

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE INFORMÁTICA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

**VisualMet - UM SISTEMA PARA
VISUALIZAÇÃO E
EXPLORAÇÃO DE DADOS
METEOROLÓGICOS**

por

ISABEL HARB MANSSOUR

Dissertação submetida como requisito parcial
para a obtenção do grau de
Mestre em Ciência da Computação

Prof. Carla Maria Dal Sasso Freitas
Orientadora

Prof. Dalcídio Moraes Cláudio
Co-orientador

Porto Alegre, maio de 1996.

UFRGS
INSTITUTO DE INFORMÁTICA
BIBLIOTECA

CIP - CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO

Manssour, Isabel Harb

VisualMet - UM SISTEMA PARA VISUALIZAÇÃO E EXPLORAÇÃO DE DADOS METEOROLÓGICOS / Isabel Harb Manssour.—Porto Alegre: CPGCC da UFRGS, 1996.

88 p.: il.

Dissertação (mestrado)—Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Curso de Pós-Graduação em Ciência da Computação, Porto Alegre, BR-RS, 1996. Orientadora: Freitas, Carla Maria Dal Sasso; Co-orientador: Cláudio, Dalcidio Moraes.

1. Visualização Científica. 2. Dados Meteorológicos. 3. Mapas de Contornos. 4. Interpolação de Dados Esparsos. I. Freitas, Carla Maria Dal Sasso. II. Cláudio, Dalcidio Moraes. III. Título

UFRGS INSTITUTO DE INFORMÁTICA BIBLIOTECA			
N.º CHAMADA		N.º REG.:	
681.327 16(043)		966	
M289V		DATA:	
		30.01.97	
ORIGEM:	D	DATA:	PREÇO:
		02/01/97	R\$ 30,00
FUNDO:	FORN.:		
II	II		

*Computação
gráfica - SBU/II
Visualização
científica
Dados meteorológicos
ENPq 1.03.04.00-2*

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

Reitor: Prof. Hélgio Casses Trindade

Pró-Reitor de Pesquisa e Pós-Graduação: Prof. Claudio Scherer

Diretor do Instituto de Informática: Prof. Roberto Tom Price

Coordenador do CPGCC: Prof. Flávio Rech Wagner

Bibliotecária-Chefe do Instituto de Informática: Zita Catarina Prates de Oliveira



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
Sistema de Biblioteca da UFRGS

1986

681.327.16(043)
M289V

INF
1997/177480-2
1997/01/30

MOD. 2.3.2

Aos meus pais, Elias e Ivone, e ao Rafael.

AGRADECIMENTOS

À minha orientadora, Carla, por todo apoio, incentivo e ajuda que recebi durante o projeto e desenvolvimento deste trabalho e por "trabalhar" nas férias deste ano em que eu estava escrevendo a dissertação.

Ao professor Dalcídio, meu co-orientador, pelas idéias que me ajudaram no projeto do sistema desenvolvido, e por todo apoio e incentivo recebido para as apresentações deste trabalho.

Aos professores Laschuk e Silvia, por tudo que aprendi com eles e pela troca de idéias e opiniões no Seminário de Andamento.

Ao pessoal do 8^o DISME, principalmente ao Sr. Custódio que sempre me deu muita atenção, explicando pacientemente todos os dados recebidos e procedimentos realizados no 8^o DISME, e ao Sr. Gil, pela elaboração das cartas sinóticas e solução de algumas dúvidas na ausência do Sr. Custódio.

À administração da rede, em especial a Ana Benso que sempre resolveu rapidamente os meus problemas.

Aos funcionários da UFRGS, principalmente ao Luis Otávio pela preocupação em resolver o problema da *Silicon Graphics*.

Ao Centro de SuperComputação (CESUP), por permitir a realização de parte deste trabalho em suas dependências quando a *Silicon Graphics* do Campus não estava funcionando.

À Beatriz Franciosi por intervir no processo de utilização do laboratório de programação da PUC-RS, e ao Instituto de Informática da PUC-RS, por permitir que eu utilizasse o laboratório.

Ao CNPq, que financiou parcialmente este trabalho.

À minha mãe e ao meu pai, "*in memoriam*", pelo amor, carinho, compreensão, apoio e incentivo que sempre me deram e por acreditarem no meu trabalho.

Ao Rafa por todo amor, carinho, paciência e dedicação; por estar sempre ao meu lado, compartilhando as minhas alegrias e me apoiando nas horas difíceis; por ter sempre me ajudado e incentivado durante todo o mestrado, compreendendo a minha ausência.

A Dna. Joice, pelo constante incentivo, ao Rafa e a mim, e pela paciência em revisar o texto.

Ao meu irmão, pela amizade e pela idéia de ir ao 8^o DISME buscar os dados para o meu trabalho.

Ao Tio Cheim e à Tia Gina, por me tratarem como uma filha, sempre "torcendo" por mim.

Aos demais familiares e amigos (principalmente a Ale, a Dê, a Lisi, a Roberta e o Fabiano) que estiveram sempre comigo, me ajudando e me dando força.

A todos que me ajudaram e, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização desta dissertação.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	9
LISTA DE TABELAS	11
RESUMO	12
ABSTRACT	13
1 INTRODUÇÃO	14
1.1 Motivação	14
1.2 Tratamento das Informações Meteorológicas	15
1.3 Objetivos	16
1.4 Organização do Texto	17
2 DESCRIÇÃO E COMPARAÇÃO DE ALGUNS SISTEMAS EXISTENTES	18
2.1 Introdução aos Dados Meteorológicos	18
2.2 Descrição Geral de Alguns Ambientes	19
2.2.1 VIS-5D e VIS-AD	20
2.2.2 MicroMAGICS	21
2.2.3 Sequoia 2000	21
2.2.4 SPRING	22
2.2.5 METVIEW	23
2.3 Tipos de Dados Meteorológicos	23
2.4 Representações Gráficas	24
2.5 Facilidades de Interação	25
3 A ABORDAGEM ORIENTADA A FERRAMENTAS	27
4 UM ESTUDO DE CASO: O 8^o DISTRITO DE METEOROLOGIA	31
4.1 Imagens de Satélite	31

4.2	Informações do NMC	32
4.3	Observações de Superfície - SYNOP	33
4.4	Informações Recebidas do INMET	34
4.5	O Cotidiano do 8 ^o Distrito de Meteorologia	35
5	DESCRIÇÃO DO VISUALMET	36
5.1	Introdução	36
5.2	Ambiente de Desenvolvimento e Bibliotecas Utilizadas	37
5.3	Modelagem das Entidades e Ferramentas	38
5.4	Implementação de Entidades e Ferramentas	43
5.4.1	Estruturas de Dados	44
5.4.2	Mapa de Contornos	45
5.4.3	Mapa de Ícones	46
5.4.4	Consulta	48
5.4.5	Registro	48
5.4.6	Gráficos Bidimensionais	49
6	FERRAMENTA DE MAPA DE CONTORNOS	53
6.1	Estudo sobre Métodos de Interpolação	53
6.1.1	Método da Média Ponderada	53
6.1.1.1	Método dos Mínimos Quadrados	54
6.1.1.2	Média de Estimativas	54
6.1.1.3	Ajuste Local	55
6.1.2	Triangulação	55
6.1.2.1	Diagrama de Voronoi	55
6.1.2.2	Diagrama de Delaunay	56
6.1.3	Método de Contorno Utilizado no <i>Iris Explorer</i>	57
6.1.3.1	Vizinho mais Próximo	57
6.1.4	Método Multiquádrico	58
6.1.5	Método dos Cubos Compactos	59

6.2	Descrição	59
6.2.1	Método Multiquádrico	61
6.2.2	Algoritmo de Dayhoff	63
6.3	Resultados Obtidos	65
7	CONCLUSÕES	70
7.1	Avaliação Geral	70
7.2	Extensões	71
ANEXO 1	ARQUIVO COM DADOS SYNOP	74
ANEXO 2	CÓDIGOS METEOROLÓGICOS INTERNACIONAIS	77
ANEXO 3	MAPAS DE CONTORNO ELABORADOS POR METEOROLOGISTAS DO 8^o DISME	80
BIBLIOGRAFIA		83

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2.1	Exemplos de grades bidimensionais	19
FIGURA 4.1	Imagem de satélite que engloba a América do Sul	32
FIGURA 5.1	<i>Interface</i> do sistema	38
FIGURA 5.2	Modelagem da classe Interface	40
FIGURA 5.3	Classes chamadas pela classe Interface	40
FIGURA 5.4	Modelagem da classe de dados SYNOP	41
FIGURA 5.5	Modelagem da classe Mapa	42
FIGURA 5.6	Modelagem da classe Gráfico	43
FIGURA 5.7	Modelagem da classe Registro	44
FIGURA 5.8	Janela de parâmetros da ferramenta mapa de contornos . .	45
FIGURA 5.9	Mapa de contornos para a variável pressão	46
FIGURA 5.10	Mapa de ícones para a variável total de nuvens	47
FIGURA 5.11	Mapa de ícones para a variável tendência da pressão	47
FIGURA 5.12	Atributos de uma estação selecionada	48
FIGURA 5.13	Parâmetros necessários para ativar a ferramenta Registro .	49
FIGURA 5.14	Parâmetros para geração do gráfico de barras	50
FIGURA 5.15	Gráfico de barras para a variável umidade relativa do ar (uma amostra)	50
FIGURA 5.16	Gráfico de barras para a variável temperatura do ponto de orvalho (três amostras)	51
FIGURA 5.17	Parâmetros para geração do gráfico de linha	52
FIGURA 5.18	Gráfico de linha para um conjunto de amostras (variável pressão ao nível do mar) de uma estação	52
FIGURA 6.1	O diagrama de Voronoi no plano	56
FIGURA 6.2	A propriedade do círculo vazio	57
FIGURA 6.3	Grade de vizinhos mais próximos	58
FIGURA 6.4	Exemplo 2D do Método dos Cubos Compactos	60

FIGURA 6.5	Ângulos de 45° ao longo das linhas estendidas ("flechas") aos pontos adjacentes ao ponto central C	63
FIGURA 6.6	Ordem na qual os pontos da isolinha "aberta" são encontrados	64
FIGURA 6.7	Mapas de contornos gerados, respectivamente, pelo Visual-Met e pelo <i>Mathematica</i>	65
FIGURA 6.8	Mapas de contorno gerados utilizando-se valores diferentes para R (variável temperatura máxima ou mínima)	66
FIGURA 6.9	Mapa de contorno para um grande valor de R (variável umidade relativa do ar)	67
FIGURA 6.10	Mapa de contorno para a variável temperatura (R = $M \times 0.4$)	68
FIGURA 6.11	Mapa de contorno para a variável umidade relativa do ar (R = $M \times 0.4$)	68
FIGURA 6.12	Mapa de contorno para a variável pressão ao nível do mar (R = M)	69

LISTA DE TABELAS

TABELA 3.1	Classificação dos atributos de entidades	28
TABELA 4.1	Classificação das variáveis de observação da superfície	35

RESUMO

Os centros operacionais e de pesquisa em previsão numérica do tempo geralmente trabalham com uma grande quantidade de dados complexos multivariados, tendo que interpretá-los num curto espaço de tempo. Técnicas de visualização científica podem ser utilizadas para ajudar a entender o comportamento atmosférico. Este trabalho descreve a arquitetura e as facilidades apresentadas pelo sistema VisualMet, que foi implementado com base em um estudo das tarefas desenvolvidas pelos meteorologistas responsáveis pelo 8^o Distrito de Meteorologia, em Porto Alegre. Este centro coleta dados meteorológicos três vezes ao dia, de 32 estações locais, e recebe dados similares do Instituto Nacional de Meteorologia, localizado em Brasília, e do *National Meteorological Center*, localizado nos Estados Unidos. Tais dados são resultados de observações de variáveis tais como temperatura, pressão, velocidade do vento e tipos de nuvens.

As tarefas dos meteorologistas e as classes de dados foram observadas e analisadas para definir as características do sistema. A arquitetura e a implementação do VisualMet seguem, respectivamente, uma abordagem orientada a ferramentas e o paradigma de programação orientada a objetos. Dados obtidos das estações meteorológicas são instâncias de uma classe chamada "Entidade". Três outras classes de objetos representando ferramentas que suportam as tarefas dos meteorologistas foram modeladas. Os objetos no sistema são apresentados ao usuário através de duas janelas, "Base de Entidades" e "Base de Ferramentas".

A implementação da "Base de Ferramentas" inclui ferramentas de mapeamento (para produzir mapas de contorno, mapas de ícones e gráficos), ferramentas de armazenamento (para guardar e recuperar imagens geradas pelo sistema) e uma ferramenta de consulta (para ler valores de variáveis de estações selecionadas). É dada especial atenção à ferramenta de mapa de contorno, onde foi utilizado o método Multiquádrico para interpolação de dados.

O trabalho apresenta ainda um estudo sobre métodos de interpolação de dados esparsos, antes de descrever detalhadamente os resultados obtidos com a ferramenta de mapa de contorno. Estes resultados (imagens) são discutidos e comparados com mapas gerados manualmente por meteorologistas do 8^o Distrito de Meteorologia. Possíveis extensões do presente trabalho são também abordadas.

PALAVRAS-CHAVE: Visualização Científica, Dados Meteorológicos, Mapas de Contornos, Interpolação de Dados Esparsos.

TITLE: "VISUALMET: A SYSTEM FOR VISUALIZING AND EXPLORING METEOROLOGICAL DATA"

ABSTRACT

The weather forecast centers deal with a great volume of complex multivariate data, which usually have to be understood within short time. Scientific visualization techniques can be used to support both daily forecasting and meteorological research. This work reports the architecture and facilities of a system, named VisualMet, that was implemented based on a case study of the tasks accomplished by the meteorologists responsible for the 8th Meteorological District, in the South of Brazil. This center collects meteorological data three times a day from 32 local stations and receives similar data from both the National Institute of Meteorology, located in Brasilia, and National Meteorological Center, located in the United States of America. Such data result from observation of variables like temperature, pressure, wind velocity, and type of clouds.

The tasks of meteorologists and the classes of application data were observed to define system requirements. The architecture and implementation of VisualMet follow the tool-oriented approach and object-oriented paradigm, respectively. Data taken from meteorological stations are instances of a class named Entity. Three other classes of tools which support the meteorologists' tasks are modeled. Objects in the system are presented to the user through two windows, "Entities Base" and "Tools Base".

Current implementation of the "Tools Base" contains mapping tools (to produce contour maps, icons maps and graphs), recording tools (to save and load images generated by the system) and a query tool (to read variables values of selected stations). The results of applying the multiquadric method to interpolate data for the construction of contour maps are also discussed.

Before describing the results obtained with the multiquadric method, this work also presents a study on interpolation methods for scattered data. The results (images) obtained with the contour map tool are discussed and compared with the maps drawn by the meteorologists of the 8th Meteorological District. Possible extensions to this work are also presented.

KEYWORDS: Scientific Visualization, Meteorological Data, Contour Maps, Scattered Data Interpolation.

1 INTRODUÇÃO

Sistemas para visualização e exploração de dados meteorológicos são de grande importância, visto que a previsão do tempo tem um caráter fundamental nas áreas de atividade humana, pois diversos fenômenos alteram radicalmente as condições do tempo, às vezes com conseqüências catastróficas. Neste capítulo serão apresentados a motivação e os objetivos deste trabalho, um breve histórico dos primeiros sistemas voltados para esta área e a organização do texto.

1.1 Motivação

Sempre houve um grande interesse no conhecimento dos fenômenos meteorológicos, uma vez que estes influenciam o cotidiano de cada pessoa e podem, ocasionalmente, afetar catastróficamente regiões do planeta. O fato de se poder precisar os fenômenos climáticos e atmosféricos que ocorrerão em determinada região é de grande importância econômica e social. Econômica, principalmente no que diz respeito à sua influência na agricultura e no gerenciamento dos recursos hídricos, e social, no que diz respeito ao abastecimento de água para a população, à previsão das conseqüências que podem ser causadas pelas enchentes e ao planejamento de estoques de alimentos, medicamentos, etc. Entretanto, obstáculos significativos impediram o avanço tecnológico na área da meteorologia, como as dificuldades em conduzir experimentos meteorológicos na atmosfera e em desenvolver modelos físicos da sua dinâmica.

A dificuldade em desempenhar experimentos na atmosfera foi diminuída somente na metade deste século, quando os avanços tecnológicos dos computadores e dos equipamentos finalmente permitiram que o ser humano efetivamente observasse as propriedades da atmosfera. Os meteorologistas foram repentinamente surpreendidos com a alta resolução de dados e logo o uso de técnicas de Computação Gráfica passou a ser relevante nesta área, principalmente para representação visual das informações.

Os centros operacionais e de pesquisa em previsão numérica do tempo geralmente trabalham com uma grande quantidade de dados complexos multivariados, tendo que compreendê-los num curto espaço de tempo. A disponibilidade de um sistema gráfico com um rápido processamento e facilidades de interação com os modelos de previsão do tempo torna-se importante e, eventualmente, fundamental para a tarefa do meteorologista de prever e entender o comportamento atmosférico. Tal classe de sistema é enquadrada hoje no contexto da Visualização Científica.

O conceito de visualização científica ganhou espaço a partir de 1987 com a realização de um *workshop* sobre visualização em computação científica [McC 87]. Desde então, esta área surgiu como um forte aliado, permitindo que cientistas e

pesquisadores trabalhem com grandes volumes de dados bi e tridimensionais gerados por laboratórios ou obtidos através de dispositivos de medida.

A questão principal no que se refere a ambientes de visualização científica é propiciar ferramentas adequadas de exploração de volumes de dados, eventualmente muito grandes, e formas de representação visual eficientes que transmitam informações realmente significativas para os usuários cientistas.

Este trabalho apresenta o desenvolvimento do sistema VisualMet para visualização e exploração de dados meteorológicos. O sistema baseia-se nas tarefas realizadas pelos meteorologistas do 8^o Distrito de Meteorologia (8^o DISME), localizado no sul do Brasil. As tarefas dos meteorologistas e os tipos de dados foram observados para definição dos requisitos do sistema. A arquitetura e implementação do sistema seguem, respectivamente, uma abordagem orientada a ferramentas [FRE 94] [FRE 94a], que será apresentada mais adiante, e o paradigma de programação orientada a objetos.

1.2 Tratamento das Informações Meteorológicas

Nesta seção é apresentado um pequeno histórico das principais técnicas de Computação Gráfica utilizadas para visualização de dados meteorológicos e os primeiros sistemas desenvolvidos nesta área, com base em Papatomas et al. [PAP 88].

Historicamente identificam-se três eras na meteorologia, conforme a tecnologia de coleta de dados. Na era "*sinótica*", via telégrafo, medidas na superfície, ou seja, medidas associadas a pontos num plano, eram transmitidas, permitindo assim simultaneidade de coleta. Entretanto, os pontos eram esparsos e os meteorologistas produziam desenhos com símbolos gráficos, representando as diferentes variáveis relevantes.

A introdução de rotinas de observação com tecnologia de rádio permitiu aos meteorologistas observar medidas no espaço tridimensional tomadas por sensores em balões, na chamada era "*radiosonde*". Os conjuntos de dados ainda eram demasiado esparsos para uma interpretação mais apurada.

Mais recentemente (era "*data-rich*"), através de câmeras, imagens passaram a estar disponíveis em intervalos de aproximadamente uma hora, permitindo o uso da animação como uma ferramenta para ajudar os meteorologistas a extrair mentalmente características de nuvens para uso imediato. Finalmente, o uso dos supercomputadores para previsão numérica do tempo e o desenvolvimento dos sensores atmosféricos de alta resolução exigem que os meteorologistas trabalhem com dados (imagens) efetivamente tridimensionais da atmosfera.

As primeiras representações gráficas obtidas automaticamente em meteorologia foram produzidas para suportar as operações de prognóstico do tempo no *United States Weather Bureau*. A transmissão por "teletipo" de mapas com informações meteorológicas foi introduzida no início da década de 30 [BEL 31], *apud* [PAP 88], evoluindo, na década de 40, para transmissão por *facsimile* dos mapas de contorno. Durante os primeiros anos da previsão numérica do tempo, na década de 50, tais mapas eram representados com impressoras de linha através do preenchimento de regiões entre contornos com diferentes tipos de impressão. Na década de 60, foram desenvolvidas as primeiras ferramentas específicas para meteorologistas no *National Center for Atmospheric Research* (NCAR - Centro Nacional para Pesquisa Atmosférica), que elaborou o pacote gráfico NCAR.

O primeiro esforço para tratar digitalmente imagens meteorológicas começou na Universidade de Wisconsin, no início da década de 70, com o desenvolvimento do sistema McIDAS (*Man-Computer Interactive Data Access System*). Algumas das primeiras aplicações com imagens estereoscópicas foram desenvolvidas no final da década de 70 no *Goddard Space Flight Center* da NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) através do *Atmospheric and Oceanographic Information Processing System* (Sistema de Processamento de Informações Oceanográficas e Atmosféricas).

A incorporação de técnicas de Computação Gráfica em centros operacionais começou no *National Weather Service* (Serviço Nacional de Tempo), quando este adquiriu um sistema com capacidades gráficas interativas, na década de 80, o sistema AFOS (*Automation of Field Operations and Services*). A partir desta década, desenvolveram-se tanto os centros de previsão climática com modelos e sistemas, como as aplicações comerciais para a transmissão de boletins e previsão meteorológica pelos meios de comunicação.

1.3 Objetivos

A atuação mais sistemática na área de visualização científica no âmbito do PGCC começou em 1990 [FRE 90], embora possa ser identificado um trabalho anterior, pioneiro [OLA 89]. Técnicas de visualização específicas foram estudadas e implementadas [SAC 93] [MAN 94] [SCH 94] [SAC 95]. Um estudo mais abrangente [FRE 94] propõe uma abordagem orientada a ferramentas, implementada com orientação a objetos, como modelo de referência para o desenvolvimento de soluções de visualização científica e simulação interativa visual. O sistema descrito neste documento é continuidade imediata deste trabalho, procurando aplicá-lo a uma classe de entidades exemplificada por dados meteorológicos.

A elaboração de um sistema deste porte requer um estudo dos tipos de arquiteturas adequadas (por exemplo a apresentada por Lucas [LUC 92]), de sistemas semelhantes desenvolvidos anteriormente [HIB 89] [VIJ 91] [CÂM 92] [SCH 92] [RAO 95], do *hardware* e *software* necessário [GEL 87] [PAP 88] [EAR 92] [HIB

94], e, principalmente, da abordagem de interação oferecida ao usuário [FRE 94], de maneira que o sistema seja o mais otimizado possível.

O principal objetivo deste trabalho é o desenvolvimento de um sistema baseado em ferramentas para visualização e exploração de dados meteorológicos, que solucione alguns problemas existentes atualmente. Sendo assim, o sistema foi projetado tendo como base dados reais utilizados nos distritos de meteorologia brasileiros. As ferramentas foram projetadas baseando-se em tarefas "manuais" desenvolvidas pelos meteorologistas do 8^o DISME. Durante o projeto e desenvolvimento do VisualMet foram feitas várias visitas ao 8^o DISME, para análise e conhecimento do trabalho lá desenvolvido e para obtenção de dados meteorológicos usados como teste de implementação do sistema.

1.4 Organização do Texto

A seguir, no capítulo 2, são descritos funcional e estruturalmente alguns sistemas já desenvolvidos nesta área. Os tipos de dados meteorológicos utilizados, as representações gráficas disponíveis e as facilidades de interação oferecidas ao usuário são os itens comparados entre estes sistemas.

No capítulo 3, a abordagem orientada a ferramentas é apresentada; e no capítulo seguinte, como estudo de caso, os dados recebidos no 8^o DISME são descritos. Neste capítulo também são apresentados os problemas existentes no 8^o DISME para visualização e manipulação dos dados obtidos das estações meteorológicas espalhadas pelos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná e daqueles recebidos por satélite e por conexão com os computadores do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) brasileiro. Uma análise deste caso aponta a importância do desenvolvimento de um sistema gráfico interativo que atenda às necessidades de visualização e exploração destes tipos de dados. A descrição de um sistema deste porte, o VisualMet, é feita no capítulo 5.

O capítulo 6 apresenta uma descrição detalhada de uma das ferramentas oferecidas pelo sistema, o mapa de contornos. Inicialmente é feito um estudo sobre os métodos de contorno utilizados para a elaboração do mapa de isolinhas. Em seguida, os algoritmos utilizados na elaboração desta ferramenta são detalhadamente descritos e os resultados obtidos são analisados. Para finalizar, uma avaliação geral do VisualMet é apresentada e os seus futuros aperfeiçoamentos são discutidos.

2 DESCRIÇÃO E COMPARAÇÃO DE ALGUNS SISTEMAS EXISTENTES

Este capítulo visa fazer uma análise comparativa entre os sistemas existentes para a visualização e exploração de dados meteorológicos. Na primeira seção, será feita uma breve introdução sobre os dados meteorológicos, seguida da descrição de alguns ambientes de visualização já desenvolvidos. No final serão abordadas algumas características dos sistemas em geral, como tipos de dados utilizados, representações gráficas oferecidas e interação com o usuário.

2.1 Introdução aos Dados Meteorológicos

A meteorologia pode ser usada como exemplo para ilustrar o problema de visualização de grandes conjuntos de dados científicos. Para processar e assimilar a grande quantidade de dados medidos por equipamentos ou gerados por modelos numéricos de previsão, o sistema ideal pode incluir o uso de supercomputadores, ambientes interativos e capacidades gráficas em tempo real.

Existem várias questões e conceitos particulares na área de meteorologia. Devido a pouca "espessura" da atmosfera (em relação a sua extensão horizontal) torna-se necessário "estender" o eixo Z para visualizar esta classe de fenômenos. O desejo de visualizar a distribuição de algumas variáveis ao mesmo tempo ocasionou o surgimento de soluções interessantes: uma, é representar cada variável por um atributo diferente, por exemplo cor para a variável A e contorno de isovalores para a variável B; outra, é designar diferentes índices de transparências para as muitas superfícies que representam as variáveis. Estes dois métodos resultam em imagens que são altamente "irreais", ilustrando que pode haver modelos na computação científica nos quais a técnica de visualização pode ter que "exceder o realismo" [PAP 88].

Antes de se especificar os dados meteorológicos, torna-se importante especificar o que é **grade**. Uma grade é equivalente a uma matriz multidimensional de dados e determina como os valores das variáveis estão associados aos pontos do domínio (espaço). Existem diversos tipos de grades: **grade cartesiana**, onde todos os elementos são quadrados ou cubos idênticos, caso a grade seja bi ou tridimensional, respectivamente, alinhados aos eixos cartesianos; **grade regular**, onde todos os elementos são identicamente alinhados em formas regulares, por exemplo losangos e prismas (estes elementos não são quadrados ou cubos); **grade retilínea**, onde os elementos não são necessariamente idênticos, mas continuam sendo alinhados aos eixos; **grade estruturada**, onde os elementos não são alinhados aos eixos; **grade estruturada em bloco**, é uma coleção de várias grades estruturadas colocadas juntas para preencher um espaço [ELV 92]. Alguns destes tipos de grade estão exemplificados na figura 2.1.

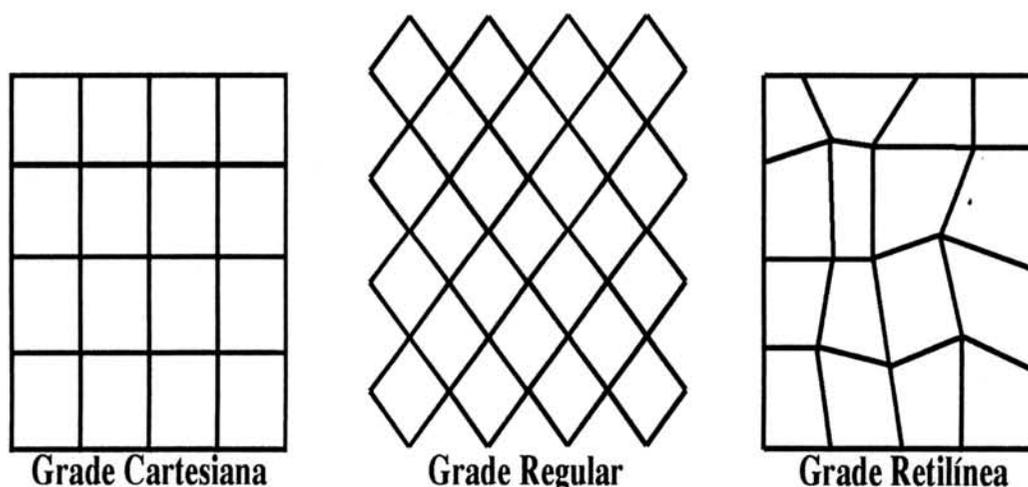


FIGURA 2.1 - Exemplos de grades bidimensionais

Os dados meteorológicos consistem em dados coletados ou calculados correspondentes a fenômenos atmosféricos, como, temperatura, pressão, direção e velocidade do vento, umidade relativa do ar e tipos de nuvens. Medidas e observações são coletadas e armazenadas em arquivos que são utilizados para posterior processamento e/ou visualização. Dados calculados são aqueles gerados por modelos numéricos da atmosfera da Terra. Estes são armazenados em uma sequência de arquivos contendo vetores de variáveis físicas indexadas por tempo.

Geralmente, os dados meteorológicos estão associados a localizações espaciais indexadas por latitude, longitude e um nível vertical. Estes dados podem ser classificados de acordo com o tipo de valor que representam: escalar, vetorial ou característica (capítulo 3). Para sua visualização o que deve realmente ser feito é uma associação dos fenômenos atmosféricos aos diferentes tipos de mapas e terrenos. Sendo assim, nas seções abaixo serão descritas algumas associações, isto é, como alguns sistemas tratam as variáveis atmosféricas, que tipo de variáveis utilizam, que tipos de imagens são geradas e quão interativos são.

2.2 Descrição Geral de Alguns Ambientes

Existem vários sistemas que foram projetados para a área de visualização científica, como por exemplo o *EnSight* [CEI 95], o *Iris Explorer* [SIL 91] e o AVS (*Application Visualization System*) [UPS 89]. Contudo, estes sistemas são genéricos, isto é, não foram desenvolvidos para uma aplicação especial. Nesta seção estão descritos alguns sistemas encontrados na literatura específicos para a visualização e exploração de dados meteorológicos, com exceção de um sistema que é mais genérico (VIS-AD). No final, estes sistemas são comparados segundo critérios de tipos de dados, representações gráficas e facilidades de interação oferecidas aos usuários.

2.2.1 VIS-5D e VIS-AD

O sistema VIS-5D tem como principal objetivo fornecer uma *interface* interativa para visualização de dados meteorológicos. Este sistema foi construído sobre uma plataforma *X Windows*, para execução em sistemas Stellix (uma extensão do UNIX), no Centro de Engenharia e Ciência Espacial da Universidade de Wisconsin [HIB 90].

VIS-5D trabalha com dados na forma de uma grade regular 5-dimensional, sendo três elementos referentes à posição espacial, um de tempo e um de enumeração de variáveis. Para dados meteorológicos as dimensões espaciais são frequentemente latitude, longitude e altitude, e as variáveis podem ser temperatura, pressão, umidade e os três componentes de descrição vetorial do vento. Apesar de parecer um formato especializado, a grade 5D é um formato usual dos resultados de simulações atmosféricas e de alguns instrumentos de sensoriamento remoto como o radar.

Este sistema permite a animação de gráficos de múltiplas variáveis físicas no espaço 3D, gerados a partir das grades de dados, em tempo real. A interação proporcionada pelo sistema deve-se ao armazenamento de todo conjunto de dados na memória principal da estação de trabalho. A interface do VIS-5D e a rápida resposta visual que o sistema proporciona permitem que os cientistas explorem interativamente seus conjuntos de dados. O VIS-5D também suporta um formato de dados para trajetórias, que é usado para representar o vento, as correntes do oceano, o fluxo de água e outros campos que se movimentam.

Enquanto o VIS-5D é eficaz para visualizar resultados de simulações da atmosfera e dos oceanos, os cientistas também projetam e utilizam uma classe mais ampla de algoritmos que necessitam de técnicas de visualização mais genéricas. Para suprir esta necessidade foi projetado o sistema VIS-AD (*Visualization for Algorithm Development*). O VIS-5D é executado como um sistema de pós-processamento de simulações, e o VIS-AD serve como um ambiente de execução para os algoritmos dos cientistas, permitindo que seja feita uma grande variedade de experimentos visuais com os algoritmos. Ao contrário do VIS-5D, que assume que os dados são organizados em uma grade regular 5-dimensional e que o espaço gráfico 3D sempre representa o espaço físico 3D, o VIS-AD permite que os cientistas definam suas próprias organizações de dados e espaços gráficos abstratos para suportar uma ampla classe de algoritmos [HIB 94].

O sistema VIS-AD combina:

- um modelo de dados: inclui tipos de dados complexos definidos na forma de *tuplas* e relações funcionais;
- um modelo computacional: baseado em uma linguagem de programação interpretada em um alto nível que suporta um processamento distribuído e pode unir funções escritas pelos usuários em C ou Fortran;
- um modelo de exibição: baseado em animações interativas do volume 3D;

- uma *interface* gráfica para o usuário: altamente interativa e que proporciona aos cientistas uma visualização integrada dos dados, do processamento e da apresentação visual.

A característica essencial do VIS-AD é a sua habilidade para gerar imagens a partir de qualquer combinação de objetos de dados dos algoritmos, com uma variedade de quadros de referência. Um objeto de dado pode ser, por exemplo, uma imagem 2D. A edição do algoritmo e dos quadros de referência, a definição de pontos de parada da execução, o início, a execução do algoritmo passo a passo e a exibição de várias combinações de objetos, podem ser feitos de uma maneira altamente interativa em um ambiente integrado. Os objetos de dados podem ser exibidos em múltiplos quadros de referência simultaneamente. Se for permitido que um objeto seja exibido enquanto o algoritmo está sendo executado, cada vez que este objeto é alterado ele é re-exibido. Assim o VIS-AD pode ser usado para produzir animações dos algoritmos que estão sendo executados [HIB 92].

2.2.2 MicroMAGICS

O MicroMAGICS [VIJ 91] é um pacote gráfico interativo para exibir estática e dinamicamente variáveis meteorológicas. Foi desenvolvido pelo Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) do INPE, em cooperação com o *European Centre for Medium-Range Weather Forecast* (ECMWF). Este sistema, elaborado para execução em micro-computadores, está instalado nos serviços meteorológicos de 20 países da Europa e no Brasil.

A visualização de campos meteorológicos escalares, como pressão e temperatura, ou vetoriais, como vento, é fornecida pelo sistema. *Isolinhas* e *sombreamento* demarcam áreas no qual um campo meteorológico possui valores dentro de um intervalo definido; *setas* e *linhas de corrente* são usadas para representar vento. A carta a ser visualizada pode incluir *legendas* e *textos* e pode ser apresentada nas projeções *cilíndricas*, *mercator*, *polar-estereográfica* e *satélite*.

As variáveis e imagens de satélites meteorológicos são visualizadas em cartas (mapas) com escalas bem definidas. Isto requer transformações geométricas de acordo com as equações da projeção de saída. As imagens de satélite também podem ser agrupadas em seqüência e possuem tabelas de cores editáveis, que permitem a definição das cores a serem usadas para cada um dos componentes. É também possível localizar as coordenadas em latitude e longitude a partir da posição do cursor.

2.2.3 Sequoia 2000

O projeto Sequoia 2000 consiste, simplificadamente, numa "ponte" que integra o sistema gerenciador de banco de dados (SGBD) *Postgres* [STO 90] e o

sistema de visualização *AVS* [UPS 89]. O "coração" do Sequoia 2000 é um *browser* gráfico do banco de dados, responsável por localizar qualquer conjunto de dados de interesse. Uma vez que o conjunto de dados foi localizado, o *AVS* é inicializado como um processo separado, para então os dados serem exibidos em um dos seus módulos [KOC 93].

Este *browser* gráfico foi projetado com a intenção de ser análogo, em operação, ao *browser* do *Apple Macintosh*. Visualmente o *browser* do BD consiste em apontar e "cliquear" em uma representação icônica dos seus *folders* e documentos, permitindo assim a navegação pelo BD, bastando apenas "cliquear" duas vezes em um ícone para se visualizar definitivamente os documentos desejados.

O objetivo deste sistema, desenvolvido pela *Digital Equipment Corporation*, pela Universidade da Califórnia e pelo Centro de Supercomputação de San Diego, é unir as capacidades de um sistema de gerenciamento de banco de dados e de um sistema de visualização, permitindo assim uma visualização interativa dos dados do SGBD. Para um melhor desempenho do Sequoia 2000, este utiliza técnicas de Inteligência Artificial em conjunto com técnicas de visualização científica e uma interface gráfica interativa que gera ícones dinamicamente.

2.2.4 SPRING

O sistema SPRING (Sistema de Processamento de Informações Georeferenciadas) foi desenvolvido pelo INPE, com suporte da EMBRAPA e do Centro Científico IBM-Rio [CÂM 92]. O SPRING é um sistema orientado a objetos que foi desenvolvido utilizando a linguagem C++ e o *X Window System*, para funcionar em estações de trabalho UNIX. Seus principais objetivos são:

- fornecer ao usuário um ambiente interativo para visualizar, manipular e editar imagens e dados cartográficos;
- estar integrado a um ambiente de banco de dados para arquivar e recuperar dados espaciais e seus atributos;
- propiciar uma biblioteca de classes em C++ para compor um sistema extensível para o desenvolvimento de novas aplicações em Processamento de Imagens e GIS (*Geographical Information Systems*).

Para isto, a arquitetura do sistema conta com sete módulos: *interface* homem-máquina; área de trabalho, que é o espaço da memória principal onde estão as informações do projeto sendo estudado; carga de dados, que recupera as informações de um banco de dados; construtor de consultas, que permite a montagem de consultas SQL sobre os atributos dos geo-objetos (conjunto de objetos geográficos); processador de geo-objetos, que engloba o conjunto de módulos de processamento de imagens, análise geográfica e modelagem digital de terreno; visualizador; *interface* com o banco de dados.

2.2.5 METVIEW

O METVIEW é um sistema desenvolvido pelo ECMWF em conjunto com o CPTEC-INPE, e com a participação do *French Weather Service (Météo-France)*. Este sistema, que já está operacional, é utilizado para recuperação, manipulação e visualização de dados meteorológicos e climatológicos [RAO 95].

A arquitetura distribuída do METVIEW baseia-se na idéia de "arquitecturas orientadas a serviços", que permitem a combinação de diferentes serviços (tais como acesso a dados, manipulação de dados e visualização) em um único ambiente. Esta arquitetura permite a integração com sistemas gerenciadores de banco de dados e a utilização de protocolos de comunicação que simplificam a distribuição de processos em uma rede.

Implementado em estações de trabalho UNIX, o METVIEW usa *sockets* TCP/IP como protocolo de comunicação, e tem sua *interface* baseada em *Motif*. Os módulos básicos do sistema são: *interface* com o usuário, recuperação de dados a partir de um arquivo hierárquico, manipulação de dados através de fórmulas matemáticas, execução de um programa escrito na linguagem *macro* do METVIEW e visualização e animação de observações, imagens e campos (combinados). Entre as aplicações meteorológicas disponíveis o METVIEW permite, por exemplo, a elaboração de gráficos, o processamento de algumas variáveis como umidade relativa do ar e total de precipitação e a exibição da variável vento, colorida de acordo com a temperatura [RAO 95].

2.3 Tipos de Dados Meteorológicos

Grande parte dos sistemas já desenvolvidos, exemplificados na seção anterior, utilizam, como entrada para geração das imagens, conjuntos de dados resultantes de sistemas de simulação. Outros sistemas utilizam dados obtidos por satélite, radar ou instrumentos de sensoriamento remoto.

Dados obtidos por simulações da dinâmica da atmosfera da Terra consistem tipicamente de uma grade computacional de centenas de milhares de pontos, por exemplo, 320 x 160 x 19 pontos, significando, respectivamente, longitude x latitude x superfícies. As variáveis climáticas geradas para os pontos de grade são obtidas a cada hora de simulação, resultando em centenas de Mbytes de dados por dia de simulação [MAX 92] [MAX 93].

O sistema desenvolvido por Papatomas [PAP 87] utiliza dados meteorológicos obtidos de um programa de simulação que modela fenômenos meteorológicos, LAMPS (*Limited Area and Mesoscale Prediction System*). O LAMPS simula a evolução de sistemas de precipitação, que possuem escalas horizontais na ordem de 50 km, conhecidas pelos meteorologistas como *mesoscale*. Os resultados do LAMPS são vetores 4-dimensionais de valores $V(x_i, y_j, z_k, t_m)$, onde V é o

parâmetro de interesse (concentração de água nas nuvens, por exemplo), x_i , y_j e z_k são as coordenadas espaciais de longitude, latitude e altitude, e t_m é o intervalo de tempo.

Já o sistema McIDAS (*Man-computer Interactive Data Access System*) desenvolvido por Hibbard [HIB 89], trabalha com conjuntos de dados contendo bilhões de pontos. O sistema Mc-IDAS possui um conjunto de ferramentas muito flexível para gerenciamento dos dados, pois aceita dados de pelo menos 100 fontes diferentes, produzidos por satélites, radares, radares *laser*, instrumentos de sensoriamento remoto e modelos de simulação numérica. Estes dados são organizados em grades bi e tridimensionais de variáveis físicas, como temperatura, pressão, umidade e velocidade do vento.

Os projetistas do sistema MicroMAGICS [VIJ 91] encontraram problemas devido a não adoção de um padrão internacional de armazenamento de imagens meteorológicas. Por isto, propuseram uma extensão do formato GRIB, padrão internacional adotado pela Organização Meteorológica Mundial (OMM) para armazenamento de dados meteorológicos numa forma compacta.

O METVIEW [RAO 95] utiliza os formatos GRIB (campos e imagens bidimensionais) e BUFR (observação), que foram definidos pela OMM. Todos os arquivos de dados são lidos, manipulados e armazenados em uma hierarquia multi-nível. Quando um dado é requisitado, o sistema busca através da hierarquia de "depósito" de dados e cria uma representação gráfica para o dado encontrado.

2.4 Representações Gráficas

Existe uma infinidade de imagens que podem ser geradas a partir de dados meteorológicos, em função das variáveis que são amostradas ou calculadas. Valores escalares de pressão, temperatura, umidade, tipo de nuvens e valores vetoriais de direção e velocidade do vento permitem produzir imagens bi ou tridimensionais, coloridas ou não, contendo uma ou mais informações, dependendo das necessidades do usuário.

As imagens bidimensionais consistem basicamente em mapas cartográficos onde podem ser colocados vetores, relativos às informações do vento [VIJ 91], ou isolinhas, relativas às variáveis escalares. Brodliet al. [BRO 92] apresenta alguns mapas de contornos produzidos para diferentes variáveis que, geralmente, são sobrepostos. Uma outra alternativa seria apenas distribuir os valores das variáveis escalares no mapa. As próprias imagens de satélites também são exemplos de representações gráficas bidimensionais.

Com relação às representações tridimensionais, existem mais opções, e cada vez mais cresce o realismo nas seqüências de animações. Um exemplo típico, muito usado hoje em dia, é a exibição de pares de imagens *stereo*. Papatomas [PAP 87] implementou este método para visualização de nuvens. Cada representação

consiste na elaboração de duas imagens, uma relativa ao olho esquerdo, outra ao olho direito que, quando combinadas, resultam numa cena tridimensional.

Outras técnicas também muito utilizadas na elaboração de imagens meteorológicas tridimensionais são transparência e textura. Estas são utilizadas para ajudar o usuário a associar características às diferentes informações. Exemplos destas imagens podem ser encontrados em vários trabalhos [GEL 87] [MAX 92] [MAX 93].

A exibição de isolinhas, obtidas através da interpolação de variáveis escalares, também pode ser feita de maneira tridimensional, como exemplifica Papatthomas [PAP 88]. Um exemplo mostra uma imagem, na qual as isolinhas estão representando a umidade relativa do ar, as superfícies sombreadas a pressão, e as cores, a temperatura.

Uma variedade de gráficos tridimensionais é apresentada por Hibbard [HIB 89] [HIB 90] [HIB 94]. Grandezas escalares são, em geral, mostradas seletivamente dependendo de valores escolhidos. Neste caso, uma superfície é definida, sendo exibida na forma aramada ou com tratamento de sombreadamento e transparência. Grandezas vetoriais são exibidas como linhas onde é possível representar trajetória e magnitude, respectivamente pela localização/orientação e espessura. Grandezas escalares derivadas das vetoriais recebem tratamento correspondente. Muitos gráficos combinam estas técnicas de visualização para representar diferentes variáveis.

2.5 Facilidades de Interação

Devido à complexidade e ao grande volume dos dados meteorológicos, a interação é um item muito importante a ser considerado no desenvolvimento de sistemas de visualização. Outra exigência destes tipos de sistema é a produção de animações em tempo real, o que requer a manipulação rápida e eficiente dos conjuntos de dados.

Um sistema de visualização científica deve permitir que o usuário possa facilmente relacionar os dados com as suas representações gráficas. Em geral, o controle de rotação, foco e *zoom* estão disponíveis. Cada técnica de visualização diferente requer parâmetros, tais como o intervalo entre isolinhas, a posição de um plano de corte, ou o valor de um limite para a exibição de isosuperfícies. Estes parâmetros são geralmente fornecidos pelo usuário através de botões, caixas de texto e menus, tal como no sistema *EnSight* [CEI 95].

O usuário deve poder também selecionar qualquer combinação de variáveis escalares e vetoriais, e novos níveis para superfícies, ou seja, novas camadas da atmosfera, sendo o processamento da nova superfície feito de maneira rápida e assíncrona. O controle da combinação das variáveis deve ficar a cargo do usuário, permitindo que este possa examinar mecanismos de causa e efeito.

Para obtenção de respostas rápidas, a maioria dos sistemas armazenam todo conjunto de dados em memória, através de polígonos e listas de vetores para representar superfícies. O uso de estruturas de dados comprimidas também é aconselhável, para maximizar o tamanho dos conjuntos de dados que se pode visualizar [HIB 89].

Entretanto, a maioria dos sistemas de visualização científica oferecem como uma *interface* de alto-nível com o usuário uma linguagem de programação visual baseada na técnica *dataflow*. AVS [UPS 89], *Silicon Graphics Iris Explorer* [SIL 91] e *IBM Data Explorer* [LUC 92] utilizam esta técnica, dando ao usuário a flexibilidade de projetar seus próprios "pipelines" de visualização. Novos módulos podem ser programados e colocados nas bibliotecas para posterior uso.

O METVIEW, como descrito na seção 2.2.5, usa uma arquitetura distribuída baseada na idéia de arquiteturas orientadas a serviço. Sua principal diferença dos sistemas de visualização científica tais como AVS e *Data Explorer* são a integração com o SGBD e o protocolo de comunicação. Neste sistema o usuário somente cria objetos e executa operações sobre eles, sem necessitar de um conhecimento prévio de Computação Gráfica.

No VIS-5D [HIB 90], entretanto, o usuário interage com um "pipeline" de visualização fixo, que suporta estudos da atmosfera e do oceano. Para manter esta *interface* simples, como descrito em um trabalho recente [HIB 94], VIS-5D proporciona várias alternativas de visualização aos seus usuários. Enquanto o VIS-5D é um sistema de pós-processamento com tais limitações, VIS-AD é um ambiente de execução que permite que os cientistas definam a organização dos seus dados e o mapeamento para representações visuais [HIB 94]. Os usuários escrevem algoritmos em uma linguagem que é interpretada (com a flexibilidade de poder ligar os módulos com funções escritas em C ou Fortran). Eles podem explicitamente mapear variáveis declaradas nos algoritmos para representações visuais. A exibição das imagens é altamente interativa, permitindo, por exemplo, rotação, *zoom*, animação e ajuste do mapeamento de cores.

Uma *interface* interativa e de fácil manipulação é fundamental para os meteorologistas/cientistas, uma vez que estes são pessoas não familiarizadas com programação de computadores e querem variar a maneira como visualizam o conjunto de dados, de acordo com seu conteúdo. Tal classe de usuários não deve perder tempo criando ou procurando por um programa de visualização para executar cada novo conjunto de dados; eles devem se concentrar mais no estudo específico de sua área do que no processo de desenvolver algoritmos que implementem formas de visualizar seus dados.

3 A ABORDAGEM ORIENTADA A FERRAMENTAS

A abordagem orientada a ferramentas [FRE 94] [FRE 94a] baseia-se na idéia de que os sistemas de visualização científica devem dar suporte ao processo de análise de dados, ao invés de serem apenas uma coleção de ferramentas de visualização. Nesta abordagem, o termo objeto é utilizado para referir as entidades ou fenômenos sob estudo, e o termo atributo para designar uma propriedade do objeto.

Inicialmente foram identificados os objetivos gerais do processo de análise de dados científicos. Taxonomias para entidades (e atributos) e objetivos e tarefas foram determinados a partir da análise de estudos de casos representativos de problemas de simulação e visualização científica [FRE 93]. Estes objetivos correspondem ao estudo da estrutura de uma entidade para entender as suas propriedades estáticas e dinâmicas, para comparar propriedades de diferentes entidades, para comparar as propriedades da mesma entidade em pontos diferentes de alguma dimensão espacial/temporal e para armazenar e compartilhar o conhecimento adquirido. As tarefas executadas pelos cientistas para alcançar estes objetivos consistem em navegar no conjunto de dados, consultar o conjunto de dados, selecionar um subconjunto de dados, processar (calcular, simular), produzir e armazenar representações visuais de dados e armazenar dados processados.

A análise da informação expressa com várias representações gráficas existentes em conjunto com os objetivos da análise exploratória visual levaram a uma classificação das representações e a uma metodologia para seleção de uma representação adequada, dada uma entidade (ou atributo de uma entidade) e um objetivo (uma análise, tarefa). A seleção de representações visuais baseia-se na classificação dos atributos da entidade de acordo com a natureza ou tipo das características que representam, natureza ou tipo dos valores que estes podem assumir e natureza e dimensão do domínio onde estão definidos, como ilustra a tabela 3.1 [FRE 93].

O tipo do atributo indica a classe de informação que ele representa. Um atributo do tipo **característica** corresponde a uma característica isolada da entidade: não há uma função associada. Este é o caso da altura de indivíduos de uma população ou da flora predominante de alguma região. Um atributo de natureza **escalar** denota um conjunto de valores amostrados de uma relação definida no espaço de domínio da entidade; por exemplo, a temperatura e a pressão de um gás em um recipiente. Um atributo do tipo **vetor** permite a representação de grandezas vetoriais, isto é, grandezas dotadas de magnitude, direção e sentido, como é o caso da velocidade de fluidos. O tipo **agregação** representa uma coleção de atributos, ou seja, é um atributo composto por sub-atributos, devendo ser tratado como um conjunto. Por exemplo, a cor de um *pixel* é um atributo do tipo agregação, formado por três sub-atributos, cada um designando a quantidade de vermelho, verde e azul, considerando-se o modelo RGB de cor.

TABELA 3.1 - Classificação dos atributos de entidades

Critério	Classes	Significado
Natureza ou tipo do atributo	característica escalar vetor agregação	característica isolada, independente grandeza escalar, amostrada de uma função grandeza vetorial, amostrada de uma função coleção de atributos
Natureza ou tipo dos valores	alfanumérico numérico símbolo	valores de identificação valores ordinais, discretos ou contínuos sub-atributo
Natureza do domínio	discreto contínuo cont-discretizado	enumeração, conjunto finito ou infinito todos os pontos no espaço 1D, 2D, 3D, nD regiões no espaço 1D, 2D, 3D, nD
Dimensão do domínio	1D 2D 3D nD	dado definido no espaço 1D valor associado a espaço 2D valor associado à posição no espaço 3D valores no espaço n-dimensional

A natureza ou tipo dos valores corresponde ao conceito de tipo de dado encontrado em linguagens de programação tradicionais. O atributo pode assumir valores alfanuméricos ou numéricos, dentre uma enumeração finita ou infinita ou dentro dos reais, ou, ainda, pode ser composto por valores simbólicos, representando sub-atributos. O tipo dos valores está intimamente relacionado com a natureza do atributo.

A natureza do domínio indica se um atributo está definido num domínio discreto, restrito a um conjunto finito ou infinito de elementos, ou num domínio contínuo. Em um domínio contínuo, os valores podem estar definidos para todos os pontos (continuamente) ou para regiões. Considerando uma região geográfica como a entidade em estudo, o atributo que designa a altura do terreno é definido para todos os pontos do domínio contínuo, enquanto outro que indica a densidade populacional em sub-áreas é definido em regiões, sobre o mesmo domínio contínuo.

A dimensão de um atributo indica, na realidade, a dimensão do espaço onde a entidade está definida. Um atributo pode estar definido no espaço unidimensional (1D), bidimensional (2D), tridimensional (3D) ou n -dimensional (nD). Exemplos de domínio 1D são distâncias medidas de um ponto ou alguma característica de uma entidade observada ao longo de um período de tempo. Dados clássicos 2D e 3D são valores observados para áreas geográficas (planares e espaciais, respectivamente). Exemplos de dados n -dimensionais são obtidos de aplicações que geram dados multivariados, como, por exemplo, sensoriamento remoto e dados estatísticos

sobre populações. Conforme a interpretação, a dimensão de um atributo permite representar dados espaciais, temporais, espectrais ou multidimensionais.

Na abordagem orientada a ferramentas, entidades são manipuladas através de ferramentas, que auxiliam a realização das tarefas do usuário. As ferramentas são coleções de recursos visuais interativos e podem ser classificadas (segundo Freitas [FRE 94]) como de mapeamento, exploração, preparação e controle de processamento e registro. As técnicas de visualização, nesta abordagem, são de fato ferramentas de mapeamento de dados para representações visuais.

As ferramentas de mapeamento correspondem às facilidades de indicação de representações visuais para objetos e seus atributos. Ferramentas de exploração correspondem a facilidades de suporte à navegação, seleção e consulta das entidades em estudo. Preparação e controle de processamento são ferramentas que contemplam as facilidades de análise das informações existentes no modelo, através de métodos numéricos, estatísticos e de simulação. Já as ferramentas da classe registro correspondem às facilidades de anotação de textos em representações visuais e armazenamento de resultados numéricos e gráficos, para posterior recuperação ou reprodução em outros meios.

As diversas ferramentas são definidas, geralmente, como um procedimento interativo sobre uma representação visual. Para entender melhor a constituição das diversas ferramentas, estas são identificadas através da apresentação dos recursos visuais interativos necessários às diversas tarefas de visualização, exploração e simulação/processamento.

Tarefas de exploração de dados requerem ferramentas de navegação sobre o conjunto de dados, de consulta e de seleção de subconjuntos de dados. Exemplos de ferramentas de navegação são câmara sintética para observação de objetos definidos no espaço 3D, e focalizadores que permitem explorar dados definidos no plano. A consulta a dados sobre entidades envolve ferramentas de leitura, que exibem valores associados às entidades, e de avaliação quando os dados não estão explicitamente armazenados mas devem ser calculados por interpolação, por exemplo. Ferramentas de seleção permitem reduzir o conjunto de dados originais e podem ser geométricas como um plano de corte ou logicamente restritivas como o valor de uma isosuperfície desejada.

Pode-se deduzir, de acordo com a descrição acima, que nesta abordagem as ferramentas auxiliam os cientistas nas suas tarefas da mesma maneira que qualquer outro instrumento. Por exemplo, ao se observar um(a) pesquisador(a) estudando a morfologia de alguma espécie animal, encontra-se o uso de ferramentas manuais, tais como paquímetros; ou ferramentas computacionais, tais como procedimentos de estatística aplicados em qualquer ordem; ou ainda tarefas manuais, como por exemplo, o desenho das partes do esqueleto dos animais. Na análise exploratória não se pode impor uma ordem ao processo científico, porque esta ordem faz parte da metodologia do pesquisador. Este deve selecionar livremente as ferramentas e aplicá-las aos dados de acordo com as suas necessidades.

A abordagem orientada a ferramentas propõe classes com hierarquias de entidades e ferramentas para o desenvolvimento de aplicações científicas e de simulação, seguindo uma metodologia orientada a objetos [RUM 91]. Neste trabalho esta abordagem foi utilizada e aplicada ao problema da visualização e exploração de dados meteorológicos, como será descrito posteriormente.

4 UM ESTUDO DE CASO: O 8^O DISTRITO DE METEOROLOGIA

O 8^o Distrito de Meteorologia (8^o DISME), localizado em Porto Alegre, abrange os estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná. Sua principal função é realizar diagnóstico e prognóstico do tempo, baseando-se em imagens de satélite, informações recebidas do *National Meteorological Center* (NMC - EUA), informações de observação da superfície (SYNOP) e informações recebidas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) em Brasília, que é um ponto de convergência das estações do Brasil e de redistribuição, relativa ao mundo.

Nas primeiras seções serão descritas as informações (dados) e imagens recebidas pelo 8^o DISME. Na seqüência, será especificado o tipo de trabalho que é realizado diária e "manualmente" nesta instituição.

4.1 Imagens de Satélite

As imagens obtidas por satélite são exibidas em um micro-computador. Sua resolução é de 800x800 *pixels*, e seu conteúdo é dado por tons de cinza que variam de 0 à 255. Estes dados são obtidos através de um canal termal (infravermelho) onde existem faixas de temperatura que são percebidas. Isto deve-se ao fato de que a Terra emite calor. Sendo assim, os níveis de cinza são equivalentes a valores de temperatura. Quanto menos nuvens existirem, mais o calor emitido pela terra é percebido, conseqüentemente, mais escuro fica o *pixel*.

Os tons de cinza, variando no conjunto dos inteiros de 0 a 255, correspondem a valores numéricos de um atributo escalar (temperatura) definido em um domínio 2D contínuo (do qual é tomada uma amostra).

Existem dois canais de recepção de imagens do satélite de comunicação. Os canais possuem freqüências diferentes de transmissão, que passam informações, alternadamente, o dia inteiro. A imagem que engloba a América do Sul, que é a analisada, é recebida a cada três horas.

O *software* utilizado para exibir estas imagens apresenta uma série de opções que auxiliam o meteorologista, como por exemplo a visualização "tridimensional" que possibilita identificar a espessura da nuvem, mapeamento de tons de cinza para tons coloridos, entre outras. As imagens de satélite são utilizadas apenas para visualização, não sendo realizado nenhum processamento sobre elas. Na figura abaixo está um exemplo de uma imagem obtida por satélite.

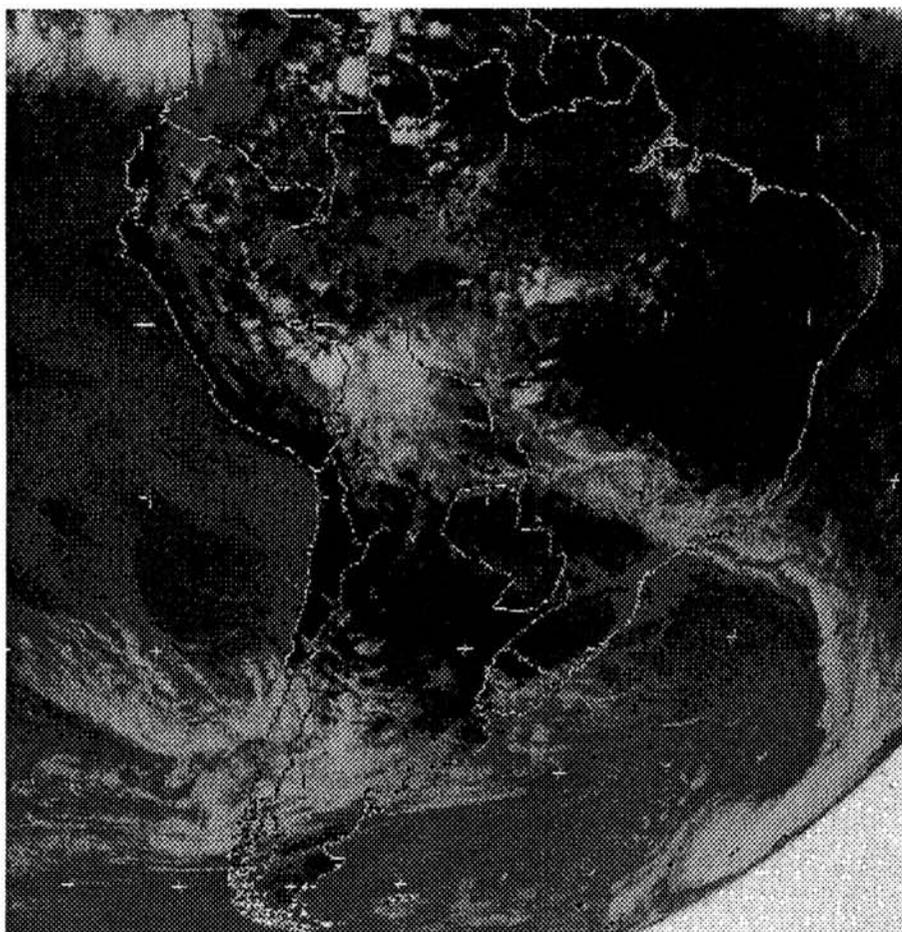


FIGURA 4.1 - Imagem de satélite que engloba a América do Sul

4.2 Informações do NMC

O NMC transmite uma análise sinótica, isto é, grades de informações e mensagens de previsão do tempo. A transmissão é feita através de um terminal conectado com o NMC. As mensagens recebidas correspondem a uma análise baseada nos *grids*.

Os *grids* são grades cartesianas que contêm informações de temperatura, umidade relativa do ar, entre outras, e que abrangem o mundo inteiro. Estas informações são codificadas e diferenciadas pela altura da pressão (ou altura geopotencial), isto é, os dados obtidos consistem na coleta das variáveis a uma altura padrão determinada pela pressão (500, 700 e 850 milibares). Torna-se importante salientar que, quanto maior a altura, menor é a pressão e que a altura da pressão varia de acordo com a densidade da atmosfera. Em outras palavras a pressão de 800 milibares em Porto Alegre está a uma altura Z_1 e em Brasília está a uma altura Z_2 , no conceito de medida cartesiana.

4.3 Observações de Superfície - SYNOP

Uma observação meteorológica de superfície consiste na medição ou determinação de todos os elementos que, em seu conjunto, representem as condições meteorológicas num dado momento e em determinado lugar, utilizando-se instrumentos adequados e valendo-se também da visão. Estas observações realizadas de forma sistemática, uniforme, ininterrupta e em horas estabelecidas, permitem conhecer as características e variações dos elementos atmosféricos, os quais constituem os dados básicos para a confecção de cartas de previsão do tempo, para o conhecimento do clima, para a investigação das leis gerais que regem os fenômenos, etc.

As observações devem ser feitas, invariavelmente, nas horas indicadas e sua execução deverá levar o menor tempo possível. É excluída qualquer possibilidade de informação com caráter de previsão de condições futuras do tempo por parte do observador. Sendo assim, fica claro que o observador, ao preparar uma observação meteorológica de superfície, deverá se restringir a informar as condições do tempo reinante no momento da observação.

Nos serviços meteorológicos estas observações têm as finalidades, entre outras, de: (1) informar aos meteorologistas, nos centros de previsão, a situação e as mudanças de tempo que estão ocorrendo nas diferentes estações meteorológicas (local onde o observador faz a avaliação de um ou de diversos elementos meteorológicos no momento da observação); (2) obter dados para fins de estatística meteorológica e climatológica; (3) fazer observações meteorológicas para cooperação com outros serviços de meteorologia e difusão internacional. Nota-se, portanto, a importância de se fazerem as observações com o máximo de precisão [INS 8?].

As informações de superfície do 8^o DISME são recebidas diretamente das 32 estações meteorológicas terrestres existentes entre Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná. Cada estação possui uma identificação física, que é obtida por meio de sua posição geográfica expressa em latitude, longitude e altitude. Independente disto, toda estação oficialmente reconhecida possui um número de identificação internacional composto de cinco algarismos. Neste número, os dois algarismos da esquerda identificam o bloco a que pertence uma região ou país, enquanto os três algarismos da direita representam o número da estação dentro do bloco.

As mensagens sinóticas relativas às observações de superfície das estações são transmitidas em horários padrões, três vezes ao dia (9:00-15:00-21:00) com o emprego de um código numérico. Estes dados são organizados em arquivos ASCII que ficam armazenados em um banco de dados no microcomputador. No anexo 1 encontra-se um exemplo deste tipo de arquivo.

Através da decodificação destes dados são obtidos valores correspondentes a tipo de nuvens, direção e velocidade do vento, temperatura, temperatura do ponto de orvalho, temperatura máxima ou mínima, pressão ao nível da estação e ao nível do mar, tendência da pressão, tempo passado e tempo presente, quantidade de chuva recolhida e umidade relativa do ar. Estas informações são utilizadas para a

elaboração das cartas sinóticas diariamente. Algumas variáveis, como temperatura e pressão, são representadas através de isolinhas, outras tem seus valores representados numericamente na carta.

A variável tipo de nuvens possui informações de qualificação da nuvem (dada pelo tipo de nuvens baixas (C_L), de nuvens médias (C_M) e de nuvens altas (C_H)) e o total de nuvens. A decodificação destas informações, feita de acordo com as tabelas apresentadas no anexo 2, leva a uma descrição detalhada do tipo das nuvens identificado no momento da análise.

A direção do vento, em graus, é colocada diretamente no arquivo. Já velocidade do vento, em nós, pode ser decodificada para obter-se a velocidade em metros por segundo (anexo 2). A unidade da temperatura, da temperatura máxima ou mínima e da temperatura do ponto de orvalho é graus Celsius. Estes valores, assim como os valores das variáveis pressão ao nível da estação e pressão ao nível do mar (em milibares), não são codificados ao serem armazenados no arquivo com dados SYNOP. A tendência da pressão é representada por uma curva, de acordo com o valor codificado apresentado no arquivo, como mostra a tabela do anexo 2. Além desta curva, a variação da pressão, em milibares, nas últimas três horas também é armazenada no arquivo.

Tempo passado e tempo presente representam as condições do tempo no passado e no momento da análise, respectivamente. Estes valores devem ser decodificados para "mensagens" que descrevem se o céu estava coberto, se estava chovendo, nevando, etc (anexo 2). Quantidade de chuva recolhida (milímetros) e umidade relativa do ar têm seus valores colocados diretamente no arquivo.

A classificação das variáveis obtidas através da observação da superfície é feita de acordo com os quatro critérios apresentados na tabela 3.1, resultando, assim, na tabela 4.1.

4.4 Informações Recebidas do INMET

Através de um terminal ligado ao INMET em Brasília o 8^o DISME recebe os valores das variáveis, tais como temperatura e umidade relativa do ar, diferenciados pela altura. Cabe salientar, porém, que são poucas as estações que têm condições de medir os valores das variáveis em alturas diferentes.

Estas variáveis são coletadas por estações de superfície em diversos pontos do território nacional e também em países vizinhos. Estas informações servem à construção das cartas sinóticas locais.

Também são transmitidos diretamente de Brasília mapas com isolinhas de pressão e temperatura, e mapas com representações da direção e velocidade do vento. Um problema destes mapas é que eles abrangem praticamente todo o mundo, não fornecendo detalhes específicos das regiões a serem analisadas.

TABELA 4.1 - Classificação das variáveis de observação da superfície

Informações de Superfície	Tipo do Atributo	Tipo dos Valores	Natureza do Domínio	Dimen. Dom.
nuvens	agregação	numérico	cont-discretizado	2D
direção do vento	vetor(unitário)	numérico	contínuo	2D
velocidade do vento	escalar	numérico	contínuo	2D
temperatura	escalar	numérico	contínuo	2D
temp. ponto orvalho	escalar	numérico	contínuo	2D
pressão nível estação	escalar	numérico	contínuo	2D
pressão nível mar	escalar	numérico	contínuo	2D
tendência da pressão	agregação	numérico	contínuo	2D
tempo passado	característica	numérico	cont-discretizado	2D
tempo presente	característica	numérico	cont-discretizado	2D
temp. máx. ou mín.	escalar	numérico	contínuo	2D
quant. chuva recolhida	escalar	numérico	contínuo	2D
umidade relativa do ar	escalar	numérico	contínuo	2D

4.5 O Cotidiano do 8^o Distrito de Meteorologia

O principal trabalho "manual" feito no 8^o DISME é a elaboração da carta sinótica três vezes ao dia, conforme os dados de observações de superfície sejam recebidos. Um grande problema enfrentado neste procedimento é que a cada variável que se quer interpolar, isto é, identificar as isolinhas, precisa-se fazer uma nova carta, o que implica em "plotar" todas as variáveis novamente. Não são utilizados os dados de todas as 32 estações, pois a carta é construída sobre um mapa padrão da América do Sul. Mapas da região sul são esporadicamente utilizados.

As informações de satélite são utilizadas, isoladamente, apenas para a visualização, não se podendo integrá-las com outras variáveis, como por exemplo direção e velocidade do vento. É importante salientar que o 8^o DISME não realiza o prognóstico do tempo propriamente dito, recebendo-o pronto através do NMC [MAN 94a].

5 DESCRIÇÃO DO VISUALMET

Neste capítulo são feitas algumas considerações iniciais a respeito do VisualMet que, a partir dos dados de observação da superfície, gera imagens e gráficos de duas dimensões. Após, são apresentados o *hardware* e o *software* usados para o desenvolvimento do sistema, e a modelagem dos objetos do sistema (entidades e ferramentas). As estruturas de dados utilizadas e as ferramentas desenvolvidas são detalhadamente apresentadas na seqüência. Parte do que é aqui apresentado é objeto de outras publicações [MAN 95] [MAN 95a].

5.1 Introdução

O estudo de sistemas descritos na literatura (capítulo 2) permitiu identificar facilidades que podem ser oferecidas a meteorologistas e estudiosos de ciências ambientais. Ainda pôde-se identificar que os sistemas são muito variados na tecnologia que empregam. Como exemplo de diversidade de utilização de tecnologia pode-se citar o 8^o DISME, que possui vários microcomputadores para recepção de informação, mas o principal produto visual do centro, a carta sinótica, é produzida manualmente. Isto ainda acontece porque os programas lá existentes, que implementam tal técnica, fazem-no sobre uma grade global e não local à América do Sul. Sendo assim, os estados do sul do Brasil representam uma parte muito pequena desta grade, impossibilitando uma análise detalhada de suas informações.

Levando em consideração as tarefas desenvolvidas pelos meteorologistas do 8^o DISME e a organização dos dados SYNOP, o VisualMet foi projetado e desenvolvido usando a abordagem orientada a ferramentas proposta por Freitas [FRE 94]. Um dos seus objetivos é facilitar as atividades desenvolvidas no 8^o DISME, e em outros distritos meteorológicos, permitindo assim uma rápida elaboração da carta sinótica e proporcionando ferramentas de navegação, seleção e consulta aos dados armazenados.

Os dados meteorológicos são muito ricos em informações, possibilitando várias maneiras de visualizá-los. No projeto do VisualMet foi definido que seria realizada a exploração e visualização destes dados, levando em consideração alguns requisitos, além de fornecer representações visuais de dados. O sistema deveria oferecer respostas rápidas, deveria ser flexível em relação aos dados de entrada e a possíveis extensões e deveria ser interativo e de fácil manipulação.

O VisualMet opera sobre os dados de observação da superfície obtidos no 8^o DISME. Estes são armazenados em um arquivo ASCII e agrupados por estação. Cada coleta de dados, em um dos horários pré-determinados (seção 4.3), é armazenada em um novo arquivo e consiste em uma coleção de medidas dos atributos apresentados na tabela 4.1. A localização (longitude, latitude) de cada estação está armazenada em um arquivo auxiliar. A leitura do arquivo padrão com os dados de

entrada do sistema (dados SYNOP) foi elaborada de maneira flexível, permitindo uma fácil inclusão de novas informações. Estes dados incluem variáveis do tipo característica, agregação, escalar e vetorial.

As classes de representação visual que são mais adequadas para visualização e exploração dos dados meteorológicos são ícones, mapas, seqüência de mapas e gráficos. No caso dos dados meteorológicos, os ícones podem ser utilizados em conjunto com os mapas, permitindo então a identificação dos atributos dos dados sob análise, no caso os dados SYNOP. Os mapas designam todas as representações visuais resultantes do mapeamento dos atributos dos dados SYNOP para atributos visuais de um plano. A exibição de uma seqüência de mapas mostra a representação visual variando ao longo do tempo, por exemplo, podendo-se verificar o comportamento da pressão durante um certo período de tempo. Esta seqüência pode ser apresentada de forma estática, isto é, várias "fotos" (mapas), uma sobre a outra, ou, então, de forma dinâmica, utilizando animação. Os gráficos permitem a análise da variação de um atributo no tempo, no espaço, ou em relação a outro(s) atributo(s).

5.2 Ambiente de Desenvolvimento e Bibliotecas Utilizadas

Para o desenvolvimento de um sistema mais otimizado é necessário utilizar-se um equipamento com boa capacidade gráfica e uma biblioteca que já possua algumas facilidades gráficas implementadas em *hardware*. A programação orientada a objetos também auxilia na criação de um sistema mais otimizado, pois esta ajuda a criar programas facilmente modificáveis e compostos de funções e de outras declarações de simples reutilização.

O VisualMet foi desenvolvido em uma estação de trabalho *Silicon Graphics* (Iris Indigo), utilizando a biblioteca gráfica GL [SIL 91b]. Esta biblioteca facilita o desenvolvimento de sistemas voltados para a área de processamento gráfico, e é a base da biblioteca padrão *OpenGL*, que pode ser utilizada em outros ambientes, como as estações de trabalho *SUN*. O código fonte foi escrito na linguagem de programação orientada a objetos C++ [SWA 93].

Para construção da *interface* utilizou-se a biblioteca FORMS, que é um pacote simples de usar, poderoso, com uma boa qualidade visual e de fácil extensão, isto é, pode-se facilmente acrescentar novas rotinas baseadas nesta biblioteca. Esta biblioteca é de domínio público, e pode ser usada em produtos não-comerciais [OVE 92].

A biblioteca FORMS consiste em um grande número de rotinas C que facilitam a construção de uma *interface* interativa. Estas rotinas podem ser usadas em programas escritos tanto na linguagem C, como na linguagem C++. FORMS utiliza a biblioteca GL da *Silicon Graphics* e pode ser executada em todas as máquinas *Silicon Graphics*.

5.3 Modelagem das Entidades e Ferramentas

As diferentes informações disponíveis nos dados de observação de superfície já foram descritas na seção 4.3. Nesta seção é descrita a modelagem dos dados e do sistema, isto é, a hierarquia das classes e subclasses criadas no desenvolvimento do VisualMet.

O projeto do sistema foi baseado na identificação de dois tipos de objetos do mundo real: entidades, representando os fenômenos descritos através dos dados coletados pelo 8^o DISME, e ferramentas, representando os processos aplicados aos dados (capítulo 3). No VisualMet estas duas classes de objetos são vistas pelo usuário como dois grupos independentes denominados "Base de Entidades" e "Base de Ferramentas". A Base de Entidades é a coleção dos dados que serão visualizados ou processados, e a Base de Ferramentas é a coleção de ferramentas utilizadas no processamento dos dados para gerar novos dados, gerar imagens, ou retornar valores de dados como resultado de consultas. Cada base é apresentada para o usuário em uma janela específica na *interface* do sistema (Figura 5.1). A janela principal contém somente os botões de *Help* e saída do sistema.

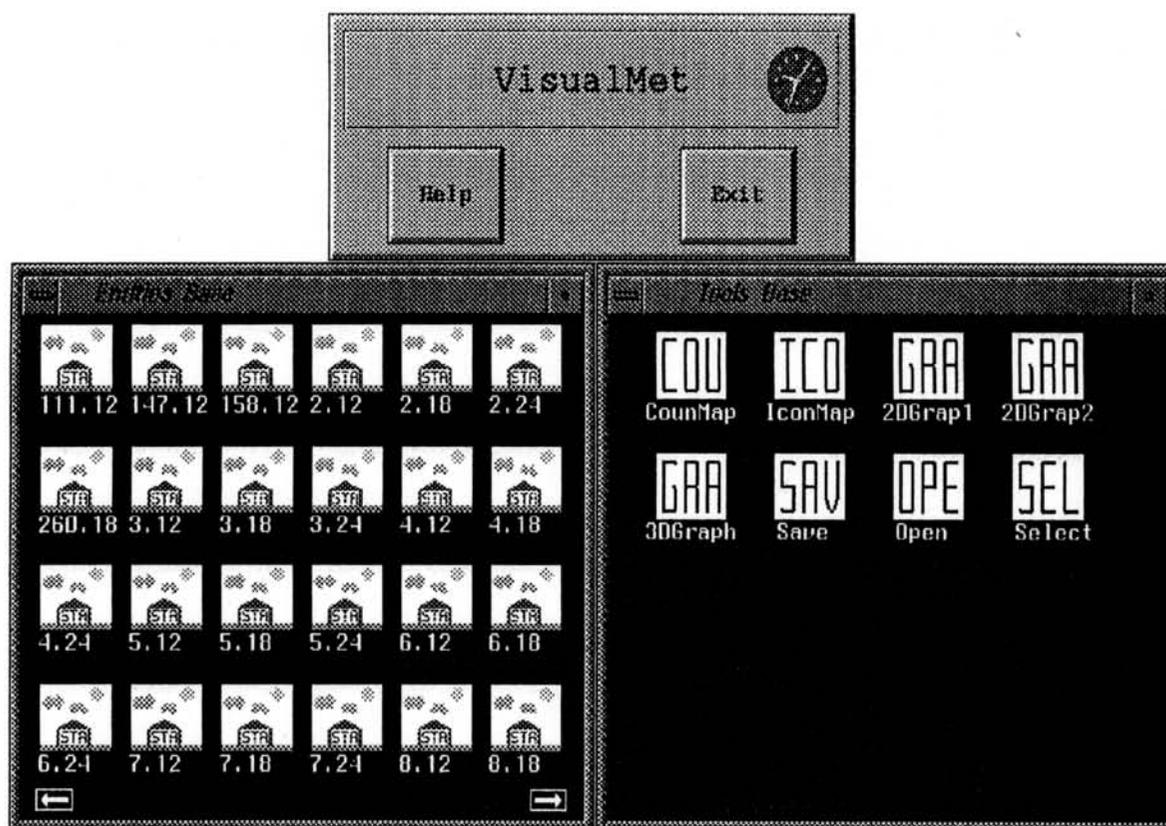


FIGURA 5.1 - Interface do sistema

Os arquivos com os dados SYNOP são representados por ícones na Base de Entidades e são identificados por nomes que contêm a data e a hora na qual a amostra foi coletada. O nome do arquivo identifica a data, por exemplo, primeiro

dia do ano, segundo dia do ano e assim por diante. Já a extensão do nome do arquivo identifica a hora em que a amostra foi coletada de acordo com a hora de Greenwich. Em outras palavras, ".12", ".18", ".24" correspondem, respectivamente, às amostras coletadas às 9, às 15 e às 21 horas, horário local.

A metodologia de desenvolvimento de *software* orientado a objetos utilizada neste trabalho é a OMT (*Object Modeling Technique*) [RUM 91]. Para a modelagem do sistema foi utilizado o diagrama de objetos que faz parte da metodologia OMT e permite descrever os objetos no sistema e seus relacionamentos.

Neste diagrama, as classes são representadas por retângulos divididos em três partes: na parte superior é colocado o nome da classe, na parte intermediária os seus atributos e na parte inferior as operações suportadas pela classe. As subclasses são representadas por uma divisão em níveis, a partir de um triângulo que representa a generalização, ou a partir de um losango que representa uma agregação. Os meios para estabelecer relacionamentos entre objetos e classes são *links* (conexão física ou conceitual entre instâncias de objetos) e associações (grupo de *links* com estrutura e semântica comuns) [RUM 91].

Como já mencionado anteriormente, o sistema é, basicamente, dividido em duas grandes classes: a Base de Ferramentas e a Base de Entidades, ambas modeladas como uma coleção de objetos. Na implementação do sistema, há uma outra classe importante, a classe **Interface**, que implementa a interação com o usuário.

A figura 5.2 mostra a modelagem da classe **Interface** e suas subclasses, que, basicamente, implementam as três janelas existentes no sistema: a janela principal, a janela da Base de Entidades e a janela da Base de Ferramentas (Figura 5.1).

Os atributos que fazem parte da classe **Interface** são apenas os identificadores das janelas das Bases de Entidades e de Ferramentas. Sua função principal consiste em gerenciar todo sistema através da fila de eventos, que contém todas as ações tomadas pelo usuário, como, por exemplo, a movimentação do *mouse* ou o "clique" em um dos seus botões. No momento em que é identificada uma ação do usuário, são chamadas sub-rotinas que fazem a "preparação" dos parâmetros a serem enviados para as outras classes, como por exemplo, a leitura dos parâmetros preenchidos pelo usuário. Desta maneira, as operações das outras classes ficam totalmente independentes da *interface* do sistema.

Como mostra a figura 5.3, a classe **Interface** centraliza todas as chamadas às outras classes. Ela é responsável pela chamada de todas as rotinas, desde o momento no qual uma janela deve ser aberta até a elaboração da imagem final. De acordo com a ferramenta selecionada pelo usuário, são chamadas, por exemplo, as rotinas para leitura dos dados, abertura de uma janela e elaboração de uma imagem. Assim, as outras classes não dependem nem da *interface*, nem da leitura dos dados, recebendo apenas os parâmetros necessários para realizar as suas funções.

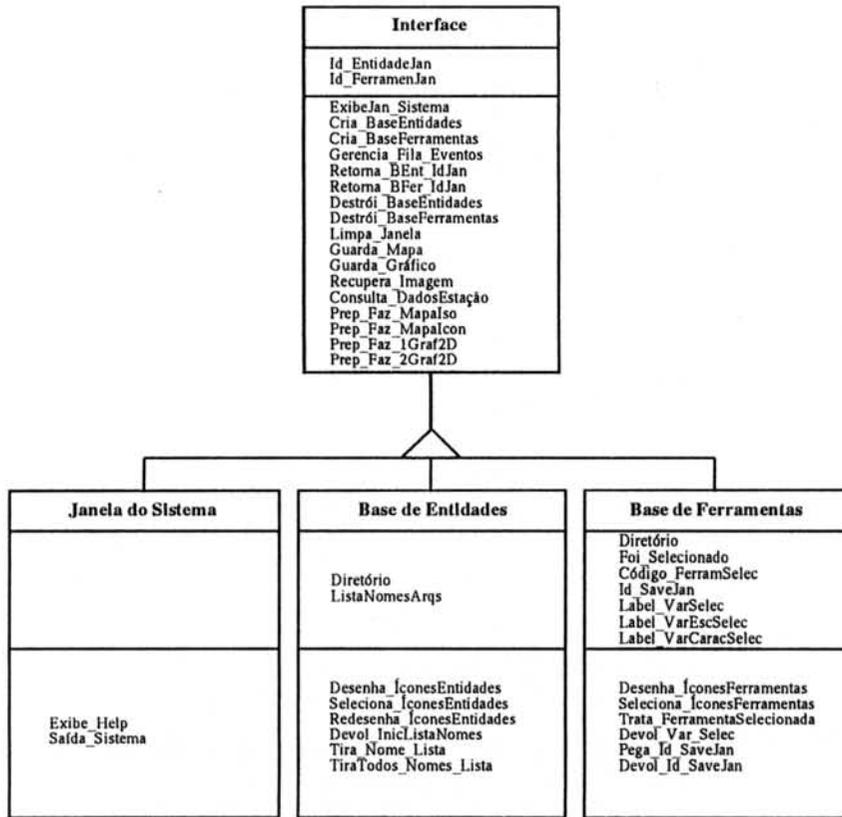


FIGURA 5.2 - Modelagem da classe **Interface**

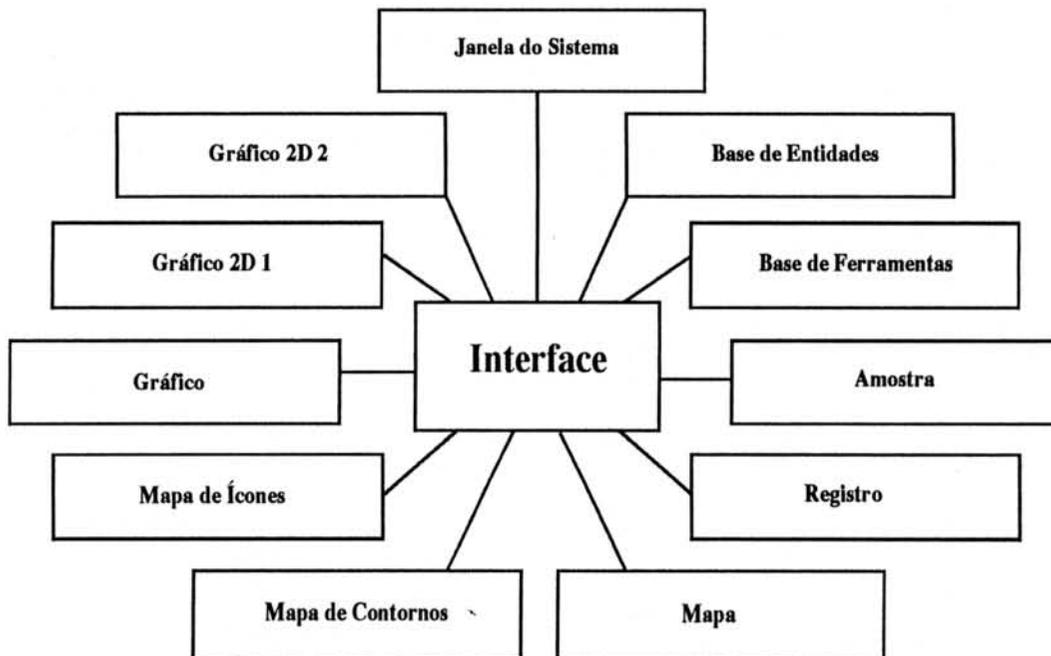


FIGURA 5.3 - Classes chamadas pela classe **Interface**

Na subclasse **Janela do Sistema**, apenas as operações de exibição do *help* e da saída do VisualMet são implementadas. Algumas operações implementadas

nas subclasses **Base de Entidades** e **Base de Ferramentas** possuem os mesmos objetivos, ou seja, desenhar os ícones e fazer um *refresh* da janela. A subclasse **Base de Entidades** também tem como função "marcar" e armazenar as entidades selecionadas pelo usuário e gerenciar a lista de entidades selecionadas. A subclasse **Base de Ferramentas** possui uma rotina que faz a inicialização dos parâmetros necessários de acordo com a ferramenta selecionada, abrindo em seguida a janela que contém os parâmetros que devem ser preenchidos pelo usuário.

A entidade **SYNOP** é modelada como uma agregação da classe **Amostra**, que por sua vez é uma agregação da classe **Estação**. Isto se deve ao fato de que cada arquivo com dados SYNOP, que contém dados sobre um determinado número de estações, é tratado como uma amostra, que nada mais é do que um conjunto de estações. A figura 5.4 mostra a modelagem destes dados.



FIGURA 5.4 - Modelagem da classe de dados **SYNOP**

A classe **Estação** possui como atributos um vetor de inteiros onde são armazenados os dados (codificados) da estação, as coordenadas da estação (latitude e longitude) e o código da estação. Suas operações consistem em ler os dados de uma estação e retornar os valores das variáveis (decodificadas) individualmente. Desta forma, esta classe encapsula os dados de uma estação.

Os atributos da classe **Amostra** são um vetor da classe **Estação**, uma tabela com a latitude e longitude de cada estação, o número total de estações que a amostra congrega, e a data e a hora na qual a amostra foi coletada. As operações desta classe são semelhantes às da classe **Estação**. É feita a leitura dos dados de uma amostra (um conjunto de estações) e são retornados vetores com os dados de leitura de uma variável específica para todas as estações de uma amostra.

As ferramentas são representadas por classes que modelam os processos que devem ser aplicados aos dados. Para gerar a representação visual de uma entidade, deve-se fazer o mapeamento entre os dados e uma ferramenta de representação visual. As duas classes que foram definidas para representação visual são: **Mapa** e **Gráfico**.

A classe **Mapa** implementa a geração e exibição dos mapas de contorno e de ícones, que são suas duas subclasses (Figura 5.5). Esta classe possui apenas dois atributos que identificam o tipo de mapa que será apresentado e a janela criada para exibir o mapa, sendo a criação desta janela a principal operação da classe. A subclasse **Mapa de Contornos** é responsável pela geração das isolinhas, e a **Mapa de Ícones** pela exibição dos ícones, de acordo com a variável selecionada pelo usuário.

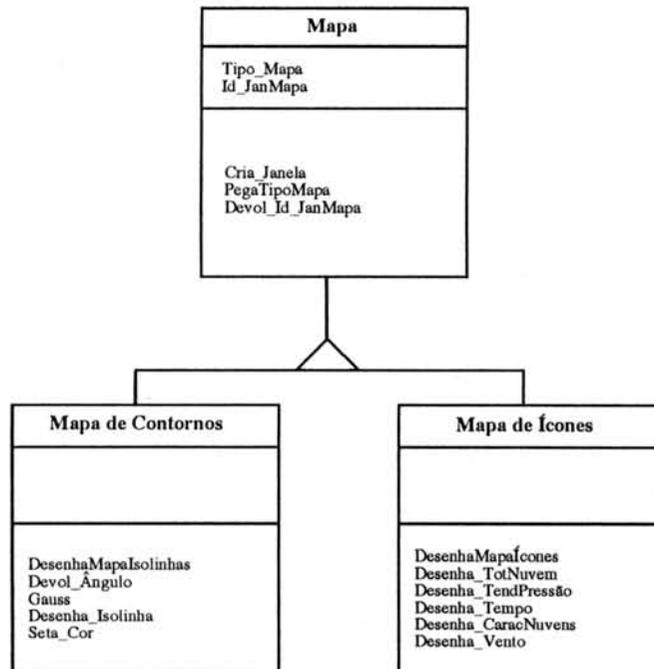


FIGURA 5.5 - Modelagem da classe **Mapa**

A classe **Gráfico** é responsável pela geração de gráficos 2D e 3D que exibem algumas variáveis de interesse (Figura 5.6). Assim como na classe **Mapa**, os atributos desta classe identificam o tipo de gráfico e a janela criada. As subclasses **Gráfico 2D 1** e **Gráfico 2D 2** possuem as operações responsáveis pela geração dos diferentes tipos de gráficos bidimensionais implementados no VisualMet. A

subclasse **Gráfico 3D** não foi implementada, mas foi incluída no modelo visando seu desenvolvimento em futuras extensões deste trabalho.

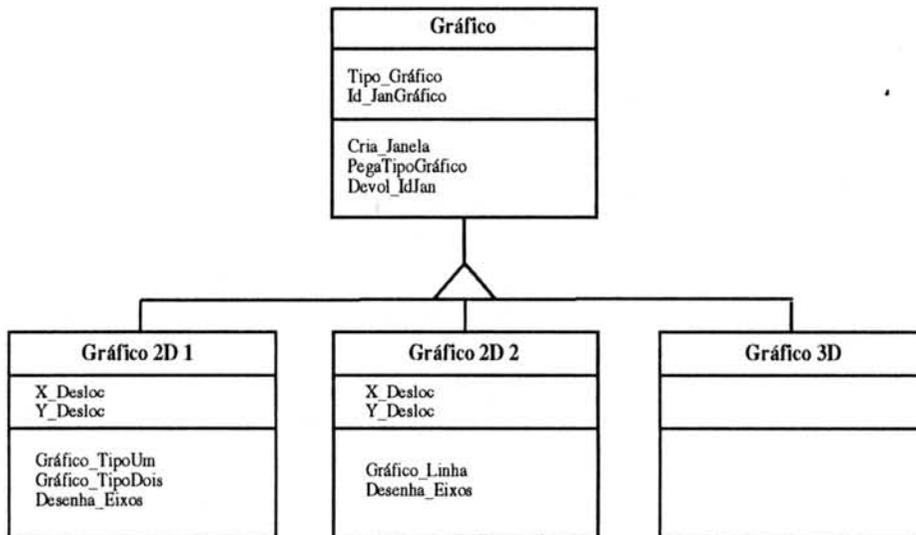


FIGURA 5.6 - Modelagem da classe **Gráfico**

A subclasse **Gráfico 2D 1** é responsável pela geração de gráficos de barra, que relacionam os valores das variáveis de uma ou três amostras com cada estação. A importância de relacionar os valores das variáveis de três amostras é a possibilidade de comparar os diferentes valores que a variável assume durante um dia em cada estação. O gráfico de linha, subclasse **Gráfico 2D 2**, apresenta o comportamento de uma variável para uma estação específica, onde um eixo corresponde a t e o outro ao valor da variável selecionada.

Torna-se importante salientar que as classes **Mapa**, **Gráfico**, e as subclasses (**Mapa de Contornos**, **Mapa de Ícones**, **Gráfico 2D 1** e **Gráfico 2D 2**), são todas chamadas pela classe **Interface**. Desta maneira estas classes e subclasses não acessam os dados diretamente.

A classe **Registro** não possui subclasses e atributos. As operações implementadas são responsáveis pelo armazenamento de uma imagem gerada pelo sistema (*salvar*) e pela abertura de uma janela onde uma imagem armazenada anteriormente é exibida (*carregar*) (Figura 5.7).

5.4 Implementação de Entidades e Ferramentas

Mapas de contorno, mapas de ícones, consulta aos atributos das estações e gráficos bidimensionais são as ferramentas disponíveis no VisualMet. Para ativá-las, o usuário seleciona primeiro uma ou mais entidades da Base de Entidades (usando a técnica de "apontar-e-clicar"), e depois seleciona uma ferramenta da mesma maneira.

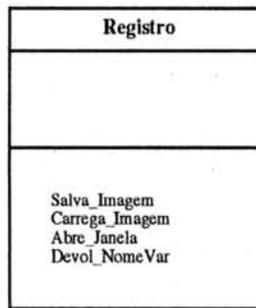


FIGURA 5.7 - Modelagem da classe **Registro**

Inicialmente, torna-se importante salientar que todo gerenciamento do sistema é feito pela classe **Interface**, uma vez que nesta classe encontra-se a rotina responsável pelo gerenciamento da fila de eventos. A leitura e o armazenamento de dados é totalmente transparente para as classes das ferramentas, pois estas apenas recebem como parâmetros os dados necessários para elaboração da imagem final.

Na seção seguinte serão especificadas as estruturas de dados utilizadas no sistema. Posteriormente, as ferramentas implementadas serão detalhadamente descritas, isto é, serão especificados os procedimentos necessários para ativá-las, os parâmetros que devem ser fornecidos e que tipo de imagens são geradas. Para elaboração da ferramenta de mapa de contornos foi necessário um estudo mais aprofundado e a implementação de algoritmos mais complexos. Por este motivo, esta ferramenta será descrita no próximo capítulo.

5.4.1 Estruturas de Dados

Antes de descrever mais detalhadamente as ferramentas disponíveis no VisualMet, é importante citar como os dados de observação da superfície são armazenados para posterior utilização. Assim que uma entidade e uma ferramenta de visualização são selecionadas, os dados codificados são lidos do arquivo e armazenados em um vetor de inteiros, local à subclasse **Estação** (figura 5.4). A localização de cada estação é também lida de um arquivo auxiliar e armazenada dinamicamente em um vetor local à subclasse.

Cabe atentar para o fato de que classes podem ser tratadas como tipos de dados. No VisualMet foi criada uma variável local à subclasse **Amostra** que é um vetor da subclasse **Estação** (figura 5.4). Isto significa que os dados de todas as estações estão agrupados em um vetor indexado por estação.

Os nomes dos arquivos das entidades selecionadas são armazenados em uma lista, cujo ponteiro inicial é uma variável pública da subclasse intitulada **Base de Entidades**, que é derivada da classe **Interface** (figura 5.2). No momento em que uma operação é escolhida, como por exemplo a elaboração do mapa de isolinhas, o primeiro arquivo da lista de entidades selecionadas é lido, e os dados necessários para elaboração da imagem são armazenados em vetores alocados dinamicamente.

Estes vetores são passados como parâmetros para a função que desenhará o mapa. Após o término desta função, os vetores são desalocados.

Pode-se afirmar, baseando-se nas especificações acima, que o sistema utiliza apenas alguns vetores, muitos dos quais alocados dinamicamente, e algumas listas. Sendo assim, há um melhor aproveitamento da memória.

5.4.2 Mapa de Contornos

O mapa de contornos consiste, basicamente, em cartas sinóticas (mapas) com isolinhas, obtidas através da interpolação das variáveis escalares. As variáveis escalares utilizadas para elaboração de isolinhas no VisualMet são: temperatura, temperatura máxima ou mínima, temperatura do ponto de orvalho, pressão a nível do mar, pressão a nível da estação, umidade relativa do ar e quantidade de chuva recolhida. Esta seção descreve o funcionamento desta ferramenta, mas os algoritmos utilizados para gerar o mapa de contornos e a discussão dos resultados obtidos são tratados no capítulo 6.

Antes de selecionar a ferramenta de mapa de contornos ("clitando" no seu ícone na Base de Ferramentas), o usuário deve selecionar uma entidade. Após, a janela exibida na figura 5.8 é aberta para que o usuário preencha alguns parâmetros. Os parâmetros que o usuário pode especificar são: tipo da variável para elaboração do mapa; intervalo entre as isolinhas; se deve ou não aparecer a identificação da estação e se as isolinhas serão diferenciadas por cores ou por seus valores.

The image shows a graphical user interface window titled "Contour Map". It contains several controls for configuring a contour map:

- Interval between contour lines:** A numeric input field with the value "2.0" and arrow buttons for adjustment.
- Station identification:** A dropdown menu with "No" selected.
- Contour line value represented by:** A dropdown menu with "Colors" selected.
- Variable:** A list box containing the following options: Max/Min Temperature, Dew Point Temperature, Pressure - Station level, Pressure - Sea level, Precipitation, and Air Humidity.
- Buttons:** "Confirm" and "Cancel" buttons at the bottom right.

FIGURA 5.8 - Janela de parâmetros da ferramenta mapa de contornos

Assim que todos os parâmetros são preenchidos, deve-se "clitar" no botão *OK* para que a janela com o mapa de contornos seja aberta. A figura 5.9 mostra um

exemplo de um mapa de contornos para a variável pressão a nível do mar. No canto superior esquerdo da janela do mapa de contornos o usuário pode observar os valores de latitude e longitude. Estes valores são atualizados de acordo com a posição do cursor sobre a janela do mapa. No canto inferior esquerdo são apresentados, com cores distintas, os valores de cada isolinha da variável utilizada. Na borda superior da janela são identificados a variável que está representada no mapa e o arquivo de dados utilizado.

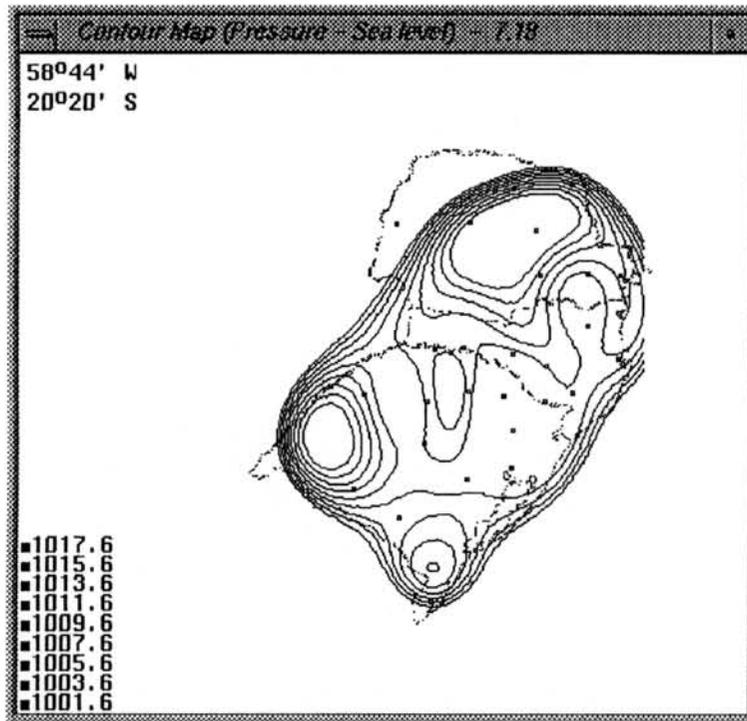


FIGURA 5.9 - Mapa de contornos para a variável pressão

5.4.3 Mapa de Ícones

Um mapa de ícones é uma imagem da distribuição geográfica das 32 estações com ícones que representam valores das variáveis em cada estação. De acordo com a classificação apresentada na tabela 3.1, os atributos que pertencem às classes agregação, característica e vetorial são mais apropriados para serem exibidos em um mapa de ícones.

Como apresentado na seção 4.3, tempo passado e tempo presente são exemplos de variáveis do tipo característica que indicam as condições do tempo, isto é, se choveu, fez sol, ficou nublado, etc. Tipos de nuvens é uma variável do tipo agregação que descreve o tipo de nuvem observado em cada estação (nuvens densas, baixas, escuras, entre outras). Direção e velocidade do vento são representadas como variáveis do tipo vetorial.

Quando o usuário seleciona a ferramenta de mapa de ícones, uma janela onde deve ser especificada a variável que deve ser exibida é aberta. Os ícones utilizados na imagem final pertencem ao conjunto de símbolos utilizado pelos meteorologistas do 8^o DISME.

As figuras 5.10 e 5.11 exemplificam o mapa de ícones onde os atributos "total de nuvens" e "tendência da pressão" são, respectivamente, exibidos. Como no mapa de contornos (seção 5.4.2), no canto superior esquerdo da janela aparecem os valores de latitude e longitude, que são atualizados conforme o usuário movimentar o cursor sobre a janela, e na borda superior da janela encontram-se os nomes da variável e da entidade selecionadas.

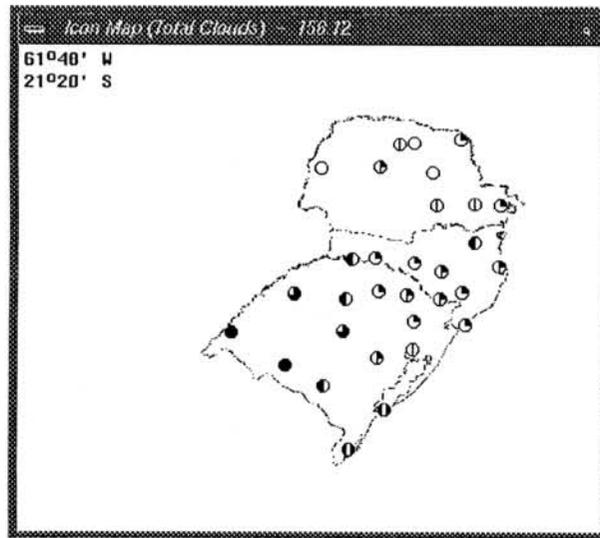


FIGURA 5.10 - Mapa de ícones para a variável total de nuvens

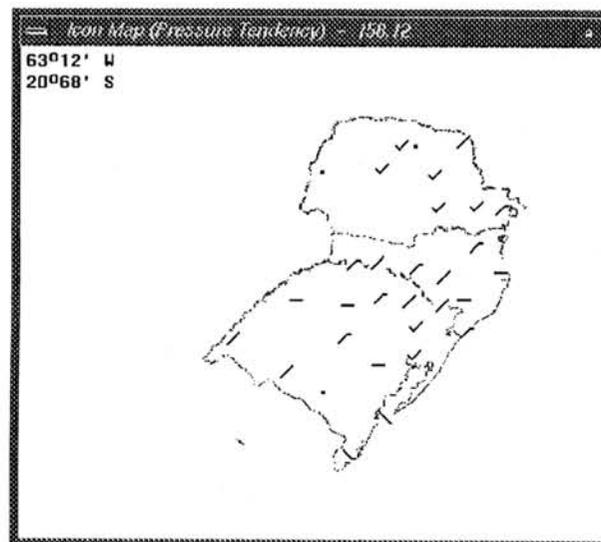


FIGURA 5.11 - Mapa de ícones para a variável tendência da pressão

Se alguma estação não possui o valor da variável selecionada, é colocado no lugar do ícone apenas uma identificação para a estação, que consiste em um pequeno quadrado. Isto pode ser observado em três estações da figura 5.11.

5.4.4 Consulta

A ferramenta de consulta não possui um ícone na Base de Ferramentas porque esta é ativada quando o usuário posiciona o cursor sobre um ícone de identificação de uma estação, no mapa de ícones ou de contornos, e "clica" com o botão esquerdo. Uma janela com todos os atributos da estação selecionada é aberta, como mostra a figura 5.12. Se, eventualmente, uma estação não possui informações, é aberta uma janela com uma mensagem que indica a falta de atributos.

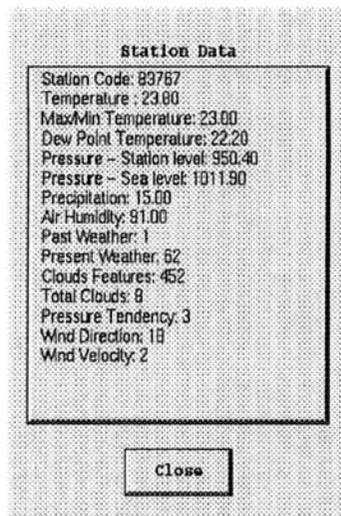


FIGURA 5.12 - Atributos de uma estação selecionada

5.4.5 Registro

Como mencionado anteriormente, as ferramentas de registro podem ser utilizadas para armazenar e carregar imagens geradas pelo sistema. As imagens geradas (mapas ou gráficos) podem ser gravadas a qualquer instante. Para isto, basta que o usuário selecione a janela que contém a imagem que ele deseja armazenar ("clcando" com o botão direito do mouse sobre a janela) e depois selecione o ícone da ferramenta de armazenamento na Base de Ferramentas (*Save*, figura 5.1). Feito isto, uma janela é aberta para que o usuário escolha o diretório e o nome do arquivo que conterá a imagem, como mostra a figura 5.13. Após todos os parâmetros serem preenchidos, o usuário "clica" no botão *OK* e então a imagem é armazenada em um arquivo, utilizando um formato interno ao VisualMet.

Para ativar a ferramenta de carregar uma imagem já armazenada, o usuário só precisa selecionar o ícone desta ferramenta na Base de Ferramentas (*Open*, figura 5.1). Os parâmetros a serem preenchidos são os mesmos que aparecem na figura 5.13. Após o preenchimento dos parâmetros necessários, uma janela com a imagem armazenada no arquivo é então aberta. Torna-se importante salientar que a ferramenta de consulta não pode ser usada sobre esta janela, pois os dados do arquivo não são carregados na memória novamente.

The image shows a standard 'Save' dialog box. The title bar contains the word 'Save'. Below the title bar, there are two text input fields. The first is labeled 'Directory:' and contains the path '/home/alytia/usuario/Imagens'. The second is labeled 'File:' and contains the text 'xxxx'. At the bottom right of the dialog, there are two buttons: 'Confirm' and 'Cancel'.

FIGURA 5.13 - Parâmetros necessários para ativar a ferramenta Registro

5.4.6 Gráficos Bidimensionais

O VisualMet dispõe de três tipos de gráficos bidimensionais para as variáveis escalares e vetoriais. O primeiro tipo de gráfico permite observar o comportamento de uma variável para uma dada amostra. O usuário seleciona uma entidade na Base de Entidades e a ferramenta *Graph2D1* (figura 5.1). A variável a ser observada deve ser indicada na janela aberta em seguida (figura 5.14).

Feito isto, é aberta uma janela com um gráfico de barras, onde o eixo Y corresponde ao valor da variável escalar ou vetorial escolhida, e o eixo X corresponde ao código das diferentes estações de uma amostra (figura 5.15). O usuário pode, então, fazer uma comparação dos diferentes valores de uma variável, num mesmo momento, para as diversas estações. No lado direito da janela estão os códigos das estações indicados no eixo X.

O segundo tipo de gráfico 2D é bem semelhante ao primeiro, porém, ao invés do usuário selecionar apenas uma entidade, ele deve selecionar três entidades, relacionando assim, por exemplo, dados de amostras coletadas em um dia. Com relação aos parâmetros informados para o gráfico anterior, só ocorre uma alteração: o usuário deverá selecionar a opção de três amostras na janela aberta após a seleção da ferramenta (figura 5.14). A figura 5.16 mostra o gráfico gerado. Para cada estação aparecem três barras, distinguidas por cores, correspondendo aos valores das amostras selecionadas. Neste tipo de gráfico pode-se observar, por exemplo, os valores das variáveis, para cada estação, em três amostras diferentes.

2D Graph

Y:

- Temperature
- Max/Min Temperature
- Dew Point Temperature
- Pressure - Station level
- Pressure - Sea level**
- Precipitation
- Air Humidity
- Wind Velocity
- Wind Direction

X:

- Stations Codes - sample
- Stations Codes - 3 samples**

FIGURA 5.14 - Parâmetros para geração do gráfico de barras

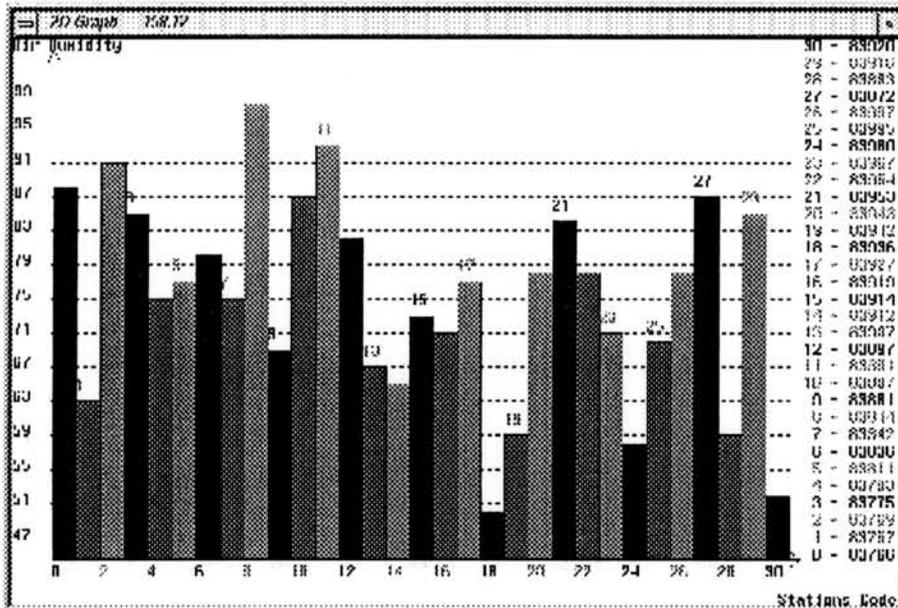


FIGURA 5.15 Gráfico de barras para a variável umidade relativa do ar (uma amostra)

Nas janelas dos gráficos de barras apresentadas nas figuras 5.15 e 5.16 os códigos das estações, compostos por cinco dígitos, estão listados no lado direito. Estes códigos são identificados no eixo X, através de números compostos apenas por dois dígitos. Na figura 5.16 também pode-se observar que na parte superior da janela estão a data e a hora, identificadas através de cores diferentes, em que cada amostra selecionada foi coletada.

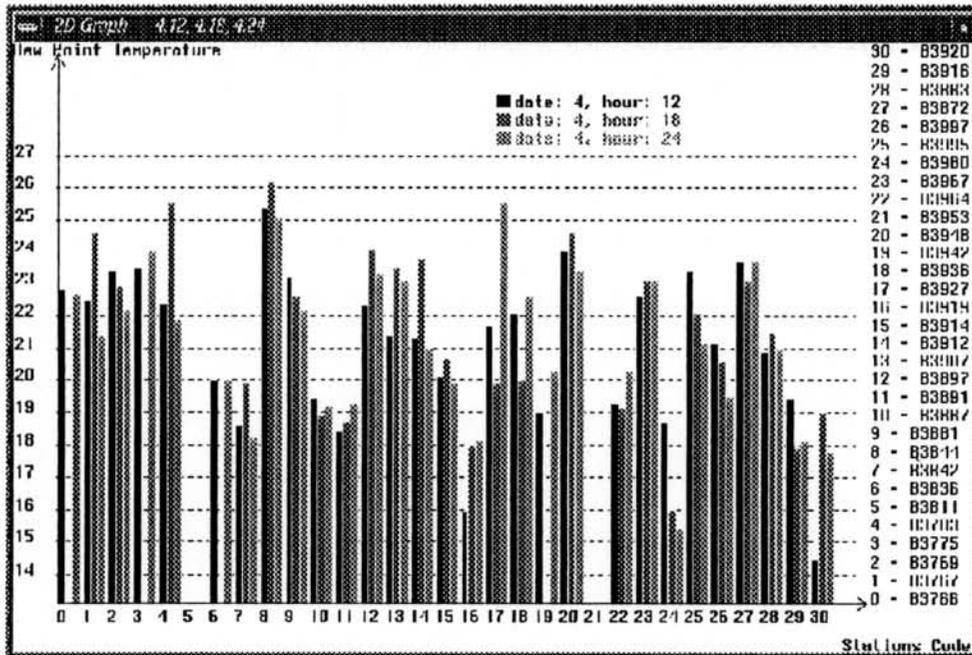


FIGURA 5.16 Gráfico de barras para a variável temperatura do ponto de orvalho (três amostras)

Finalmente, o terceiro tipo de gráfico permite que o usuário analise o comportamento de uma variável para uma estação específica ao longo de um período de tempo. O usuário deve selecionar um conjunto de amostras, qual a variável que ele deseja analisar e qual a estação que será envolvida no processo de análise (figura 5.17). Como mostra a figura 5.18, o gráfico final é um gráfico de linha onde o eixo X corresponde a t , isto é, vários dias/horas para uma única estação, e o eixo Y corresponde novamente ao valor de uma variável. A partir deste gráfico pode-se verificar o comportamento de uma variável no tempo para uma estação específica.

2D Graph

Variable:

- Temperature
- Wet Bulb Temperature
- Dew Point Temperature
- Pressure - Station level
- Pressure - Sea level
- Precipitation
- Air Humidity
- Wind Velocity
- Wind Direction

Station Code:

- 83766
- 83767
- 83769
- 83775
- 83783
- 83811
- 83813
- 83842

FIGURA 5.17 - Parâmetros para geração do gráfico de linha

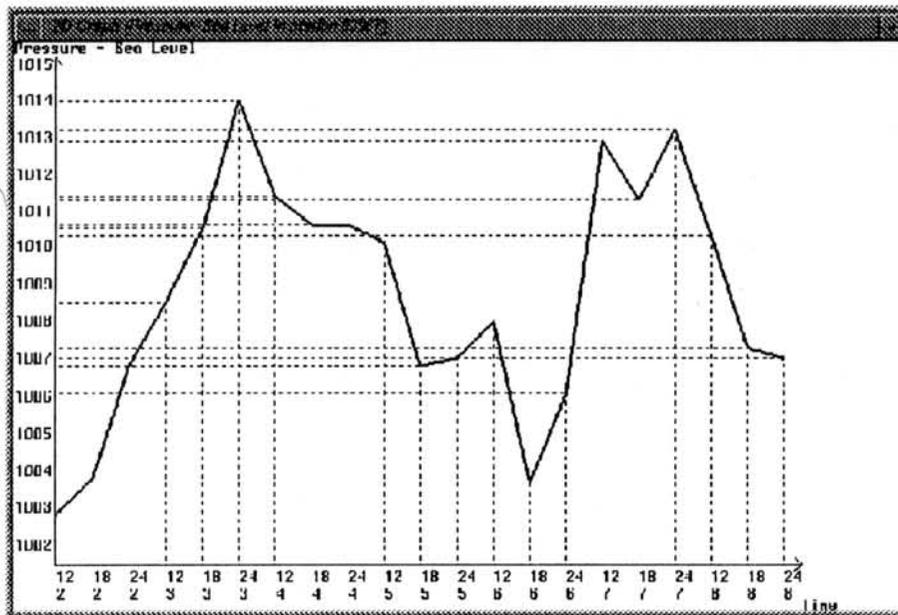


FIGURA 5.18 Gráfico de linha para um conjunto de amostras (variável pressão ao nível do mar) de uma estação

6 FERRAMENTA DE MAPA DE CONTORNOS

Neste capítulo a ferramenta mapa de contornos será detalhadamente descrita, isto é, os algoritmos utilizados serão apresentados e os resultados obtidos serão analisados. Para elaboração desta ferramenta houve um estudo mais aprofundado dos métodos existentes para construção de isolinhas (ou linhas de contorno), para permitir a escolha de um deles.

Na primeira seção encontra-se um resumo sobre os métodos de interpolação estudados. Na seção 6.2 algoritmos implementados são detalhadamente descritos e na última seção são apresentados, analisados e avaliados os resultados obtidos com a implementação desta ferramenta.

6.1 Estudo sobre Métodos de Interpolação

Existem duas maneiras de se obter mapas de contornos. A primeira é quando a função é conhecida e se quer elaborar seu contorno. A segunda é quando não se conhece a função, mas somente os valores de um conjunto de pontos de dados, e, baseando-se nestes pontos, deve-se criar um conjunto de contornos.

Para solução deste problema, foram desenvolvidas técnicas de contorno. Alguns métodos de contorno baseiam-se em uma grade cartesiana de dados, outros em uma grade regular e outros, ainda, baseiam-se na utilização de grades irregulares (os dados estão dispersos, isto é, sem um formato pré-determinado). Este capítulo visa descrever alguns métodos de geração de linhas de contorno a partir de dados aleatoriamente espalhados, ou seja, dados dispersos, que é o tipo de dado que se identifica com os dados de observação da superfície.

6.1.1 Método da Média Ponderada

Todos os métodos lineares utilizam de alguma maneira a média ponderada, sendo que alguns deles usam este conceito explicitamente. Neste método, para cada célula de uma grade, é feita a média ponderada dos n valores mais próximos na distribuição de dados original. Para cada um dos n valores é aplicado um fator peso $w_i = f(d_i)$, onde d_i é a distância entre a célula e o i -ésimo ponto ($i=1, \dots, n$) na distribuição original [ROG 94].

Na prática, segundo Sabin [SAB 86], este método apresenta algumas vantagens como, por exemplo, a descontinuidade de inclinação. Com o objetivo de superar as desvantagens deste método foram desenvolvidas duas variantes: a Média de Estimativas e o Ajuste Local. Na seção seguinte será descrito o método dos

mínimos quadrados, utilizado tanto no Método da Média de Estimativas como no de Ajuste Local, que serão abordados nas seções posteriores.

6.1.1.1 Método dos Mínimos Quadrados

Considere o seguinte conjunto de dados $\{(x_0, y_0), (x_1, y_1), (x_2, y_2), (x_3, y_3), (x_4, y_4), (x_5, y_5)\}$. Desejando-se aproximar $y(x)$ por um polinômio $p(x)$, deve-se primeiro decidir o grau do polinômio. O gráfico de uma função linear a_1x+a_0 é uma linha reta; o de uma função quadrática $a_2x^2+a_1x+a_0$ é uma parábola; já o polinômio cúbico $a_3x^3+a_2x^2+a_1x+a_0$ pode ter um máximo e um mínimo fornecido por sua derivada, sendo que o seu gráfico não possui uma forma pré-determinada. Sendo assim, conclui-se que o melhor grau para $p(x)$ é três.

Feito isso, deve-se considerar o desvio d_i definido por:

$$d_i = p(x_i) - y_i ,$$

onde $i = 0, 1, \dots, 5$ rotula os pontos de dados. Estes desvios são as diferenças entre $p(x)$, avaliados nos pontos de dados, e os valores de y nestes pontos. O método dos mínimos quadrados visa minimizar a expressão $S = \sum_{i=0}^5 d_i^2$, que é a soma dos desvios ao quadrado para todos os pontos de dados, que correspondem aos coeficientes de $p(x)$. Isto é feito igualando a zero todas as derivadas parciais de S que dizem respeito a estes coeficientes. Isto leva a um sistema de equações lineares 4X4:

$$r = 3: a_3 \sum x_i^6 + a_2 \sum x_i^5 + a_1 \sum x_i^4 + a_0 \sum x_i^3 = \sum x_i^3 y_i ,$$

$$r = 2: a_3 \sum x_i^5 + a_2 \sum x_i^4 + a_1 \sum x_i^3 + a_0 \sum x_i^2 = \sum x_i^2 y_i ,$$

$$r = 1: a_3 \sum x_i^4 + a_2 \sum x_i^3 + a_1 \sum x_i^2 + a_0 \sum x_i = \sum x_i y_i ,$$

$$r = 0: a_3 \sum x_i^3 + a_2 \sum x_i^2 + a_1 \sum x_i + a_0 \sum 1 = \sum y_i .$$

Não precisando, em princípio, nenhuma alteração, este método pode ser usado para adaptação de qualquer função de aproximação da forma $\sum_{r=0}^n a_r g_r(x)$ para um conjunto de dados qualquer. Aqui $g_r(x)$ são as funções especificadas e a_r são os coeficientes a serem determinados [FAU 81].

6.1.1.2 Média de Estimativas

Neste método, a média ponderada dos n valores é feita a partir de estimativas baseadas em ordenadas e derivadas nos pontos de dados. Estas derivadas são tipicamente calculadas através da utilização do ajuste dos mínimos quadrados de um polinômio de baixa ordem nos pontos ao redor de cada ponto de dado [SAB 86].

Este método é bastante caro para grandes conjuntos de dados, exigindo um levantamento inicial da ordem de N^2 , seguido por um custo de ordem N por ponto de interpolação [SAB 80].

6.1.1.3 Ajuste Local

No método de ajuste local a média ponderada pode ser considerada como a média ponderada dos mínimos quadrados ajustada por uma constante nos pontos de dados. Isto pode ser generalizado através do ajuste em cada ponto de interpolação de uma expressão de ordem maior. O valor desta expressão no ponto de interpolação fornece então o valor da superfície interpolada somente naquele ponto. Qualquer outro ponto possui ponderações e expressões diferentes. Tipicamente, o ajuste de uma ponderação quadrática com a sua inversa oferece resultados razoáveis [SAB 80].

6.1.2 Triangulação

Este método consiste basicamente em dividir o plano em regiões (triângulos) ao longo de alguns limites escolhidos e ajustar alguma equação em cada região. A triangulação pode ser calculada automaticamente através da aplicação de algum critério de otimização. Existem vários critérios, mas quase todos resultam na triangulação de Delaunay. Esta é simplificada pela tesselação de Voronoi [SAB 86], como descrito nas seções seguintes.

6.1.2.1 Diagrama de Voronoi

Considerando um problema de proximidade, sendo S um conjunto fixo de n pontos de um plano e dado um ponto p genérico, qual a maneira mais eficiente de determinar o ponto de S mais próximo a p ?

Uma solução trivial para este problema seria calcular as n distâncias $\text{dist}(s,p)$ para todo $s \in S$, encontrar o mínimo desses números, e devolver o ponto s correspondente. Porém, este algoritmo precisaria muitas operações. Entretanto, se este problema for resolvido para um grande número de pontos p , mantendo o conjunto S de pontos fixo, vale a pena construir a partir do conjunto S algum tipo de índice geométrico.

Especificamente, dado um conjunto S de pontos, o diagrama de Voronoi de S é uma coleção de regiões R_s do plano, uma para cada ponto s , tais que um ponto p está na região R_s se e somente se o ponto mais próximo a p é s . A região R_s é um polígono convexo que contém o ponto correspondente s , como mostra a figura 6.1.

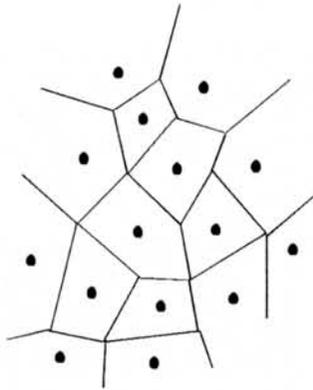


FIGURA 6.1 - O diagrama de Voronoi no plano

Cabe salientar que o diagrama de Voronoi é um grafo planar que satisfaz a relação de Euler:

$$(\text{vértices}) - (\text{arestas}) + (\text{faces}) = 2 .$$

Usando esta identidade e um pouco de álgebra, pode-se provar que o diagrama de Voronoi de $n \geq 3$ pontos tem no máximo $3n-6$ arestas e $2n-4$ vértices. Sendo assim, a complexidade do diagrama de Voronoi é apenas proporcional ao número de pontos [RES 94].

6.1.2.2 Diagrama de Delaunay

Seja um conjunto S de pontos no plano. Diz-se que dois pontos s, t de S são **vizinhos de Voronoi** se as respectivas regiões R_s, R_t do diagrama de Voronoi têm um lado em comum. Ligando cada par de pontos vizinhos com um segmento de reta, obtém-se o **diagrama de Delaunay** de S .

O diagrama de Delaunay possui duas propriedades: **Círculo Vazio** e **Círculo Circunscrito**. A primeira afirma que dois pontos são adjacentes no diagrama de Delaunay se, e somente se, existe algum círculo que passa por eles, e não contém ou passa por nenhum outro ponto do diagrama (Figura 6.2). Na propriedade do **Círculo Circunscrito** três ou mais pontos definem uma face do diagrama de Delaunay se e somente se existe algum círculo que passa por eles, e não contém ou passa por nenhum outro ponto do diagrama. O centro desse círculo é o vértice do diagrama de Voronoi que corresponde a essa face. Portanto, toda face do diagrama de Delaunay é um polígono simples inscrito em algum círculo, e portanto um polígono convexo.

Se os pontos são gerados aleatoriamente, ou são sujeitos a erros de medida aleatórios, a probabilidade de quatro ou mais pontos pertencerem a um mesmo círculo é nula. Nessas condições, as faces do diagrama de Delaunay são invariavelmente triângulos, e o diagrama de Delaunay é também chamado de triangulação de Delaunay.

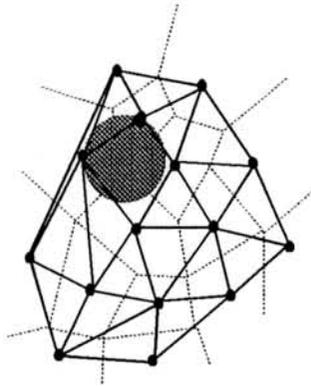


FIGURA 6.2 - A propriedade do círculo vazio

As triangulações de Delaunay, como descrito no parágrafo anterior, são bastante usadas na interpolação de dados, modelagem de sólidos, cálculo de elementos finitos e outras áreas da análise numérica. Dentre todas as triangulações do plano com um conjunto fixo S de vértices, a triangulação de Delaunay é a que produz os triângulos mais equiláteros possíveis, produzindo assim menos erros de aproximação [RES 94].

6.1.3 Método de Contorno Utilizado no *Iris Explorer*

O *Iris Explorer* é uma ferramenta para visualização científica disponível nas estações de trabalho *Silicon Graphics*. Esta ferramenta possui um módulo que permite a interpolação de um conjunto de dados. Neste módulo, inicialmente, é criada uma tabela de visita, que contém uma referência ao conjunto de dados e outras informações auxiliares que aceleram as operações de busca. Após, a interpolação é executada de acordo com um método especificado, que pode ser interpolação linear ou interpolação do vizinho mais próximo (descrita na seção 6.1.3.1).

Baseando-se na tabela de visita e em um vetor que contém o conjunto de dados amostrados, a interpolação dos dados é feita por um processo de três passos:

- 1- Calcula qual célula da tabela de visita contém o ponto do vetor de dados amostrados;
- 2- Calcula os índices fracionais do ponto dentro da célula;
- 3- Interpola os valores dos cantos da célula escolhida de acordo com os índices fracionais achados no passo 2 [SIL 91a].

6.1.3.1 Vizinho mais Próximo

Uma abordagem simples e rápida para criar uma grade regular ou uma grade cartesiana a partir de um conjunto de pontos esparsos é através da malha

de vizinho mais próximo - acha-se o ponto mais próximo de cada célula da grade resultante e atribui a esta célula o valor do ponto, como mostra a figura 6.3.

Esta técnica é valiosa porque preserva os valores originais dos dados e a distribuição da grade, mesmo que uma transformação de coordenadas possa ser aplicada no conjunto de pontos. Entretanto, embora tenha um custo computacional baixo, os resultados podem não ter a qualidade desejada, porque a estrutura espacial é preservada [TRE 95].

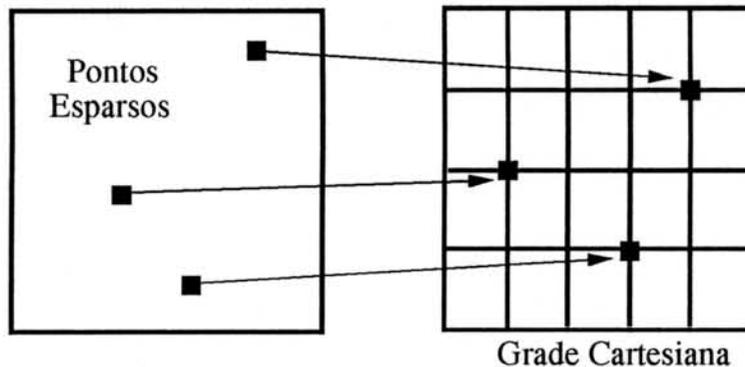


FIGURA 6.3 - Grade de vizinhos mais próximos

6.1.4 Método Multiquádrico

O método Multiquádrico para interpolação de amostras de dados escalares em localizações arbitrárias no plano é discutido por Foley em dois trabalhos [FOL 87] [FOL 90]. Este método também é conhecido como método Multiquádrico de Hardy [HAR 71] [HAR 90], *apud* [FOL 90].

Este método é considerado um método global, isto é, a interpolante é dependente de todos os pontos de dados, e a adição ou deleção de um ponto de dado, ou a alteração de uma das coordenadas de um ponto de dado, irá propagar através do domínio de definição. O método global não é indicado para um grande conjunto de dados (N), desde que este envolva a solução de um sistema de equações de $O(N)$ equações (freqüentemente exatamente N), e em qualquer caso envolva o processamento de todos os pontos [FRA 82].

Apesar da desvantagem em trabalhar com um grande conjunto de dados, o método Multiquádrico possui um bom desempenho na suavidade, precisão e na aproximação de conjuntos de dados distribuídos.

A interpolante multiquádrica $M(x, y)$ é definida por:

$$M(x, y) = \sum_{i=1}^N a_i \sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 + R^2},$$

onde R^2 é uma constante que deve ser maior do que zero.

Os coeficientes a_i são processados resolvendo o sistema linear de equações $N \times N$ para $M(x_j, y_j) = f_j$, sendo f_j o valor do dado escalar para $j=1, \dots, N$. As requisições de armazenamento são N^2 e a complexidade computacional é da ordem de N^3 para resolver o sistema linear.

6.1.5 Método dos Cubos Compactos

Este método utiliza a técnica de interpolação baseada em arestas. Este tipo de interpolação utiliza como dados de entrada uma grade cúbica e produz uma malha da superfície geralmente muito irregular. Essa irregularidade consiste em triângulos muito pequenos ou muito estreitos, que prejudicam a forma dos elementos.

O método dos cubos compactos procura solucionar este problema da irregularidade dos triângulos. A idéia é simples: inicialmente assume-se que uma grade regular de dados corresponde a uma malha e cada um dos seus pontos corresponde a um vértice; quando um vértice da malha está próximo da superfície desejada, ou isocontorno, altera-se o vértice de modo que ele fique sobre a superfície (figura 6.4).

Qualquer algoritmo de interpolação pode ser aplicado para o "cubo de dados", e, durante o processamento, armazena-se para cada vértice da superfície ou isocontorno gerado o ponto da grade cúbica mais próximo deste vértice. Moore e Warren [MOO 92] chamam este vértice de "satélite" do seu ponto de grade mais próximo. Se o vértice está no meio de uma aresta, cada um dos pontos finais da aresta pode ser usado. Quando esta fase do algoritmo acabar, o resultado será uma triangulação S do isocontorno e um ponto de grade próximo a cada vértice da triangulação.

O primeiro passo deste método define a topologia de uma nova malha ligando os pontos da grade cúbica. Todos os "satélites" (vértice gerado mais próximo do ponto de grade) em S de uma grade de pontos particular são unidos em um único vértice na malha resultante. O segundo passo consiste em deslocar os vértices da malha para ficarem perto ou sobre o isocontorno original. A figura 6.4 ilustra o primeiro e o segundo passo deste método [MOO 92].

6.2 Descrição

Considerando a classificação dos dados científicos coletados, os dados SY-NOP podem ser tratados como dados multivariados espaciais, amostrados sobre um domínio bidimensional. Vários pesquisadores apresentaram algoritmos para processar estes tipos de dados, a fim de obter os campos escalares que estes representam e produzir as linhas de contornos desejadas.

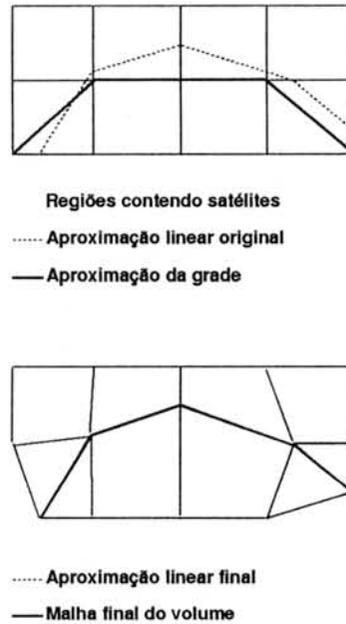


FIGURA 6.4 - Exemplo 2D do Método dos Cubos Compactos

De acordo com a seção anterior, onde foram apresentados alguns métodos para interpolação e aproximação de dados esparsos, sabe-se que dados N pontos 3D (x_k, y_k, f_k) , onde (x_k, y_k) são distintos, o problema da interpolação consiste em achar uma função $F(x, y)$ que satisfaça $F(x_k, y_k) = f_k$, para $k=1, \dots, N$.

Sendo assim, conclui-se que, para elaboração das isolinhas, tendo como base os dados meteorológicos, deve-se descobrir a função $F(x_k, y_k)$. De acordo com a descrição dos dados de observação da superfície (seção 4.3), assume-se que x_k corresponde à longitude, y_k corresponde à latitude e f_k corresponde ao valor de uma determinada variável em cada ponto (x_k, y_k) .

No VisualMet o método Multiquádrico é utilizado para elaboração do mapa de contornos. Conforme apresentado por Foley [FOL 87], a aplicação deste método a um conjunto de dados esparsos produz resultados que permitem a construção de uma curva suave e com grande precisão, objetivo buscado no VisualMet. A única desvantagem que o método Multiquádrico apresenta, por ser um método global (seção 6.1.4), se dá no caso de trabalhar-se com um conjunto muito grande de dados.

Tipicamente, a aplicação de um método local significa que a adição, deleção ou alteração das coordenadas de um ponto irá afetar a interpolante somente nos pontos vizinhos, isto é, a interpolante não será alterada em distâncias maiores do que uma distância pré-determinada. No entanto, existem algumas dificuldades na utilização de um método local para um conjunto de dados esparsos. Primeiro, como determinar quais são os pontos vizinhos em um conjunto de dados esparsos. Segundo, como saber até que "distância" a interpolante deve ser alterada [FRA 82].

Conforme especificado no parágrafo anterior e com as informações obtidas sobre os dados de observação da superfície (seção 4.3), onde é informado que o

número de estações é pequeno, pode-se observar que a única desvantagem do método Multiquádrico é, portanto, superada.

Ao contrário do método dos cubos compactos e da média ponderada, o método Multiquádrico não se prende a uma grade pré-determinada, o que é mais vantajoso uma vez que os dados são esparsos. Com relação ao método da triangulação, torna-se importante salientar que, para uma distribuição relativamente aleatória de um pequeno número de pontos (como é o caso dos dados SYNOP), a aplicação contínua de técnicas de conversão à malha triangular não produz resultados com qualidade satisfatória [TRE 95]. Sendo assim, não é aconselhável o seu uso neste tipo de aplicação.

O método Multiquádrico é utilizado para obter uma grade de dados regular a partir de um conjunto de dados esparsos. Por isto, além deste método, surgiu a necessidade de implementar-se um outro algoritmo que produzisse efetivamente as isolinhas [MAN 95a]. Nas subseções seguintes estes dois algoritmos estão detalhadamente descritos.

6.2.1 Método Multiquádrico

Como descrito na seção 6.1.4, no método Multiquádrico tem-se a seguinte interpolante:

$$M(x, y) = \sum_{i=1}^N a_i \sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 + R^2},$$

De acordo com esta fórmula, o que se deve descobrir são os coeficientes a_i . Desta maneira, chega-se a um sistema de equações lineares que é resolvido pelo método de Gauss com pivotamento. O algoritmo básico de Gauss para resolução de um sistema de equações lineares divide-se em duas etapas. A primeira etapa é triangulação, que consiste em transformar uma matriz A (que possui os coeficientes a serem encontrados) numa matriz triangular superior, mediante permutações e combinações lineares de linhas. Na segunda etapa é feita a retrossubstituição, que consiste no cálculo dos componentes de um vetor X (que conterà a resposta), a partir da solução imediata do último componente de X, e então substitui-se regressivamente nas equações anteriores. O algoritmo de Gauss com pivotamento nada mais é do que o algoritmo básico de Gauss, com uma troca de linhas sistemáticas, de modo a minimizar os erros de arredondamento [CLA 89]. Este algoritmo está ilustrado a seguir [DOR 81].

procedimento *Gauss* ()

Início

```
/* N: é o número de coeficientes a serem calculados */
/* A[N][N+1]: matriz que contém as equações lineares */
/* X[N]: vetor que conterà o resultado, ou seja, os coeficientes */
/* Primeira Etapa: triangulação */
```

Para k=0 até N-1

 Para i=k+1 até N

 Enquanto A[k][k] != 0

 l = k;

 Se |A[i][k]| > |A[l][k]|

 l = i;

 Enquanto i != (N-1)

 i = i + 1;

 Se |A[i][k]| > |A[l][k]|

 l = i;

 Se i == k

 i = k + 1;

 Senão

 j = k;

 aux = A[k][j];

 A[k][j] = A[l][j];

 A[l][j] = aux;

 Enquanto j != N

 j = j + 1;

 aux = A[k][j];

 A[k][j] = A[l][j];

 A[l][j] = aux;

 i = k + 1;

 aux = A[i][k] / A[k][k];

 A[i][k] = 0;

 Para j=k+1 até N+1

 A[i][j] = A[i][j] - aux x A[k][j];

/* Segunda Etapa: retrossubstituição */

X[N-1] = A[N-1][N] / A[N-1][N-1];

Para i=N-2 até 0

 aux = 0.0;

 Para j=i+1 até N

aux = aux + A[i][j] x X[j];

X[i] = (A[i][N] - aux) / A[i][i];

Fim *Gauss*;

De posse dos valores dos coeficientes, obtém-se então uma função da superfície. A partir desta função, chega-se a uma grade regular de dados da seguinte maneira: o intervalo $([x_i - x_f], [y_i - y_f])$, que consiste na menor e maior longitude e latitude, respectivamente, do conjunto de estações de uma amostra, é percorrido de acordo com um Δ fixo, igual para x e para y . Para cada ponto percorrido dentro deste intervalo é calculado o seu valor de acordo com a equação da interpolante.

Sobre esta malha regular foi necessário aplicar um outro algoritmo que calculasse, definitivamente, as linhas de contorno. Este algoritmo está descrito na próxima seção.

6.2.2 Algoritmo de Dayhoff

Após a obtenção da interpolante, outro algoritmo foi implementado para gerar as linhas de contorno. Este algoritmo baseia-se no algoritmo desenvolvido por Dayhoff [DAY 63], que consiste, basicamente, em varrer a grade regular de dados definida no domínio da interpolante.

Para cada isolinha que deve ser gerada os passos especificados a seguir devem ser executados. Inicialmente, percorre-se cada linha da grade para procurar um ponto que pertença à isolinha que está sendo calculada. Quando este ponto é encontrado, entre dois pontos de grade, o ponto de maior valor é usado como centro. Por exemplo, considerando a figura 6.5, e supondo que o valor do ponto a seja 4, do ponto C seja 6 e da isolinha que está sendo calculada seja 5. A isolinha passa entre a e C , e como C é o ponto de maior valor, este é usado como centro.

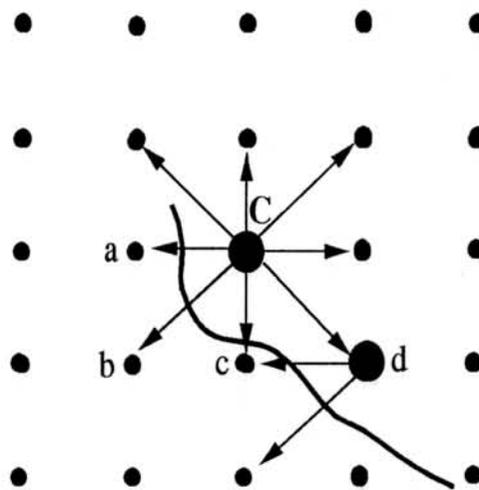


FIGURA 6.5 Ângulos de 45° ao longo das linhas estendidas ("flechas") aos pontos adjacentes ao ponto central C

Os pontos seguintes são encontrados em sucessivos ângulos de 45° ao longo das linhas estendidas aos oito pontos imediatamente adjacentes, como mostram as "flechas" na figura 6.5. Os pontos da isolinha em cada direção são encontrados

através da utilização de uma interpolação linear. Quando a isolinha não passa entre os pontos (no caso **C** e **d**), o centro de referência é transferido para o segundo ponto (**d**) em volta do qual os pontos da linha de contorno, em ângulos de 45° , são encontrados em uma nova iteração.

Uma curva é terminada se o ponto inicial é encontrado novamente (linha de contorno fechada) ou se a borda da matriz é encontrada. Neste caso, torna-se necessário voltar ao primeiro ponto encontrado da isolinha e gerar a outra parte da linha de contorno que está na direção contrária, como exemplificado na figura 6.6.

Cabe atentar para o fato de que os resultados obtidos com a implementação do algoritmo de Dayhoff foram comparados com as linhas de contorno geradas pela função *ListContourPlot* do *software Mathematica* [WOL 93]. O *Mathematica* é um pacote poderoso utilizado para facilitar a elaboração de gráficos, bi e tridimensionais, fórmulas e expressões matemáticas e mapas de contorno.

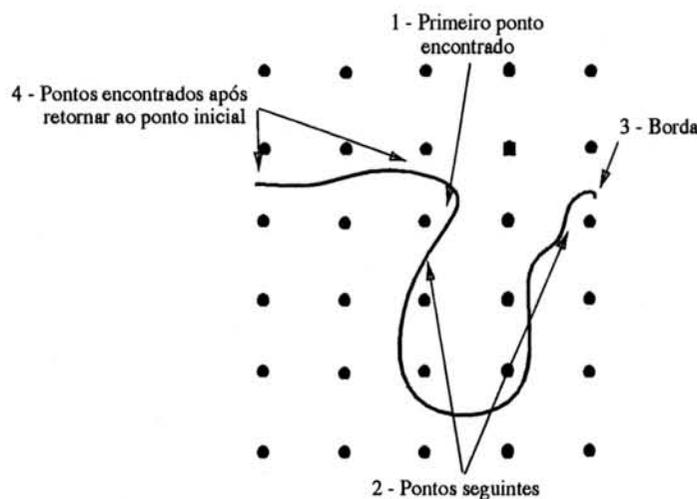


FIGURA 6.6 - Ordem na qual os pontos da isolinha "aberta" são encontrados

A comparação entre os mapas gerados pelo VisualMet e pelo *Mathematica* foi feita da seguinte maneira: primeiro foram geradas algumas grades regulares de dados, para diversas variáveis, através do método Multiquádrico; estas grades foram utilizadas para gerar os mapas de contorno através do algoritmo de Dayhoff implementado, e também foram lidas no *Mathematica* e passadas para a função *ListContourPlot*; as imagens geradas para cada grade por estes sistemas foram comparadas, observando-se então que as isolinhas calculadas eram praticamente iguais, havendo uma pequena variação devido à definição do intervalo entre as isolinhas (figura 6.7).

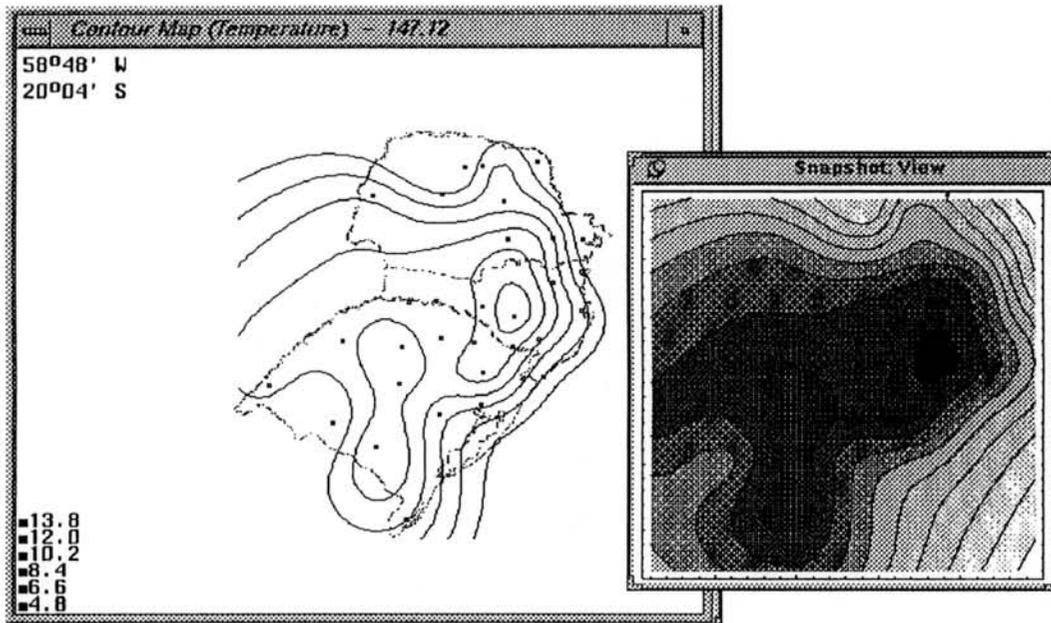


FIGURA 6.7 Mapas de contornos gerados, respectivamente, pelo VisualMet e pelo *Mathematica*

6.3 Resultados Obtidos

Como já mencionado anteriormente, a implementação foi testada sobre um conjunto de arquivos com dados de observação da superfície, cedidos pelo 8^o DISME. A geração dos mapas de contornos utilizando estes arquivos é praticamente automática, isto é, leva apenas dois ou três segundos para que a imagem final seja exibida na janela aberta.

Os resultados obtidos usando os algoritmos do método Multiquádrico e de Dayhoff foram satisfatórios, como pode-se observar na figura 5.9. O único problema encontrado foi a definição do valor de \mathbf{R} no método Multiquádrico. Esta constante influencia muito o resultado final, como ilustra a figura 6.8. Nesta figura aparecem dois mapas de contorno para a variável temperatura máxima ou mínima, que foram gerados utilizando-se os mesmos dados e parâmetros, mas com valores diferentes para a constante \mathbf{R} . Experimentos feitos pelo autor deste método [TAR 85], *apud* [FOL 87], indicam que o melhor valor para \mathbf{R} depende do número de pontos de dados, da distribuição de (x_k, y_k) e dos valores da função f_k .

O valor sugerido para \mathbf{R} [FOL 87] é 0.815 vezes a distância média de um ponto de dado (x_k, y_k) para o seu vizinho mais próximo. A distância média ao quadrado entre os pontos é definida através da seguinte fórmula:

$$M = \frac{(x_{max} - x_{min})(y_{max} - y_{min})}{N},$$

onde N é o número de pontos, x_{max} é o valor máximo de x_k e os outros são definidos similarmente. A motivação para o cálculo desta média é que o retângulo

$[x_{min}, x_{max}] \times [y_{min}, y_{max}]$ é dividido em N regiões cada uma com área correspondente a M . Assim, o quadrado da distância de um "lado" da região é M . M é usada como uma rápida aproximação da distância média ao quadrado de cada um dos N pontos de dados para o seu vizinho mais próximo.

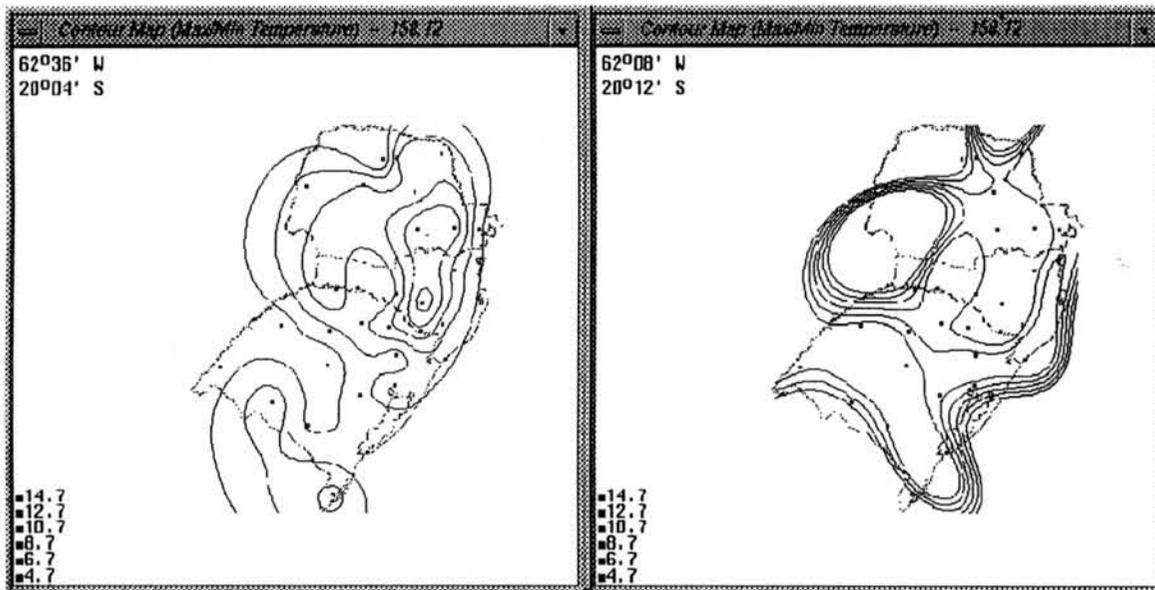


FIGURA 6.8 Mapas de contorno gerados utilizando-se valores diferentes para R (variável temperatura máxima ou mínima)

Na figura 6.8 os valores de R utilizados (da esquerda para a direita) foram:

$$R = M \times 0.1 \quad \text{e} \quad R = M \times 1.4,$$

O valor resultante da primeira equação de acordo com a amostra selecionada foi 0.29, e da segunda foi 4.03. De acordo com a figura, pode-se observar que quanto menor for o valor atribuído à constante R (R tendendo a 0), menor é o "raio" das isolinhas, isto é, aparecem mais isolinhas fechadas, formando "círculos" menores, e quanto maior for o valor, maior é o "raio" das isolinhas.

De acordo com o parágrafo anterior, conclui-se que o valor de R influencia a área de "abrangência" da interpolante. Entretanto se o valor atribuído para R for muito alto, por exemplo $R = M \times 3$, as isolinhas ficam muito próximas umas das outras (o "raio" é muito grande) e perdem a suavidade (formam-se através de pequenos segmentos de reta unidos de forma irregular). A figura 6.9 mostra um mapa de contornos para a variável umidade relativa do ar onde o valor acima exemplificado foi atribuído para a constante R .

Torna-se importante salientar que o comportamento da interpolante de acordo com o valor de R é diferente para cada variável. Por exemplo, quando o valor de R é superior a 5.2, o mapa de contornos gerado para a variável umidade relativa do ar fica semelhante ao mapa da figura 6.9, o que não ocorre com a variável pressão ao nível da estação (considerando-se a mesma amostra).

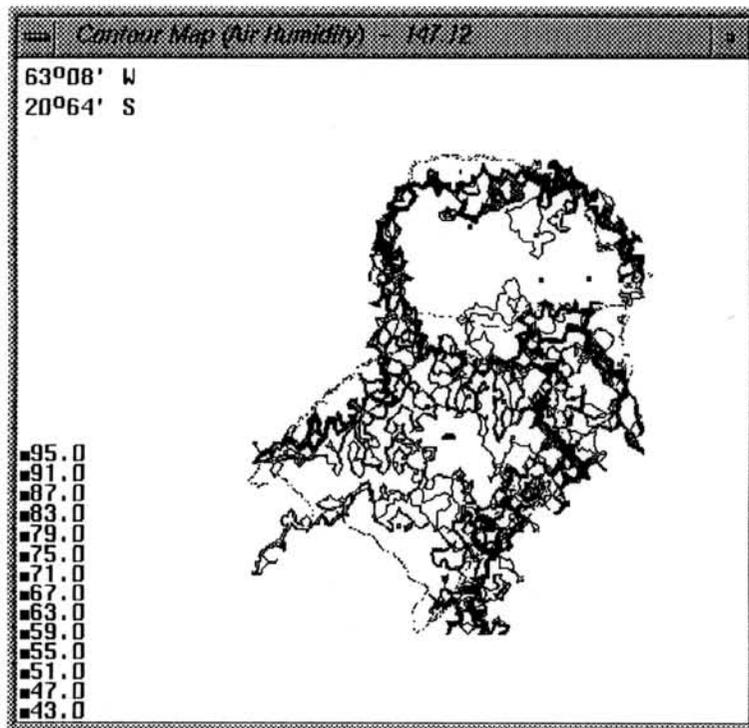


FIGURA 6.9 Mapa de contorno para um grande valor de R (variável umidade relativa do ar)

Com o objetivo de comparar as isolinhas geradas pelo sistema (usando diferentes valores de R) com aquelas produzidas manualmente, os meteorologistas do 8º DISME elaboraram três mapas de contorno de uma mesma amostra para as variáveis temperatura, pressão ao nível do mar e umidade relativa do ar. Nestes mapas, apresentados no anexo 3, foram consideradas apenas as estações dos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná que possuíam informações válidas.

De posse destes mapas, o VisualMet foi exaustivamente executado, sempre alterando-se o valor de R , para comparar as imagens geradas com os mapas cedidos pelo 8º DISME. Atribuindo-se a R o valor $M \times 0.4$ ($= 1.15$), o mapa gerado pelo VisualMet para a variável temperatura (figura 6.10) ficou bastante semelhante com o apresentado no anexo 3. Uma diferença é que no mapa gerado pelo VisualMet os valores das isolinhas geradas não são exatamente iguais ao mapa apresentado no anexo 3. Isto deve-se ao fato de que as isolinhas que serão geradas pelo VisualMet são determinadas a partir do valor máximo e mínimo da variável em questão, e do intervalo entre as isolinhas (especificado pelo usuário).

Para a variável umidade relativa do ar o valor de R que gerou a imagem que mais se aproximou do mapa do 8º DISME, foi $M \times 0.4$ ($= 1.15$). É importante comentar que o mapa de contornos gerado pelo VisualMet (figura 6.11) possui mais isolinhas porque duas estações possuem valores para esta variável muito abaixo da "média" das outras estações, mas as isolinhas que aparecem na carta sinótica são semelhantes às desenhadas no mapa. Em um dos testes, estes dois valores foram retirados do arquivo de dados. Porém, o mapa de contornos gerado neste caso ficou

muito diferente do original. Isto deve-se ao fato do método Multiquádrico ser um método global.

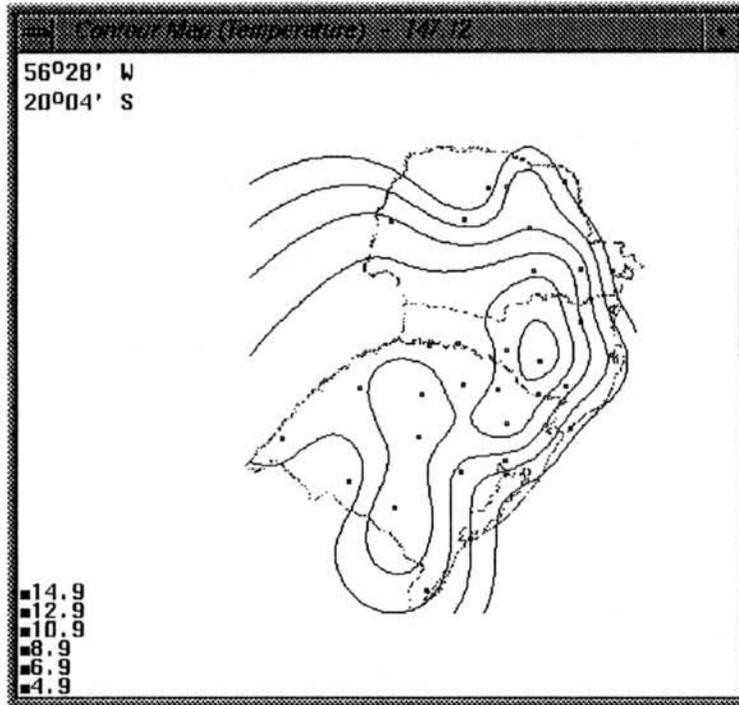


FIGURA 6.10 - Mapa de contorno para a variável temperatura ($R = M \times 0.4$)

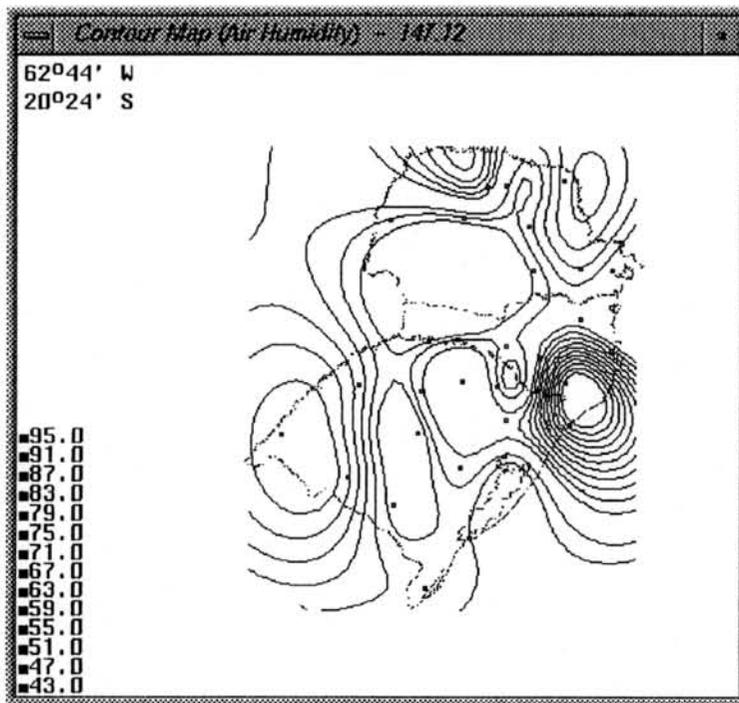


FIGURA 6.11 Mapa de contorno para a variável umidade relativa do ar ($R = M \times 0.4$)

Os mapas gerados no VisualMet para a variável pressão ao nível do mar testando-se diferentes valores de R não ficaram semelhantes ao elaborado pelos meteorologistas do 8^o DISME (figura 6.12). Porém as áreas de alta e baixa pressão foram identificadas corretamente, o que é fundamental em um mapa de contornos.

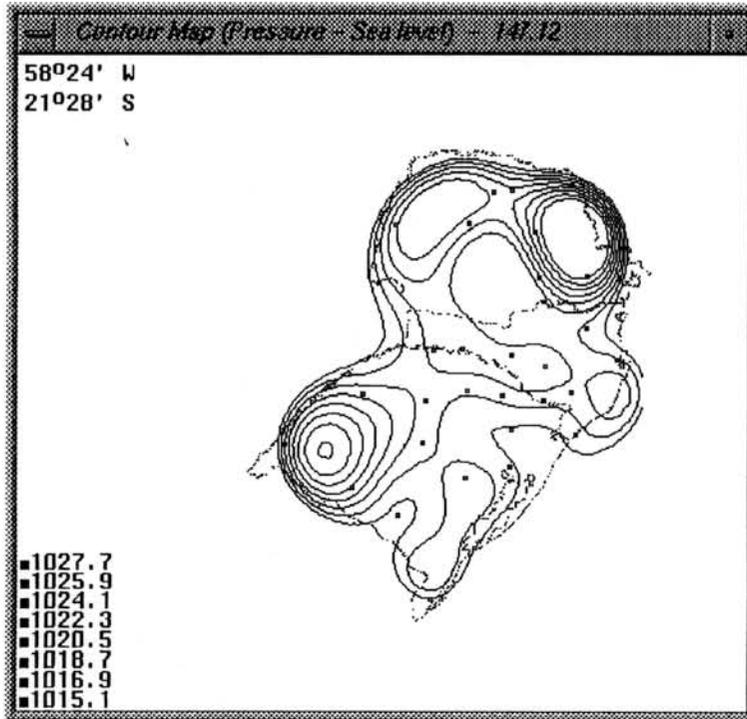


FIGURA 6.12 Mapa de contorno para a variável pressão ao nível do mar ($R = M$)

Nas rotinas apresentadas por Foley [FOL 87] é fornecido um valor padrão para R e uma opção para que o usuário possa ajustar este valor até encontrar o resultado esperado. Como seria muito difícil para um meteorologista, que não está familiarizado com o método multiquádrico, ajustar o valor de R , no VisualMet, optou-se por utilizar um valor fixo para R , de acordo com a variável selecionada. Sendo assim, conforme os resultados dos testes apresentados anteriormente, se a variável selecionada pelo usuário for temperatura ou umidade relativa do ar, o valor atribuído para R é $M \times 0.4$, e se for pressão ao nível do mar ou ao nível da estação o valor atribuído para R é M . Desta maneira pode-se obter através do VisualMet isolinhas mais próximas das elaboradas pelos meteorologistas.

7 CONCLUSÕES

O estudo de sistemas descritos na literatura permitiu identificar facilidades que podem ser oferecidas a meteorologistas e estudiosos das ciências ambientais. Além disso notou-se que tais sistemas são muito variados na tecnologia que empregam. Um exemplo da pouca utilização da tecnologia nesta área é o do próprio 8^o DISME que possui vários microcomputadores para recepção de informação, mas o principal produto visual do centro, a carta sinótica, é ainda produzida manualmente, apesar de todos os avanços tecnológicos dos últimos anos.

Nota-se que, para a obtenção do melhor resultado possível através do sistema, é imprescindível a participação de pessoal especializado (no caso os meteorologistas) na fase de modelagem e definição da aplicação. Pretendendo obter justamente este resultado é que este trabalho visou o desenvolvimento de uma aplicação prática e com interesse e participação efetiva de profissionais ligados à área.

O objetivo do VisualMet é fornecer ferramentas poderosas para visualização e exploração dos dados meteorológicos, de maneira que os meteorologistas possam rapidamente visualizar as informações recebidas durante o dia, facilitando a tarefa de prever e entender o comportamento atmosférico. Devido à falta de um conhecimento especializado por parte dos meteorologistas no uso de computadores, um sistema deste porte deve ser simples e fácil de utilizar. Isto foi alcançado pelo VisualMet, através do emprego da abordagem orientada a ferramentas, que é fortemente baseada na análise das tarefas desenvolvidas pelos usuários.

A arquitetura do VisualMet baseia-se em duas coleções de objetos (entidades de dados e ferramentas), proporcionando a flexibilidade de estender o sistema com novas ferramentas e também com novas entidades. A escolha de uma metodologia de orientação a objetos e da linguagem C++ para o projeto e implementação, respectivamente, facilitou futuras modificações e extensões do sistema.

Na próxima seção é feita uma avaliação geral do VisualMet, e, para finalizar, são apresentadas algumas extensões possíveis de serem feitas no sistema.

7.1 Avaliação Geral

Em termos gerais o VisualMet alcançou plenamente os objetivos propostos quando do seu planejamento. Hoje, o sistema encontra-se totalmente operacional e poderia ser usado para auxiliar os meteorologistas nas suas tarefas diárias. Sua *interface* interativa é bastante simples de usar. O usuário pode acessar as entidades e as ferramentas, representadas através de ícones, utilizando apenas o *mouse*, o que facilita bastante o aprendizado do funcionamento do sistema.

Todas as ferramentas são fáceis de acessar e não possuem muitos parâmetros para preencher. Assim que uma ferramenta é ativada a imagem final é gerada automaticamente, sem que o usuário tenha que esperar muito tempo para visualizar os resultados, o que reforça a idéia de interatividade entre o usuário e o sistema. A entrada de dados do sistema é bastante flexível, isto é, o VisualMet permite que sejam acrescentadas mais estações meteorológicas sem a necessidade de atualização do código.

É importante salientar que o VisualMet foi projetado com base na análise feita sobre os dados utilizados e as tarefas realizadas no 8^o DISME. Através das várias visitas feitas a este centro observou-se as necessidades de automação de algumas tarefas, como por exemplo, a elaboração da carta sinótica, e de dispor de algumas ferramentas para um melhor entendimento e análise dos fenômenos atmosféricos. Procurou-se também apresentar várias opções de visualização, exploração e comparação dos dados, de acordo com os interesses dos usuários.

Após o término da implementação das ferramentas, o VisualMet foi apresentado ao 8^o DISME, que demonstrou bastante interesse pelo sistema. O fato do sistema estar operacional, possuir uma *interface* fácil de usar e dispor de uma ferramenta que gere facilmente os mapas de contornos, que são elaborados manualmente, foram os principais motivos que despertaram tal interesse.

Com relação ao problema da interpolação e aproximação de dados dispersos, pode-se dizer que não existe uma única solução. Neste trabalho foi apresentada uma das possíveis soluções (método Multiquádrico). Entretanto novas pesquisas poderão ser feitas para aprimorar ainda mais os resultados aqui apresentados.

7.2 Extensões

De acordo com o estudo apresentado, pôde-se observar que a área de visualização e exploração de dados meteorológicos ainda não foi muito explorada no Brasil, apesar da riqueza de informações existente hoje em dia. Um sistema voltado para este tipo de aplicação torna-se bastante abrangente se for atender todas as necessidades dos usuários, podendo ter uma grande coleção de ferramentas que gerem imagens e gráficos 2D ou 3D.

O VisualMet oferece algumas ferramentas que atenderam uma necessidade imediata dos usuários. Porém, existem ainda outras ferramentas que poderiam ser desenvolvidas para oferecer aos usuários de um sistema deste porte novas formas de visualização e exploração dos dados meteorológicos. Nesta seção estas ferramentas serão brevemente descritas.

Inicialmente, deve-se pensar na flexibilidade em relação aos dados de entrada. Esta flexibilidade pode ser obtida através da adoção de um formato padrão internacional e da elaboração de programas conversores dos diferentes formatos de

dados para o formato padrão adotado no sistema. No VisualMet poder-se-ia adotar o formato GRIB (seção 2.3), pois este já é utilizado em outros sistemas meteorológicos.

Eventualmente o usuário pode sentir necessidade de examinar com mais atenção os dados de um pequeno grupo de estações. Para isto, o desenvolvimento de uma ferramenta de seleção torna-se necessário. Através desta ferramenta o usuário teria a liberdade de selecionar um grupo de estações de interesse, e armazenar as estações selecionadas em um arquivo temporário que poderia ser utilizado, da mesma maneira que o original, com outras ferramentas.

Gráficos de três dimensões também poderiam ser fornecidos aos usuários. Dois tipos de gráficos poderiam ser criados: no primeiro, os eixos X e Y corresponderiam, respectivamente, à longitude e à latitude, e o eixo Z à variável. Neste caso o gráfico final poderia ser representado por uma superfície ou por barras. O resultado deste gráfico permitiria a observação do comportamento de uma variável nas diversas estações de uma amostra.

O segundo tipo de gráfico 3D, seria uma composição dos gráficos apresentados nas figuras 5.15 e 5.17. O eixo X corresponderia a t (data/hora), o eixo Y corresponderia ao código de cada estação e o eixo Z representaria o valor da variável de acordo com t . Desta forma poder-se-ia observar o comportamento de uma variável específica em um período de tempo t para cada estação.

A elaboração de ferramentas de animação é bastante interessante do ponto de vista do usuário, pois assim, ele teria uma outra alternativa de observar o comportamento de uma variável mais atentamente. A animação poderia ser feita de forma simplificada exibindo os mapas de contorno em seqüência, o que resultaria em uma animação das isolinhas.

Ainda há uma carência de sistemas que elaborem imagens tridimensionais baseadas nos dados meteorológicos. Este tipo de imagem geralmente é utilizada para a visualização de nuvens, onde também são usadas algumas técnicas de transparência e textura. Para as variáveis como temperatura e pressão existiriam algumas imagens 3D que poderiam ser criadas. A primeira delas, a mais simples e bastante útil, consiste basicamente em colocar as imagens bidimensionais geradas, que são o mapa de contornos e o mapa de ícones, uma sob outra ("empilhadas"), de acordo com o dia/hora em que foram elaboradas. Desta maneira, poder-se-ia comparar os diferentes mapas gerados.

Os outros dois tipos de imagens 3D envolveriam a utilização das informações de pressão como cota ou a utilização de informações de altitude geopotencial (seção 4.2). Na primeira opção, além da longitude (X) e latitude (Y), ter-se-ia como terceiro eixo o próprio valor da pressão. Desta maneira, então, as isolinhas e as variáveis vetoriais estariam num plano tridimensional. No segundo caso, por exemplo, tem-se latitude (X), longitude (Y) e altitude geopotencial (Z) de cada estação. Sendo assim, pode ser obtida uma isosuperfície de pressão. Para exibir os valores das variáveis de temperatura ter-se-ia uma função $t(X, Y, Z)$. Baseando-se nisto então, poderiam ser criadas superfícies, em diferentes alturas geopotenciais,

com indicação da temperatura, através de cores mapeadas em uma tabela. Da mesma maneira, pode-se também exibir os valores de variáveis vetoriais.

No VisualMet foi implementado um grupo de ferramentas que atendessem às necessidades imediatas dos usuários (meteorologistas), e nesta seção foram descritas algumas extensões possíveis de serem feitas no sistema. Entretanto, os dados meteorológicos são muito ricos em informações e a área da Computação Gráfica é muito ampla, permitindo que diversos tipos de ferramentas ainda possam ser projetadas e desenvolvidas para facilitar as tarefas deste grupo de usuários.

Ainda como sugestão de futuros trabalhos pode-se citar o estudo da aplicação de técnicas de inteligência artificial de modo que, por exemplo, a decisão sobre que método de interpolação usar, dependendo da variável, possa ser feita levando em conta regras seguidas pelos meteorologistas.

ANEXO 2 CÓDIGOS METEOROLÓGICOS INTERNACIONAIS

Total de Nuvens, Direção e Velocidade do Vento

2º GRUPO								
N		dd		ff				
Total de Nuvens		Direção do Vento		Velocidade do Vento				
Cifra do Código	Quantidade	Ver código na coluna à esquerda, abaixo		Ver Código abaixo				
0	Ausência	Velocidade - Vento						
1	1 oitavo							
2	2 oitavos							
3	3 oitavos							
4	4 oitavos							
5	5 oitavos							
6	6 oitavos							
7	7 oitavos							
8	Encoberto							
9	Obscurecido							
Direção de onde vem o vento								
Cifra do Código	Direção		Cifra do Código	Metros por segundo	Beaufort	Cifra do Código	Metros por segundo	Beaufort
	Grãos	Rumos						
00	Calma		00	0.0-0.2	0	50	25.0-26.0	
01	5-14		01	0.3-0.7		51	26.1-26.5	
02	15-24	NNE	02	0.8-1.2	1	52	26.6-27.0	10
03	25-34		03	1.3-1.7		53	27.1-27.5	
04	35-44		04	1.8-2.3		54	27.6-28.0	
05	45-54	NE	05	2.4-2.8	2	55	28.1-28.5	
06	55-64		06	2.9-3.3		56	28.6-29.1	
07	65-74	ENE	07	3.4-3.8		57	29.2-29.6	
08	75-84		08	3.9-4.2		58	29.7-30.1	
09	85-94	E	09	4.3-4.0	3	59	30.2-30.7	
10	95-104		10	5.0-5.4		60	30.8-31.0	11
11	105-114	ESE	11	5.5-5.9		61	31.1-31.6	
12	115-124		12	6.0-6.4		62	31.7-32.1	
13	125-134	SE	13	6.5-6.9	4	63	32.2-32.7	
14	135-144		14	7.0-7.4		64	32.8-33.2	
15	145-154	SSE	15	7.5-7.9		65	33.3-33.7	
16	155-164		16	8.0-8.5		66	33.8-34.2	
17	165-174	S	17	8.6-9.0	5	67	34.3-34.7	12
18	175-184	SSW	18	9.1-9.5		68	34.8-35.2	
19	185-194		19	9.6-10.0		69	35.3-35.8	
20	195-204	SW	20	10.1-10.5		70	35.9-36.3	
21	205-214		21	10.6-11.0		71	36.4-36.8	
22	215-224	WSW	22	11.1-11.5		72	36.9-37.3	
23	225-234		23	11.6-12.1	6	73	37.4-37.8	
24	235-244	W	24	12.2-12.6		74	37.9-38.3	
25	245-254	WNW	25	12.7-13.1		75	38.4-38.8	
26	255-264		26	13.2-13.6		76	38.9-39.4	13
27	265-274	W	27	13.7-14.1		77	39.5-39.9	
28	275-284	WNW	28	14.2-14.6		78	40.0-40.4	
29	285-294		29	14.7-15.2	7	79	40.5-40.9	
30	295-304	SW	30	15.3-15.7		80	41.0-41.4	
31	305-314		31	15.8-16.2		81	41.5-41.9	
32	315-324	WSW	32	16.3-16.7		82	42.0-42.4	
33	325-334		33	16.8-17.2		83	42.5-43.0	
34	335-344	W	34	17.3-17.7		84	43.1-43.5	14
35	345-354	WNW	35	17.8-18.2		85	43.6-44.0	
36	355-4		36	18.3-18.8		86	44.1-44.5	
		W	37	18.9-19.3	8	87	44.6-45.0	
		WNW	38	19.4-19.8		88	45.1-45.5	
			39	19.9-20.3		89	45.6-46.1	
		WNW	40	20.4-20.8		90	46.2-46.6	
			41	20.9-21.3		91	46.7-47.1	
		WNW	42	21.4-21.8		92	47.2-47.6	
			43	21.9-22.4		93	47.7-48.1	
		NW	44	22.5-22.9	9	94	48.2-48.6	15
			45	23.0-23.4		95	48.7-49.1	
		NNW	46	23.5-23.9		96	49.2-49.7	
			47	24.0-24.4		97	49.8-50.2	
		N	48	24.5-24.9		98	50.3-50.7	
			49	25.0-25.5		99	50.8	

Tempo Passado, Tendência da Pressão, Nuvens

3.º GRUPO			
VV		ww	W
Visibilidade horizontal		Tempo passado	
Cifra do Código	Distância	Cifra do Código	Tempo
00	Menos de 50 m	0	Céu metade ou menos da metade coberto
91	50 m a 200 m	1	Céu mais da metade e menos da metade coberto
92	200 m a 500 m	2	Céu mais da metade coberto
93	500 m a 1000 m	3	Tempestade de poeira, de areia ou de neve
94	1000 m a 2000 m	4	Nevoeiro ou névoa seca espessa
95	2000 m a 4000 m	5	Garoa
96	4000 m a 10 km	6	Chuva
97	10 km a 20 km	7	Neve ou chuva e neve misturadas
98	20 km a 50 km	8	Pancadas(s)
99	50 km ou mais	9	Trovoada(s), com ou sem precipitação

6.º GRUPO (a)				
T _d T _s	Característica		PP	
Cifra do Código	Aspecto da curva	Pressão nas três horas anteriores	Tendência	
			Cifra do Código	Milímetros
0		Pressão mais alta ou a mesma	00	0,0
1		Pressão mais alta	01	0,1
2			02	0,2
3			03	0,3
4			04	0,4
5			05	0,4
6			06	0,4
7			07	0,5
8			08	0,6
9			09	0,7
10			10	0,8
11		11	0,9	
12		12	1,0	
13		13	1,1	
14		14	1,1	
15		15	1,2	
16		16	1,2	
17		17	1,3	
18		18	1,4	
19		19	1,4	
20		20	1,5	
21		21	1,6	
22		22	1,6	
23		23	1,7	
24		24	1,8	
25		25	1,9	
26		26	2,0	
27		27	2,0	
28		28	2,1	
29		29	2,2	
30		30	2,2	
31		31	2,3	
32		32	2,4	
33		33	2,5	

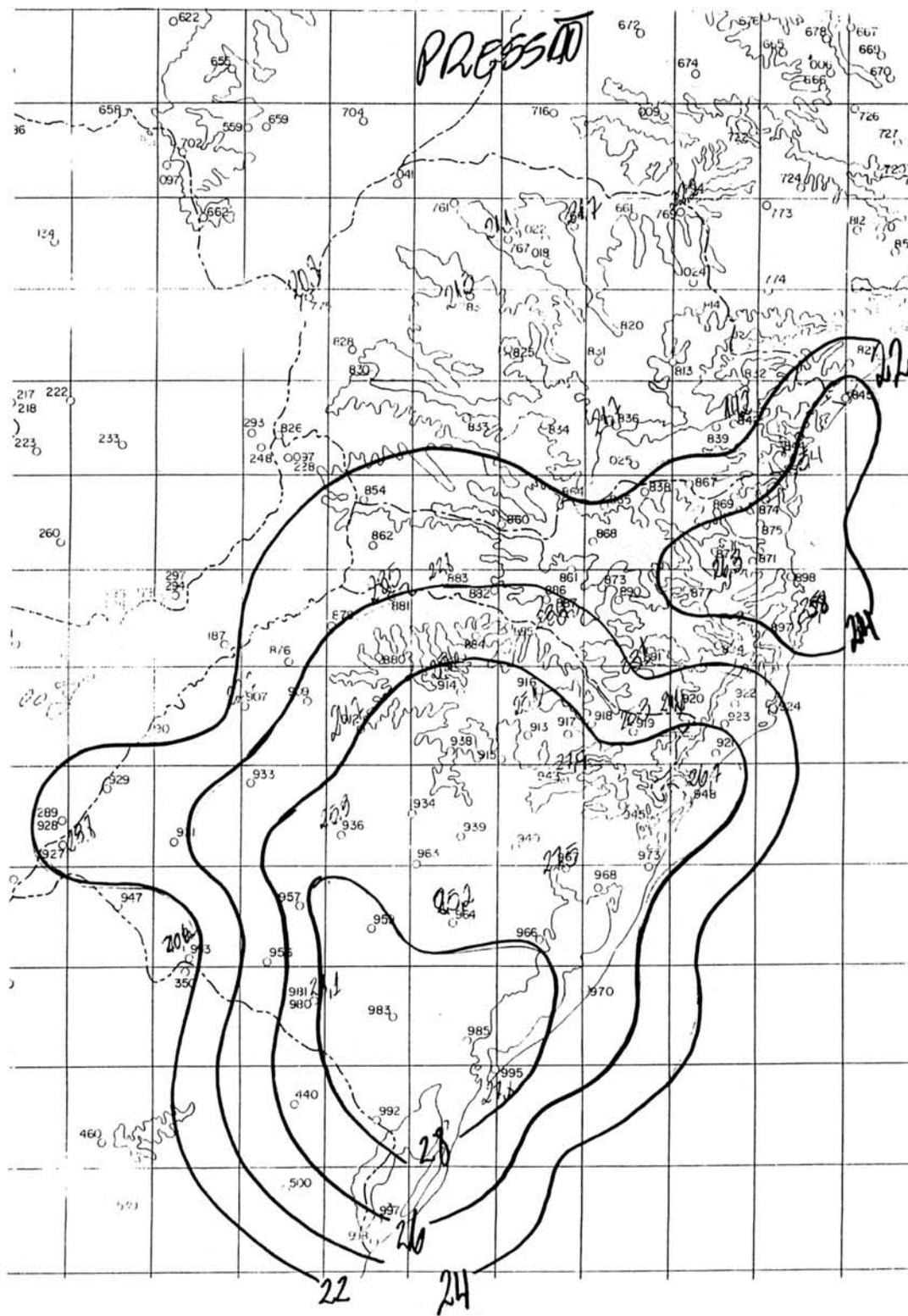
5.º GRUPO						
N _s	C _L		h	C _M		C _H
Quantidade de nuvens cuja altura é registrada por h Ver Código N do 2.º Grupo	Nuvens do tipo Sc, St, Cu, Cb		Altura da base da nuvem	Nuvens do tipo Ac, As, Ns		Nuvens de tipo Ci, Cs, Cc
	Cifra do Código	Especificações	Altura	Especificações	Cifra do Código	Especificações
0		Ausência de Sc, St, Cu ou Cb	0 a 50 m	Ausência de Ac, As ou Ns	0	Ausência de Ci, Cq e Cc
1		Cu pequenos e achatados e/ou Fc porém não Fc de mau tempo	50 a 100 m	As tênue, sol e lua fracamente visíveis	1	Ci em filamento ou garra, não aumentando
2		Cu grandes e entumecidos, com ou sem pequenos Cu e Sc	100 a 200 m	As espesso ou Ns, sol e lua invisíveis	2	Ci denso em bancos e não aumentando ou Ci em tórres ou flocos
3		Cb com topos pouco nítidos, sem bigorna, com ou sem Cu, Sc, St	200 a 300 m	Ac tênue, estável em um só nível	3	Ci em forma de bigorna, oriundo de Cb presentes ou ausentes
4		Sc formado pela expansão de Cu; muitas vezes com a presença de Cu	300 a 600 m	Ac tênue em bancos, em transformação, em diferentes níveis	4	Ci em garra ou filamentos invadindo o céu e espessando-se
5		Sc não formado pela expansão de Cu	600 a 1000 m	Ac tênue em faixas, invadindo o céu e espessando-se	5	Ci em faixas polares e/ou Cs, invadindo o céu, abaixo de 45°
6		St e/ou Fs, porém não Fs de mau tempo	1000 a 1500 m	Ac formado pela expansão de Cu	6	Ci em faixas polares e/ou Cs invadindo o céu até acima de 45°
7		Fs e/ou Fc de mau tempo em geral sob As e Ns	1500 a 2000 m	Ac espesso, ou em camada dupla, não aumentando, ou As e Ac	7	Cs cobrindo todo o céu
8		Cu e Sc com bases em diferentes níveis	2000 a 2500 m	Ac em tufo cumuliformes ou pequenas tórres	8	Cs não invadindo e não cobrindo todo o céu
9		Cb com bigorna, com ou sem Cu, Sc, St, Fs ou Fc	2500 ou mais, ou ausência	Ac de céu caótico, geralmente em diversos níveis	9	Cc ou Cc predominando entre as nuvens cirriformes

Tempo Presente

00-19 Ausência de precipitação, nevoeiro, tempestade de poeira, de areia ou de neve, na estação na ocasião ou na hora precedente, exceto para 09		20-29 Precipitação, nevoeiro ou trovoada na hora precedente, porém não na ocasião		30-39 Tempestade de poeira, de areia ou de neve		40-49 Nevoeiro			
00	Desenvolvimento de nuvens não observado ou não observável	10	Névoas úmidas	20	Garoa	30	Tempestade de poeira, de areia, fraca ou moderada } diminuiu na hora precedente Tempestade de poeira, de areia, fraca ou moderada } sem alteração na hora precedente Tempestade de poeira, de areia, fraca ou moderada } aumentou na hora precedente Tempestade de poeira, de areia, forte } diminuiu na hora precedente Tempestade de poeira, de areia, forte } sem alteração na hora precedente Tempestade de poeira, de areia, forte } aumentou na hora precedente	40	Nevoeiro à distância, não na estação na hora precedente
01	Nuvens em dissolução ou tornando-se menos desenvolvidas	11	Bancos de nevoeiro baixo, na estação	21	Chuva	31		41	Nevoeiro em bancos
02	Estado do céu invariável no conjunto	12	Nevoeiro baixo, mais ou menos contínuo, na estação	22	Neve	32		42	Nevoeiro, céu visível, diminuiu na hora precedente
03	Nuvens em formação ou em desenvolvimento	13	Relâmpagos sem trovões	23	Chuva e neve	33		43	Nevoeiro, céu invisível, diminuiu na hora precedente
04	Visibilidade reduzida pela fumaça	14	Precipitação à vista, não atingindo o solo ou o mar	24	Garoa ou chuva congeladas	34		44	Nevoeiro, céu visível, sem alteração na hora precedente
05	Névoa seca	15	Precipitação à vista, atingindo o solo ou o mar, longe da estação	25	Pancadas de chuva	35		45	Nevoeiro, céu invisível, sem alteração na hora precedente
06	Poeira em suspensão no ar, na ocasião	16	Precipitação à vista, atingindo o solo ou o mar, perto da estação	26	Pancadas de neve ou de chuva e neve	36		46	Nevoeiro, céu visível, começou ou aumentou na hora precedente
07	Poeiras ou areia, levantadas pelo vento, na ocasião	17	Trovões sem precipitação na estação	27	Pancadas de saraiva ou de chuva e saraiva	37		47	Nevoeiro, céu invisível, começou ou aumentou na hora precedente
08	Redemoinhos de areia na hora precedente	18	Borrascas à vista, durante a hora precedente	28	Nevoeiro	38		48	Nevoeiro, depositando escarcha, céu visível
09	Tempestade de poeira ou de areia na hora precedente	19	Tromba à vista, durante a hora precedente	29	Trovoada com ou sem precipitação	39		49	Nevoeiro, depositando escarcha, céu invisível

50-59 Garoa		60-69 Chuva		70-79 Precipitações sólidas, não em forma de pancadas		80-99 Precipitação em forma de pancadas ou precipitação com trovoada recente ou na ocasião			
50	Garoa intermitente, fraca na ocasião	60	Chuva intermitente, fraca na ocasião	70	Neve intermitente, fraca na ocasião	80	Pancadas de chuva, fracas	90	Pancadas de saraiva com ou sem chuva, ou chuva e neve moderadas ou fortes, sem trovões
51	Garoa contínua, fraca na ocasião	61	Chuva contínua, fraca na ocasião	71	Neve contínua, fraca na ocasião	81	Pancadas de chuva, moderadas ou fortes	91	Chuva fraca, na ocasião
52	Garoa intermitente, moderada na ocasião	62	Chuva intermitente moderada na ocasião	72	Neve intermitente, moderada na ocasião	82	Pancadas de chuva, violentas	92	Chuva forte ou moderada, na ocasião
53	Garoa contínua, moderada na ocasião	63	Chuva contínua, moderada na ocasião	73	Neve contínua, moderada na ocasião	83	Pancadas de chuva e neve misturadas, fracas	93	Neve ou chuva e neve misturadas ou saraiva fracas, na ocasião
54	Garoa intermitente, forte na ocasião	64	Chuva intermitente, forte na ocasião	74	Neve intermitente, forte na ocasião	84	Pancadas de chuva e neve misturadas, moderadas ou fortes	94	Neve ou chuva e neve ou saraiva, moderadas ou fortes, na ocasião
55	Garoa contínua, forte na ocasião	65	Chuva contínua, forte na ocasião	75	Neve contínua, forte na ocasião	85	Pancadas de neve, fracas	95	Trovoada fraca ou moderada com chuva ou e neve sem saraiva, na ocasião
56	Garoa com congelação, fraca	66	Chuva fraca, com congelação	76	Agulhas de gelo, com ou sem nevoeiro	86	Pancadas de neve, moderadas ou fortes	96	Trovoada fraca ou moderada, com saraiva, na ocasião
57	Garoa com congelação, moderada ou forte	67	Chuva moderada ou forte, com congelação	77	Neve granular, com ou sem nevoeiro	87	Pancadas de granizo mole, ou granizo, com ou sem chuva, fracas	97	Trovoada forte sem saraiva com chuva ou e neve, na ocasião
58	Garoa e chuva, fracas	68	Chuva ou garoa e neve, fracas	78	Cristais de neve estrelados, isolados, com ou sem nevoeiro	88	Pancadas de granizo mole, ou granizo, com ou sem chuva, moderadas ou fortes	98	Trovoada com tempestade de poeira ou de areia na ocasião
59	Garoa e chuva, moderadas ou fortes	69	Chuva ou garoa e neve, moderadas ou fortes	79	Pelotas de gelo	89	Pancadas de saraiva com ou sem chuva ou com chuva e neve, fracas e sem trovões	99	Trovoada forte com saraiva, na ocasião

Mapa com isolinhas de Pressão



BIBLIOGRAFIA

- [BEL 31] BELL TELEPHONE LABORATORIES. Weather Maps Transmitted by Teletypewriter System. **Bell Laboratories Record**, New York, 3-4, Sept. 1931.
- [BRO 92] BRODLIE, K. W.; CARPENTER, L. A.; EARNSHAW, R. A. et al. (Eds.). **Scientific Visualization - Techniques and Applications**. Berlin: Springer-Verlag, 1992. 284 p.
- [CÂM 92] CÂMARA, G.; SOUZA, R. C. M. de; FREITAS, U. de M. et al. SPRING: Processamento de Imagens e Dados Georeferenciados. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE COMPUTAÇÃO GRÁFICA E PROCESSAMENTO DE IMAGENS, 5., 1992, Águas de Lindóia, SP. **Anais...** São Paulo: SBC/INPE, 1992. p 233-242.
- [CEI 95] CEI - Computational Engineering International, Inc. **EnSight User Manual for Version 5.5**. North Carolina, USA: CEI, 1995.
- [CLA 89] CLÁUDIO, D. M.; MARINS, J. M. **Cálculo Numérico Computacional - Teoria e Prática**. São Paulo: Atlas, 1989. 464 p.
- [DAY 63] DAYHOFF, M. O. A Contour-Map Program for X-Ray Crystallography. **Communications of the ACM**, New York, v. 6, n. 10, p. 620-622, Oct. 1963.
- [DOR 81] DORN, W. S.; McCracken, D. D. **Cálculo Numérico com Estudos de Casos em Fortran IV**. São Paulo: Campus, 1981. 568 p.
- [EAR 92] EARNSHAW, R. A.; WISEMAN, N. **An Introductory Guide to Scientific Visualization**. Berlin: Springer-Verlag, 1992. 156 p.
- [ELV 92] × ELVINS, T. A Survey of Algorithms for Volume Visualization. **Computer Graphics**, New York, v. 26, n. 3, p. 194-201, Aug. 1992.
- [FAU 81] FAUX, I. D.; PRATT, M. J. **Computational Geometry for Design and Manufacture**. Chichester: Ellis Horwood, 1981. 331 p.
- [FOL 87] FOLEY, T. A. Interpolation and Approximation of 3-D and 4-D Scattered data. **Comput. Math. Applic.**, Great Britain, v. 13, n. 8, p. 711-740, 1987.
- [FOL 90] FOLEY, T. A.; LANE, D. A. Visualization of Irregular Multivariate Data. In: Visualization'90, 1990, San-Francisco, CA. **Proceedings...** Los Alamitos, CA: IEEE Computer Society Press, 1990. p. 247-254.

- [FRA 82] FRANKE, R. Scattered Data Interpolation: Tests of Some Methods. **Mathematics of Computation**, Providence, USA, v. 38, n. 157, p. 181-200, Jan. 1982.
- [FRE 90] FREITAS, C. M. D. S.. **Técnicas de Visualização em Simulação**. Porto Alegre: CPGCC da UFRGS, jul. 1990. (TI-187).'
- [FRE 93] FREITAS, C. M. D. S.; WAGNER, F. R. A Methodology for Selecting Visual Representations in Scientific and Simulation Applications. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE COMPUTAÇÃO GRÁFICA E PROCESSAMENTO DE IMAGENS, 6., 1993, Recife, PE. **Anais...** Recife: SBC/UFPE, 1993. p. 89-98.
- [FRE 94] FREITAS, C. M. D. S. **Uma Abordagem Unificada para Análise Exploratória e Simulação Interativa Visual**. Porto Alegre: CPGCC da UFRGS, 1994. Tese de Doutorado.
- [FRE 94a] FREITAS, C. M. D. S.; WAGNER, F. R. Análise Exploratória Visual Orientada a Ferramentas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE COMPUTAÇÃO GRÁFICA E PROCESSAMENTO DE IMAGENS, 7., 1994, Curitiba, PR. **Anais...** Curitiba, PR: SBC/UFPR, 1994. p. 197-203.
- [GEL 87] GELBERG, L. M.; STEPHENSON, T. P.. Supercomputing and Graphics in the Earth and Planetary Sciences. **IEEE Computer Graphics & Applications**, Los Alamitos, CA, v. 7, n. 7, p. 26-33, July 1987.
- [HAR 71] HARDY, R. L.. Multiquadratic Equation of Topography and Other Irregular Surfaces. **J. Geophys. Res.**, n. 76, p. 1905-1915, 1971.
- [HAR 90] HARDY, R. L.. Theory and Applications of the Multiquadric-Biharmonic Method. **Comp. Math. Appls.**, Oxford, v. 19, n. 8, 1990. p. 163-208.
- [HIB 89] HIBBARD, W. L.; SANTEK, D. Visualizing Large Data Sets in the Earth Sciences. **Computer**, Los Alamitos, CA, p. 53-57, Aug. 1989.
- [HIB 90] HIBBARD, W. L.; SANTEK, D. The VIS-5D System for Easy Interactive Visualization. In: VISUALIZATION, 1990, San-Francisco, CA. **Proceedings...** Los Alamitos, CA: IEEE Computer Society Press, 1990. p. 28-35.
- [HIB 92] HIBBARD, W. L.; DYER, C. R.; PAUL, B. E. Display of Scientific Data Structures for Algorithm Visualization. In: VISUALIZATION, 1992, Boston, Massachusetts. **Proceedings...** Los Alamitos, CA: IEEE Computer Society Press, 1992. p. 139-146.

- [HIB 94] HIBBARD, W. L.; PAUL, B. E.; SANTEK, D. et al. Interactive Visualization of Earth and Space Science Computations. **Computer**, Los Alamitos, CA, v. 27, n. 7, p. 65-72, July 1994.
- [INS 8?] INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Manual de Operação do Instituto Nacional de Meteorologia**. Brasília: [s.n.], [198?].
- [KOC 93] KOCHEVAR, P.; AHMED, Z.; SHADE, J. et al. Database System Management for the Sequoia 2000 Project Using Postgres and AVS. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTER GRAPHICS AND INTERACTIVE TECHNIQUES - SIGGRAPH, 20., 1993, Anaheim, CA. **Course Notes 71**. [S.l.: s.n.], 1993.
- [LUC 92] LUCAS, B.; ABRAM G. D.; COLLINS, N. S. et al. An Architecture for a Scientific Visualization System. In: VISUALIZATION, 1992, Boston, Massachusetts. **Proceedings...** Los Alamitos, CA: IEEE Computer Society Press, 1992. p. 107-113.
- [MAN 94] MANSSOUR, I. H. **Algoritmo de Ray-Casting para Visualização Volumétrica de Dados Obtidos por Tomografia Computadorizada**. Porto Alegre: CPGCC da UFRGS, Fev. 1994. (TI-372).
- [MAN 94a] MANSSOUR, I. H.. **Um Estudo sobre Visualização e Exploração de Dados Meteorológicos**. Porto Alegre: CPGCC da UFRGS, out. 1994. (RP-244).
- [MAN 95] MANSSOUR, I. H.; FREITAS, C. M. D. S.; CLÁUDIO, D. M. Um Sistema para Visualização e Exploração de Dados Meteorológicos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE COMPUTAÇÃO GRÁFICA E PROCESSAMENTO DE IMAGENS, 8., 1995, São Carlos, SP. **Anais...** [S.l.]: Cartgraf, 1995. p. 321-322.
- [MAN 95a] MANSSOUR, I. H.; FREITAS, C. M. D. S.; CLÁUDIO, D. M.; WAGNER, F. R.. Visualizing and Exploring Meteorological Data using a Tool-Oriented Approach. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON VISUALIZATION AND MODELLING, 1995, Leeds, UK. **Proceedings...** [S.l.: s.n.], 1995.
- [MAX 92] ✕ MAX, N.; CRAWFIS, R.; WILLIAMS, D. Visualizing Wind Velocities by Advecting Cloud Textures. In: VISUALIZATION, 1992, Boston, Massachusetts. **Proceedings...** Los Alamitos, CA: IEEE Computer Society Press, 1992. p. 179-184.
- [MAX 93] † MAX, N.; CRAWFIS, R.; WILLIAMS, D. Visualization for Climate Modeling. **IEEE Computer Graphics & Applications**, Los Alamitos, CA, v. 13, n. 4, p. 34-40, July 1993.

- [McC 87] McCORMICK, B. H. et. al. Visualization in Scientific Computing. **ACM Computer Graphics**, New York, v. 21, n. 6, Nov. 1987.
- [MOO 92] MOORE, D.; WARREN, J. Compact Isocontours from Sampled Data. In: KIRK, D. **Graphics Gems III**. Boston: Academic Press, 1992. p. 23-28.
- [OLA 89] OLABARRIAGA, S.D.; BRASIL, A. RETRISE - Um sistema para reconstrucao tridimensional a partir de cortes seriais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE COMPUTAÇÃO GRÁFICA E PROCESSAMENTO DE IMAGENS, 2., 1989, Águas de Lindóia, SP. **Anais...** São Paulo: SBC, 1989. p. 93-102.
- [OVE 92] OVERMARS, M. H.. **Forms Library - A Graphical User Interface Toolkit for Silicon Graphics Workstation**. Netherlands: Utrecht University, 1992. 114 p.
- [PAP 87] PAPATHOMAS, T. V.; SCHIAVONE, J. A.; JULESZ, B. Stereo Animation for Very Large Data Bases: Case Study - Meteorology. **IEEE Computer Graphics & Applications**, Los Alamitos, CA, v. 7, n. 9, p. 18-27, Sept. 1987.
- [PAP 88] PAPATHOMAS, T. V.; SCHIAVONE, J. A.; JULESZ, B. Applications of Computer Graphics to the Visualization of Meteorological Data. **Computer Graphics**, New York, v. 22, n. 4, p. 327-334, Aug. 1988.
- [RAO 95] RAOULT, B.; NORRIS, B.; DAABECK, J. et al. Distributed Architectures for Environmental Visualization Systems. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE COMPUTAÇÃO GRÁFICA E PROCESSAMENTO DE IMAGENS, 8., 1995, São Carlos, SP. **Anais...** [S.l.]: Cartgraf, 1995. p. 249-256.
- [RES 94] RESENDE, P. J. de; STOLFI, J. Fundamentos de Geometria Computacional. In: ESCOLA DE COMPUTAÇÃO, 9., 1994, Recife, PE. **Anais...** Recife: UFPE-DI, 1994.
- [ROG 94] ROGOWITZ, B. E.; TREINISH, L. A. **Visualization and Analysis of Environmental Data**. Yorktown Heights, NY: IBM Thomas J. Watson Research Center, Aug. 1994.
- [RUM 91] RUMBAUGH, J.; BLAHA, M.; PREMERLANI, W. et al. **Object-Oriented Modeling and Design**. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1991. 500 p.
- [SAB 80] SABIN, M. A. CONTOURING: A Review of Methods for Scattered Data. In: **Mathematical Methods in Computer Graphics and Design**. Boston: Academic Press, 1980. p. 63-86.

- [SAB 86] SABIN, M. A. A Survey of Contouring Methods. **Computer Graphics Forum 5**. Amsterdam: North-Holland, 1986. p. 325-340.
- [SAC 93] SACHET, D. F. **Um Estudo de Técnicas para Obtenção de Modelos Geométricos a Partir de Dados Médicos 3D**. Porto Alegre: CPGCC da UFRGS, abr. 1993. (TI-305).
- [SAC 95] SACHET, D. F. **Técnicas de Extração de Modelos Geométricos a partir de Dados Volumétricos**. Porto Alegre: CPGCC da UFRGS, 1995. Dissertação de Mestrado.
- [SCH 92] SCHROEDER, W. J.; LORENSEN, W. E. VISAGE: An Object-Oriented Scientific Visualization System. In: VISUALIZATION, 1992, Boston, Massachusetts. **Proceedings...** Los Alamitos, CA: IEEE Computer Society Press, 1992. p. 219-226.
- [SCH 94] SCHMIDT, A. E. F. **Exploração e Visualização de Dados Científicos Associados a Objetos Tridimensionais**. Porto Alegre: CPGCC da UFRGS, 1994. Dissertação de Mestrado.
- [SIL 91] SILICON GRAPHICS. **Getting Started with IRIS ExplorerTM**. Mountain View, CA: Silicon Graphics, 1991.
- [SIL 91a] SILICON GRAPHICS. **IRIS ExplorerTM Module Definitions**. Mountain View, CA: Silicon Graphics, 1991.
- [SIL 91b] SILICON GRAPHICS. **Graphics Library Programming Guide**. Mountain View, CA: Silicon Graphics, 1991.
- [STO 90] STONEBRAKER, M. et al. The Implementation of Postgres. **IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering**, New York, Mar. 1990.
- [SWA 93] SWAN, T. **Aprendendo C++**. Rio de Janeiro: Campus, 1993. 675 p.
- [TAR 85] TARWATER, A. E. **A Parameter Study of Hardy's Multiquadratic Method for Scattered Data Interpolation**. Livermore, CA: Lawrence Livermore National Lab., 1985. (Technical Report UCLR-53670).
- [TRE 95] TREINISH, L. A. Visualization of Scattered Meteorological Data. **IEEE Computer Graphics & Applications**, Los Alamitos, CA, v. 15, n. 4, p. 20-26, July 1995.
- [UPS 89] UPSON, C.; FAULHABER, T.; KAMINS, D. et al. The Application Visualization System: a Computational Environment for Scientific Visualization. **IEEE Computer Graphics & Applications**, Los Alamitos, CA, v. 9, n. 4, p. 30-42, July 1989.

- [VIJ 91] VIJAYKUMAR, N. L.; NING, C. H. S.; BATTAIOLA, A. L. et al. MicroMAGICS 2.0: Imagens e Gráficos em Meteorologia. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE COMPUTAÇÃO GRÁFICA E PROCESSAMENTO DE IMAGENS, 4., 1991, São Paulo, SP. **Anais...** São Paulo: EPUSP, 1991. p. 229-233.
- [WOL 93] WOLFRAM, S. **Mathematica - A System for Doing Mathematics by Computer**. 2nd ed. Reading, Massachussets: Addison Wesley, 1993. 961 p.



CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

VisualMet - Um Sistema para Visualização e Exploração de Dados Meteorológicos.

por

Isabel Harb Manssour

Dissertação apresentada aos Senhores:

Flávio Rech Wagner

Prof. Dr. Flávio Rech Wagner

Klaus de Geus

Prof. Dr. Klaus de Geus (UFPR)

Sergio Bampi

Prof. Dr. Sérgio Bampi

Vista e permitida a impressão.

Porto Alegre, 27/08/96.

Carla Maria Dal Sasso Freitas

Profa. Dra. Carla Maria Dal Sasso Freitas,
Orientador.

Dalcídio Moraes Claudio

Prof. Dr. Dalcídio Moraes Claudio,
Co-orientador.

Flávio Rech Wagner

Prof. Flávio Rech Wagner
Coordenador do Curso de Pós Graduação
em Ciência da Computação - CPGCC
Instituto de Informática - UFRGS