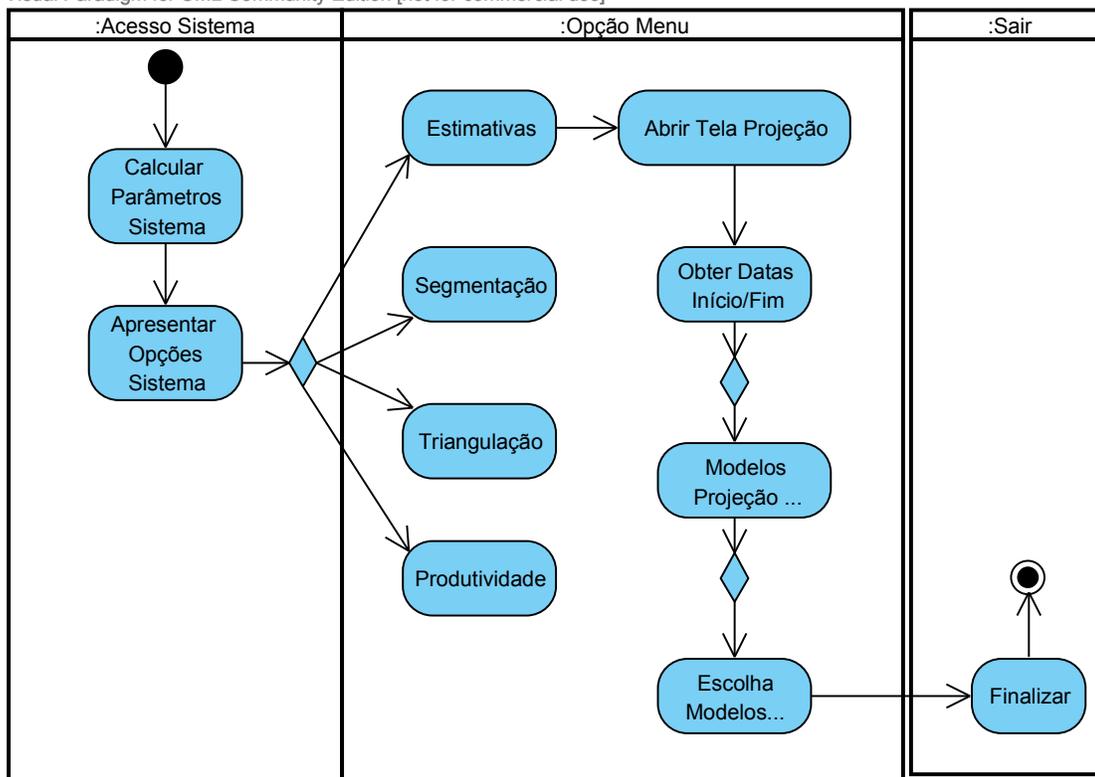


4.2.5.4 Diagrama de Atividade

Um diagrama de atividade descreve as atividades que ocorrem entre objetos. São úteis para modelar aspectos dinâmicos do sistema, enfatizando o fluxo de controle de uma atividade para outra (Figura 19). As atividades retornam valores que podem ou não influenciar na mudança do estado do sistema.

FIGURA 19 - DIAGRAMA DE ATIVIDADE PARA O ACESSO AO SISTEMA

Visual Paradigm for UML Community Edition [not for commercial use]

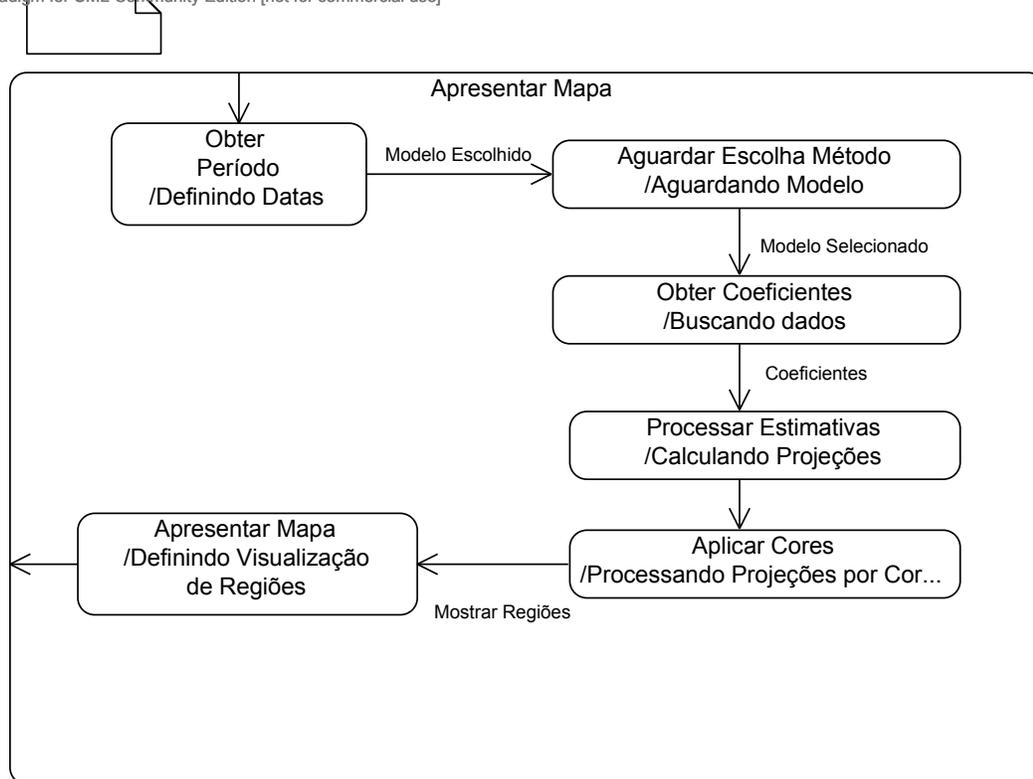


4.2.5.5 Diagrama de Estados.

Seguindo a notação UML para desenvolvimento do software apresentado, determina-se a construção do diagrama de estados, que é especificado em forma de máquina de estados e pelas seqüências de estados da qual um objeto passa durante o seu tempo de vida em resposta a eventos, juntamente com suas respostas. Isso se traduz em uma visão dinâmica da modelagem, pois a especificação do tempo de vida de uma instância de uma classe significa modelar as ações e respostas a eventos (sinais), operações ou passagem de tempo resultando um valor (Figura 20).

FIGURA 20 - DIAGRAMA DE ESTADOS PARA APRESENTAR UM *SHAPE* FILE

Visual Paradigm for UML Community Edition [not for commercial use]



4.2.5.6 Diagrama de Entidade-Relacionamento

O termo persistência refere-se à capacidade de armazenar informações a respeito do sistema, garantindo que estas perdurem mesmo após o término do programa e possam ser reutilizadas em um momento futuro. Na modelagem, utilizou-se o diagrama de entidade-relacionamento – DER que, embora não seja um documento da modelagem UML, é útil para a visualização, de forma geral, da persistência dos dados em locais apropriados: as tabelas e seus relacionamentos.

4.2.5.7 Base de Dados para o software apresentado

Toda estrutura de uma base de dados (composta por tabelas e, portanto, chamada comumente de *banco de dados*) se dá através da divisão da informação em tabelas, formada por colunas ou campos e de registros ou tuplas. Cada registro possui um valor único no campo destinado a ser chave-primária (ou de identificação) da tupla, o que impede a duplicidade do valor deste atributo, permitindo a seleção de valores de outros campos através da sua unicidade, permitindo sua manutenibilidade.

O software apresentado faz uso de tabelas em uma base de dados e preserva características importantes, além da persistência, a facilidade de organização, armazenamento, recuperação e atualização dos seus atributos. Para uma melhor compreensão acerca do objeto *ShapeFile* (arquivo **.shp*) e suas características técnicas - aconselha-se consultar o material no site da ESRI, que contém a especificação dos tipos assumidos pelo mesmo bem com a estrutura do arquivo definido pela ESRI/ERDAS (2000).

4.2.5.8 Codificação

A etapa de codificação tem como principal atividade a “transcrição” de todo o projeto, elaborado por intermédio de diagramas na UML para uma linguagem de programação, a fim de implementar o software em uma plataforma computacional.

Para a codificação do sistema houve a necessidade de seguir as especificações do objeto *Shapefile* definido pela ESRI/ERDAS (2000) em sua totalidade. A decomposição do objeto foi realizada pela leitura *Byte a Byte* do arquivo origem (em extensão **.shp*), a conversão dos *Bytes* e conseqüente atribuição dos valores ao objeto *ShapeSHP*, que é a representação virtual do objeto *ShapeFile*. A seqüência de ações foi implementada no programa nas operações em que, no objeto origem (**.shp*) é passado como parâmetro (*filePath*), necessário para a utilização do objeto em interface gráfica.

A partir das características do objeto e para dispor de sua visualização, foi realizada a decomposição e futura composição do conteúdo do registro do arquivo de origem. O registro é um elemento do objeto de origem (**.shp*), que compõe parte da camada das informações. Esse objeto pode possuir um ou mais registros. As demais características são adicionadas ao objeto na interface, como as coordenadas

do canto da área retangular que contém o objeto a ser visualizado, os botões de ação do usuário do sistema, a definição da área que contém o objeto propriamente dito a ser visualizado, um exemplo é a função *setPathToPaint*, que cria um objeto geométrico, obtido a partir das coordenadas geográficas da camada de informação a ser visualizada, esta função cria um objeto tipo polígono, formado a partir de linhas traçadas entre as coordenadas dos pontos, obtidos através da camada de informação. A criação do objeto geométrico dependerá diretamente do tipo do objeto geográfico a ser visualizado.

Um fato a ser considerado é a necessidade de deslocamento do centro de origem da tela de visualização, pelo fato dela possuir os eixos X e Y positivos, representando um único quadrante, ao passo que um plano de coordenadas geográficas, os eixos X e Y podem receber valores positivos e negativos, compondo quatro quadrantes.

A linguagem Java foi escolhida porque, na prática de POO (Programação Orientada a Objetos), a atenção do programa está direcionada para pontos como compatibilidade e portabilidade, segurança, reusabilidade, facilidade de integração, de extensão e eficiência; e têm como principais características as que a definem um ambiente realmente OO: abstração, classificação e herança, encapsulamento, polimorfismo, tipagem, persistência e concorrência, importantes para facilitar a POO.

Uma vez escrito o código fonte na Java, o processo de compilação do programa parte do código fonte (extensão .java) que é compilado e armazenado em um arquivo de extensão .class - por isso sua impossibilidade de utilizar-se de DOS como sistema operacional para a elaboração de aplicativos Java porque foi projetada para sistemas de 32 bits, e só foram escritas Máquinas Virtuais Java para ambientes de 32 bits - a portabilidade de Java depende fortemente da existência de JVMs que executem em diversas plataformas.

Um programa Java poderá ser executado em um computador se existir uma JVM que nele seja executável. Ao contrário de programas Java, as JVMs devem ser programas feitos e compilados para máquinas específicas, de forma que serão as JVMs as responsáveis pela tradução de *bytecodes* Java para as linguagens nativas das máquinas, onde o conjunto de instruções da Máquina Virtual Java é otimizado para ser pequeno e compacto. O compilador mais utilizado para a transformação de arquivos-fonte java (.java) em arquivos de *bytecodes* é o javac da Sun.

Uma vez gerado o arquivo *.class*, ele deve ser passado a JVM instalada no computador. No caso mais comum, a JVM utilizada é a distribuída pela *Sun* em seu JDK (*Java Developers Kit*), denominada Java, isso no caso de aplicativos. No caso de *Applets*, os browsers que suportam Java já contêm em si uma JVM que interpreta os *bytecodes* das *Applets*.

4.2.5.9 Testes, Implantação e Manutenção

Terminada a fase de codificação do projeto de software e dando seqüência ao ciclo de vida do software, é necessário partir para a fase final do mesmo, testar a sua qualidade. Entende-se qualidade, neste caso, como sendo a completa e total observância de implementação do sistema de acordo com as especificações contidas no projeto do mesmo.

Teste significa que um programador testará o sistema com todas as possíveis atuações, comportamentos e situações que o sistema poderá e virá a sofrer. Entradas, saídas, módulos, acessos, especificações, cadastros são testados exaustivamente em situações reais (ou fictícias) que comprovem a eficiência e eficácia de uso do software.

A fase de treinamento/implantação/manutenção caracteriza-se pela entrega do sistema ao usuário final (instalação) juntamente com o fornecimento do *modus operandis* e das instruções necessárias para que este possa utilizá-lo de forma a tornar reais os seus objetivos diários de atividades.

A manutenção é o suporte prestado ao usuário para realização de correções, melhorias, cortes ou ampliações no sistema, à medida que sejam solicitados (um sistema deixa de receber manutenção após expirar seu prazo de validade técnica ou por ser substituído por uma nova versão).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir estão descritos os resultados das análises estatísticas sobre os modelos apresentados, bem como as discussões relativas ao sistema computacional.

5.1 RESULTADOS

5.1.1 Modelo Estático – Abordagem Diária/Mensal

Aplicada a regressão linear múltipla aos valores das temperaturas médias, mínimas e máximas diárias, inclusive as que envolvem todas as estações climáticas anuais e, de acordo com o modelo apresentado no item 4.2.3.1 - Regressão Linear Múltipla, utilizando o software *SPSS v.13*, foi possível obter diferentes visões desta análise sobre o **Modelo Estático**, onde as variáveis dependentes selecionadas foram: temperatura média, temperatura máxima, temperatura mínima, em termos diários e mensais e, selecionadas como variáveis independentes, a longitude, latitude e altitude, com a seleção das seguintes estatísticas a serem apresentadas, que foram analisadas e consideradas de forma individual para a decisão acerca do modelo mais apropriado a ser adotado:

a) Estatísticas da regressão: coeficientes: estimados, intervalos da confiança, matriz de covariância, ajuste do modelo, R^2 , descritivas do diagnóstico parcial da colinearidade, das correlações e análise de resíduos;

b) Plotagem dos Gráficos e

c) Gravação: valores preditos pela média e intervalo de confiança em 95%: padronizados e ajustados tendo resíduos padronizados.

As tabelas 3 e 4 resumem os resultados das estatísticas calculadas no *SPSS v.13*, variando de acordo com as diferentes bases de dados utilizadas, com os coeficientes apresentados na finalidade de obter o melhor R^2 para cada modelagem estática. Todas as regressões levaram em consideração os preditores constante, longitude, latitude e altitude, submetendo a variável dependente, a um coeficiente de intervalo de 95% e probabilidade de 5% para cálculo dos coeficientes do modelo:

TABELA 3 – RESUMO DOS MÉTODOS DE ENTRADA ESTATÍSTICOS APLICADOS AOS DIFERENTES BANCOS DE DADOS.

Modelo	Base Dados em formato .dbf	Variável Dependente: Temperatura	R ²	R ² Aj.	Erro da Estimativa ¹	R ² Mod.
1	climatotal	Média	15,9%	15,9%	4,02	15,9%
2	inverno	Mínima	13,1%	13,1%	4,24	13,1%
3	inverno	Média	17,2%	17,2%	3,88	17,2%
4	mediasclima	Média Mensal	24,3%	24,3%	3,08	24,3%
5	verao	Média	47,2%	47,2%	1,77	47,2%
6	verao	Máxima	24,9%	24,9%	2,82	24,9%
7	primavera	Média	33,3%	33,3%	2,65	33,3%
8	outono	Média	17,9%	17,8%	3,72	17,9%

TABELA 4 – COEFICIENTES DOS MODELOS ESTATÍSTICOS APLICADOS AOS DIFERENTES BANCOS DE DADOS.

Modelo (da tabela 3)	Constante	Longitude	Latitude	Altitude
1	-32,223	-3,57E-006	7,79E-006	-0,004
2	-33,624	-1,90E-006	6,80E-006	-0,005
3	-50,130	-3,43E-006	9,77E-006	-0,004
4	-32,090	-3,56E-006	7,78E-006	-0,004
5	-6,1090	-3,51E-006	4,69E-006	-0,005
6	-1,5670	-4,05E-006	4,90E-006	-0,004
7	-38,157	-5,11E-006	8,87E-006	-0,004
8	-31,411	-2,23E-006	7,45E-006	-0,005

O modelo de regressão linear sobre o modelo estático também foi processado no software *STATGRAPHICS®Plus*, versão 4.1, tendo como variável dependente a temperatura média (atributo TMED), temperatura mínima (atributo TMIN), temperatura máxima (atributo TMAX), e variáveis independentes do modelo estático a longitude, latitude e altitude, com diferentes aspectos.

Para todos os bancos de dados, que reúnem dados de temperaturas mínimas, médias e máximas diárias e mensais, do período analisado, o modelo estático apresentou os resultados estatísticos descritos na tabela 5 e 6:

¹ Erro padrão da estimativa mostra o desvio padrão dos resíduos, usado para construir os limites da predição.

TABELA 5 – RESUMO DOS COEFICIENTES ESTATÍSTICOS DA ANÁLISE DE REGRESSÃO MÚLTIPLA APLICADA AOS DIFERENTES BANCOS DE DADOS:

Modelo	Base Dados (formato .dbf)	Variável Dependente	R ² %	R ² % Ajustado	Erro da Estimativa	Erro Médio Absoluto
1	CLIMATOTAL	TMAX	12,3	12,3	4,66	3,78
2		TMED	15,9	15,8	4,02	3,25
3		TMIN	12,7	12,7	4,30	3,41
4	MEDIASCLIMA	TMAX	23,2	23,2	3,17	2,70
5		TMED	24,3	23,3	3,08	2,70
6		TMIN	20,4	20,3	3,25	2,81
7	PRIMAVERA	TMAX	20,8	20,8	3,77	3,04
8		TMED	33,2	33,2	2,65	2,14
9		TMIN	27,2	27,2	2,74	2,15
10	VERÃO	TMAX	24,8	24,8	2,82	2,18
11		TMED	47,1	47,1	1,77	1,39
12		TMIN	42,5	42,5	1,86	1,43
13	OUTONO	TMAX	13,5	13,5	4,33	3,55
14		TMED	17,8	17,8	3,72	3,04
15		TMIN	13,9	13,9	4,09	3,29
16	INVERNO	TMAX	13,3	13,3	4,73	3,85
17		TMED	17,1	17,1	3,88	3,05
18		TMIN	13,1	13,1	4,24	3,35

TABELA 6 – RESULTADO DOS COEFICIENTES AO MODELO DE REGRESSÃO LINEAR MÚLTIPLA DESCREVENDO A RELAÇÃO ENTRE AS DIFERENTES TEMPERATURAS E ÀS VARIÁVEIS INDEPENDENTES:

Modelo (da Tab. 05)	Constante	Longitude	Latitude	Altitude
1	-38,4246	-0,00000390640	0,00000946280	-0,003647660
2	-32,2234	-0,00000356650	0,00000779230	-0,004351240
3	-22,1559	-0,00000192180	0,00000571800	-0,004829520
4	-38,2119	-0,00000388560	0,00000943410	-0,003647090
5	-32,0897	-0,00000356000	0,00000777620	-0,004354310
6	-22,0750	-0,00000193308	0,00000571110	0,004835220
7	-44,4242	-0,00000613891	0,00001056380	-0,003191300
8	-38,1566	-0,00000511182	0,00000886678	-0,004057200
9	-27,6883	-0,00000266568	0,00000667303	-0,004600580
10	-1,56690	-0,00000404512	0,00000490217	-0,004449120
11	-6,10920	-0,00000350885	0,00000469387	-0,004867830
12	-8,12122	-0,00000189390	0,00000429310	-0,004974120
13	-41,2847	-0,00000195217	0,00000955885	-0,003915070
14	-31,4107	-0,00000223218	0,00000744731	-0,004686470
15	-16,5428	-0,00000125009	0,00000478042	-0,005150550
16	-62,8973	-0,00000352130	0,00001237770	-0,003052280
17	-50,1298	-0,00000343004	0,00000977413	-0,003799420
18	-33,6236	-0,00000190373	0,00000680087	-0,004573960

Como os coeficientes de determinação (R²) foram baixos, em todos os modelos experimentados (nos dois programas estatísticos utilizados), expressando a quantidade da variação total explicada pela regressão e, devido à alta variabilidade das temperaturas, tanto em termos diários, médias mensais e médias diárias por

estação climática do ano, abandonou-se o modelo de regressão múltipla linear, partindo para outro modelo que possibilite expressar a estimativa das temperaturas.

5.1.2 Modelo Estático – Abordagem Anual

Também foram realizadas regressões lineares múltiplas sobre as variáveis formatadas de temperaturas médias, mínimas e máximas anuais sobre o modelo estático, envolvendo as médias anuais de forma total (geral) de todas as estações e, das médias anuais total das estações climáticas inverno e verão. Considerando estes os dois extremos das temperaturas, aplicado sobre o **Modelo Estático** (item 4.2.3.1 - Regressão Linear Múltipla) e, submetidos e analisados no software *Statgraphics 4.1*, foram escolhidas como variável dependente a temperatura média, a temperatura máxima, a temperatura mínima, em termos anuais e, como variáveis independentes a longitude, latitude e altitude, apresentando os resultados das tabelas 7 a 9:

TABELA 7 – MÉDIAS ANUAIS DA VARIÁVEL TEMPERATURA DA ESTAÇÃO INVERNO

Variável Temperatura	R ² %	R ² _{Aj.} %	Erro Padrão	Méd. Abs. Erro
Mínima	82,03	81,91	0,75	0,56
Média	88,76	88,69	0,60	0,41
Máxima	75,58	75,42	0,93	0,71

Modelo RML	Beta	Longitude	Latitude	Altitude
Mínima	-6,9960700	- 0,00000208677	0,00000416385	- 0,00504382
Média	-4,9146400	- 0,00000366084	0,00000455262	- 0,00493055
Máxima	-0,0485581	- 0,00000406860	0,00000470810	- 0,00450079

TABELA 8 – MÉDIAS ANUAIS DA VARIÁVEL TEMPERATURA DA ESTAÇÃO VERÃO

Variável Temperatura	R ² %	R ² _{Aj.} %	Erro Padrão	Méd. Abs. Erro
Mínima	82,03	81,91	0,75	0,56
Média	88,76	88,69	0,60	0,41
Máxima	75,58	75,42	0,93	0,71

Modelo RML	Beta	Longitude	Latitude	Altitude
Mínima	-6,9960700	- 0,00000208677	0,00000416385	- 0,00504382
Média	-4,9146400	- 0,00000366084	0,00000455262	- 0,00493055
Máxima	-0,0485581	- 0,00000406860	0,00000470810	- 0,00450079

TABELA 9 – MÉDIAS ANUAIS DA TEMPERATURA

Variável Temperatura	R² %	R²_{Aj.} %	Erro Padrão	Méd. Abs. Erro
Mínima	80,59	80,46	0,81	0,63
Média	89,90	89,83	0,59	0,45
Máxima	82,39	82,28	0,81	0,64

Modelo RML	Beta	Longitude	Latitude	Altitude
Mínima	-22,7580	- 0,00000201279	0,00000580896	- 0,00486029
Média	-32,8742	- 0,00000364627	0,00000788813	- 0,00436787
Máxima	-39,0543	- 0,00000397589	0,00000955333	- 0,00365488

Os coeficientes de determinação múltipla (R^2) mostram a boa quantidade da variação total explicada pela regressão, devido a sua padronização e extrapolação em termos de médias das médias anuais, o que leva a ter baixa variabilidade das temperaturas, indicando em seus resultados a possibilidade de adotar esta abordagem para fins de monitoramento das temperaturas em regiões delimitadas pelas coordenadas (longitude e latitude) que envolvem as AWS, mas de forma estática, envolvendo baixa variabilidade da natureza cíclica das variáveis, como visto nos resultados da regressão linear múltipla anterior.

Para o cálculo da significância do modelo estático, na abordagem diária, mensal e anual utilizou-se:

- A Análise de Variância: pela soma dos quadrados da regressão e soma dos quadrados dos erros;
- A hipótese nula (H_0), estabelecida para que os coeficientes do modelo fossem todos zero e
- O cálculo da Estatística F

Da tabela da análise de variância derivou o valor encontrado para a estatística F, tendo seus resultados apresentados na tabela 10:

TABELA 10 – VALORES DA ESTATÍSTICA F AO MODELO ESTÁTICO

Critério	Temperatura	Valor de F referente à temperatura média
Diária	Geral	1062,487 a 1897,68
Mensal	Médias	54,85 a 81,54
Outono	Estação	386,53 a 489,02
Inverno		326,53 a 599,55
Primavera		474,57 a 1011,68
Verão		89,88 a 1187,81

O valor do F crítico para 5% de significância é de 2,60. Comparando os valores, é possível concluir que não há diferenças significativas nos grupos; os valores são satisfatórios e atendem ao modelo. Porém, o coeficiente de determinação múltiplo é baixo, fato que levou a abandonar esta abordagem.

5.1.3 Modelo Dinâmico

Como enfatizado, o modelo trigonométrico especial pesquisado foi ampliado com a inclusão de mais dois coeficientes e mais duas variáveis a fim de melhor ajustar um modelo, resultando no Modelo Dinâmico a seguir:

$$Y_{temperatura} = \beta_0 + \alpha \cdot \text{Sen}\left[\left(\frac{2\pi}{365}\right)d\right] + \delta \cdot \text{Cos}\left[\left(\frac{2\pi}{365}\right)d\right] + t \cdot d + t^2 \cdot d^2 + \varepsilon_{temperatura} \quad (13)$$

Onde:

$Y_{temperatura}$: valor estimado da temperatura (mínima, média ou máxima)

β_0 : coeficiente reta

α : coeficiente ao ângulo coseno à data do calendário Juliano

δ : coeficiente ao ângulo seno à data do calendário Juliano

d : data na escala de tempo Juliana, com sistema do calendário Juliano

d^2 : data na escala de tempo Juliana ao quadrado, com sistema do calendário Juliano

t : coeficientes da regressão em função de d

t^2 : coeficientes da regressão em função de d e

$\varepsilon_{temperatura}$: erro da estimativa, com distribuição normal ($\varepsilon : 0, \sigma^2$).

Como resultado, as tabelas 11, 12 e 13 apresentam os coeficientes intercepto beta (β_0), alfa (α), sigma (δ), tempo (t), e tempo² (t^2) de cada estação meteorológica aplicada ao modelo e o resultado do coeficiente de determinação (R^2) resultante da análise de regressão calculados para as temperaturas máximas, médias e mínimas, respectivamente:

TABELA 11 – COEFICIENTES DA TEMPERATURA MÁXIMA MODELADA ÀS SÉRIES TEMPORAIS AO ESTADO DO PARANÁ

Estação	beta	alfa	Sigma	tempo	tempo ²	R ²
Antonina	-2967049,0000	-3,527130	-1,791078	2,419546000000	-0,000000493263500	0.32
Apucarana	-144,3097	-2,158730	-2,132634	0,000069511570	NA	0.27
Assis Chateaubriand	-283,0400	-2,814658	-2,565398	0,000127079100	NA	0.30
Bandeirantes	-802666,3000	-2,021674	-2,288065	0,654412000000	-0,000000133380300	0.27
Bela Vista do Paraíso	-642357,0000	-2,051111	-2,354254	0,523665800000	-0,000000106721900	0.28
Cambara	-654800,1000	-1,854664	-2,289609	0,533887600000	-0,000000108820700	0.25
Campo Mourão	-707074,2000	-2,452642	-2,577885	0,576327400000	-0,000000117434800	0.33
Candido de Abreu	-1122548,0000	-2,714887	-2,456490	0,915293500000	-0,000000186571500	0.34
Cascavel	-840580,4000	-2,744574	-2,981083	0,684959600000	-0,000000139532900	0.37
Cerro Azul	-793900,6000	-3,286273	-2,728929	0,647235500000	-0,000000131911700	0.38
Cianorte	816,8863	-2,542235	-2,255248	-0,000321180800	NA	0.27
Clevelândia	-335400,7000	-3,152756	-2,841408	0,273249000000	-0,000000055649620	0.41
Curitiba	-1357262,0000	-3,013824	-1,903893	1,106668000000	-0,000000225581200	0.28
Entre Rios	893,7141	-2,892184	-2,074299	-0,000354804100	NA	0.35
Fernandes Pinheiro	-435687,5000	-3,079506	-2,487209	0,354986100000	-0,000000072304090	0.36
Foz do Areia	-713424,7000	-3,541396	-2,979934	0,581197000000	-0,000000118364900	0.43
Foz do Iguaçu	-92124,3800	-3,065057	-3,480281	0,074774700000	-0,000000015168140	0.44
Francisco Beltrão	165772,7000	-3,503503	-3,445957	-0,135392300000	0,000000027649190	0.45
Guairá	-2222557,0000	-3,704979	-2,957803	1,812317000000	-0,000000369444900	0.49
Guarapuava	-285447,0000	-2,705436	-2,392172	0,232658000000	-0,000000047403910	0.35
Guaraquecaba	9335,9470	-3,627377	-1,553438	-0,007539696000	0,000000001526496	0.34
Guaratuba	-1381252,0000	-3,856341	-1,051129	1,126534000000	-0,000000229693000	0.48
Ibipora	-595138,7000	-2,038887	-2,214891	0,485166700000	-0,000000098874220	0.28
Jaguariaíva	48,7936	-2,541036	-2,110116	-0,000009585588	NA	0.32
Joaquim Távora	-942777,1000	-2,295172	-2,300037	0,768809000000	-0,000000156731000	0.30
Lapa	-803659,0000	-3,142269	-2,221795	0,655277000000	-0,000000133568900	0.34
Laranjeiras do Sul	-89285,3900	-2,647267	-2,617167	0,072640910000	-0,000000014770580	0.36
Londrina	-946863,8000	-2,181533	-2,375025	0,772072400000	-0,000000157382200	0.30
Maringá	-1205506,0000	-2,135863	-2,312347	0,983179700000	-0,000000200459300	0.26
Medianeira	-662,2005	-2,899132	-2,812477	0,000281139600	NA	0.29
Morretes	325982,1000	-3,699062	-1,722636	-0,265930500000	0,000000054239700	0.40
Nova Cantu	-233512,8000	-2,588289	-2,758944	0,190182300000	-0,000000038718370	0.34
Nova Prata do Iguaçu	-1627146,0000	-2,924323	-2,831296	1,326975000000	-0,000000270540300	0.36
Palmas	-181522,3000	-3,091206	-2,665898	0,147684700000	-0,000000030034720	0.40
Palmital	-696378,7000	-2,167611	-2,505084	0,567689600000	-0,000000115691300	0.34
Palotina	-620420,6000	-2,867350	-2,729295	0,505756700000	-0,000000103066300	0.34
Paranavaí	-1161542,0000	-2,293905	-2,445563	0,947102700000	-0,000000193058400	0.30
Pato Branco	-147200,4000	-3,128780	-2,831552	0,119698500000	-0,000000024329310	0.41
Pinhais	-2663581,0000	-3,010979	-1,698207	2,171747000000	-0,000000442678900	0.27
Pinhão	-1234,7320	-2,953491	-2,393249	0,000513887600	NA	0.33
Planalto	182459,7000	-3,108835	-3,034847	-0,149094200000	0,000000030461960	0.38
Ponta Grossa	-620964,4000	-2,674503	-2,542319	0,506075800000	-0,000000103106800	0.34
Salto Caxias	-921426,1000	-3,175853	-2,835550	0,751134700000	-0,000000153074200	0.35
Salto Osório	-549,1767	-3,087108	-2,653051	0,000235229100	NA	0.34
Santa Helena	-818788,3000	-2,916565	-3,118962	0,667349800000	-0,000000135975400	0.36
Sao Miguel do Iguaçu	-1622259,0000	-2,879700	-3,150169	1,322549000000	-0,000000269547700	0.35
Telemaco Borba	-676229,2000	-2,630586	-2,470074	0,551234700000	-0,000000112331700	0.37
Toledo	-1215189,0000	-2,806404	-2,933510	0,990771300000	-0,000000201945000	0.35
Umuarama	-589148,6000	-2,590453	-2,409224	0,480146400000	-0,000000097823090	0.32
Uniao da Vitória	-358018,2000	-3,741426	-2,869848	0,291546700000	-0,000000059350000	0.43

NA – Não Aplicável

TABELA 12 – COEFICIENTES DA TEMPERATURA MÉDIA MODELADA ÀS SÉRIES TEMPORAIS AO ESTADO DO PARANÁ

Estação	beta	Alfa	Sigma	tempo	tempo ²	R ²
Antonina	-2392613,000000	-3,3527530	-1,7035040	1,950934000000	-0,0000003976945000	0.57
Apucarana	45,007390	-2,4131320	-1,4752740	-0,000011594450	NA	0.31
Assis Chateaubriand	-148,771300	-3,1804360	-2,1808540	0,000067812510	NA	0.40
Bandeirantes	88637,210000	-3,1777790	-2,7587090	-0,072209380000	0,0000000147093500	0.50
Bela Vista do Paraíso	-40799,860000	-2,6863320	-1,9623350	0,033252570000	-0,0000000067724670	0.40
Cambara	200692,800000	-3,3733840	-3,0568310	-0,163651200000	0,0000000333643000	0.55
Campo Mourão	297410,900000	-3,2554170	-2,5688200	-0,242375400000	0,0000000493835900	0.48
Candido de Abreu	-151039,700000	-3,2731200	-2,5253410	0,123160800000	-0,0000000251044400	0.55
Cascavel	334989,300000	-3,1136880	-2,2095600	-0,273146000000	0,0000000556825700	0.44
Cerro Azul	-560832,500000	-3,7048580	-2,5070750	0,457455600000	-0,0000000932808600	0.62
Cianorte	133,903900	-3,7854730	-3,1453030	-0,000048138000	NA	0.55
Clevelândia	-351284,900000	-3,2315380	-2,2427770	0,286593800000	-0,0000000584517700	0.47
Curitiba	216387,100000	-3,5244800	-2,0232450	-0,176525200000	0,0000000360039300	0.44
Entre Rios	855,019800	-3,1411710	-2,0730030	-0,000343481200	NA	0.46
Fernandes Pinheiro	308481,500000	-3,4548170	-2,4829850	-0,251658300000	0,0000000513277500	0.54
Foz do Areia	257749,900000	-3,6858230	-2,1467570	-0,210162500000	0,0000000428426100	0.61
Foz do Iguaçu	1089576,000000	-3,8815930	-2,4490590	-0,888598400000	0,0000001811759000	0.51
Francisco Beltrão	76841,150000	-3,7127570	-2,9608690	-0,062587810000	0,0000000127468900	0.59
Guairá	32932,220000	-3,9228880	-2,8442610	-0,026543780000	0,0000000053509220	0.59
Guarapuava	-427606,800000	-3,3007840	-2,5386910	0,348780300000	-0,0000000711190600	0.52
Guaraquecaba	-278695,500000	-3,5108590	-1,9531250	0,227281400000	-0,0000000463351100	0.60
Guaratuba	-1381072,000000	-3,6090630	-1,6089600	1,126583000000	-0,0000002297442000	0.65
Ibipora	-227375,100000	-2,9608010	-2,3245320	0,185363700000	-0,0000000377757500	0.46
Jaguariaíva	544,075700	-3,8081150	-2,6938720	-0,000216409400	NA	0.59
Joaquim Távora	-324040,100000	-3,4839130	-2,8364170	0,264280800000	-0,0000000538828700	0.56
Lapa	153562,100000	-3,3674450	-2,2507580	-0,125317200000	0,0000000255690500	0.49
Laranjeiras do Sul	298752,600000	-2,9916880	-2,2302310	-0,243723400000	0,0000000497100100	0.45
Londrina	461948,600000	-3,1638450	-2,6543900	-0,376670900000	0,0000000767866500	0.49
Maringá	-2139277,000000	-2,5789170	-1,8066140	1,744293000000	-0,0000003555562000	0.29
Medianeira	-497,621100	-2,9984200	-2,0625730	0,000209864400	NA	0.33
Morretes	82260,870000	-3,4987720	-1,7977440	-0,067101450000	0,0000000136868600	0.62
Nova Cantu	42532,190000	-2,8550470	-2,4330690	-0,034858440000	0,0000000071448700	0.46
Nova Prata do Iguaçu	-1149241,000000	-3,3212340	-2,5333880	0,937553900000	-0,0000001912121000	0.46
Palmas	109737,000000	-3,3781560	-2,4278230	-0,089480730000	0,0000000182429300	0.52
Palmital	305486,900000	-2,5922090	-1,9020730	-0,249193500000	0,0000000508210300	0.37
Palotina	1048775,000000	-3,8341570	-3,0281530	-0,855181000000	0,0000001743333000	0.52
Paranavaí	-6108,615000	-2,6932550	-2,2482940	0,005007573000	-0,0000000102323000	0.41
Pato Branco	64145,210000	-3,2099250	-2,3402520	-0,052320720000	0,0000000106714000	0.50
Pinhais	-662365,400000	-3,4570930	-1,8771760	0,539989800000	-0,0000001100537000	0.43
Pinhão	-3060,932000	-3,4858330	-2,6357200	0,001253007000	NA	0.52
Planalto	716648,800000	-3,1870270	-2,4263850	-0,584396700000	0,0000001191404000	0.47
Ponta Grossa	362867,800000	-3,3506300	-2,3306330	-0,295886100000	0,0000000603194200	0.48
Salto Caxias	-1587989,000000	-3,5021760	-2,3736100	1,294853000000	-0,0000002639545000	0.46
Salto Osório	-175,160800	-3,5102630	-2,3454300	0,000077764300	NA	0.48
Santa Helena	634066,800000	-3,4740450	-2,4798190	-0,516869400000	0,0000001053364000	0.45
Sao Miguel do Iguaçu	-234833,500000	-3,4886840	-2,5899710	0,191444500000	-0,0000000390152100	0.45
Telemaco Borba	108154,000000	-3,9168560	-3,0999100	-0,088180630000	0,0000000179762100	0.65
Toledo	212003,300000	-3,3723930	-2,5157050	-0,172705000000	0,0000000351754000	0.45
Umuarama	11573,640000	-2,8913030	-2,2064880	-0,009480908000	0,0000000019446270	0.40
União da Vitória	-230140,300000	-4,2569230	-2,9263540	0,187773400000	-0,0000000382992600	0.64

NA – Não Aplicável

TABELA 13 – COEFICIENTES DA TEMPERATURA MÍNIMA MODELADA ÀS SÉRIES TEMPORAIS AO ESTADO DO PARANÁ

Estação	beta	alfa	sigma	tempo	tempo ²	R ²
Antonina	-1750993,000000	-3,5144010	-1,7371510	1,42783100000000	-0,0000002910743000	0.46
Apucarana	18,969190	-2,1875900	-1,8287060	0,00000074588120	NA	0.31
Assis Chateaubriand	-231,531700	-2,8331830	-2,4440800	0,00010356320000	NA	0.41
Bandeirantes	-383117,100000	-2,5513810	-2,5491550	0,31237380000000	-0,0000000636696900	0.57
Bela Vista do Paraíso	-322868,900000	-2,3647220	-2,2551750	0,26320180000000	-0,0000000536367300	0.41
Cambara	-411129,600000	-2,6538990	-2,8386630	0,33524350000000	-0,0000000683375200	0.57
Campo Mourao	-148529,700000	-2,7164210	-2,5520500	0,12107990000000	-0,0000000246723400	0.49
Candido de Abreu	-447660,200000	-2,9396320	-2,5898190	0,36498420000000	-0,0000000743909600	0.52
Cascavel	-148398,600000	-2,8826810	-2,5718840	0,12080200000000	-0,0000000245808400	0.41
Cerro Azul	-424386,900000	-3,4726120	-2,7091650	0,34604380000000	-0,0000000705373900	0.53
Cianorte	286,969600	-3,0506870	-2,8332610	-0,00010819510000	NA	0.57
Clevelândia	-317053,300000	-3,1513720	-2,6653080	0,25845530000000	-0,0000000526689200	0.42
Curitiba	-154969,200000	-3,1368810	-1,8318120	0,12626500000000	-0,0000000257163900	0.52
Entre Rios	672,304500	-2,8486140	-2,1331550	-0,00026710620000	NA	0.41
Fernandes Pinheiro	-144503,300000	-3,2309250	-2,8582280	0,11769450000000	-0,0000000239618300	0.51
Foz do Areia	-34746,490000	-3,5403760	-2,7351050	0,02813685000000	-0,0000000056927850	0.52
Foz do Iguaçu	656187,000000	-3,6316050	-2,8593670	-0,53532880000000	0,0000001091863000	0.44
Francisco Beltrão	34252,260000	-3,5227170	-3,3958210	-0,02799677000000	0,0000000057241110	0.49
Guaíra	-932758,600000	-3,6910850	-2,9432190	0,76074970000000	-0,0000001551114000	0.54
Guarapuava	-230993,200000	-3,0581390	-2,6567870	0,18828430000000	-0,0000000383651100	0.45
Guaraquecaba	-257411,000000	-3,6799180	-1,9251890	0,21003070000000	-0,0000000428393500	0.54
Guaratuba	-1255194,000000	-3,7686520	-1,4921390	1,02385000000000	-0,0000002087826000	0.62
Ibipora	-418762,800000	-2,4335630	-2,3849660	0,34139170000000	-0,0000000695752400	0.52
Jaguariaíva	442,328000	-3,0662640	-2,4194560	-0,00017281230000	NA	0.58
Joaquim Tavora	-433228,500000	-2,8854960	-2,6485830	0,35327930000000	-0,0000000720175400	0.56
Lapa	-302447,100000	-3,1778930	-2,2535650	0,24654940000000	-0,0000000502427600	0.47
Laranjeiras do Sul	54611,150000	-2,8604950	-2,5937690	-0,04469790000000	0,0000000091490730	0.40
Londrina	-423737,400000	-2,5988640	-2,5519170	0,34549210000000	-0,0000000704202300	0.56
Maringá	-1596416,000000	-2,2302270	-2,0472660	1,30175500000000	-0,0000002653668000	0.30
Medianeira	-933,200700	-3,1200510	-2,5936310	0,00038926350000	NA	0.26
Morretes	130226,600000	-3,6195320	-1,8568640	-0,10624070000000	0,0000000216716300	0.58
Nova Cantu	-143559,400000	-2,6846300	-2,7599320	0,11687860000000	-0,0000000237855100	0.39
Nova Prata do Iguaçu	-1334088,000000	-3,0040270	-2,7190230	1,08810900000000	-0,0000002218676000	0.47
Palmas	-129312,700000	-3,2578600	-2,7384400	0,10528430000000	-0,0000000214273700	0.44
Palmital	-206090,500000	-2,3368030	-2,2237790	0,16793070000000	-0,0000000342057400	0.33
Palotina	87850,290000	-3,3388730	-3,0768080	-0,07168718000000	0,0000000146279900	0.46
Paranavai	-455653,400000	-2,5049260	-2,4902390	0,37148290000000	-0,0000000757114600	0.40
Pato Branco	-37743,500000	-3,0847350	-2,7275870	0,03061860000000	-0,0000000062063530	0.42
Pinhais	-1301317,000000	-3,0596220	-1,6830750	1,06098800000000	-0,0000002162580000	0.49
Pinhão	-1763,230000	-3,0993170	-2,6539520	0,00072635840000	NA	0.47
Planalto	569089,400000	-3,1028970	-2,8861810	-0,46423360000000	0,0000000946779200	0.41
Ponta Grossa	161035,600000	-2,9877550	-2,1921250	-0,13148920000000	0,0000000268439500	0.48
Salto Caxias	-1071142,000000	-3,1910530	-2,6869270	0,87330290000000	-0,0000001779975000	0.47
Salto Osório	-290,831400	-3,1856810	-2,6210630	0,00012703900000	NA	0.47
Santa Helena	87323,910000	-3,1440040	-2,7452110	-0,07129935000000	0,0000000145575900	0.41
São Miguel do Iguaçu	-322943,500000	-3,1951900	-2,8820210	0,26302340000000	-0,0000000535515000	0.43
Telêmaco Borba	-98709,010000	-3,3718360	-3,0352660	0,08044911000000	-0,0000000163886400	0.56
Toledo	-393082,900000	-2,9924670	-2,7573340	0,32054120000000	-0,0000000653431600	0.39
Umuarama	-409713,300000	-2,6885740	-2,4366310	0,33398210000000	-0,0000000680584900	0.41
União da Vitória	-289260,300000	-3,8182220	-2,9897180	0,23576240000000	-0,0000000480367500	0.56

NA – Não Aplicável

Para o cálculo da significância do modelo dinâmico, na abordagem diária, mensal e anual partiu-se:

- Da Análise de Variância: pela soma dos quadrados da regressão e soma dos quadrados dos erros;
- Em estabelecer a hipótese nula (H_0) de que os coeficientes do modelo são todos zero e

- Para o cálculo da Estatística F

Na tabela 14 estão os valores encontrados para a estatística F derivada da tabela da análise de variância:

TABELA 14 - VALORES DA ESTATÍSTICA F AO MODELO DINÂMICO

Critério	Temperatura	Mínima	Média	Máxima
		2,89	3,81	3,29
Diário	Geral	a	a	a
		2874,98	3593,66	31475,91

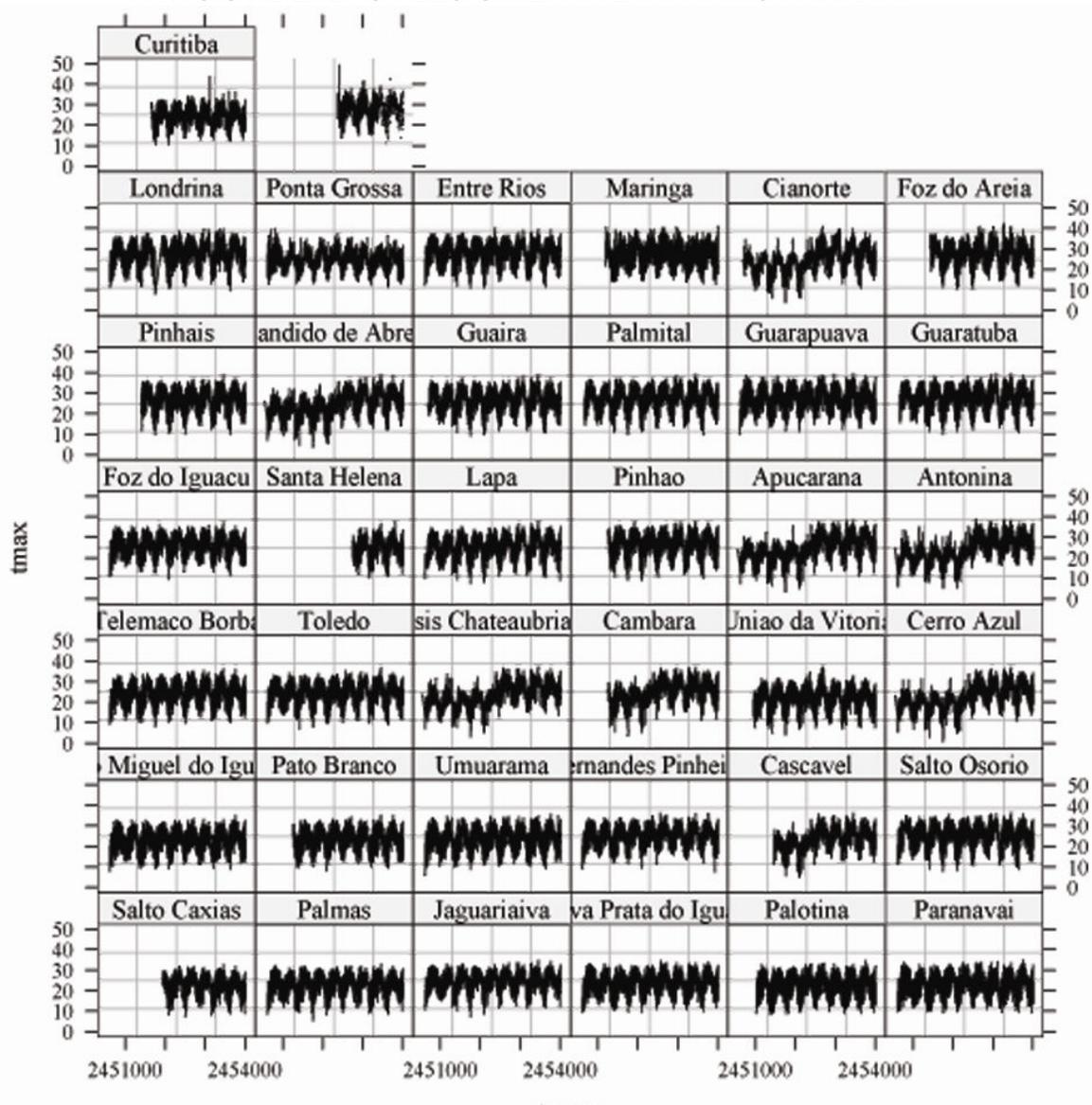
Valor do F crítico para 5% de significância é de 2,37. Comparando os valores, é possível concluir que não há diferenças significativas nos grupos; os valores são satisfatórios; atendem ao modelo, com coeficiente de determinação múltiplo alto para a abordagem de temperaturas diárias.

Como os dados são de natureza cíclica, podem ser plotados e apresentados em gráficos que representam as curvas de variação de temperatura diária (Figura 21), baseando-se no registro histórico de aproximadamente dez anos, para cada estação meteorológica.

Os cálculos realizados neste projeto levam em consideração os valores de temperatura mínima, média e máxima diária para cada estação, que podem ser constatados na plotagem dos pontos durante o período pesquisado (detalhes no Anexo B).

Na figura 21 verifica-se a plotagem de todos os pontos que correspondem à temperatura média dos últimos dez anos lidos pelas AWS de cada município. Aparecem em ordem crescente para fins de comparação entre os mesmos. Destaca-se a AWS de Apucarana, Antonina, Cambará e Cascavel, que apresentam mudança abrupta no aquecimento da temperatura desses municípios.

FIGURA 21 – PLOTAGEM DAS CURVAS DE TEMPERATURAS DIÁRIAS DAS AWS UTILIZADAS PELO SIMEPAR E IAPAR NO PARANÁ:



5.1.4 Mapas resultantes da espacialização dos dados de temperatura

Foi usado o módulo *Geostatistics*, disponível no *ArcGIS 9.1*, sobre as bases de dados das temperaturas e das localizações de cada AWS: métodos de interpolação inverso do quadrado da distância (IDW – *Inverse Distance Weight*), Krigagem (*kriging*) e a CoKrigagem (*cokriging*), resultando em *shape files* que permitiram construir os mapas que definiram as características próximas de temperatura, contemplando as variabilidades que compreenderam as faixas que cobrem a borda de atuação das AWS para o Estado do Paraná.

Os dados utilizados em cada análise consideraram o atributo temperatura. Em alguns casos, para uma mesma tabela de dados de origem, foram analisadas as interpolações para a média da temperatura média (MED), máxima da temperatura máxima (MAX) e mínima da temperatura mínima (MIN).

Os resultados estatísticos e os coeficientes dos semivariogramas, para os métodos IDW, Krigagem e Cokrigagem (obtidos com o módulo *Geostatistics* – *ArcGIS 9.1*) podem ser analisados nas tabelas 15, 16 e 17 a seguir. Quando o *ArcGIS 9.1* apresenta um mapa que permita a visualização da delimitação das regiões, com diferenças de temperatura em escala crescente, obedecendo o comportamento da distribuição da temperatura no Estado do Paraná, de acordo com o exposto no item 4.1.1, ele é considerado satisfatório, caso contrário, não satisfatório.

TABELA 15 – VALORES DO USO DO INTERPOLADOR IDW OBTIDOS DOS SEMIVARIOGRAMAS, CONSIDERANDO SAÍDAS COMO MAPAS PREDITOS:

Origem dos Dados (formato .DBF)	Atributo (Z)	Vizinhança Considerada (estações)	Equação Regressão	Média	Erro	Análise Final para calcular e apresentar um <i>shape file</i> IDW
climatotal	Média das temperaturas Diárias - MIN	15	$-1.143 + 0.450x$	-0.0075	1.595	Satisfatório
	Média das temperaturas Diárias - MED	15	$5.804 + 0.709x$	-0.0078	0.831	Satisfatório
	Média das temperaturas Diárias - MAX	10	$16.936 + 0.543x$	-0.2140	1.467	Satisfatório
medias	Médias das temperaturas mensais - MIN	15	$3.594 + 0.515x$	-0,0230	1.388	Satisfatório
	Médias das temperaturas mensais - MED	15	$5.820 + 0.780x$	-0.0763	0.831	Satisfatório
	Médias das temperaturas mensais - MAX	15	$13.183 + 0.583x$	-0.0912	1.210	Satisfatório
primavera	Médias das temperaturas da Primavera	15	$5.125 + 0.761x$	-0.0910	0.817	Satisfatório
inverno	Mínimas da temperatura do Inverno	15	$-1.200 + 0.352x$	0.0112	1.682	Satisfatório
verão	Máximas da temperatura do verão	15	$18.861 + 0.489x$	-0.2111	1.472	Satisfatório
outono	Médias das temperaturas do Outono	15	$6.348 + 0.660x$	-0.0566	0.890	Satisfatório

TABELA 16 – VALORES ESTATÍSTICOS DA KRIGAGEM OBTIDOS DOS SEMIVARIOGRAMAS CONSIDERANDO INTERPOLAÇÃO UNIVERSAL 100% LOCAL, ANISOTROPIA E SAÍDAS COMO MAPAS PREDITOS:

Pontos Origem dos Dados (formato .DBF)	Atributo(Z)	Vizinhança Mínima Considerada e Modelo	Nugget	Direção e Alcance (m)	Equação Regressão e Modelo do Semivariograma	Média e Erro	Análise Final
climatotal	Média das temperaturas diárias - MIN	10 estações e Exponencial	0	122° e 53.220	$-1.327 + 0.382x e^{0,54919 \cdot Exponential(33599,11751,31,1)} + 0 \cdot Nugget$	-0.03778 e 0.7961	satisfatória
	Média das temperaturas diárias - MED	10 estações e Exponencial	0.03618	40° e 51.923	$-8.118 + 0.602x e^{0 \cdot Exponential(585220)} + 0,036117 \cdot Nugget$	-0.07618 e 0.1993	satisfatória
	Média das temperaturas diárias - MAX	10 estações e Exponencial	0.24881	32° e 56.340	$27.529 + 0.266x e^{0 \cdot Exponential(585220,585220,9,0)} + 0,24881 \cdot Nugget$	-0.07618 e 0.1993	satisfatória
medias	Médias das temperaturas mensais - MIN	10 estações e Exponencial	0.16396	180° e 51.923	$4.568 + 0.362x e^{0 \cdot Exponential(585220,585220,9,0)} + 0,16396 \cdot Nugget$	-0.2830 e 0.3278	satisfatória
	Médias das temperaturas mensais MED	10 estações e Exponencial	0,03532	35° e 585.220	$7.741 + 0.620x e^{0,0004083 \cdot Exponential(585240,455990,16,5)} + 0,035318 \cdot Nugget$	-0.1008 e 0.1975	satisfatória
	Médias das temperaturas mensais MAX	10 estações e Exponencial	0,10043	180° e 585.220	$18.332 + 0.416x e^{0 \cdot Exponential(585220,585220,9,0)} + 0,10043 \cdot Nugget$	-0.2300 e 0.4188	satisfatória
primavera	Médias das temperaturas diárias da estação Primavera	20 estações e Exponencial	0,03765	4° e 585.220	$9.433 + 0.565x e^{0 \cdot Exponential(585220,585220,9,0)} + 0,037646 \cdot Nugget$	-0.02796 e 0.2007	satisfatória
inverno	Mínimas da temperatura da estação Inverno	8 estações e Exponencial	0	180° e 43.992	$-1.408 + 0.393x e^{1,4508 \cdot Spherical(43992,43992,45,0)} + 0 \cdot Nugget$	-0.1880 e 1.2430	satisfatória
verao	Máximas da temperatura da estação Verão	20 estações e Exponencial	0,39676	170° e 404.300	$23.718 + 0.361x e^{0,0036603 \cdot Spherical(585230,404300,29,9)} + 0,39676 \cdot Nugget$	-0.09115 e 0.2150	satisfatória
outono	Médias das temperaturas diárias da estação Outono	20 estações e Exponencial	0,03789	168° e 585.220	$9.588 + 0.478x e^{0 \cdot Exponential(585220,585220,9,0)} + 0,037897 \cdot Nugget$	-0.2261 e 0.2013	satisfatória

TABELA 17 – VALORES ESTATÍSTICOS DA COKRIGAGEM OBTIDOS DOS SEMIVARIOGRAMAS CONSIDERANDO INTERPOLAÇÃO UNIVERSAL 100% LOCAL, ANISOTROPIA E SAÍDAS COMO MAPAS PREDITOS:

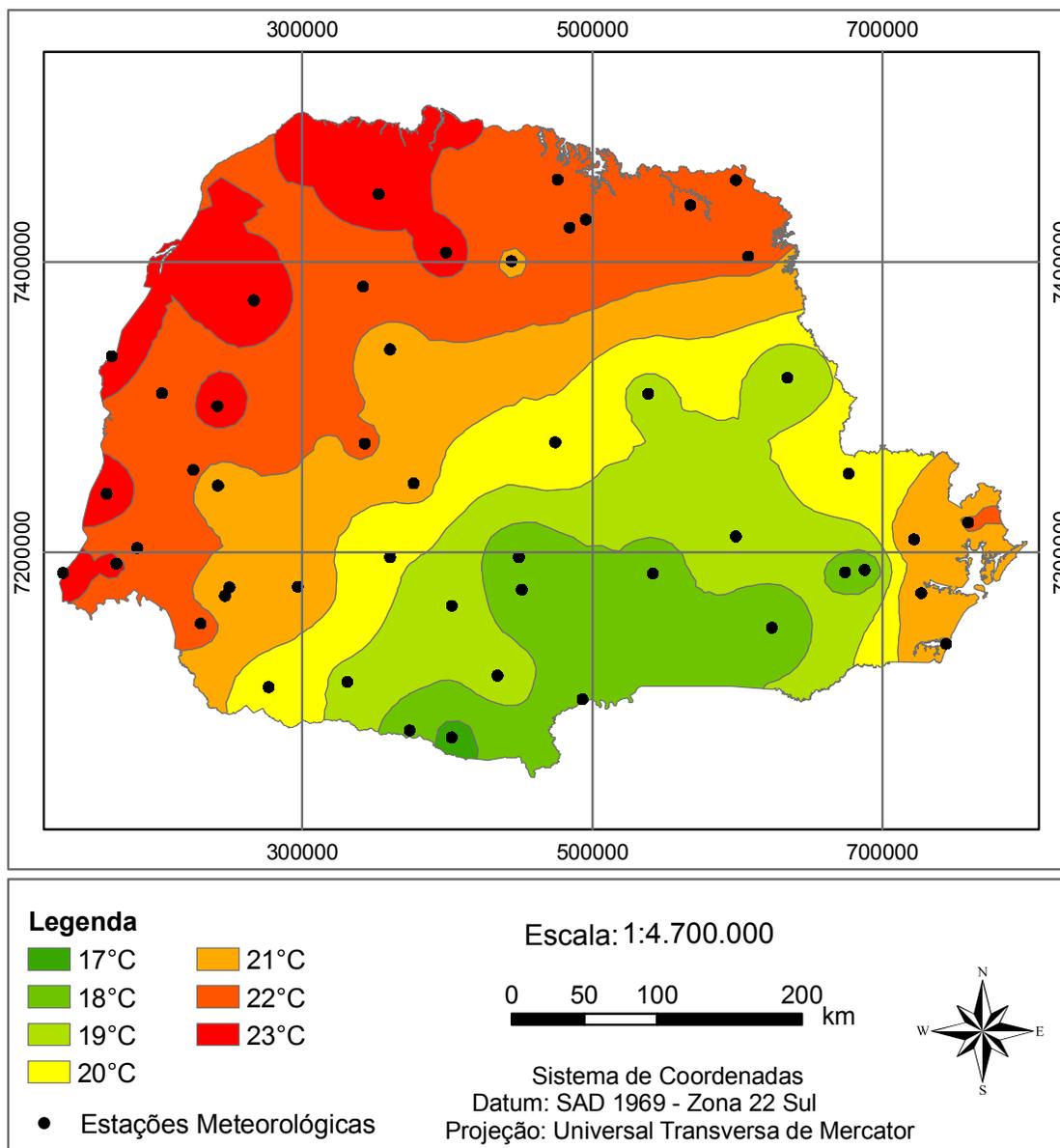
Pontos Origem dos Dados (formato .DBF)	Atributo(Z) e Método	Vizinhança Mínima Considerada e Modelo	Nugget	Direção e Alcance (m)	Equação Regressão e Modelo do Semivariograma	Média e Erro	Análise Final
climatotal	Média das temperaturas diárias	10 estações e Exponencial	-	66° e -	-	- e 0	Não satisfatório
media	Médias das temperaturas mensais	15 estações e Esférico	-	50° e -	-	- e 0	Não satisfatório
primavera	Médias das temperaturas diárias da estação Primavera	10 estações e Exponencial	-	81° e -	-	- e 0	Não satisfatório
inverno	Mínimas da temperatura da estação Inverno	10 estações e Exponencial	-	108° e -	-	- e 0	Não satisfatório
verao	Máximas da temperatura da estação verão	10 estações e Exponencial	-	35° e -	-	- e 0	Não satisfatório
outono	Médias das temperaturas diárias da estação Outono	10 estações e Exponencial	-	71° e -	-	- e 0	Não satisfatório

Nos casos da interpolação por cokrigagem, por haver amostras de dados com medidas de erros iguais a zero e coincidentes, a validação cruzada do semivariograma/covariância não foi calculada pelo módulo *Geostatistics (ArcGIS 9.1)*, resultando em erro, por isso o mapa preditor não foi gerado, impossibilitando a análise por esse método de interpolação.

Uma vez determinados os *shapefiles* resultantes dos métodos geoestatísticos, os mapas foram submetidos a uma intersecção com o mapa que descreve o contorno do Estado do Paraná para eliminar as regiões do *bounding box*, que não fazem parte da área de estudo (Paraná) e, logo em seguida, os mapas resultantes da intersecção dos métodos de interpolação foram unidos ao mapa do contorno do Paraná, de modo a englobar as regiões que compreendem as áreas analisadas e que podem ser delineadas (isolinhas) para futuros cultivos da espécie florestal aqui estudada (Figura 22).

Mais detalhes podem ser analisados no Anexo A – Mapas Resultantes da Espacialização de Dados de Temperatura, que mostram as isolinhas delimitando regiões com mesmas características de temperatura ao Estado do Paraná.

FIGURA 22 – ISOLINHAS DELIMITANDO ÁREAS (INTERPOLAÇÃO INVERSO QUADRADO DA DISTÂNCIA) DAS TEMPERATURAS MÉDIAS DAS MÉDIAS MENSAIS



Conforme analisado e respeitando a especificidade deste projeto, os mapas gerados apresentam resultados satisfatórios e condizentes se comparados com a realidade histórica descrita no banco de dado de temperatura, e estão em conformidade ao descrito no item 4.1.1, podendo ser considerada a aplicação da

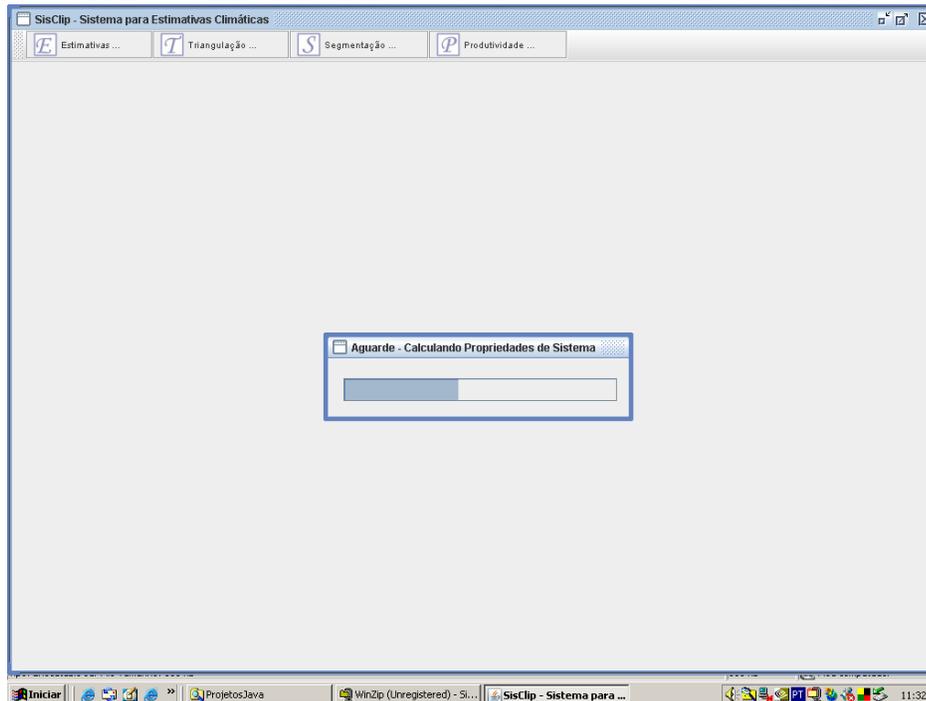
geoestatística oferecida pelo módulo *Geostatistics* do *ArcGIS 9.1* para este tipo de estudo.

5.1.5 Software e as projeções ao cultivo do *Pinus taeda*

O software que foi modelado em UML e implementado em Java™, manipula arquivos vetoriais do tipo *Shapefile*, é interativo com o usuário, quer pela simplicidade quer pela operacionalidade e, apresenta características próprias para sua manipulação.

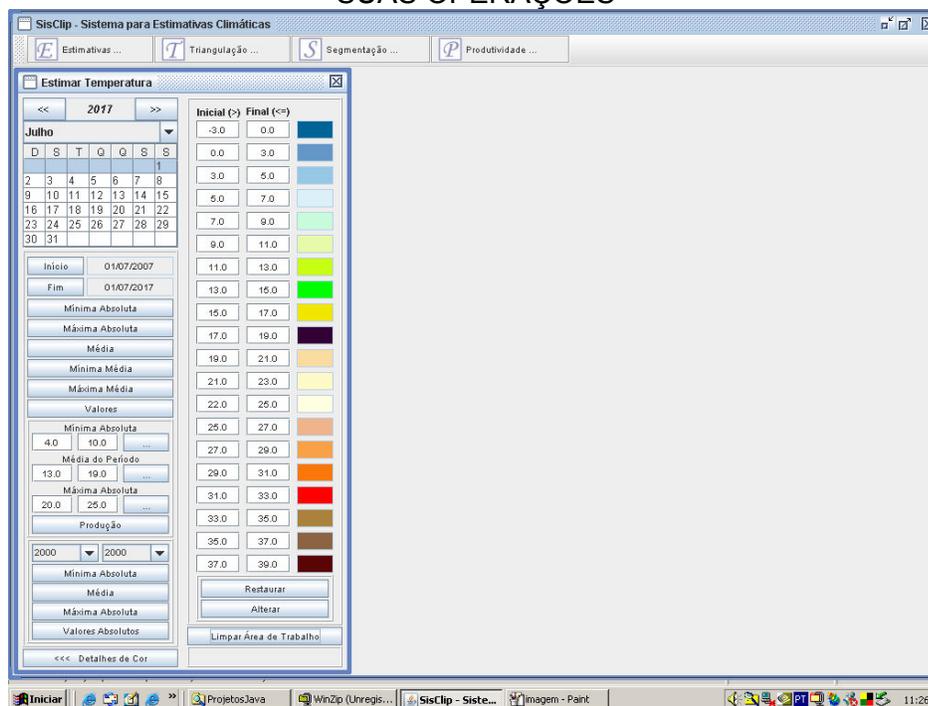
A unidade de interface gráfica desenvolvida é responsável por efetuar e permitir a interação homem-máquina. Por isso, o estudo do desenvolvimento do software apresentado inclui abstrações, comportamentos, desaprovações e conceitos, trabalha com cores padronizadas (que podem ser modificadas pelo usuário), possuindo terminologia do ambiente de trabalho. Procurou harmonizar os componentes das telas, gráficos e similares. A figura 23 mostra a tela inicial do sistema, onde se apresenta uma barra de evolução indicando a carga do *shapefile* do Estado do Paraná, os pré-cálculos da triangulação de *Delaunay* e segmentação *Voronoi*, bem como a conexão com o banco de dados e dos cálculos a serem realizados para determinação das regiões.

FIGURA 23 – TELA DE ABERTURA DO SOFTWARE APRESENTADO



A figura 24 apresenta um calendário a partir do qual o usuário determinará a data a ser escolhida para determinação da predição dos valores de temperatura mínima, média ou máxima em cada uma das estações, de acordo com o modelo trigonométrico especial adotado.

FIGURA 24 – APRESENTAÇÃO DA OPÇÃO “ESTIMATIVAS” DO SOFTWARE E SUAS OPERAÇÕES



O usuário também pode fazer uma escolha da predição dos valores de temperatura indicando, primeiramente a data início diretamente no calendário e, posteriormente, a data final.

Uma vez estabelecido o intervalo da predição, basta escolher se deseja a apresentação dos mapas das temperaturas médias dos períodos (intervalo escolhido) ou se deseja os mapas que denotem as máximas e mínimas (valores extremos - absolutos), conforme exemplificado nas figuras 25 e 26:

FIGURA 25 – APRESENTAÇÃO DOS MAPAS DAS TEMPERATURAS MÍNIMAS, MÉDIAS E MÁXIMAS ABSOLUTAS CARACTERIZANDO REGIÕES, NO PERÍODO SELECIONADO: 01/01/2007 A 31/12/2012

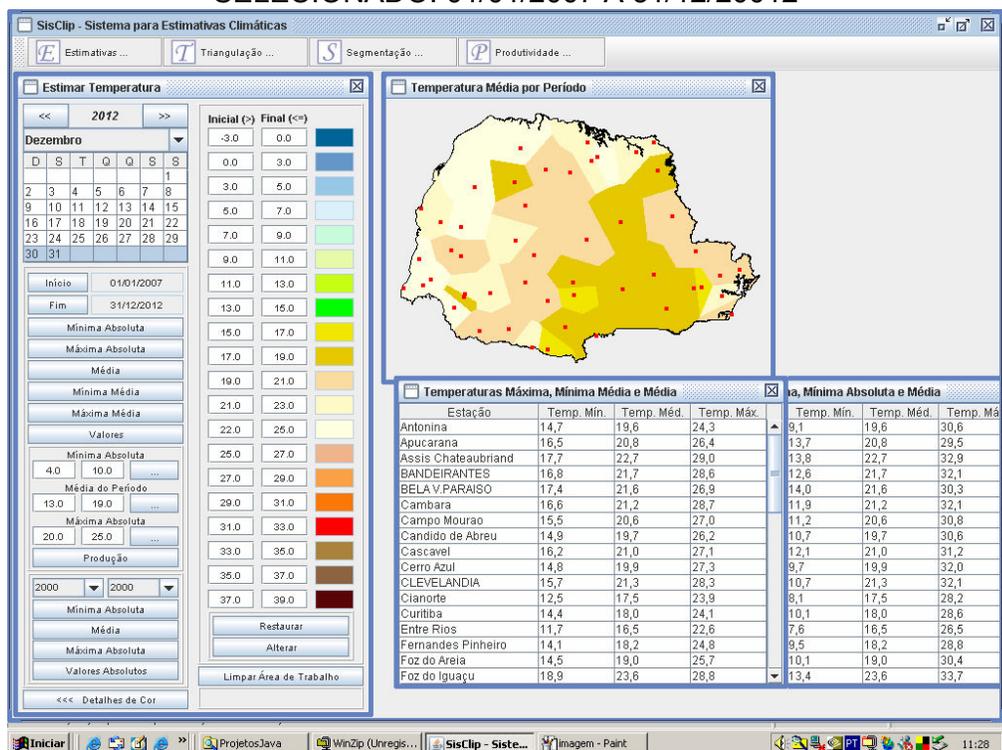
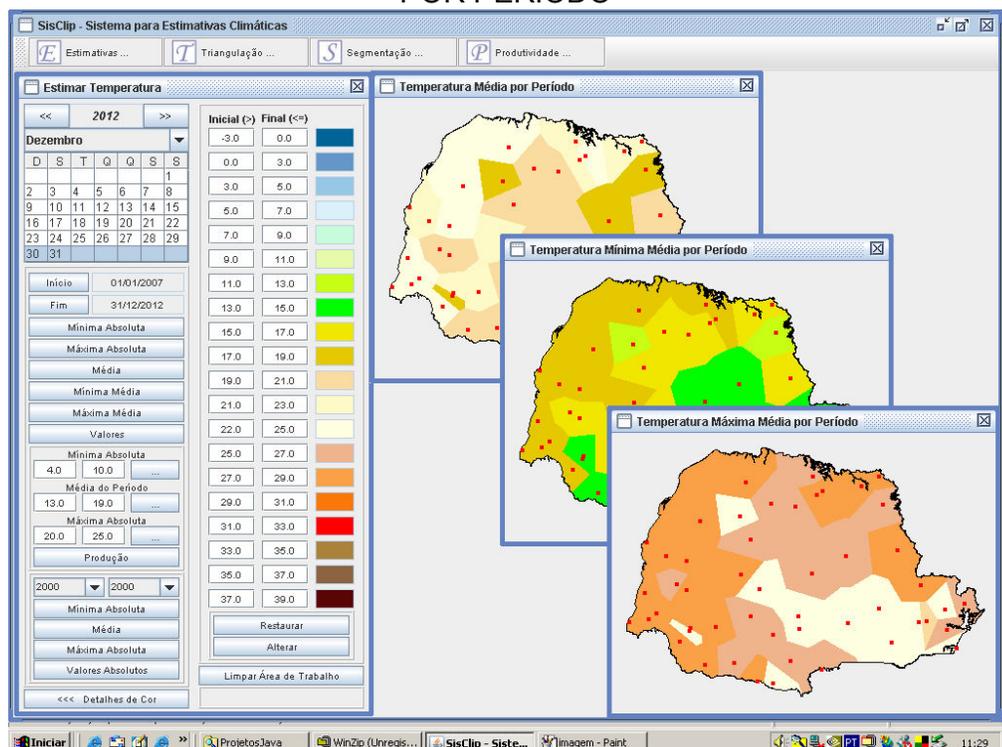
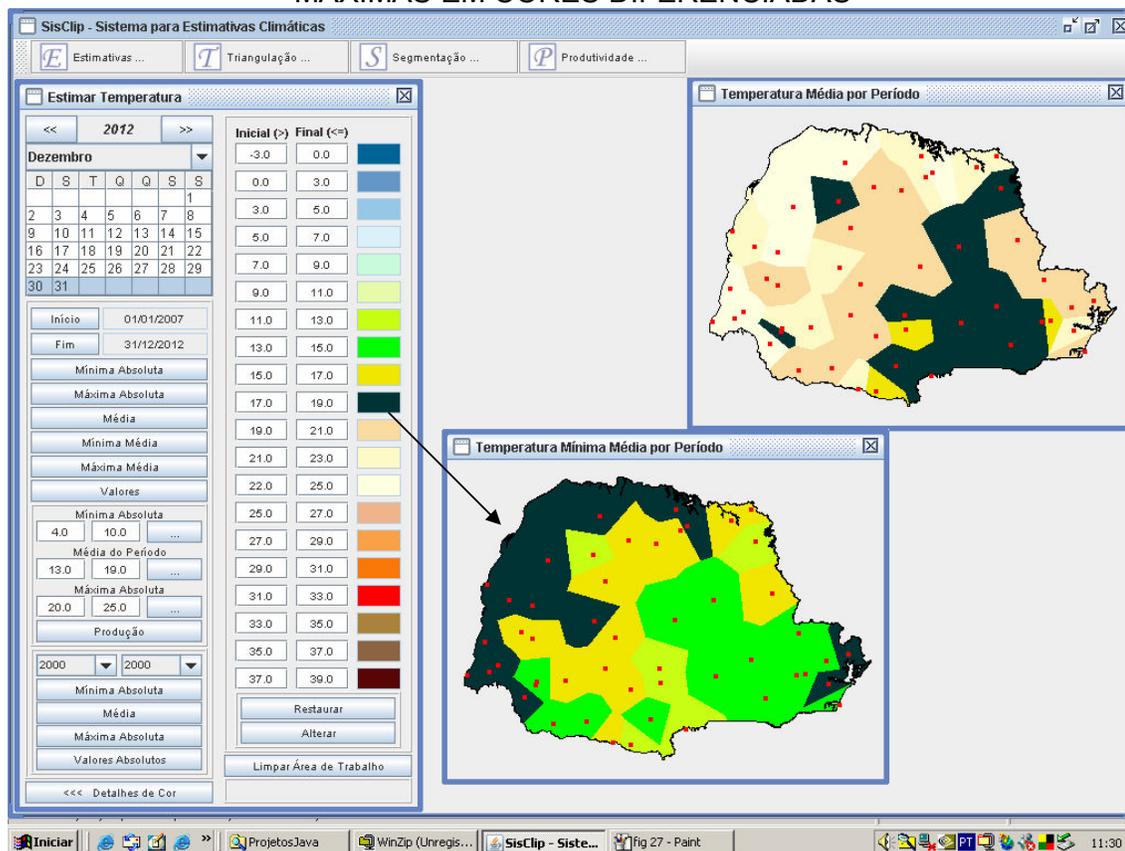


FIGURA 26 – APRESENTAÇÃO DOS MAPAS DAS TEMPERATURAS MÉDIAS POR PERÍODO



Se o usuário desejar, pode escolher a troca das cores para definir cada região. A figura 27 apresenta um exemplo das temperaturas mínimas e máximas de um determinado período em cores diferentes em relação ao padrão inicial sugerido pelo sistema.

FIGURA 27 – APRESENTAÇÃO DOS MAPAS DAS TEMPERATURAS MÍNIMAS E MÁXIMAS EM CORES DIFERENCIADAS



5.2 DISCUSSÕES

5.2.1 Software e projeções do Modelo Dinâmico

O sistema computacional desenvolvido agregou o modelo dinâmico para o estudo de variabilidade climática, que considera esta variabilidade de acordo com o período diário das mudanças de temperatura, não extrapolando valores ou utilizando medidas de tendência central para normalizar seus valores de dados, ao mesmo tempo que gera os mapas de acordo com os valores dos atributos reais, ou seja, dos dados, contidos na base de dados que foram fornecidas pelas parceiras Simepar e Iapar, respeitando criteriosamente cada leitura diária apresentada.

Os mapas gerados pelo *software* colocam a estação meteorológica no centro de cada região, que é delimitada pela interpolação que utiliza o método da triangulação de Delaunay e construídos pela segmentação de Voronoi, que passam a englobar, definir e responder pela influência e variabilidade de temperatura da região delimitando a sua influência até a fronteira de outra estação, que passa então a assumir a responsabilidade de responder pela mesma, de forma que os resultados apresentados pelos mapas são satisfatórios, considerando os seguintes fatores:

- Resultados dos cálculos estatísticos de determinação (R^2) para cada estação isoladamente, portanto, devendo ser analisada a estimativa sobre cada uma de forma isolada;
- Projeções das temperaturas levam em conta toda a variabilidade da temperatura em escala diária, portanto, realizam-se cálculos sobre valores de dados diários e
- Fidelidade quanto à leitura e tratamento dos dados originalmente disponibilizados.

Verificou-se nos resultados, que a temperatura aumenta na direção Norte e diminui para o Sul, contando com um resfriamento nesse sentido, o mesmo acontecendo de Oeste para Centro-Sul do Estado, embora tenhamos alguns pontos que contrariam a tendência global do parâmetro, como o aquecimento do 1º. Planalto, da região da capital paranaense ao sentido leste, rumo ao litoral.

As regiões projetadas apresentam-se muitas vezes em forma de um mosaico, por terem relação direta da predição com o período selecionado (data: dia, mês e ano), com leves modificações sendo apresentadas em projeções próximas no calendário.

Assim como ocorreu no trabalho de Moreira (1997), as regiões foram delimitadas em “blocos” pela dificuldade de mapear extensas regiões devido à falta de dados, que levam à imprecisão quanto à espacialização das temperaturas nas mesmas.

No *software* apresentado, a partir do método de interpolação por Triangulação *Thiessen*, verificam-se nos mapas apresentados pelo *software* que, nas áreas em questão, os valores de temperatura são iguais ao valor pontual das AWS de onde se determinou a região (polígono mais próximo a esse mesmo ponto).

O software desenvolvido executou bem os princípios da triangulação de Delaunay e a determinação dos diagramas de Voronoi, permitindo realizar a interpolação dos pontos das AWS com desempenho na ordem de n , onde n é o número de pontos mas, como já apresentado, o desejável seria uma complexidade $n \log n$.

Embora os pontos sejam poucos, provou-se ser um algoritmo rápido e eficiente, mas bastante complexo em termos de implementação, principalmente pelo esforço de se desenvolver o algoritmo para determinação dos pontos (por coordenadas), vértices, medianas, círculos e circuncírculos e outros elementos dos conceitos. Tudo implementado de acordo com as especificações do projeto, sendo importante para dominar o método de triangulação.

A especificação de requisitos, análise, projeto e implementação do software apresentado respeitou o ciclo de vida do software bem como respeitou as especificações técnicas para construção de um novo *software* e relações existentes. A linguagem de modelagem UML permitiu o formalismo para expressar o modelo computacional proposto, permitindo a comunicação e interpretação das diferentes classes, com respectivos objetos e métodos, para transmitir a operacionalidade e funcionalidades previstas na fase de análise e projeto do software apresentado. Com essa documentação, fica claro e simples reformular e atualizar o sistema através das classes existentes e dos tipos de relacionamentos existentes entre elas, representando uma alternativa ao modelo ora proposto.

A modelagem permitiu a compreensão do sistema e a UML foi empregada para a visualização, especificação e construção de artefatos que compuseram o sistema proposto. A UML fez parte do método para desenvolvimento do software, mostrando ser independente do processo. Foi utilizada em processo orientado a casos de usos, centrada na arquitetura, iterativo e incremental. Os elementos utilizados no modelo conceitual da UML permitiram agregar blocos de construção básicos (itens, relacionamentos e diagramas), regras que determinaram como esses blocos podiam ser combinados e alguns mecanismos aplicados na UML (especificações, adornos, divisões e mecanismos de extensão).

A UML permitiu observar o sistema de maneira distinta, em momentos diferentes ao longo do desenvolvimento do projeto. A arquitetura do sistema foi o artefato mais importante a ser utilizado com o objetivo de gerenciar os diferentes

pontos de vista e tornar possível um controle do desenvolvimento iterativo e incremental do sistema, respeitando o seu ciclo de vida. As visões proporcionadas pela UML incluíram a visão de caso de uso, a visão de projeto, a visão do processo, de implementação e de implantação.

A construção do *software* procurou, da mesma forma, contemplar as restrições técnicas de layout e apresentação dos resultados desejados pelo usuário, ou seja, a visualização temática de áreas propícias ao cultivo e produção de *Pinus taeda* restringidas pelas variabilidades de temperatura no Estado do Paraná. O software integralmente desenvolvido sob plataforma Java™ segue todas as especificações técnicas determinadas pela ESRI/ERDAS (2000) apresentando mapas no formato *shapefile*, de forma que todo e qualquer mapa constituído nesse formato pode ser anexado e visualizado no software apresentado, sem a necessidade de incorporarem dados ou índices associados ao arquivo *.SHP.

O *Together* amparou o desenvolvimento, acelerou a criação da solução do software, ofereceu suporte à modelagem de processo de negócios, modelagem de dados, modelagem e visualização de aplicação, além de abrangentes auditorias, tanto para modelos quanto para o código.

A vantagem de seu utilizar o *Eclipse* foi o aumento da produtividade e da qualidade oferecida ao desenvolver o sistema, permitiu a automatização da revisão do *design* e do código, com auditorias fornecidas tanto no nível do modelo quanto no do código, reduzindo o tempo gasto com revisões e dos custos associados a retrabalho com a base de código.

A utilização da linguagem JAVA™ tornou-se importante por não se prender a plataformas de sistema operacional, possibilitando que, em trabalhos futuros, estendam-se os modelos propostos, os códigos implementados e a estrutura de dados ora utilizada.

A independência de plataforma tornou Java ideal para seu uso na elaboração de aplicativos distribuídos e conseguiu a independência devido ao fato de o seu compilador não gerar instruções específicas a uma plataforma, mas sim um programa em um código intermediário, denominado *bytecode*, que pode ser descrito como uma linguagem de máquina destinada a um processador virtual que não existe fisicamente (na realidade existe). O código Java compilado pôde então ser

executado por um interpretador de *bytecodes*, a JVM - *Java Virtual Machine*, que é um emulador de processador, tornando-se uma vantagem.

Como enfatizado por Schumacher (2000), neste projeto foi realizada a separação dos arquivos em estação do ano para verificar o comportamento dos modelos de acordo com as temperaturas de cada estação climática do ano, resultando em informações, que não divergem das encontradas se comparadas ao software, onde os períodos são solicitados, permitindo a confirmação das informações apresentadas pelo modelo dinâmico desenvolvido.

Deffune (1990) filtrou dados para facilitar a definição dos perfis a um planejamento regional. Este projeto tratou os dados de forma total e filtradas em variações: temperatura das estações climáticas primavera, verão, outono, inverno, médias mensais, além de considerar ao software, o arquivo com todos os dados diários coletados no período, sendo filtrados de acordo com as características do objeto de estudo: *Pinus taeda*.

A abordagem de incluir delimitação de regiões de temperatura pelos valores mínimos e máximos absolutos (extremas) baseia-se muito no trabalho de Câmara (1977), que permitiu uma análise dos efeitos das temperaturas mínimas e máximas sobre regiões, comparando-as com as áreas produtivas do *Pinus taeda*.

Com os dados de temperatura diária do Simepar e Iapar, foi possível realizar simulações através da geoestatística, sobre as leituras em escalas anuais (mínimas, médias e máximas), obtendo mapas que confirmam a projeção apresentada pelo software, bem como resulta em coeficientes do modelo dinâmico, que variam de 29% a 65% para as abordagens diárias e, no modelo estático, de 75,4% a 89,8% para abordagens anuais, estando em conformidade ao trabalho apresentado por Pezzopane et al. (2004).

Um programa (*software*) especial foi desenvolvido para realizar a conversão do arquivo originalmente recebido no formato texto (*.txt*) para o formato de banco de dados (*.dbf*) necessários à eliminação de espaços brancos e caracteres especiais para, em seguida, serem tratados nos softwares estatísticos (*Statgraphics 4.0* e *SPSS 13.0*) e no *ArcGis 9.1*. O programa de conversão é independente ao software apresentado e não faz parte de seu *menu* porque a base de dados recebida pode variar em formato e origem, divergindo da formatação específica originalmente oferecida.

Pelo apresentado no mapa do Estado do Paraná, pode-se observar a distribuição geográfica das AWS com maior concentração nas regiões Centro-Sul e Norte do Estado, isso faz com que a maior concentração das áreas de estudo sejam naquelas regiões. O número de AWS, se aumentado, contribuirá significativamente para atingir melhores resultados de toda a análise ora apresentada.

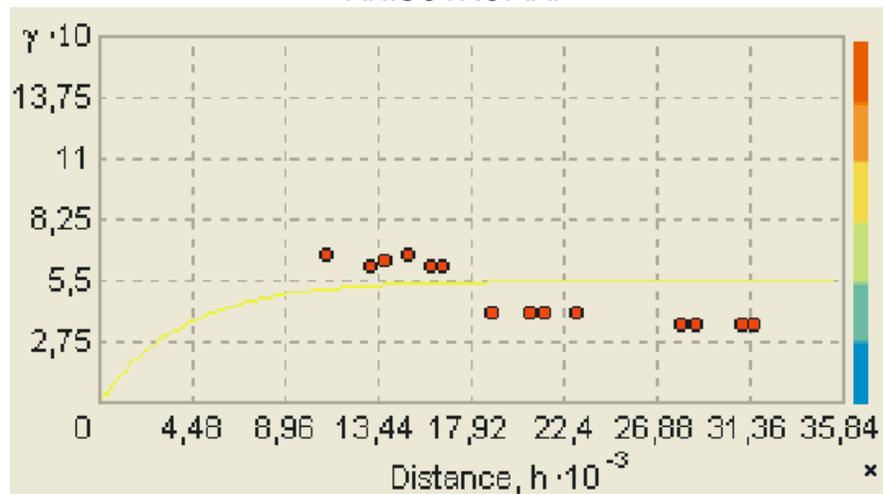
O software pode ser muito útil quando o engenheiro florestal estiver estudando áreas em função das temperaturas ideais para o processo de maturação das sementes, que, conforme estudos realizados na FURB (2007) constatou-se que existem duas fases distintas e que, nessas, a temperatura exerce influência.

5.2.2 Interpoladores espaciais aos dados de clima e variações

Como exposto no item 5.1.4 (Mapas resultantes da espacialização dos dados de temperatura) e em conformidade ao detalhamento do mesmo no Anexo A, os erros médios dos interpoladores inverso do quadrado da distância, kriging e cokriging, utilizados no *ArcGIS 9.1*, apresentam-se altos e, em alguns casos, negativos, indicando que não é plausível usar, naqueles casos, a temperatura média diária ou mensal como variável auxiliar na determinação de regiões espaciais de temperaturas similares ou próximas. Porém, muitas foram as exceções como o caso da predição na determinação do mapa de temperaturas médias do período, médias dos meses do período e dos extremos máxima da estação climática verão e mínima da estação climática inverno do Paraná, caracterizando macrorregiões de forma satisfatória.

Os semivariogramas experimentais (Figura 28) determinados no software *ArcGIS 9.1* aos interpoladores *Kriging*, foram utilizados para avaliar a dependência espacial das variáveis em estudo, todos eles levando em consideração a anisotropia e interpolação local. Os métodos de interpolação foram testados e ajustados aos semivariogramas de temperaturas médias diárias, temperaturas médias mensais e temperaturas médias diárias da série histórica e para as estações climáticas do ano analisadas, respeitando, no processo de decisão de valores iguais, a inclusão de todas os valores de atributo e/ou a utilização da média dos mesmos.

FIGURA 28 – SEMIVARIOGRAMA GERADO NO ARCGIS 9.1 PARA INTERPOLAÇÃO POR KRIGAGEM DA TEMPERATURA MÍNIMA CONSIDERANDO ANISOTROPIA.



Onde:

Distance, $h \cdot 10^{-3}$ = distância considerada para o semivariograma

$\gamma \cdot 10$ = valores do semivariograma

Os exames dos semivariogramas para as temperaturas médias revelam que existe dependência espacial e apresentam anisotropia, ou seja, a variabilidade espacial depende da direção escolhida. Os efeitos pepita e os alcances (em metros) para as C_0 variáveis em estudo são bastante distintos, variando muito de acordo com a base de dados escolhida, sendo muito distintos, significando que existe uma descontinuidade entre valores separados por distância menores do que o usado no intervalo de amostragem. A proporção desses valores para os patamares dos semivariogramas é um indicativo da quantidade de variação ao acaso de um ponto para outro e, quanto menor seu valor, mais parecidos são os valores vizinhos.

Assim como Silva e Amorin (2003) utilizaram interpoladores espaciais (IDW e Kriging) para descrever a espacialização das temperaturas em Portugal, esta tese também utilizou-se dos interpoladores (IDW e Kriging) para espacializar e mapear as temperaturas para o Estado do Paraná, considerando a anisotropia, utilizada por Camargo et al. (2003), obtendo bons resultados, apresentados no Anexo A, sendo um subsídio importante para análise e facilitador para tomada de decisão quanto aos locais a plantar e produzir o *Pinus taeda* em função da temperatura e dado importante para confirmar e validar os resultados apresentados pelo software.

Da mesma forma, ao realizar o cálculo das temperaturas mínimas, médias e máximas das regiões supra citadas, a partir dos dados fornecidos pelo Simepar e

lpar, foi possível validar as projeções realizadas pelo sistema computacional, resultando na confirmação da validação do modelo matemático às temperaturas regionais.

Em todos os casos de interpolação analisados, o alcance significou que todos os vizinhos dentro desse raio podem ser usados na estimativa de valores em espaçamentos mais próximos. Pode-se notar alguma flutuação em torno dos alcances, causados por variações periódicas influenciados por outros fatores (precipitação, continentalidade, maritimidade, efeito da antropia acelerada – queimadas, desmatamentos, desvio de rios, etc. -, secas e outros) em períodos cíclicos, mas não contínuos, levando a acreditar que tais efeitos (mesmo que “flutuativos”), apresentam uma distribuição espacial própria e distinta em determinadas regiões, afetando a precisão na determinação de pontos na caracterização de regiões homogêneas.

Em situações em que existe a correlação espacial entre variáveis, como no caso da temperatura máxima, mínima, da longitude e latitude do ponto, a busca da estimativa de uma delas pode ser feita usando-se informações de ambas, expressas no semivariograma cruzado. Como a correlação linear entre temperatura média (diária ou mensal) utilizada para correção de pontos espaciais foi fracamente significativa; a temperatura média diária e mensal, da série histórica com anisotropia, não pôde ser examinada. Conseqüentemente, a variável temperatura média não pôde ser usada na obtenção de estimativas em lugares não amostrados para temperaturas médias em toda a área de estudo, dentro dos alcances.

Como enfatizado por Vieira (2000) e Goovaerts (1997), os valores a serem obtidos através da krigagem e da cokrigagem, são não-viciados, têm variação mínima, são ideais para a construção de mapas de isolinhas para a verificação e interpretação da variabilidade espacial, porém, não se mostraram satisfatórios para a variável temperatura mínima, média e máxima em determinados casos, por apresentarem contornos desproporcionais aos comparados na série histórica dos dados analisados, não sendo úteis para melhor entender a variabilidade das propriedades das temperaturas mínimas, médias e máximas; para entender a variabilidade e identificar áreas que necessitam de maior ou menor monitoramento, levando a acreditar que outros fatores afetam sua predição.

O principal motivo da utilização da krigagem e cokrigagem universal em relação aos outros métodos (ordinário, simples, indicador, probabilístico e disjuntivo) residiu no fato de que essa evita instabilidade no sistema de equação causado quando a variável secundária, ou auxiliar é muito redundante, além do fato de ser mais rápida sua solução, pois o sistema de equações é menor, caracterizando então, a vantagem da sua adoção. A desvantagem se limitou ao fato de que a variável auxiliar deve ser conhecida em todos os locais que estão sendo estimados.

Pela comparação visual dos mapas obtidos, verifica-se que os interpoladores inverso do quadrado da distância e krigagem (universal) apresentam bolsões de temperatura definidos, indicando regiões de possíveis microclimas, informação essencial para o planejamento florestal. O modelo inverso do quadrado da distância tem distribuição espacial um pouco mais homogênea para o clima se comparado aos outros dois modelos e, mesmo devido a problemas de coleta de dados de forma temporal não-padronizada, foi o que mais detalhou delimitações das possíveis regiões para o cultivo do *Pinus taeda*. Seus mapas mostram as descontinuidades espaciais, indicando detalhes que podem ser considerados de grande importância, porém são generalistas, que pode ser um problema, porque em estudos de zoneamento florestal pela caracterização climática, necessita-se de clareza na delimitação destas áreas para todo o Estado, deixando então para o engenheiro florestal a tomada da decisão para o cultivo da espécie.

Como afirmado por Gonçalves (1993), a falta do número adequado de estações meteorológicas dificultou a quantificação de regiões, o que imprecisa a delimitação de microrregiões das temperaturas calculadas pelo software.

Vale enfatizar que dos resultados obtidos, com aplicação da geoestatística para confecção de mapas, de forma geral foi satisfatório, principalmente no caso da interpolação inverso do quadrado da distância e da krigagem. De acordo com a literatura, as interpolações necessitam de um grande número de dados observados para resultar em uma maior precisão, no mínimo 100, mas o ideal é mais de 1000, dependendo da área de estudo; neste caso, foram 50.

5.2.3 A estatística dos Modelos Estático e Dinâmico.

O modelo matemático de análise de regressão, proposto por Acosta (1997) e por Almeida (2000) foi adotado na tese para fins de comparação de seus resultados

ao Estado do Paraná. Foi utilizado também para verificar/comparar com os resultados apresentados pelo software. A diferença reside no fato desse modelo ser estático, ou seja, é bom e útil quando utilizado em pontos espacializados (regiões) sem levar em conta o comportamento dinâmico (temporal) do efeito histórico das variações de temperatura.

Diversas são as questões aplicáveis à análise multivariada e, apesar de não haver uma “resposta” única, julga-se que a análise e a interpretação de qualquer problema multivariado podem ser auxiliadas seguindo-se uma série de diretrizes gerais. Essas diretrizes representam mais uma “filosofia de análise multivariada” (que nos têm sido útil), do que uma lista completa de considerações. A força da análise multivariada é sua forma aparentemente “mágica” de ordenar um grande número de possíveis alternativas e encontrar as que têm significância estatística. Este projeto utilizou a análise de regressão como ferramenta estatística para verificar a aceitação dos modelos propostos, com cautela. Verificou-se que o tamanho da amostra demonstra o impacto para atingir a significância estatística, apresentando coeficientes de determinação muito baixos, revelando a sua forma sensível para aceitação. Ressalta-se que toda a base de dados utilizada (médias diárias total, média mensal e por estações climáticas do ano) foi criteriosamente formatada para submeter aos diversos métodos de regressão aos modelos estático e dinâmico e, mesmo assim, apresentaram índices que não podem ser considerados para generalizar um modelo estático único a predizer o clima nas diferentes regiões do Estado do Paraná, englobando, também no caso, microrregiões.

Quanto ao exame dos erros da análise, estes sempre levaram à pergunta “Para onde vou a partir daqui?”, fazendo com que a melhor resposta fosse a de examinar os erros na previsão e dos resíduos da análise e regressão. Os resíduos do modelo estático (dados diários e por estações climáticas) resultaram em índices tão grandes que não expressam confiança, da mesma forma, os erros na previsão foram tão expressivos que levaram a desconsiderar a adoção do modelo estático proposto, considerando as variáveis em sua dimensão diária, semanal e mensal; para o caso do modelo dinâmico, ajustado para a dimensão diária, foram considerados satisfatórios e muito próximos da dimensão anual apresentada na abordagem do modelo estático. Em todo o caso, usou-se os erros na previsão não como uma medida de falha ou algo que simplesmente tivesse que ser eliminado,

mas como um ponto de partida para diagnosticar a validade dos resultados obtidos e uma indicação das relações restantes sem explicação o que, na realidade, vieram a confirmar a fragilidade do mesmo.

Levando em consideração os resultados da análise de regressão, partiu-se para uma modelagem diferenciada, que levou em conta a variabilidade temporal dos dados, respeitando a forma original da população (todo o conjunto de amostras de dados), sem aplicar medidas estatísticas de modo a tendenciá-la a ser média de outras médias de temperaturas que, fatalmente, poderiam ser utilizadas na análise de regressão e resultar em coeficientes e índices aceitáveis, mas altamente tendenciosos.

Sobre os resultados apresentados pelos coeficientes de determinação (R^2) ao modelo estático na abordagem anual, apresentaram-se em grau satisfatório, expressando a possibilidade da adoção da extrapolação das variáveis às médias anuais o que, em uma abordagem que envolve variáveis de natureza cíclica, praticamente constante, implica em termos às mãos um modelo válido para determinada época ou período, nada podendo afirmar acerca da variabilidade futura em termos temporais.

Médias diárias mínimas, médias diárias médias e médias diárias máximas foram utilizadas referenciando o modelo dinâmico evoluído para uma formulação mais “agressiva” ao incluir as duas dimensões do tempo (tempo e tempo²) e respectivos coeficientes, no sentido de enfatizar as temperaturas médias diárias de cada AWS em busca de possíveis fronteiras a delimitação futura de microrregiões que caracterizam microclimas.

O sucesso do modelo dinâmico é modesto, mas, levando em consideração que o clima está altamente relacionado a outros fatores, como maritimidade, continentalidade, presença (ou não) de cobertura vegetal, o tipo da cobertura vegetal e a qualidade desta, agregado ao fato de ser dinâmico, pode-se afirmar que os coeficientes de determinação nas diferenciadas localidades (AWS) resultaram em índices mais confiáveis se comparados ao modelo estático (fato que levou a sua adoção para a implementação no Software apresentado), julgando que o cálculo das estimativas de temperatura foi satisfatório para a caracterização de regiões e à elaboração de cenários climáticos atrelados à redistribuição geográfica do *Pinus*

taeda, sendo mais bem apresentada e, inclusive, quando comparada à geoestatística, com mapas gerados nos métodos de interpolação disponíveis.

5.2.4 O software, a relação do clima e produção de *Pinus taeda*

O tratamento a nível diário adotado neste estudo foi baseado nas conclusões de Ribeiro (1981) e Monteiro (1969), resultando na confirmação de adotar o ritmo como base para percepção e compreensão da dinâmica da temperatura, cujos efeitos também foram utilizados por Hunter e Gibson (2004).

Porém, nenhum sistema de classificação climática é perfeito dado a grande combinação de fatores que o influencia (ORTOLANI e CAMARGO, 1987; ACOSTA, 1997), por isso o software executa projeções sem considerar fatores que poderiam melhorar, ou piorar, a predição das regiões nos mapas que apresenta.

Como proposto pelo sistema de informação de Flores (1995), este software procura representar a temperatura dando a idéia de ritmo, enfatizando que seu uso procura cobrir regiões, por meio de uma abordagem matemática, como ferramenta de apoio à decisão.

O software enfatiza o ritmo, ou seja, partindo de leituras das temperaturas diárias, assim como adotados no trabalho de Tarifa (1972) para produção agrícola, e de Tetila (1983), para produção de soja, pode-se enfatizar o ritmo em escala diária para investigar as variações climáticas para a produção do *Pinus taeda*.

Neste projeto não foi estudado o comparativo das áreas de ocorrência natural do *Pinus taeda* por tratar-se de espécie exótica, mas foi apresentado um mapa indicando onde a espécie possui êxito em termos de produtividade (figura 8, item 4.1.3); bem como foram estudadas as exigências climáticas em termos de temperatura, englobando os períodos críticos (mínimas e máximas absolutas), o que permitiu comparar com as projeções, a fim de apresentar cenários até onde o *Pinus taeda* pode ser cultivado.

Conforme citado por Suassuna (2006), no trato de conservação e armazenamento de sementes, de três a cinco graus centígrados, e com o manejo de se formar florestas, por plantio ou por semeadura, confirma o uso do software para ajudar a definir regiões em que apresentem as temperaturas mínimas em torno de 3°C a 5°C, permitindo detectar regiões com boa indicação para uso da técnica de semeadura. Estudos já apontaram que isso pode levar a perdas de mudas se

comparadas com a técnica de plantio, que já traz a muda pronta, devendo apenas defendê-la das formigas e aves, além dos outros fatores.

Não foi realizado tratamento geomorfológico com os dados climáticos de que dispunha, conforme feito por Maak (1981), porque não era o objetivo caracterizar fatores naturais das regiões.

O clima está condicionado a vários fatores, sejam estáticos ou dinâmicos. Estáticos quando se relaciona com a latitude, longitude, altitude, condições do relevo, distância do oceano, tipologia vegetal, nível de antropia e outros, enquanto que os dinâmicos decorrem da movimentação dos sistemas atmosféricos, representados pelas massas de ar e frentes associadas a estas. Claro que as condições climáticas de uma região estão, sobretudo neste início de século, associadas a mecanismos de escala global e que interferem de diferentes formas no clima do Estado do Paraná e também atividades humanas que, desde o século XX vêm aplicando sobre o Estado forte desmatamento, agricultura, urbanização, industrialização e outros, com implicações sérias na paisagem paranaense e em suas condições climáticas.

Conforme citado por Matter e Yoshioka (1973) e por Mota (1986), há outras variáveis a serem consideradas para a introdução de uma nova espécie em uma região, mas que neste projeto, não foram consideradas, uma vez que o objetivo foi o de caracterizar regiões em função da variável temperatura como única e restritiva, podendo ser feito como continuidade ao mesmo.

No software é possível verificar quando Martins et al. (1992) afirmaram que é possível observar, numa mesma região, iguais procedências de uma espécie com diferentes produtividades, o que pode ser atribuído à imprecisão da delimitação das regiões, por fatores bioclimáticos.

Como Menardi (1992) não foi considerado neste projeto a análise das variações pluviiais, por entender que não se trata de um estudo de geografia física.

A presença de fatores intrínsecos para considerar uma área boa, ou até mesmo razoável, para o plantio e produção de *Pinus*, faz com que as fronteiras geográficas ao seu cultivo possam ser delimitadas por graus de confiança do modelo dinâmico ora apresentado. Considerar um R^2 de 29% ou de 65% razoável ou bom dependerá, em muito, da análise temporal, local, do grau de acúmulo de experiência do engenheiro florestal à frente do projeto e de todos os fatores climáticos inerentes.

Em todo o caso, este estudo não procura enquadrar ou definir *a priori* tais regiões, mas sugerir macrorregiões que podem ser candidatas a um estudo pormenorizado para a produção do *Pinus taeda*, cujas análises dinâmicas devem iniciar-se com uma visão mais geral, na qual a localidade de interesse esteja inserida.

Como apresentado no estudo de Souza (1998), o software, que mostra a dinâmica de alterações de temperatura do *Pinus taeda* em regiões, pode também indicar a permanência, ou não, de empresas florestais ou produtoras da espécie, em determinada região. Pode vir a influenciar a organização do espaço, como também a organização social, econômica e política que regem as atividades humanas relacionadas ao plantio, manejo e colheita do *Pinus taeda* naquelas regiões.

O software pode ter grande utilidade como ferramenta de apoio à decisão, quanto à avaliação de regiões com potencial agroclimático a produtores rurais, indo de encontro ao salientado no trabalho de Assad (1998), podendo inclusive incentivar a abertura de novas fronteiras no plantio do *Pinus taeda*.

O resultado do comportamento dos dados de temperatura apresentados nos mapas, com determinação de áreas seguindo dados médios diários e restrições do *Pinus taeda*, exige uma reflexão muito ampla e profunda sobre considerações de regiões a serem abordadas para o cultivo da espécie.

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

6.1 CONCLUSÕES

- O sistema computacional desenvolvido permite ao engenheiro florestal visualizar os efeitos dos atributos da temperatura no Estado do Paraná, possibilitando analisar regiões propícias ao cultivo do *Pinus taeda*.
- O software apresenta projeções do futuro comportamento da temperatura, baseando-se nos valores limitados aos últimos dez anos, com sua base de dados contendo registros fixos desse período.
- O modelo dinâmico adotado como equação matemática permite realizar projeções de temperatura, fornecendo uma possibilidade ao engenheiro florestal na tomada de decisão quanto a adotar (ou não) as projeções oferecidas pelo *software*.
- O sistema computacional aplicativo foi desenvolvido com sucesso e permite:
 - Interação com o usuário, que permitiu sua livre escolha em delimitar valores de temperaturas, especificação de cores, tipos de projeções e número de mapas a serem projetados;
 - Escolha dos períodos a serem analisados, em função das diferentes formas de análise de temperaturas;
 - Projeção das temperaturas das áreas que englobam as AWS;
 - Visualização das regiões do Estado do Paraná, com cores indicativas das diferentes temperaturas, sendo permitida a troca das mesmas para enfatizar determinada área e
 - Apresentação da tabela que contém os valores das temperaturas (mínimas, médias, máximas e absolutas), para cada AWS.
- O modelo matemático, chamado modelo dinâmico, foi apresentado e seus índices (coeficientes) calculados, cujos resultados permitiram e expressaram, com boa significância, o cálculo das temperaturas

futuras, apresentando o comportamento dinâmico das mesmas nas diferentes regiões do Estado do Paraná.

- O ajuste das equações por regressão, para estimar a variável temperatura, tanto no modelo dinâmico utilizado, quanto no modelo estático, para fins de comparação, demonstraram que o método utilizado é válido e útil para este tipo de análise.
- Percebeu-se, de maneira geral, que ao realizar o cálculo das temperaturas mínimas, médias e máximas das regiões a partir dos dados fornecidos pelo Simepar e Iapar, foi possível validar as projeções realizadas pelo sistema computacional, resultando na confirmação e na análise dos resultados validação do modelo matemático às temperaturas regionais, se comparadas ao mapa de produtividade do *Pinus taeda*, apresentado no item 4.1.3. Contudo, casos extremos podem ocorrer, como por exemplo, a não inclusão da área por se tratar de variabilidade de temperatura em épocas diferentes.

6.2 RECOMENDAÇÕES PARA CONTINUIDADE DO PROJETO

A temperatura foi o elemento central do estudo e desenvolvimento deste projeto, mas, quando se trata de estudo dessa natureza, a precisão pode ser melhorada se tomados os dados de um número maior de AWS distribuídas pelo Estado do Paraná. Além disso, procurar considerar a precipitação, umidade, ventos, nebulosidade, insolação e pressão atmosférica, poderia melhorar a delimitação de áreas propícias ao cultivo e produção da espécie florestal aqui considerada, adotando a abordagem da análise multivariada com estudo dos seus componentes principais.

Como continuidade deste projeto, aconselha-se adotar uma distribuição circular e não a normal, estudar os gráficos dos resíduos e adequar o conjunto de dados à distribuição circular.

Também aconselha-se incorporar a variável altitude em uma próxima versão como aprimoramento do presente trabalho, confirmando o enfatizado nos trabalhos de Romani et al. (2003) e Wackernagel (1998).

Para a execução de um bom zoneamento e como consequência, uma boa interpolação dos pontos (AWS) para seleção de regiões propícias ao plantio do *Pinus taeda*, há necessidade de:

a) disponibilidade de dados climáticos confiáveis em um período mais amplo possível (de dez a trinta anos);

b) mapa detalhado dos solos da região com informações sobre propriedades morfológicas físicas e químicas;

c) informações básicas sobre a vegetação natural existente, ou que existia, e posterior utilização do solo e

d) existência de plantações florestais em ciclo de exploração, informações sobre adaptação, ritmo de crescimento e produtividade. Visitas ao maior número possível de plantios existentes dentro da área a ser reflorestada ou áreas semelhantes, fazendo observação sobre: ambiente ecológico, vegetação natural ou culturas anteriores, altitude do local, idade das plantações, comportamento silvicultural das espécies/procedências em plantações experimentais, estudo fitossanitário dos povoamentos, são sobrevivência, medição de altura e diâmetro de árvores, estimativa da produtividade.

Quando afirmou que seu projeto deveria continuar a ser desenvolvido, MONTEIRO (1969), ampliado e melhorado, a fim de levar adiante sua corrente de investigações, este trabalho também deve seguir o mesmo raciocínio, sob a lógica do efeito da temperatura na delimitação de regiões para o plantio do *Pinus taeda*, devendo incorporar outras variáveis, como o estudo do solo, influência da pluviosidade, da altitude e outras.

Assim como este trabalho prendeu-se a estudos e pesquisas anteriores, gostaríamos de projetá-lo para o futuro, numa continuação da corrente de desenvolvimento de novos softwares necessários ao desenvolvimento de técnicas para o cultivo e produção de espécies florestais; também haverá a necessidade de desenvolver, ampliar, corrigir e melhorar o que aqui apresentamos, os recursos técnicos nos dão a perspectiva de melhoras, sobretudo da engenharia florestal que, acompanhando o passo das outras ciências, pode incorporar inovações e recursos tecnológicos à sua análise, especialmente no que se refere ao mapeamento, acompanhamento, monitoramento e difusão do conhecimento alcançado: monitoramento e armazenamento de dados (quantitativamente e qualitativamente);

processamento sob diferentes óticas estatísticas (estatística clássica, multivariada, geoestatística, entre outras); análise, projeto e implementação de rotinas e processos mais detalhados, objetivando cultivar e produzir espécies florestais com qualidade e responsabilidade econômica.

Sugere-se ainda, a criação de uma parceria com o meio acadêmico na qual conste o compromisso entre órgãos ou instituições que trabalham ou se relacionam com a produção do *Pinus taeda*, de modo que dados sejam disponibilizados – com confiança e seriedade exigida aos graus de sigilo, para que estudos sejam realizados de forma rápida, concisa e precisa, objetivando impulsionar o desenvolvimento de técnicas ou facilidades de monitoramentos de áreas de interesse de ambas.

Por fim, pode-se afirmar que não foi possível esgotar todas as possibilidades de interpretações e análises que o volume de informações levantadas nesse trabalho oferece, porém tivemos o cuidado de deixá-lo documentado, para que este trabalho possa fundamentar futuros projetos de pesquisa.

7 REFERÊNCIAS

ABREU, A.F. e REZENDE, D.A.. **Tecnologia da Informação Aplicada a Sistemas de Informação Empresariais**. 2ª. ed. São Paulo: Atlas, 2001.

ACOSTA, V.H. **Classificação ecológica do território brasileiro situado ao sul do paralelo 24º. S – uma abordagem climática**. Dissertação de Mestrado. Viçosa: UFV, 1997.

ALLEN, B.H.; DIAZ, D.V. **Federal and state ecological site classifications: two approaches common goals**. IN: FERGUSON, D.E. et al. (ed.) Proceedings land classification: applications for resource management. Moscow: s.ed., 1989. p.7-21.

ALLI, M. M., NOWATZKI, E. A., MYERS, D. E. **Probabilistic analysis of collapsing soil by indicator kriging**. Math. Geol., v. 22, p. 15-38, 1990.

ALMEIDA, I.R. de **Variabilidade pluviométrica interanual e produção de soja no estado do Paraná**. Dissertação. Programa de Pós-Graduação em Geografia, Faculdade de Ciências e Tecnologia, UNESP, Presidente Prudente. São Paulo. 2000.

ANDRADE, L.A. de. **Classificação ecológica do Estado da Paraíba**. Viçosa, MG: UFV, 1995. 157p. Dissertação de Mestrado em Engenharia Florestal – UFV, 1995.

AOUAD, M. dos S. **Tentativa de classificação climática para o estado da Bahia (uma análise quantitativa dos atributos locais associada à análise qualitativa do processo genético)**. Dissertação. Programa de Pós-Graduação em Geografia Física, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo. 1978.

ASPIAZÚ, C., RIBEIRO, G. A., RIBEIRO, J. C., ALVES, L. M. **Preenchimento de células com dados climáticos de Minas Gerais estimados por digitalização de mapas isaritmicos**. Revista *Árvore*, v.13, n.2, p.113-9, 1989.

ASSAD, E.D. et al. **Sistema de Informações Geográficas: aplicações na agricultura**. Brasília: Embrapa, 2003. 2ª. Edição.

ASSAD, E. D. **Sistemas de Informações Geográficas. Aplicações na Agricultura**. Assad e Sano – 2ª. ed., Embrapa-SPI-Embrapa-CPAC, Brasília-DF: 1998. 434p.

Associação Catarinense de Empresas Florestais. **Pinus taeda**. Disponível em: <<http://www.acr.org.br/espec.htm>> Acesso em: 02 jun. 2007.

BALLARIN, A.W.; PALMA, H.A.L. Propriedades de resistência e rigidez da madeira juvenil e adulta de *Pinus taeda* L. Rev. *Árvore*, vol.27 no.3 Viçosa May/June 2003

BANCO MUNDIAL 2004. **World Development Indicators (Indicadores del desarrollo)**. Base de datos en línea. Disponível em: <<http://www.worldbank.org/>>. Acesso em: 27 jul. 2006.

BARRIOS, N.A.Z. **A cotonicultura na região de Presidente Prudente. O regime pluviométrico e as variações de produção**. Dissertação. Programa de Pós-Graduação em Geografia Física, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo. 1987.

BARROSO, L.P. e ARTES, R. **Análise Multivariada: Minicurso do 10º. Simpósio de Estatística Aplicada a Experimentação Agrônômica – RBRAS, 48ª. Reunião Anual da Região Brasileira da Sociedade Internacional de Biometria - SEAGRO**. Lavras: UFLA, 2003.

BATISTA, J.L.M. **Análise Multivariada no Planejamento de Extensão Florestal: subsídios para uma política de reocupação de áreas**. Curitiba: Dissertação UFPR, 1990.

BERNARDES, L.R.M. **Café e geada: levantamento sistemático da ocorrência e distribuição espacial do fenômeno nas regiões cafeeiras dos estados de São Paulo e Paraná no período 1870-1975**. Dissertação. Programa de Pós-Graduação em Geografia Física, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo. 1982.

BLUE MARBLE GEOGRAPHICS®, **The Geographic Calculator**, version 3.09, 46 Water Street, Gardiner, Maine, 04345, USA, 1992-1994. Disponível em: <www.bluemarble.com> Acesso em: 18 ago. 2006.

BOIN, M.N. **Chuvas e erosões no oeste paulista: uma análise climatológica aplicada**. Programa de Pós-Graduação em Geociências e Meio Ambiente, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP. Rio Claro, São Paulo. 2000.

BOOCH, G.; RUMBAUGH, J.; JACOBSON, I. **UML: Guia do Usuário**. 6a. Tiragem. Ed. Campus. Rio de Janeiro: 2000.

BOOTS, B.N.; OKABE, A. e KOKICHI, S. **Spatial Tessellations: Concepts and Applications of Voronoi Diagrams**. Inglaterra: John Wiley and Sons Ltd.: 1995.

BOWYER, A. **Computing dirichlet tessellations**. Computer Journal, 1981 24:162-166.

BRASSEL, K. E. e REIF, D. **A procedure to generate Thiessen polygons**. Geographical Analysis, 11:289-303. 1979.

BROOKERS, P. I. **A Geostatistical Primer**. Londres, Ed. World Scientific, 1991. 95p.

BURROUGH, P.A.; McDONNELL, R. A. **Principles of Geographical Information Systems**. Oxford University Press, 1998. 333p.

BURROUGH, P.A. **Principles of Geographical Information Systems for Land Assessment**, Oxford University Press, 1986, 194 p.

CÂMARA, N.S. **Os insumos climáticos no sistema de produção do trigo no estado de São Paulo**. Dissertação. Programa de Pós-Graduação em Geografia Física, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo. 1977.

CAMARGO, E.C.G.; FELGUEIRAS, C.A. e MONTEIRO, A.M.V. **A Importância da Modelagem da Anisotropia na Distribuição Espacial de Variáveis Ambientais utilizando Procedimentos Geoestatísticos**. INPE. [CD-ROM]. In: X Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Foz do Iguaçu, PR, 21 a 26 de Abril de 2001, p. 395-402. Disponível em: <www.dpi.inpe.br/~carlos/trab_cientif.htm> Acesso em: 17 jun. 2006.

CARVALHO, J.R.P. de; ASSAD, E.D. **Otimização de Interpoladores Espaciais para estimar chuva no Sistema Agritempo**. / José Ruy Porto de Carvalho, Eduardo Delgado Assad. — Campinas : Embrapa Informática Agropecuária, 2003. Disponível em: <<http://www.cnptia.embrapa.br/modules/tinycontent3/content/2003/bp9.pdf>> Acesso em: 06 out. 2006.

CARVALHO, J.R.P. de; ASSAD, E.D. **Comparação de interpoladores espaciais multivariados para precipitação pluvial anual no Estado de São Paulo**. Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, 2003. (Embrapa Informática Agropecuária. Comunicado Técnico 49).

CARVALHO, J.R.P. de; QUEIROZ, E.F. de; VIEIRA, S.R. **Uso da geoestatística multivariada com incorporação de altitude na interpolação espacial de precipitação**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29., 2003, Riberão Preto. [Anais ...]. Riberão Preto: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. CD-ROM.

CARVALHO, J.R.P. de; ASSAD, E.D. **Análise espacial da precipitação pluviométrica no Estado de São Paulo: comparação de interpoladores**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 32., 2003, Goiânia. [Anais ...]. Goiânia: SBEA, 2003. CD-ROM.

CARVALHO, J.R. de; SILVEIRA, P.M. da; VIEIRA S.R. **Geoestatística na Determinação da Variabilidade Espacial de Características Químicas do Solo sob Diferentes Preparos**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.37, n.8, p. 1151-1159, Brasília-DF: 2002.

CLIFF, N. e HAMBURGER, C.D.. **The study of sampling errors in factor analysis by means of artificial experiments**. Psychological bulletin 68: 430-45, 1967.

CLIMA NO PARANÁ. **Agência Brasil**. Disponível em: <http://www.ambientebrasil.com.br/composer.php3?base=./estadual/index.html&cont_eudo=./estadual/pr.html#loca.> Acesso em: 06 jan. 2007.

COAD, P. **Object Models: Strategies, Patterns and Applications**. New Jersey: Prentice-Hall, 1995.

CRAIN, I.K.; MACDONALD, C.L. **From Land Inventory to Land Management**. *Cartographica*, Ohio - USA: 1984, 21, 40-46.

CRONBACH, L.J. **Coefficient alpha and the internal structure of tests**. *Psychometrika* 31: 93-96.

DARBAR, P.M.; POWERS, M.E.; NJUGUNA, Kamau. **Application of graphical user interface as a tool in the study of pipeline safety**. ESRI International User Conference, 1997. Disponível em: <<http://www.esri.com/library/userconf/proc97/proc97/to300/pap259/p259.htm.>> Acesso em: 23 set. 2005.

DCC – Data Distribution Center. **Outline for the IPCC WG1 Contribution to the fourth Assessment Report**. Climate Change 2007. Disponível em: www.ipcc.org. Acesso em: 26.jul.2007.

DEFFUNE, G. **Clima e uso da terra no norte e noroeste do Paraná – 1975/1986: subsídios ao planejamento regional**. Dissertação. Programa de Pós-Graduação em Geografia Física, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo. 1990.

DERR, H.J.; MANN JR., W.F. **Direct seeding pines in the South**. Washington: U.S.D.A. Forest Service, 1971. 68p. (Agric. Handb., 391).

DILLON, W.R.; e GOLDSTEIN, M. **Multivariate analysis: methods and applications**. Wiley, New York: 1984.

EMBRAPA FLORESTAS. **Sistemas de Cultivo – Pinus taeda**. Disponível em <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Pinus/CultivodoPinus/03_2_pinus_taeda.htm.> Acesso em 12 jun. 2006.

ESRI. **ArcGIS 9.1: Geocoding in ArcGIS**. ESRI, California-USA: 2004.

ESRI White Paper. **ESRI ShapeFile Technical Description**. United States of America: Environmental Systems Research Institute, 1998.

ESRI/ERDAS. **ArcView Image Analysis: Enhanced Image Integration, Display and Analysis**. USA: ERDAS, 2000.

FLORES, E.F. **Sistema de Informação climatológica: desenvolvimento e inserção no sistema de informação geográfica “Geo-Inf-Map”**. Dissertação.

Programa de Pós-Graduação em Geociências e Meio Ambiente, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP, Rio Claro, São Paulo. 1995.

FISCHER, M.M.; SCHOLTEN, H.J. E UNWIN, D. Geographic Information Systems, spatial data analysis and spatial modelling: an introduction. In: **Spatial analysis perspectives in GIS**, ed. Fischer, M. M.; Scholten, H. J. e Unwin, D., Taylor and Francis. 1996.

FOLEGATTI, M.V. **Estabilidade temporal e variabilidade espacial da umidade e do armazenamento de água em solo siltoso**, 1996. Piracicaba, 84p. Tese (Livre - Docência) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

FONZAR, B.C. **Os principais campos de pressão da América do Sul e sua atuação na caracterização do clima dos cerrados (savanas) do Centro-Oeste do Brasil**. Tese. Programa de Pós-Graduação em Geografia Física, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo. 1990.

FOOTE, K.E.; LYNCH, M. **The geographer's craft project**. Departamento de Geografia da Universidade do Texas. Disponível em: <http://www.prudente.unesp.br/dcartog/arlete/gis/intro_t.htm.> Acesso em: 08 Mar. 2006.

FOWLER, M. **Analysis Patterns: Reusable Object Models**. New York: Addison-Wesley: 1996.

FRANKE, R. e NIELSON, G.M. **Smooth interpolation of large sets of scattered data**. International Journal for Numerical Methods in Engineering 15, 1691-1704. ACM Press, New York, NY, USA: 11/1980.

FURB, DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL, **Silvicultura**, Estudos do *Pinus taeda*. (2007). Disponível em: <www.furb.br.> Acesso em: 10 jun. 2007.

FURLAN, J.D. **Modelagem de Objetos através da UML: análise e desenho orientado a objetos**. Makron Books. São Paulo: 1998.

GASH, J.; NOBRE, C.A.; ROBERTS, J.M.; VICTORIA, R. E. **Amazonian deforestation and climate**. New York, John Wiley and Sons, 1996. 611p.

GASH, J.H.C.; NOBRE, C.A. **Climatic effects of Amazonian deforestation: Some results from ABRACOS**. Bulletin of the American Meteorological Society: 1997, v.78, n.5, p.823-830.

GALVÃO, M.V. **Regiões bioclimáticas do Brasil**. Revista Brasileira de Geografia. V.29, p.3-36, 1967.

GOLFARI, L. **Zoneamento ecológico do Estado de Minas Gerais para reflorestamento**. Belo Horizonte: CPFRC, 1975. 65p. (Série Técnica, 3)

GOLFARI, L., CASER, R.L., MOURA, V.G. **Zoneamento ecológico esquemático para reflorestamento no Brasil**. (2ª. Aproximação). Belo Horizonte: Centro de Pesquisa Florestal da Região do Cerrado-PFRC, 1978. 66p. (Série Técnica, 11)

GOLFARI, L. **Coníferas aptas para repoblaciones florestales em el Estado de São Paulo**. Silvicultura em São Paulo, v.6, p.7-62, 1967.

GOLFARI, L. **Zoneamento ecológico para reflorestamento de regiões tropicais e sub-tropicais - Método Utilizado**. Brasília, PNUD/FAO/IBDF/BRA-076/027, 1978. 13p. (Série Divulgação, 14)

GOLFARI, L. e CASER, R.L. **Zoneamento ecológico da região nordeste para experimentação florestal**. Brasília, PNUD/FAO/IBDF/BR-45, 1978. 116p. (Série Técnica, 10).

GOLFARI, L.; CASER, R.L. e MOURA, V.P. **Zoneamento ecológico esquemático para reflorestamento no Brasil**. (2,3 aproximação). Brasília, PNUD/FAO/IBDF/BRA-45, 1978. 66p. (Série Técnica, 11).

GONÇALVES, J.C. **Ritmo climático e a gênese das chuvas na zona oeste do Pantanal Sul-Matogrossense**. Dissertação. Programa de Pós-Graduação em Geografia Física, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo. 1993.

GOODCHILD, M.F. (1987) A spatial analytical perspective on geographical information systems. **International Journal of Geographical Systems**, vol. 1, número 4, pp. 5-10.

GOOVAERTS, P. **Geostatistics for natural resources evaluation**. New York: Oxford University Press, 1997. 483 p.

GOOVAERTS, P. **Performance comparison of geostatistical algorithms for incorporating elevation into the mapping of precipitation**. In: International Conference On Geocomputation, 4 , 1999, Fredericksburg. GeoComputations conference proceedings... [Fredericksburg]: Mary Washington College, 1999. Disponível em: <http://www.geovista.psu.edu/sites/geocomp99/Gc99/023/gc_023.htm>. Acesso em: 05 dez. 2006.

GOTWAY, C. A., FERGUSON, R. B., HERGERT, G. W., PETERSON, T. A. **Comparison of kriging and inverse-distance methods for mapping soil parameters**. Soil Sci. soc. Am. J., v. 60, p. 1237-1247, 1996.

GRAYBILL, F.A. **Theory and Application of the Linear Model**. Duxbury Press. Colorado State University. Boston: 1976.

GROSSI SAD, J.H. **Fundamentos sobre variabilidade dos depósitos minerais**. Rio de Janeiro: DNPM/CPRM - GEOSOL, 1986. 141p.

GUTJAHR, M.R. **Crêterios relacionados a compartimenta o climática de bacias hidrográficas: bacia do rio Ribeira de Iguape**. Disserta o. Programa de Pós-Gradua o em Geografia Física, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo. 1993.

HAIR Jr., J.F. ANDERSON, R.E; TATHAM, R.L.; BLACK, W.C. **Análise Multivariada de Dados**. 5^a. Ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.593 p.

HARE, F.K. **Climatic classification**. In: McBOYLE, G.R. (ed). *Climate in Review*. Boston: Houghyon Mifflin, 1973. p.96-109.

HERZ, R. **Circula o das águas de superfície da Lagoa dos Patos – contribui o metodológica ao estudo de processos lagunares e costeiros do Rio Grande do Sul através da aplica o de técnicas de sensoriamento remoto**. Tese. Programa de Pós-Gradua o em Geografia Física, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo. 1977.

HEYER, L.F. **Manaus: um exemplo de clima urbano em região subequatorial**. Tese. Programa de Pós-Gradua o em Geografia Física, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo. 1997.

HIGA, A.; LINGNAU, C.; ARCE, J. E.; CRESPO, I. **Sele o de Espécies para Recupera o de Reserva Legal em Pequenas Propriedades no Estado do Paraná – SIFLOR**, publicado em CD, 2003.

HOSSEINI, E., GALLICHAND, J., CARON, J. **Comparison of several interpolators for smoothing hydraulic conductivity data in south west Iran**. *Transl. ASAE*, v. 36, p. 1687-1693, 1993.

HUBERTY, C.J. **Issues in the use and interpretation of discriminant analysis**. *Psychological Bulletin* 95: 156-71. 1984.

HUIJBREGTS, C.J. **Regionalized variables and quantitative analysis of spatial data**. In: Davis, J.C. & McCullagh, M.J. (ed) *Display and analysis of spatial data*. New York, John Wiley. p.38-53. 1975.

HUNTER, Y. e GIBSON, B. **Produtividade de planta es de *Pinus radiata* na Espanha em resposta ao clima e ao solo**. Departamento dos Produtos Naturais, da Biologia da Planta e da Ciência de Solo UB, Avgda. Joan XXIII s/n, E-08028, Barcelona, Spain: 2004.

IBGE. **No es Básicas de Cartografia**. Manuais Técnicos em Geociência número 8. Funda o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Rio de Janeiro, 1999.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Mudanças climáticas e clima**. Disponível em <<http://www.cptec.inpe.br/products/clima/portal/faqs.shtml>>. Acesso em 2006.

Inverse Distance Weighted Interpolation. Disponível em: <http://www.ems-i.com/gmshelp/Interpolation/Interpolation_Schemes/Inverse_Distance_Weighted/Inverse_Distance_Weighted_Interpolation.htm> Acesso em: 12 out. 2006.

IPCC. **Showcase of the IPCC WG1 Report.** Presentation Available from Royal Society. March 2007. Disponível em: www.ipcc.org. Acesso em: 25.jul.2007.

ISAAKS, E.H., SRIVASTAVA, M. **An Introduction to Applied Geostatistics.** Oxford Univ. Press., New York, 1989. 600p.

ISAAKS, E.H.; SRIVASTAVA, R.M. **An Introduction to Applied Geostatistics.** New York: Oxford University Press, 1989. 561 p.

IWAKIRI, S.; SILVA, J.R.M.; MATOSKI, S.L.S.; LEONHADT, G.; CARON, J. **Produção de chapas de madeira aglomerada de cinco espécies de pinus tropicais.** Disponível em: <<http://an.uol.com.br/2003/abr/19/0loe.htm>> Acesso em: 30 jun. 2007.

JANKOWSKY, I.P. **Variação Sazonal da Umidade de Equilíbrio para Madeira de Pinus.** Departamento de Silvicultura, ESALQ-USP. Piracicaba, São Paulo: IPEF, n.31, p.41-46, dez.1985

JAVA. **The Java Software web site, with the latest information on Java technology, product information, news, and features.** Disponível em: <<http://java.sun.com/>> Acesso em: 12 frv. 2006.

JAVA. **Java™ platform Documentation provides access to white papers, the Java Tutorial and other documents.** Disponível em: <<http://java.sun.com/docs>> Acesso em: 12 fev. 2006.

JAVA. **Developer Services web site (Free registration required). Additional technical information, news, and features; user forums; support information, and more.** Disponível em: <<http://developer.java.sun.com>> Acesso em: 12 fev. 2006.

JAVA. **Java Technology Products & API.** Disponível em: <<http://java.sun.com/products/>> Acesso em: 12 fev. 2006.

JESUS, E.F.R. **Espaço, tempo e escala em climatologia.** Tese. Programa de Pós-Graduação em Geografia Física, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo. 1995.

JOURNAL, A.G.; HUIJBREGTS, C.J. **Mining Geostatistics.** London: Academic Press, 1978. 600 p.

KRONKA, F.J.N.; BERTOLANI, F.; PONCE, R.H. **A cultura do Pinus no Brasil.** São Paulo: Sociedade Brasileira de Silvicultura, 2005

LAM, N. **Spatial Interpolation Methods**. The American Cartographer, v. 10, p. 129-149, 1983.

LAMPARELLI, R.A.C.; ROCHA, J.V.; BORGHI, E. **Geoprocessamento e agricultura de precisão: fundamentos e aplicações**. Guaíba: Agropecuária, 2001. 118p.

LANDIM, P.M.B.; STURARO, J.R. e MONTEIRO, R.C. **Exemplos de aplicação da cokrigagem**. DGA, IGCE, UNESP/Rio Claro, Lab. Geomatemática, Texto Didático 09, 17 pp. 2002. Disponível em: < <http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/textodi.html> >. Acesso em: 05 dez. 2006.

LAUDON, K.C. e LAUDON, J.P. **Sistemas de Informação**. 4ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 1999.

LARMAN, C. **Utilizando UML e Padrões**. Bookman. Porto Alegre: 2000.

LOURENÇO, R.W. Comparação entre métodos de interpolação para sistemas de informações geográficas. Dissertação (Curso de Pós-Graduação em Geociências e Meio Ambiente), 1998. 76p.

MAACK, R. **Geografia física do Estado do Paraná**. Rio de Janeiro: Livraria José Olympio, 1981.

MACEDO, M.A. de; OLIVEIRA, J. C. de; BARBOSA, A. M.; CÂMARA, G. e ASSAD, E. D.. **Análise Comparativa da Espacialização do Risco Climático pela Média Ponderada, Krigagem Ordinária e Krigagem por Indicação**. Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias –Revista Brasileira de Agrometeorologia. Santa Maria, RS: 2001. Disponível em: <www.dpi.inpe.br/geopro/trabalhos/mariza_risco.pdf> Acesso em: 10 out. 2006.

MACEDONIO, G. e PARESCHI, M.T., **An algorithm for the triangulation of arbitrarily distributed points: Applications to volume estimate and terrain fitting**. Computers and Geosciences, 17: 859-874. 1991.

McCULLAGH, M. J. **Terrain and surface modelling systems: theory and practice**. Photogrammetric Record, v.72, n.12, p.747-779, 1988.

MAGUIRE, D. J. **An Overview and Definition of GIS**. In *Geographical Information Systems, Principles and Applications* - D. J. Maguire, M. F. Goodchild and D. W. Rhind (edits), Longman Scientific & Technical, U.K., 1991.

MARTINS, S. V.; REIS, M. das G. F.; ASPIAZÚ, C.; PEREIRA, J.F. **Interpolação de valores de altitude e de variáveis climáticas para o Estado do Espírito Santo**. Revista Árvore, v.16, n.3, p.262-271, 1992.

MATA, J.D.V. da. **Variabilidade espacial de indicadores da compactação de terra roxa estruturada, sob dois sistemas de preparo, cultivada com feijão**

(Phaseolus vulgaris L.) irrigado. Piracicaba, 1997. 73p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

MATTEI, V. L. **Coberturas em Semeadura de *Pinus elliottii* e *P. taeda*.** Rev. Bras. de AGROCIÊNCIA, v.4, no1, 64-68, Jan.-Abr., 1998

MATTEI, V.L. **Comparação entre semeadura direta e plantio de mudas produzidas em tubetes, na implantação de povoamentos de *Pinus taeda*.** Curitiba: Universidade Federal do Paraná. 1993. 149p. (Tese D.S.).

MATTEI, V.L. Agentes limitantes a implantação de *Pinus taeda* L. por semeadura direta. **Ciência Florestal**. Santa Maria, v. 5, n. 1, p. 9-18, 1995a.

MATTEI, V.L. Importância de um protetor físico na implantação de *Pinus taeda*, por semeadura diretamente no campo. **Árvore**, VIÇOSA, v. 19, n. 3, p. 277-285, 1995b.

MATTER, J. R., YOSHIOKA, G.A., **The role of climate in the distribution of vegetation.** In: McBOYLE, G. (ed.) *Climate in Review*. Boston: Houghyon Mifflin, 1973. p.73-84.

McCARTHY, J. et al. **Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability.** Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. (Cambios Climáticos 2001: repercusiones, adaptación y vulnerabilidad). Contribución del Grupo de Trabajo II a la Tercera Evaluación de Panel Intergubernamental sobre Cambios Climáticos. UK: Cambridge University. 2001.

MENARDI JÚNIOR, A. **Dinâmica atmosférica e variações pluviiais no sudoeste e nordeste paulista.** Dissertação. Programa de Pós-Graduação em Geografia Física, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo. 1992.

MONTEIRO, C.A. de F **Ritmo hibernal da frente polar e as chuvas de fachada sub-tropical atlântica no Brasil: contribuição metodológica à análise ritmica dos tipos de tempo no Brasil.** Tese. Programa de Pós-Graduação em Geografia Física, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo. 1969.

MORREIRA, J.P.S. **Classificação ecológica do território brasileiro situado entre 16 e 24º. de latitude sul e 48 e 39º. 51' de longitude oeste.** Viçosa: UFV, Tese de Doutorado, 1997.

MOTA, F.S. da. **Meteorologia agrícola.** 7ª. Ed. São Paulo: Nobel, 1986. 376 p.

MULLER, P.H.; MARTO, G.B.T.; BARRICHELO, L.E.G. **Indicações para escolha de espécies de *Pinus*.** Disponível em: <www.ipef@ipef.br.> Acesso em: 12 jun. 2007.

MYERS, D. E. **Interpolation and estimation with spatially located data**. *Intell. Lab. Syst.*, v. 11, p. 209-228, 1991.

NATURAL NEIGHBOR INTERPOLATION. Disponível em: <http://www.ems-i.com/gms/help/Interpolation/Interpolation_Schemes/Kriging/Ordinary_Kriging.htm>
Acesso em: 02 dez. 2006.

NERY, J.T.; ANDRADE, A.R. de e CARFAN; A.C. **Relação da precipitação na Bacia do Ivaí com a variabilidade interanual**. In: X Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada. Universidade Estadual de Maringá – Maringá, PR, 1997.

NETER, J.; WASSERMANN, W e KUNTER, M.H.. **Applied linear regression models**. Homewood, Ill: Irwin, 1989.

NIMER, E. **Descrição, análise e interpretação de climas de C. W. Thornthwaite**. *Revista Brasileira de Geografia*. V.39, p.87-109, 1977.

NOBRE, C.A.; SELLERS, P.; SHUKLA, J. 1991. **Regional climate change and amazonian deforestation model**. *Journal of Climate*, v.4, n.10, p.957-988.

ORGANIZACIÓN METEOROLÓGICA MUNDIAL (OMM). **World Climate News**. Publicación no. 34. WMO, Ginebra. 2004.

ORSELLI, L. **Proposta de classificação climática aplicada ao estado de Santa Catarina**. Tese. Programa de Pós-Graduação em Geografia Física, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo. 1983.

ORTOLANI, A.A.; CAMARGO, M.B.P. **Influência dos fatores climáticos na produção**. In: CASTRO, P. R. C.; FERREIRA, S. O. YAMADA, T. (Ed.) *Ecofisiologia da produção agrícola*. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fósforo, 1987. p. 70-81.

PATERSON, S.S. **The forest area of the world and its potential productivity**. Sweden: Department of Geography, 1956. 214 p.

PERREIRA, L.D. **Visualização de camadas de informação em ambiente internet**. Curitiba: UFPR, Dissertação de Mestrado, 2001.

PEZZOPANE, José Eduardo Macedo, SANTOS, Eduardo Alvarez, ELEUTERIO, Michelly M., REIS, Edvaldo F. dos e SANTOS, Alexandre R. dos. **Espacialização da temperatura do ar no estado do espírito santo, revista brasileira de agrometeorologia**, Santa Maria, v.12, n.1, p.151-158, 2004

PINTO, J.E.S. de S. **Análise têmpero-espacial da pluviosidade no estado de Sergipe**. Dissertação. Programa de Pós-Graduação em Geografia Física, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo. 1985.

- PITTON, S.E.C. **Análise de sistemas de organização climática do espaço**. Dissertação. Programa de Pós-Graduação em Geografia, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP, Rio Claro, São Paulo. 1985.
- POWELL, J.L. e McIVER, D.C. **A summer climate classification for the forest area of the Prairie Provinces using factor analysis**. Alberta: Canadian Forest Service, 1977, 51p. (Information report Nor-X-177).
- PRESSMAN, R.S. **Engenharia de Software**. 5ª ed. São Paulo: McGraw Hill, 2002.
- RAMON, F. **Java 2 – Guia de Consulta Rápida**. São Paulo: Novatec Editora, 2001.
- READER, S. (1995) The present state of GIS and future trends. In: **GIS for Health and the Environment**, ed. Savigny, D.; Wijeyaratne, P. IDRC, pp. 172. Disponível em: <http://web.idrc.ca/es/ev-9357-201-1-DO_TOPIC.html> Acesso em: 19 nov. 2006
- REIS, M.G.F., REIS, G.G. **Estudos ecológicos visando a seleção de espécies para reflorestamento**. In: SIMPOSIO DA PESQUISA NA UFV, 2, 1990, Viçosa, MG. Linhas de pesquisa e resumos... Viçosa, MG: UFV, 1990, p. 4-6.
- REIS, M.G.F., MARTINS, S.V., TRISTÃO, R.A., et al. **Classificação ecológica para reflorestamento: uma nova metodologia**. In: CONGRESSO FLORESTAL PANAMERICANO, 1, CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 7, 1993, Curitiba, Anais... Curitiba: SBS, 1993, p.225-227.
- REIS, I.A. **O estado da arte da integração entre sistemas de informação geográfica e modelos inferenciais bayesianos**. INPE, São José dos Campos: 2005.
- REZENDE, F.A.V.S.; ALMEIDA, R.M.V. e NOBRE, F.F. **Diagramas de Voronoi para a definição de áreas de abrangência de hospitais públicos no Município do Rio de Janeiro**. In: Cad. Saúde Pública v.16 n.2 Rio de Janeiro abr./jun. 2000. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-311X2000000200017&lng=pt&nrm=iso> Acesso em: 20 fev. 2007.
- RHYSBURGER, D. **Analytic delineation of Thiessen Polygons**. Geographical Analysis, 5:133-144. 1973.
- RIBEIRO, C.M. **Aspectos dos microclimas de áreas reflorestadas com eucaliptus**. Dissertação. Programa de Pós-Graduação em Geografia, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP, Rio Claro, São Paulo. 1981.
- RIETVELD, W.J.; HEIDMANN, L.J. Direct seeding ponderosa pine on recent burns in Arizona. Washington: USDA, Forest Service, 1976. 8p. (**Research Note**, 312).
- RUFINO, D.T.C. **Zoneamento ecológico para o cultivo da seringueira no Estado de Minas Gerais**. Viçosa: UFV, 1986. 70 p. Dissertação de mestrado.

ROBINSON, J.P.; SHAVER, P.R. e WRIGHTSMAN, L.S. **Criteria for scale selection and evaluation**. In: Measures of personality and social psychological attitudes. San Diego, California: Academic Press, 1991.

ROCHA, E. P. da **Balanço de Umidade e Influência de Condições de Contorno Superficiais sobre a Precipitação da Amazônia**. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, INPE, São José dos Campos, SP: 2001.

ROMANI, L.A.S.; SANTOS, E.H. dos; EVANGELISTA, S.R.M.; ASSAD, E.D. e PINTO, H.S. **Utilização de estações vizinhas para estimativa de temperatura e precipitação usando o inverso do quadrado da distância**. Anais do XIII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, Santa Maria-RS: 2003. Disponível em: <http://www.agritempo.gov.br/modules.php?name=Downloads&d_op=getit&lid=23> Acesso em: 08 out. 2006.

ROSSI, R.E.; DUNGAN, J. L.; BECK, L.R. **Kriging in the shadows: geostatistical interpolation for remote sensing**. Remote Sens. Environ., v.49, p. 32-40, 1994.

SALVIANO, A.A.C. **Variabilidade de atributos de solo e de Crotalaria juncea em solo degradado do município de Piracicaba-SP**. Piracicaba, 1996. 91p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

SANT'ANNA NETO, J.L. **As chuvas no estado de São Paulo: contribuição ao estudo da variabilidade e tendência da pluviosidade na perspectiva da análise geográfica**. Tese. Programa de Pós-Graduação em Geografia Física, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo. 1995.

SANTOS, M.J.Z. dos **A importância da variação do regime pluviométrico para a produção canavieira na região de Piracicaba (SP)**. Tese. Programa de Pós-Graduação em Geografia Física, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo. 1976.

SANTOS, Maria Juraci Zani dos. **Influências climáticas associadas às pedológicas e econômicas na produção de cana-de-açúcar nos núcleos canavieiros do estado de São Paulo**. Tese. Programa de Pós-Graduação em Geografia Física, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo. 1981.

SARTORI, M. da G.B. **O clima de Santa Maria, RS: do regional ao urbano**. Dissertação. Programa de Pós-Graduação em Geografia Física, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo. 1979.

SARTORI, M. da G.B. **Clima e Percepção**. Tese. Programa de Pós-Graduação em Geografia Física, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2000.

SAVITCH, W. **C++ Absoluto**. São Paulo: Addison Wesley, 2004.

SCHUMACHER, M.V. **A floresta e o ar**. Porto Alegre: Pallotti, 2000. 108p.

SETTE, D.M. **O holorrítmo e as interações trópico-extratropical na gênese do clima e as paisagens do Mato Grosso**. Tese. Programa de Pós-Graduação em Geografia Física, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2000.

SHEPARD, D. **A two-dimensional interpolation function for irregularly spaced data**. Proc. 23rd ACM Nat. Conf., Brandon/Systems Press, Princeton, NJ: 1968. 517-524.

SIBSON, R. **The Dirichlet Tessellations as an aid in data analysis**. Scandinavian Journal of Statistics, 7:14-20. 1980.

SILBERSCHATZ, A.; KORTH, H. F.; SUDARSHAN, S. **Sistema de Banco de Dados**. 3ª. Ed. São Paulo: Makron Books, 1989.

SILVA, J.U. de L. e **A dinâmica atmosférica e a distribuição das chuvas na região "oriental" paulista**. Tese. Programa de Pós-Graduação em Geociências e Meio Ambiente, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP. Rio Claro, São Paulo. 1999.

SILVA, A.P. **Variabilidade espacial de atributos físicos do solo**. Piracicaba, 1988. 105p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

SILVA, Á. e AMORIN, A. **Estimação da temperatura média do ar em Portugal Continental**. Disponível em: <www.igeo.pt/IGEO/portugues/servicos/CDI/biblioteca/PublicacoesIGP_files/esig_2002/papers/p046.pdf> Acesso em: 08 nov. 2006.

SILVEIRA, L.M. da **As condicionantes climáticas e a organização do espaço rural no setor do planalto de Apucarana – PR**. Dissertação. Programa de Pós-Graduação em Geografia, Faculdade de Ciências e Tecnologia, UNESP, Presidente Prudente. São Paulo. 1996.

SILVEIRA JÚNIOR. P.; MACHADO, A.A.; ZONTA, E.P.; SILVA, J.B. de **Curso de Estatística I**. Pelotas: Editora Universitária - Universidade Federal de Pelotas, 1989. 135p.

SOARES, A.F. **Uso do Módulo "Análise" do SPRING (versão 3.6.02) para Estudo de Dados Climáticos**. Embrapa Informática Agropecuária. Campinas, SP: 2002. Disponível em: <<http://www.cnptia.embrapa.br/modules/tinycontent3/content/2002/doc24.pdf>> Acesso em: 04 out. 2006.

SOFTWARE R. Disponível em: <<http://www.r-project.org/>> Acesso em: 10 jan. 2007.

SOUZA, R. de O. **A ocorrência de neve em planaltos subtropicais: o caso do sul do Brasil**. Dissertação. Programa de Pós-Graduação em Geografia Física, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo. 1997.

SOUZA, C.F. de **Dinâmica climática e as chuvas no nordeste brasileiro no eixo Barra do Corda/MA – Natal/RN (relações com o fenômeno El Niño)**. Tese. Programa de Pós-Graduação em Geografia Física, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo. 1998.

SOUZA, L.S. **Variabilidade espacial do solo em sistemas de manejo**. Porto Alegre, 1992. 162p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

SOUZA, M. J. H. de; GUIMARÃES, M.C.A.; GUIMARÃES, C.D.L.; FREITAS, W. da S. e OLIVEIRA, Â.M.S. **Potencial agroclimático para a cultura de acerola no Estado de Minas Gerais**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. Campina Grande, PB: 2006. Disponível em: <www.scielo.br/pdf/rbeaa/v10n2/v10n2a21.pdf> Acesso em: 09 out. 2006.

SPSS, Inc. **SPSS Advanced Statistic Guide**. 4a. ed. Chicago: SPSS, 1990.

TARIFA, J.R. **Sucessão de tipos de tempo e variação do balanço hídrico no extremo oeste paulista (ensaio metodológico aplicado ao ano agrícola de 1968/1969)**. Dissertação. Programa de Pós-Graduação em Geografia Física, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo. 1972.

TARIFA, J.R. **Fluxos Polares e as chuvas de primavera-verão no estado de São Paulo (uma análise quantitativa do processo genético)**. Tese. Programa de Pós-Graduação em Geografia Física, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo. 1975.

TETILA, J.L.C. **Ritmo pluviométrico e o cultivo da soja: uma análise geográfica aplicada ao sul de Mato Grosso do Sul**. Dissertação. Programa de Pós-Graduação em Geografia Física, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo. 1983.

THORNTHWAITE, C.W. **An approach toward a rational classification of climate**. Geographic Review, v.38, p.55-94, 1948.

TIPOS DE KRIGING. Disponível em: <<http://pt.wikipedia.org/wiki/Kriging>> Acesso em: 10 nov. 2006.

TOLEDO, G.S. de **Tipos de tempo e categorias climáticas na Bacia do Alto Tietê (1968) – Ensaio Metodológico**. Tese. Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Presidente Prudente (atual UNESP), São Paulo. 1973.

TRANGMAR, B.B.; YOST, R.S.; UEHARA, G. **Application of geostatistics to spatial studies of soil properties**. Advances in Agronomy, 38: 45-94, 1985

TREWARTHA, G.T. **An introduction to climate**. 4a. ed. New York: McGraw Hill Books, 1968. 408p.

TRIANGULAÇÃO. Disponível em: <<http://www.inf.ufpr.br/andre/geom/node8.html>>
Acesso em: 20 fev. 2007.

TSAI, V.J.D. **Fast topological construction of Delaunay Triangulations and Voronoi Diagrams**. Computers and Geosciences, 19:1463-1474. 1993.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ. Sistema de Bibliotecas. **Normas para Apresentação de Documentos Científicos**, 2000, pt. 2, 6, 7 e 8.

VAUCLIN, M.; VIEIRA, S.R.; VACHAUD, G.; NIELSEN, D.R. **The use of cokriging with limited field soil observations**. Soil Science Society of America Journal, v.47, p.175-184, 1983.

VECCHIA, F. **Clima e ambiente construído. A abordagem dinâmica aplicada ao conforto humano**. Tese. Programa de Pós-Graduação em Geografia Física, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo. 1997.

VEIGA, R.A. de A. **Dendrometria e Inventário Florestal**. São Paulo: Fepaf – Fundação de Estudos e Pesquisas Agrícolas e Florestais, 1984.

VIANELLO, R.L. e ALVES, A.R. **Meteorologia básica e aplicações**. Viçosa, MG: UFV, 1991. 449p.

VIEIRA, S.R. **Geostatística em estudos de variabilidade espacial do solo**. In: NOVAIS, R. F. de; ALVAREZ V., V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R. (Ed.). Tópicos em ciência do solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. v. 1, p. 1-54.

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

VIEIRA, S.R. e LOMBARDI NETO, F. **Variabilidade espacial do potencial de erosão das chuvas do Estado de São Paulo**. Bragantia, v.54, n.2, p.405-412, 1995.

WACKERNAGEL, H. **Multivariate Geostatistics: na introduction with applications**. Rev. ed.. Springer. Berlin: 1998.

WESTPHALEN, R. e MALUF, P. **Caracterização e discriminação climáticas de diferentes regiões da Serra Gaúcha através da análise discriminante múltipla**. Disponível em: <<http://www.ecologia.ufrgs.br/vinhors/clima.htm>>. Acesso em: 05 jul. 2006.

WILSIE, C.P. **Crop adaptation and distribution**. San Francisco: Freeman and Company, 1962. 448 p.

YAMAMOTO, J. K. **A review of numerical methods for the interpolation of geological data**. Anais Academia Brasileira de Ciências, v.1, n.70, 1998.

YOST, R. S., UEHARA, G., FOX, R. L. **Geostatistical analysis of soil chemical properties of large land areas**. II. Kriging. Mathematical geology, v. 46, p. 10-33-1037, 1982.

ZAVATINI, J.A. **A dinâmica atmosférica e a distribuição das chuvas no Mato Grosso do Sul**. Tese. Programa de Pós-Graduação em Geografia Física, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo. 1990.

ZAVATINI, J.A. **Estudos de Clima no Brasil**. Campinas, São Paulo: Editora Alínea, 2004.

ANEXO A

MAPAS RESULTANTES DA ESPACIALIZAÇÃO DE DADOS DE TEMPERATURA.

