

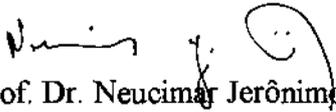
**Cartas Náuticas Eletrônicas :
Operações e Estruturas de Dados**

Cleomar Márcio Marques de Oliveira

Cartas Náuticas Eletrônicas : Operações e Estruturas de Dados

Este exemplar corresponde à redação final da tese devidamente corrigida e defendida pelo Sr. Cleomar Márcio Marques de Oliveira e aprovada pela Comissão Julgadora.

Campinas, 30 de Novembro de 1995


Prof. Dr. Neucimar Jerônimo Leite
Orientador

Dissertação apresentada ao Instituto de Matemática, Estatística e Ciência da Computação, UNICAMP, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ciência da Computação.

UNIDADE	BC
N.º CHAMADA:	T/unicamp
	04c
V.	Ex.
TCMBO BC/	26.394
PROC.	667196
C	<input type="checkbox"/>
D	<input checked="" type="checkbox"/>
PREÇO	R\$ 11,00
DATA	13/04/96
N.º CPD	

C4-00082833-3

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DO IMECC DA UNICAMP

O4c

Oliveira, Cleomar Márcio Marques de
Cartas náuticas eletrônicas: operações e estruturas de dados /
Cleomar Márcio Marques de Oliveira -- Campinas, [SP : s.n.], 1995.

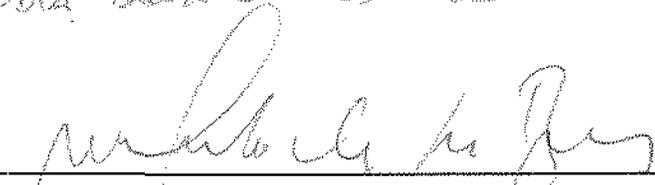
Orientador : Neucimar Jerônimo Leite
Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas,
Instituto de Matemática, Estatística e Ciência da Computação.

I. Cartas náuticas -- eletrônicas 2. Navegação marítima - Brasil
3. Navegação interior. 4. Radar na navegação 5. Eletrônica na navegação ✓
6. Cartografia - Data processing 7. Hidrografia. I. Leite, Neucimar ✓
Jerônimo II. Universidade Estadual de Campinas. Instituto de Matemática,
Estatística e Ciência da Computação. III. Título.

Tese de Mestrado defendida e aprovada em 27 de novembro de 1995
pela Banca Examinadora composta pelos Profs. Drs.



Prof (a). Dr (a). CLAUDIA BAZZOZ MEDEIROS



Prof (a). Dr (a). MARCIO MOTA DE BARROS



Prof (a). Dr (a). NEUMAR JERÔNIMO LEITE

Cartas Náuticas Eletrônicas : Operações e Estruturas de Dados¹

Cleomar Márcio Marques de Oliveira²

Departamento de Ciência da Computação
IMECC - UNICAMP

Banca Examinadora :

- Neucimar Jerônimo Leite, Dr (Orientador) ³
- Marcelo Alves de Barros, Dr ⁴
- Cláudia Maria Bauzer Medeiros, PhD ³
- Paulo Lício de Geus, PhD (Suplente) ³

¹ Dissertação apresentada ao Instituto de Matemática, Estatística e Ciência da Computação da UNICAMP, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ciência da Computação.

² O autor é Bacharel em Ciências do Mar (Habilitação em Engenharia Mecânica), formado pela Escola Naval.

³ Professor do Departamento de Ciência da Computação - IMECC - UNICAMP.

⁴ Professor do Departamento de Sistemas e Computação - UFPB

Agradecimentos

À Marinha, pela oportunidade.

Ao Prof. Neucimar Jerônimo Leite, meu orientador, pelo apoio constante no desenvolvimento deste trabalho.

Aos professores e funcionários da UNICAMP e, em especial, à Prof^a. Cláudia M. Bauzer Medeiros pelo incentivo constante e por ter possibilitado a minha participação em seus grupos de trabalho.

Aos amigos e colegas do DCC e aos componentes do grupo de Banco de Dados pelo constante auxílio no esclarecimento de dúvidas e pelas inúmeras sugestões. Ao Humberto e ao Fileto pelo auxílio na revisão do texto e no esclarecimento de dúvidas.

Em especial ao Nuccio e ao Marcus Vinícius pelas constantes conversas, idéias e auxílio no desenvolvimento não só deste trabalho, mas também durante todo o curso.

Resumo

Cartas Náuticas Eletrônicas : Operações e Estruturas de Dados¹

Neste trabalho nós abordamos alguns problemas relativos ao desenvolvimento de um sistema de cartas náuticas eletrônico, através de uma abordagem das suas funções básicas e das estruturas de dados associadas. Com a utilização de cartas náuticas impressas como fonte primária de dados, apresentamos uma seqüência de operações a serem realizadas durante as fases de digitalização, pré-processamento e processamento das imagens. São analisados, ainda, esquemas de representação, considerando as características particulares dessas imagens e as operações a serem realizadas sobre as mesmas.

¹ Este trabalho está inserido no contexto do projeto **Geoprocessamento : Sistemas e Técnicas - GEOTEC**, no âmbito do PROTEM - CC.

Abstract

Electronic Nautical Charts : Operations and Data Structures

In this work we analyze some problems concerned with the development of an electronic nautical chart system. We consider here some basic functions and data structures related to the operations associated to such a system. By using the printed nautical charts as the data source of the system, we define some operations to be considered during the images digitalization, preprocessing and processing phases. We also analyze some representation schemes based on the particular characteristics of the nautical charts and their operations.

Conteúdo

Agradecimentos

Resumo

Abstract

Conteúdo

Lista de Figuras

Lista de Tabelas

Lista de Abreviaturas

1.	Introdução	1
1.1.	Generalidades	1
1.1.1.	Carta Náutica Eletrônica, o Estado da Arte	2
1.2.	Motivação	4
1.3.	Contexto	4
1.4.	Objetivo do Trabalho	7
1.5.	Organização da Dissertação	7
2.	Cartas Náuticas	9
2.1.	Histórico e Desenvolvimento	9
2.2.	Classificação Geral de Cartas	11
2.3.	Construção de Cartas Náuticas	12
2.3.1.	Projeção de Mercator	13
2.3.2.	Etapas na Construção de Cartas Náuticas	15
2.3.3.	Propriedades das Cartas Náuticas	16
2.3.4.	Informações Contidas nas Cartas Náuticas	17
2.3.5.	Características das Aplicações	18
3.	Cartas Náuticas Eletrônicas	20
3.1.	Introdução	20
3.2.	Classificação	20
3.3.	Algumas Características e Vantagens das Cartas Eletrônicas	21

3.3.1.	Partes Componentes	22
3.4.	Sistema de Informação e Apresentação de Cartas Eletrônico - SIACE	23
3.4.1.	Descrição do Funcionamento	24
3.4.2.	Um Exemplo de Operação: Planejamento da Derrota	25
3.4.3.	Sistema Auditorável	27
3.5.	Considerações	27
4.	Estruturas de Dados Aplicadas às Cartas Náuticas	28
4.1.	Desenvolvimento das Estruturas de Dados	28
4.2.	Tipos de Estruturas de Dados	30
4.3.	Estruturas de Dados Espaciais	34
4.3.1.	Grupos de Estruturas de Dados Espaciais	35
4.4.	Análise de Eficiência de Estruturas de Dados	35
4.5.	Principais Estruturas de Dados Espaciais	38
5.	Uma Análise da Aquisição e Processamento dos Dados de Imagens de Cartas Náuticas	40
5.1.	Introdução	40
5.2.	Entrada dos Dados	41
5.2.1.	A Função Imagem	43
5.2.2.	Representação Raster	45
5.2.3.	Formatos de Arquivos em SIG	46
5.2.4.	Dados Obtidos do Processo de Digitalização	48
5.2.5.	Dados dos Sensores	49
5.3.	Fase de Pré-Processamento das Imagens	50
5.4.	Fase de Processamento das Imagens	52
5.4.1.	Detecção e Afinamento de Componentes da Imagem	52
5.4.2.	Segmentação das Componentes	53
5.4.3.	Correlacionamento da Posição Geográfica	56
5.5.	Esquemas de Representação de Imagens	57
5.5.1.	Colunas	60
5.5.2.	Blocos	62
5.5.3.	Contornos	64
5.5.4.	Representação Aproximada	65
5.6.	Um Esquema de Representação para Imagens de Cartas Náuticas	65
5.6.1.	Reconstrução das Imagens	67
6.	Funções do Sistema e Estruturas de Dados Associadas	69
6.1.	Introdução	69
6.1.1.	Descrição das Funções	69
6.2.	Modelo Digital de Terreno - MDT	70
6.2.1.	Problema de Busca Multidimensional	70
6.2.2.	Solução Genérica	71

6.2.2.1.	R* Tree	72
6.2.2.2.	Range Tree : Outra Solução	76
6.2.3.	Traçado das Linhas Isobatimétricas : um exemplo prático	77
6.3.	Computação Dinâmica de Relacionamentos Espaciais	80
6.3.1.	Operações Pontuais	80
6.3.2.	Operações Locais (Seqüenciais ou Paralelas)	81
6.3.3.	Operações Globais	84
6.3.4.	Operações Geométricas	86
6.4.	Windowing	87
6.4.1.	Escala	88
6.5.	Orientação Variável do Norte	90
6.5.1.	Uma Solução Genérica	90
6.5.2.	Uma Solução Específica	92
6.6.	Sobreposição de Imagens Radar	95
6.6.1.	Breve Descrição do Funcionamento	95
6.6.2.	Apresentação dos Dados	96
6.6.3.	Ajuste de Escala, Tamanho dos Pixels e Orientação das Imagens	97
6.6.4.	O Processo de Sobreposição	98
6.6.5.	Estrutura de Dados e o Problema da Sobreposição	99
7.	Conclusão	103
	Referências Bibliográficas	105

Lista de Figuras

Figura 1.1:	Diagrama de Blocos da Carta Eletrônica	5
Figura 2.1:	Projeção de Mercator	14
Figura 2.2:	Representação de uma Loxodrômica	16
Figura 2.3:	Detalhes de uma Carta Náutica	18
Figura 3.1:	Diagrama da Organização Modular do Sistema	23
Figura 3.2:	Painel do SIACE	23
Figura 3.3:	Canal de Saída de Porto	26
Figura 4.1:	Processo de Transmissão da Informação	28
Figura 4.2:	B-Tree	30
Figura 4.3:	Classificação dos Dados Geográficos	32
Figura 5.1:	Fase de Tratamento dos Dados no Sistema	40
Figura 5.2:	Digitalização de um Polígono	41
Figura 5.3:	Espaço Dividido em Células Quadradas	43
Figura 5.4:	Imagem Representada por Matriz	44
Figura 5.5:	Vizinhanças 4 e 8-conectadas	44
Figura 5.6:	Componentes de uma Imagem	45
Figura 5.7:	Retificação do Espaço 3D	51
Figura 5.8:	Máscara de Afinamento	53
Figura 5.9:	Estabelecimento de Pontos de Controle	58
Figura 5.10:	Determinação das Coordenadas de um Ponto	58
Figura 5.11:	“Runs” de uma Imagem	60
Figura 5.12:	Coluna de uma Imagem Codificada por Árvore Binária	61
Figura 5.13:	Cálculo de MAT	62
Figura 5.14:	Quadtree Representando Imagem Binária	63
Figura 5.15:	Código de Freeman	64
Figura 5.16:	Pontos do Contorno de uma Região	64
Figura 5.17:	Reconstrução de uma Imagem	68
Figura 6.1:	Subespaço de Busca Ortogonal	72
Figura 6.2:	Conjunto de Dados Relativo à Batimetria	73
Figura 6.3:	Conjunto de Dados da Batimetria Dividido em Sub-Regiões	74
Figura 6.4:	Conjunto de Dados da Batimetria Dividido em “buckets”	75
Figura 6.5:	Construção da R* Tree	75
Figura 6.6:	Range Tree	78
Figura 6.7:	Área Delimitada por Isolinhas	79
Figura 6.8:	Cálculo de Área Utilizando-se Quadtree	83
Figura 6.9:	Conversão de Formato Raster para Vetorial	84
Figura 6.10:	Agregação Espacial de Células	86
Figura 6.11:	“Windowing”	87

Figura 6.12:	Imagem numa Estrutura Matriz	88
Figura 6.13:	Rotação de um Ponto	91
Figura 6.14:	Rotação de Imagem Utilizando-se Quadtree	94
Figura 6.15:	Diagrama de um Radar	95
Figura 6.16:	Ajuste de Escala	97
Figura 6.17:	Sobreposição de Imagens	98
Figura 6.18:	Sobreposição de Imagens numa Matriz	99
Figura 6.19:	Estrutura Quadtree	100
Figura 6.20:	Representação de Imagens por Quadrees	101

Lista de Tabelas

Tabela 2.1:	Características do Elipsóide de Hayford	13
Tabela 4.1:	Custos de Algoritmos	38
Tabela 5.1:	Formatos de Exportação de Arquivos para SIG	47
Tabela 5.2:	Esquemas de Representação de Imagens	59

Lista de Abreviaturas

ANMS	Automated Notice to Mariners System
CAD	Computer-Aided Design
CAM	Computer-Aided Manufacturing
CEDD	Comittee for Exchange of Digital Data
CHS	Canadian Hydrographic Service
CP	Caixa Preta
CNE	Carta de Navegação Eletrônica
DAG	Direct Acyclic Graph
DHN	Diretoria de Hidrografia e Navegação
DLG	Digital Line Standard Format
DMA	Defense Mapping Agency
GCP	Ground Control Points
GD	Gerenciador de Dados
GPS	Global Position System
GT	Gerenciador de Telas
MAT	Medial Axis Transformation
MBR	Minimal Bounding Rectangle
MDT	Modelo Digital de Terreno
OHI	Organização Hidrográfica Internacional
OMI	Organização Marítima Internacional
PC	Personal Computer
PDI	Processamento Digital de Imagens
RTCM	Radio Technical Commission for Maritime Service
SIACE	Sistema de Informação e Apresentação de Cartas Eletrônico
SGBD	Sistema Gerenciador de Banco de Dados
SIG	Sistema de Informações Geográficas
SIN	Sistema Integrado de Navegação
TA	Tela Auxiliar
TG	Tela Gráfica

1. Introdução

1.1. Generalidades

Com a evolução e a difusão dos sistemas de computação que, a cada dia, tornam-se mais rápidos e versáteis, aliados à redução em seus custos, poucas áreas da atividade humana dispensarão essas ferramentas eletrônicas para a manipulação de informações.

Problemas de representação eficiente de informações surgem com frequência em computação, aparecendo como diferentes instâncias nas diversas aplicações específicas, onde diferentes estruturas de dados são desenvolvidas para atender os requisitos de representação e manipulação dos dados. Uma nova classe de dados, denominada espacial, imprimiu novos requisitos às estruturas de dados visando atender as características de relacionamento dos mesmos, bem distintas das convencionais. Novos requisitos foram também impostos às operações necessárias às aplicações que utilizam esses tipos de dados, como operações de vizinhança, de localização espacial e intersecção no espaço multidimensional [Cha81, Fre81, RFS88].

Dentre as diversas aplicações que manipulam dados espaciais, caracterizadas como aplicações espaciais, estão aquelas ligadas à cartografia, no desenvolvimento de cartas náuticas, e a aplicações que se utilizam dessas cartas, processando os dados cartográficos para obter outras informações.

Essas aplicações podem beneficiar-se largamente da utilização de estruturas de dados para a representação e suporte a operações sobre os dados, possibilitando a realização de buscas por diversos atributos ou acesso aos mesmos de maneira eficiente, em termos de tempo de pré-processamento. Há também vantagens em termos de quantidade de memória necessária para armazenar a estrutura pré-processada para dar suporte a recuperação desses dados, visando possibilitar a aplicação de funções sobre os mesmos em memória principal, as quais, por serem mais rápidas, certamente permitem um desempenho melhor do sistema, uma vez que esse tipo de aplicação envolve um grande volume de dados [Fil94, II82].

Uma abordagem funcional foi proposta por Chazelle [Cha88] com o objetivo de estudar os requisitos de aplicações específicas e avaliar o desempenho de estruturas de dados para essas aplicações. O objetivo aqui é encontrar estruturas mais adequadas e eficientes, solucionando diversas variações de problemas de representação de dados.

Na literatura, encontram-se vários estudos e formulações para o problema de representação de dados, tendo sido concebidas várias soluções para situações específicas, bem como estudos genéricos para classes de problemas semelhantes. Entretanto, para aplicações utilizando cartas náuticas, de um modo geral, ou mesmo a carta náutica eletrônica propriamente dita, pouco há disponível, principalmente sob o enfoque de estruturas de dados para representação e suporte a operações sobre imagens, apesar de ser uma área de crescente pesquisa.

Neste trabalho nós analisamos os requisitos funcionais de uma aplicação relacionada com a implementação de cartas náuticas eletrônicas ou, mais especificamente, com um Sistema de Informação e Apresentação de Cartas Eletrônico (SIACE), manipulando eletronicamente imagens do tipo cartas náuticas. A partir do estabelecimento de funções para esta aplicação, abordaremos estruturas de dados para atender os requisitos e demais necessidades de um tal sistema. Como veremos, esta abordagem está associada a um módulo de funções de Processamento Digital de Imagens (PDI) suportando, entre outras, estruturas de dados necessárias à representação e manipulação de imagens de cartas náuticas [Cru92, Eat90].

1.1.1. Carta Náutica Eletrônica, o Estado da Arte

A especificação de sistemas para automação da carta náutica vem sendo coordenada pela Organização Hidrográfica Internacional (OHI), órgão conselheiro da Organização Marítima Internacional (OMI), parte da Organização das Nações Unidas, para regulamentação da carta eletrônica. Algumas abordagens sobre o desenvolvimento desses sistemas vêm sendo propostas por diversos autores [Cru92, Deh90, Eat90, MC86, ML88, Rus87].

No Brasil, o órgão responsável por esse desenvolvimento é a Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN), vinculada ao Ministério da Marinha. A DHN possui projetos para a produção automática de cartas e desenvolvimento de uma base integrada de dados oceanográficos, que servirá no futuro como base de dados da carta eletrônica [Cru92].

A idéia inicial da carta eletrônica é, a partir de uma base de dados cartográficos na forma digital, construir dinamicamente, em tela gráfica, as suas feições, integradas a informações de sensores.

Devido aos requisitos dessa base de dados cartográficos, seu volume de dados, com custos de desenvolvimento e manutenção muito elevados, alguns autores optaram em utilizar, como fonte de dados, as próprias cartas náuticas impressas em papel. Essas deverão ser digitalizadas por equipamentos do tipo "scanner" ou em mesas digitalizadoras para serem utilizadas pelo sistema [ML88].

Esses sistemas receberam a denominação de Sistemas de Informação e Apresentação de Cartas Eletrônicas (SIACE). São considerados por muitos autores como sendo as próprias cartas eletrônicas [Eat90, GM86, Rog88]. Suas utilizações principais são : navegação, monitoramento do movimento em portos e vigilância do tráfego marítimo.

Alguns estudos e pesquisas relativos a esses sistemas vêm sendo realizados em todo o mundo. Os Países-Baixos dispõem de um SIACE e de um Banco de Dados para a Carta Eletrônica [Mig90]. Esse projeto foi desenvolvido segundo a orientação da OHI e vem sendo utilizado em navios da Holanda, Dinamarca, Suécia e Noruega. A plataforma do sistema, desenvolvido em linguagem C, é o

PC. Nesse sistema foi realizada a integração de equipamentos eletrônicos para auxílio à navegação, como aqueles destinados a informar a posição do navio eletronicamente.

Esse projeto consta de cerca de 200 cartas digitalizadas e possui várias funcionalidades : indicação gráfica de posições (marcações e distâncias), medidas de distâncias e registro da rota descrita pelo navio. Continuamente são calculadas e exibidas informações do rumo e velocidade do navio, além da profundidade local, obtida de uma ecosonda integrada ao sistema.

Uma variedade de escalas de cartas, variando de 1 : 2.000.000 até 1 : 2.000, está disponível ao usuário. O banco de dados contém 4 níveis de precisão e 256 categorias de dados por nível. Essas categorias são denominadas camadas e o usuário pode escolher diferentes combinações das mesmas para serem exibidas [Bro88].

Outro projeto importante foi desenvolvido em 1988, quando um pequeno navio de nome "Lance" realizou uma viagem por alguns países do Mar do Norte. O seu propósito foi exibir às autoridades dos diversos serviços hidrográficos daqueles países alguns diferentes enfoques de SIACE. Esse projeto foi denominado Projeto Mar do Norte. Sua realização deveu-se à iniciativa da OHI e da OMI, que formaram um grupo para estudar os requisitos dos usuários e aspectos legais relacionados às cartas eletrônicas.

A viagem do navio "Lance" foi programada pelo serviço hidrográfico da Noruega e alguns de seus objetivos foram :

- discutir aspectos de desenvolvimento de bancos de dados regionais para a carta eletrônica;
- testar a integração entre alguns SIACE existentes e um banco de dados especificado pela OHI;
- testar métodos para atualização de cartas eletrônicas; e
- apresentar recomendações/especificações para a construção de SIACE.

Vários SIACE, com diferentes graus de sofisticação, foram apresentados, com enfoques em áreas especializadas como a pesca e a navegação de recreio. Algumas das empresas que apresentaram sistemas foram a SPERRY dos Estados Unidos, a MARCOM da Holanda, a OFFSHORE SYSTEMS LTD. do Canadá e a C-MAP da Itália [Mig90].

Apesar de existirem várias pesquisas sobre o assunto, com alguns sistemas funcionando e utilizando-se de especificações e padrões até o momento aceitos, esses sistemas ainda estão na sua fase experimental e devem ser considerados como provisórios. Na realidade, eles representam o início da definição de sistemas mais robustos, com o devido amparo legal, o que permitirá sua maior divulgação e conseqüente expansão [OP87].

1.2. Motivação

As aplicações que se utilizam de cartas náuticas impressas como ferramentas para o seu desenvolvimento, principalmente aquelas que necessitam extrair ou controlar informações em tempo real, como é o caso da navegação, ressentem-se muito da forma como essas operações são realizadas, quando não automatizadas ou sem o suporte de algum sistema eletrônico. Além da baixa velocidade decorrente da operação manual nessas cartas náuticas, outros problemas ocorrem :

- a confiabilidade das informações obtidas torna-se baixa por depender exclusivamente do operador;
- o cansaço provocado pelo trabalho contínuo e repetitivo leva o operador a cometer erros;
- o processo manual gera grandes imprecisões;
- a velocidade na obtenção e o controle das informações depende exclusivamente do operador, muitas vezes não satisfazendo as necessidades práticas; e
- apesar do grande volume de correções, a atualização das cartas náuticas é um processo manual e rudimentar, além de ter um controle pouco eficiente, deixando-se muitas vezes de serem realizadas atualizações importantes nas mesmas.

Com esses problemas mais simples apresentados, podemos concluir que a evolução para um sistema automático é bastante justificada, uma vez que o sucesso da atividade de navegação e obtenção de informações utilizando-se de cartas náuticas dependem grandemente da velocidade e precisão das informações obtidas, atendendo os requisitos das modernas e complexas aplicações hoje existentes.

Apesar desses sistemas serem ainda muito recentes, vários tópicos de pesquisas relacionados com o desenvolvimento de cartas náuticas eletrônicas surgiram nestes últimos anos. Um deles refere-se às funções que as mesmas devem ter incorporadas para atender os requisitos dos usuários. A base de dados desses sistemas não está completamente definida em termos de formato ou modo de aquisição dos dados, nem mesmo há, no mundo, um consenso sobre o seu funcionamento [Eat90, Pas89]. Neste trabalho nós apresentaremos uma proposta de aquisição desses dados, bem como um módulo para processamento dos mesmos, visando atender os requisitos de algumas funções do sistema.

1.3. Contexto

O presente trabalho focaliza uma parte de uma Carta Eletrônica que, por sua vez, pode ser visto como parte de um Sistema de Informações Geográficas (SIG). De um modo geral, a carta náutica eletrônica pode ser descrita como no Diagrama de Organização Modular da fig. 1.1.

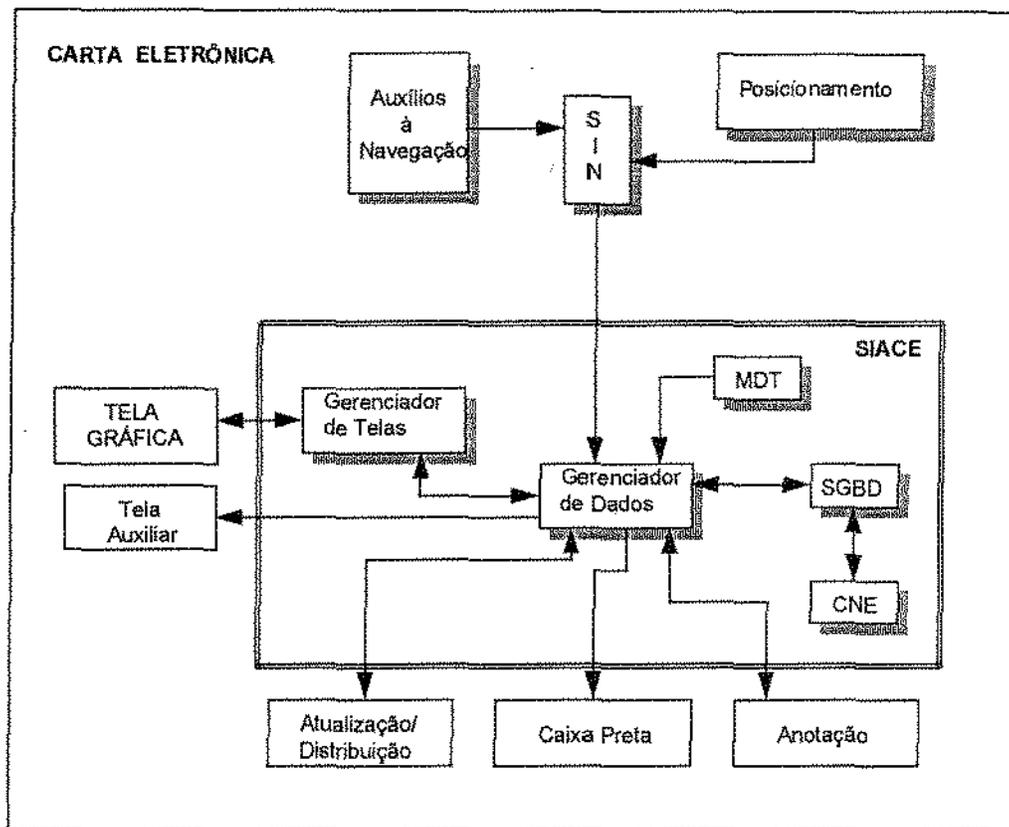


Figura 1.1: Diagrama de Blocos da Carta Eletrônica.

A seguir, são apresentados os módulos do diagrama da fig. 1.1, associados as suas respectivas funções :

Auxílios à Navegação : integra equipamentos e/ou instrumentos que auxiliam na segurança da navegação.

Posicionamento: integra equipamentos que possibilitam a determinação da posição do navio eletronicamente.

Sistema Integrado de Navegação (SIN) : aqui ocorre a integração e o processamento de diferentes tipos de informações provenientes dos diferentes módulos.

Tela Gráfica (TG) : a tela gráfica constitui o principal dispositivo de saída desse módulo, embora também estejam a ele associados o teclado e os dispositivos apontadores que constituem a interface do sistema.

Tela Auxiliar (TA) : exibe informações alfanuméricas, como dados de manuais e características de aspectos das cartas náuticas, por exemplo.

Caixa Preta (CP) : armazena e protege todas as informações relevantes para a reconstituição das operações realizadas pelo sistema. Possibilita que o sistema seja auditorável.

Anotação : aqui estão associados dispositivos de saída do tipo impressora e “plotter” com a finalidade de gerar relatórios ou servir de anotações para futuras consultas.

Gerenciador de Tela (GT): este módulo está relacionado com as funções de gerenciamento da tela gráfica, tais como planejamento de rotas e exibição de informações a serem processadas ou recebidas do módulo gerenciador de dados.

Gerenciador de Dados (GD) : este módulo é o responsável pelo controle da entrada e saída de informações do SIACE, controle do fluxo de dados entre os outros módulos e envio/recebimento de dados para/da base de dados através do SGBD. Dado a sua especificidade e complexidade, as operações com o SGBD serão consideradas transparentes no âmbito deste trabalho.

Modelo Digital de Terreno (MDT) : neste módulo encontra-se o método para exibição das linhas isóbatas¹ na tela. O MDT é um modelo que representa a superfície da terra por um conjunto de dados digitais, onde cada dado contém as coordenadas em três dimensões, x, y, z, e um método definido para interpolar as alturas dos terrenos entre os valores armazenados [Dev85, Flo⁺85, Nag94, Pin94, PS94, SR94]. A partir do arquivo de dados com essas características, os valores das linhas isóbatas ou os intervalos entre as mesmas podem ser especificados pelo usuário.

Sistema Gerenciador de Banco de Dados (SGBD) : responsável pelo gerenciamento de consultas e atualizações das informações na base de dados.

Carta de Navegação Eletrônica (CNE) : neste módulo estão os dados necessários ao sistema. Ele constitui a base de dados propriamente dita, onde estão as cartas náuticas impressas digitalizadas, denominadas por nós imagens de cartas náuticas, além de símbolos e outros dados das mesmas obtidos através de algum pré-processamento. Essa base de dados deve permitir a transposição das imagens para memória principal, utilizando-se como chave para acesso às mesmas, por exemplo, a sua referência numérica.

¹ linhas formadas pelos pontos de igual profundidade.

1.4. Objetivo do Trabalho

Este trabalho aborda o problema de estruturas de dados relativas ao módulo de processamento de imagens visando atender os requisitos de funções do Sistema de Informação e Apresentação de Carta Eletrônica. Consideraremos que a base de dados do sistema compõe-se de imagens no formato raster representando cartas náuticas impressas digitalizadas em equipamento do tipo "scanner", por exemplo. O sistema dispõe, ainda, de outras imagens específicas contendo representação simbólica nas cartas náuticas (faróis, bóias, refletores radar, etc ...).

Trataremos aqui de estruturas de dados que dêem suporte tanto à recuperação dessas imagens de memória secundária quanto à aplicação de funções de Processamento Digital de Imagens (PDI) sobre as mesmas em memória principal, visando conseguir melhores desempenhos do sistema como um todo.

Pretende-se, ainda, que este trabalho seja útil como subsídio a uma futura avaliação da implementação de uma carta náutica eletrônica, tanto para a navegação como para uso em serviços de gerenciamento e análise dos dados contidos nessas cartas.

Neste contexto, este trabalho está inserido nos projetos da Marinha do Brasil, através da Diretoria de Hidrografia e Navegação, para desenvolvimento de uma Carta Náutica Eletrônica que, juntamente com outros países, participará da unificação e compartilhamento das informações cartográficas de todo o globo.

1.5. Organização da Dissertação

O presente trabalho está organizado da seguinte forma : O capítulo 2 apresenta a carta náutica, objeto do nosso estudo, com um breve histórico de seu desenvolvimento, construção e uma abordagem de suas propriedades. O capítulo 3 apresenta a carta eletrônica, seu estágio de desenvolvimento atual e algumas considerações sobre o seu desenvolvimento. Algumas funções desses sistemas são apresentadas, dando ênfase ao seu caráter dinâmico, contrário ao ambiente estático da carta náutica impressa. No capítulo 4, são feitas considerações sobre as estruturas de dados associadas à representação das cartas náuticas digitalizadas, com uma breve apresentação do seu desenvolvimento. É apresentada uma classificação dos diferentes tipos de estruturas de dados, abordando os diferentes tipos de dados que suportam, como os dados convencionais e os dados espaciais. Finalmente, é feita uma análise da eficiência de estruturas de dados e também apresentados exemplos de estruturas. No capítulo 5, é feita uma análise da aquisição e processamento dos dados do sistema, com considerações sobre as diferentes fases necessárias ao tratamento dos dados e a necessidade da correlação da posição geográfica às coordenadas da imagem. Esquemas de representação e reconstrução dessas imagens são analisados. O capítulo 6 introduz algumas funções necessárias ao sistema, com soluções para o seu desenvolvimento. São considerados aspectos tais

como sobreposição de imagens radar e vetorização das imagens raster. Finalmente, o capítulo 7 tece comentários finais apresentando contribuições e sugestões para futuros trabalhos.

2. Cartas Náuticas

2.1. Histórico e Desenvolvimento

O problema de representação da superfície terrestre remonta de tempos longínquos, quando o homem necessitava deslocar-se por extensas áreas em busca de alimentos. A travessia de extensos espelhos d'água, onde muitas vezes não era possível enxergar a outra margem, exigiu a criação de rústicos protótipos de cartas, registradas em peles de animais, indicando a direção correta a ser seguida sob a orientação da trajetória do sol.

Mais tarde, com a intensificação do comércio entre os povos e com as guerras, as cartas tornaram-se documentos secretos de propriedade dos estados, por conterem informações confidenciais de rotas e referências que possibilitavam atingir terras distantes. As cartas passaram, então, a constituir-se também em documentos básicos para o registro e exploração das riquezas e recursos oferecidos pelos mares, rios e lagos, tanto para fins comerciais como militares. Tudo isso exigia métodos cada vez mais precisos e robustos na sua elaboração para a representação gráfica da superfície da terra e suas feições.

A Grécia antiga foi o local de lançamento dos primeiros fundamentos da ciência cartográfica, quando Hipparchus (160 - 120 ac) utilizou pela primeira vez métodos astronômicos para a determinação de posições na superfície da terra e deu a primeira solução matemática do problema relativo ao desenvolvimento da superfície da Terra sobre um plano, idealizando uma projeção cônica [Bak63].

Não obstante, foi Cláudio Ptolomeu, astrônomo, geógrafo e cartógrafo grego que condensou todo o conhecimento geográfico e cartográfico da antiga Grécia em sua obra de 8 volumes "Geografia" (90 - 168 dc), onde ensinava os princípios da Cartografia Matemática, das projeções e os métodos de observação astronômica. Apesar de ignorada durante toda a Idade Média, essa obra reapareceu no século XV, conhecida como renascimento de Ptolomeu, exercendo grande influência sobre o pensamento geográfico da época.

No século XVI, verificou-se uma grande produção cartográfica, já com a incorporação da utilização de instrumentos aperfeiçoados, como a agulha magnética, destacando-se os trabalhos dos cartógrafos portugueses, espanhóis e italianos. Nesse mesmo século, surgiram também outros cartógrafos famosos, sendo o mais célebre o holandês Gerardus Mercator, cujo sistema de projeção, utilizado na construção de seus mapas e que leva o seu nome, Projeção de Mercator, tornou-o conhecido pela forma elaborada de seus mapas e pelo fato de ter sido a primeira projeção na qual os **paralelos** formavam ângulos retos com os **meridianos**, linhas retas, equidistantes e paralelas entre si [Bak63].

O primeiro mapa conhecido ostentando o nome de Mercator foi o mapa do mundo elaborado em 1538. De acordo com o juízo contemporâneo, as cartas náuticas de Mercator destacam-se na história dos mapas, isoladas de seus muitos outros trabalhos, como forte ponto de partida e notável melhoramento sobre todos os métodos anteriormente existentes [Bak63].

As cartas modernas, de uso em países como o Brasil, com extenso mar territorial, grandes rios navegáveis e diversos portos, utilizam-se da projeção de Mercator na construção de suas cartas náuticas, periódica e sistematicamente atualizadas, contribuindo de forma decisiva para a segurança da navegação.

Assim como os mapas, as cartas náuticas representam parte da superfície terrestre. Entretanto, nas cartas náuticas, essas superfícies caracterizam-se por serem cobertas por água, sendo então representadas as profundidades e feições desse ambiente. Modernamente, seu propósito principal é servir como instrumento básico e fundamental para a segurança da navegação, além de fonte de dados para pesquisas e análises do ambiente por ela representado.

Não existe diferença rígida entre os conceitos de mapas e cartas. O estabelecimento de uma separação definitiva do significado de cada conceito torna-se difícil, sendo atualmente utilizados por motivos históricos e também subordinados à idéia de escala.

A palavra **mapa** teve origem na idade média e era empregada exclusivamente para designar as representações terrestres. Após o século XIV, os mapas marítimos passaram a ser denominados cartas como, por exemplo, as conhecidas cartas de marear dos portugueses.

Atualmente, podemos aceitar a definição de **Mapa** como sendo a representação da Terra nos seus aspectos geográficos - naturais ou artificiais - destinados a fins culturais, ilustrativos ou mesmo comerciais. O mapa não tem caráter científico especializado e, geralmente, é construído em escala pequena, cobrindo um território mais ou menos extenso.

Carta é a representação dos aspectos naturais ou artificiais da Terra, destinada a fins práticos da atividade humana, permitindo a avaliação precisa de distâncias, direções e a localização geográfica de pontos, áreas e detalhes. Muitos dos detalhes e informações hoje disponíveis nas cartas náuticas devem ser registrados em outras publicações, evitando o excesso de informações nas mesmas. Por exemplo, detalhes de faróis são encontrados na Lista de Faróis.

Podemos concluir, assim, que a carta é uma representação similar aos mapas, mas de caráter especializado, confeccionada geralmente em escalas grandes. A ciência que modernamente trata da construção de cartas é a cartografia, definida como a arte, ciência e tecnologia de construção de mapas, juntamente com seu estudo como documento científico e trabalho artístico [SE90].

2.2. Classificação Geral de Cartas

Atualmente, a tendência é de considerar os mapas como um tipo específico de carta. Assim, classificando as cartas estaremos também classificando os mapas. Essa classificação pode ser obtida sob diversos aspectos. Em nosso estudo, a apresentaremos em função da sua finalidade.

Conforme a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), a classificação atual das cartas é a seguinte [Bak63] :

- Geográficas
 - topográficas
 - planimétricas
- Cadastrais e Plantas
- Aeronáuticas
- Náuticas
- Especiais
 - geológicas, geomorfológicas, meteorológicas, de solos, de vegetação, de uso da terra, geofísicas e globos.

- **cartas geográficas topográficas** : confeccionadas mediante levantamento topográfico regular, ou compilada de cartas topográficas existentes e que incluem os acidentes naturais e artificiais, permitindo, facilmente, a determinação de altitudes.

- **cartas geográficas planimétricas** : semelhantes às cartas topográficas, porém, não apresentam indicação de altitudes.

- **cartas cadastrais e plantas**: geralmente em escala grande, usadas para mostrar limites verdadeiros e usos das propriedades, com ou sem elevações e detalhes naturais ou artificiais desnecessários.

- **cartas aeronáuticas** : representam a superfície da Terra, com sua cultura e relevo, de maneira a satisfazer, especificamente, as necessidades da navegação aérea.

- **cartas náuticas** : resultam dos levantamentos dos mares, rios, canais e lagoas navegáveis e se destinam à segurança da navegação. São as que interessam neste trabalho.

- **cartas especiais** : representam as formas do relevo terrestre e sua estrutura.

- . **geológicas** - representam as características e a distribuição geográfica dos componentes da crosta terrestre.

- . **geomorfológicas** - representam as formas do relevo terrestre e sua estrutura.

- . **meteorológicas** - mostram as classificações climáticas e as que, em serviço contínuo, diário e sistemático, contêm informações meteorológicas, observadas simultaneamente em vários lugares, além das alterações progressivas nas condições do tempo .

- . **de solo** - identificam e classificam os diversos tipos de solos e a sua distribuição geográfica.

- . **de vegetação** - representam as características e a distribuição da cobertura vegetal.

- . **de uso da Terra** - representam a classificação e a distribuição geográfica dos diversos usos aos quais está sujeita a superfície da Terra.

- . **geofísicas** - representam as características e a distribuição geográfica dos fenômenos físicos que ocorrem na Terra.

- . **globos** - contêm representações da superfície da Terra em outra superfície semelhante.

2.3. Construção de Cartas Náuticas

O problema fundamental da Cartografia Náutica é a representação gráfica da superfície da Terra, em particular, de regiões submersas, o que a torna bastante diferente da Cartografia Terrestre. Antes, porém, da descrição das etapas necessárias à construção de uma carta náutica, torna-se necessário conhecer a forma da superfície terrestre.

A idéia de esfericidade da Terra nasceu na Grécia antiga, sendo a mesma já admitida na era de Ptolomeu. Antes, porém, imaginava-se que sua forma fosse plana, pois era assim que o homem a percebia ao seu redor.

No fim do século XVII, Newton lançou a idéia de achatamento da Terra em virtude de seu movimento de rotação. Após várias pesquisas posteriores, os geodestas franceses do século XVIII consideraram a forma da Terra como sendo a de um elipsóide achatado segundo a linha dos pólos. Tal teoria caiu, devido a medições mais precisas realizadas no final do século passado e início deste século, chegando-se ao consenso de que a forma da superfície da Terra era extremamente irregular. Surgiu,

então, a concepção do geóide para a sua superfície teórica, eliminando a hipótese da Terra ter a forma de um elipsóide geometricamente regular.

Entretanto, para atender às necessidades da Cartografia de ter uma superfície de referência geometricamente definida e pelo fato do geóide não possuir tais características, foi estabelecida para a superfície teórica da Terra a do elipsóide de revolução : sólido gerado pela rotação de uma elipse em torno do eixo dos seus pólos [Bak63].

Apesar dos vários trabalhos geodésicos apresentados e da consideração das vantagens de adoção de um elipsóide único como padrão, existem vários em uso. Foi recomendada, na Convenção de Madri de 1924, o uso do elipsóide de Hayford de 1909, como elipsóide internacional de referência cujas medidas são apresentadas na tabela a seguir :

Raio Equatorial	Raio Polar	Excentricidade	Achatamento
6 378 388,00 m	6 356 911,95 m	0,0819919	1 / 297

Tabela 2.1 Características do Elipsóide de Hayford.

O Brasil, através da Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN), aceitou esse elipsóide como padrão, entretanto o mesmo não ocorreu com alguns outros países, como os EUA, que usam o elipsóide de Clarke de 1866.

A representação da superfície da Terra, considerada como sendo um elipsóide sobre uma superfície plana, acarreta deformações ou distorções inevitáveis. O ideal seria a representação da superfície da Terra sobre outra superfície semelhante, guardando apenas as proporções de escalas, como nos "globos terrestres".

Outra necessidade constatada é o estabelecimento de um sistema de coordenadas, correlacionando cada ponto da superfície da Terra a esse sistema. Esse segundo problema foi estudado pelos gregos, onde foram concebidos os meridianos e os paralelos, surgindo então, o sistema de coordenadas geográficas hoje utilizado: longitude (λ) e latitude (φ).

O primeiro problema, um sistema de projeção, obteve diversas soluções, com vários tipos de projeções sendo apresentadas. O critério de adoção de um ou outro sistema gira em função da finalidade da carta. Na aplicação específica do uso para a navegação, onde as necessidades de representação das loxodromias¹ como linhas retas e formando, com o traçado dos meridianos e paralelos, em um sistema de projeção, um ângulo constante e igual ao seu rumo, para uso em latitudes baixas e médias (até 60°), e que seja simples de construir e utilizar, levou o Brasil a optar pela projeção de Mercator na construção de suas cartas náuticas.

¹ percurso que um navio descreve para ir de um ponto a outro na superfície da Terra, conservando o mesmo rumo.

2.3.1. Projeção de Mercator

É um sistema de projeção que utiliza um cilindro como superfície de projeção, sendo o eixo desse cilindro paralelo ao eixo da Terra. Esse sistema se caracteriza pela inexistência de deformações angulares e, por isso, é denominado “conforme”. Pertence à classe de projeções analíticas, aquelas que perderam o sentido geométrico propriamente dito, em consequência da introdução de leis matemáticas e são por isso de grande importância.

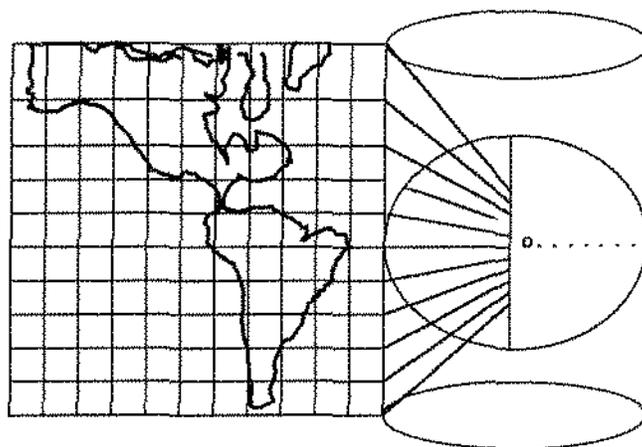


Figura 2.1 Projeção de Mercator.

A fig. 2.1 ilustra o processo utilizado por Mercator no seu sistema de projeção. Pode observar-se que o cilindro utilizado como superfície de desenvolvimento tangencia a Terra no Equador [Bak75, EN79].

A projeção de Mercator é indicada pela facilidade de construção, existência de tábuas para o traçado do quadriculado², construção por meio de elementos retilíneos e simplicidade no uso, plotar rapidamente os pontos por suas coordenadas, obtenção de rumos e distâncias com facilidade e possibilidade de justaposição de partes comuns de cartas consecutivas de uma dada série.

Uma das maiores vantagens dessa projeção para a navegação é o fato de ser conforme, ou seja, respeitar a representação dos ângulos e forma dos contornos em áreas pequenas. Desta forma, os aspectos na carta mantêm a semelhança com os aspectos do mundo real que representam.

² representação, em uma carta, do conjunto de paralelos e meridianos. É também denominado rede ou reticulado.

Entretanto, a impossibilidade de representação dos pólos e o valor exageradamente grande das deformações lineares e superficiais nas regiões de altas latitudes (ver fig. 2.1) constituem sérias limitações ao uso dessa projeção nessas regiões. Estas cartas são, assim, indicadas para baixas e médias latitudes, faixa onde se situa o Brasil [EN79].

2.3.2. Etapas na Construção de Cartas Náuticas

Podemos distinguir as seguintes etapas na construção de cartas náuticas :

- **levantamento topográfico** : representação da superfície irregular da Terra, mostrando as coordenadas de cada um de seus pontos. Permite a definição da cena ou região levantada, fornecendo meios para a reconstituição mecânica da situação do terreno.

As técnicas hoje utilizadas para realizar esses levantamentos vão desde medidas no local até a utilização de imagens de satélites, passando por imagens aerofotogramétricas [Cru92]. Assim, pode-se obter com exatidão as coordenadas de pontos escolhidos e utilizar instrumentos de medição sobre plataformas estáveis e niveladas, permitindo de forma direta ou indireta o cálculo da posição de outros pontos.

- **levantamento hidrográfico** : permite definir as áreas cobertas pelas águas e o fundo submarino, entretanto, não se tem as mesmas facilidades de um levantamento topográfico, pois não há a possibilidade de realizar observações estáveis ou repetitivas devido ao fato dos pontos estarem submersos. As três coordenadas de cada ponto (latitude, longitude e profundidade) deverão ser obtidas simultaneamente pelo cartógrafo naval.

Várias técnicas são utilizadas para se saber a localização precisa dos pontos cujas profundidades estão sendo medidas. Primeiro, é necessário se conhecer a posição da embarcação que realiza as medidas e, segundo, devem ser realizadas, se necessário, correções adequadas para se determinar as coordenadas individuais de cada ponto considerado. Na determinação da posição da embarcação, são utilizados desde pontos de referências em terra até o emprego de sofisticados equipamentos de localização eletrônicos. Essa operação leva em consideração o movimento da massa de água e o próprio movimento da embarcação, influenciado por outros fatores, como o vento. Esses procedimentos são rigorosos e por isso conferem uma grande precisão na determinação das coordenadas dos pontos medidos.

O registro gráfico das profundidades é estabelecido em um ecograma, que possibilita, posteriormente, a obtenção das profundidades dos pontos medidos. Esses ecogramas são gerados por equipamentos tais como o ecobatímetro.

- **edição** : nesta etapa, são selecionadas partes dos pontos sondados que terão representação de profundidade na futura carta náutica. O critério de seleção dos pontos a serem representados considera a vizinhança do ponto e a variação de profundidade, visando obter melhor clareza e melhor representação do fundo no documento final.
- **desenho, gravação e impressão** : após a edição, com os pontos da carta já definidos, tem-se o desenho propriamente dito das cartas náuticas, com a introdução da simbologia náutica necessária e com a utilização de técnicas apropriadas para se obter o melhor resultado. Em seguida, dá-se a fase de gravação, com utilização de técnicas como a foto-aluminografia e posterior impressão das cartas náuticas acabadas.

2.3.3. Propriedades das Cartas Náuticas

Como vimos, as cartas náuticas construídas no Brasil e destinadas à navegação utilizam o sistema de projeção de Mercator, obtendo-se assim algumas peculiaridades desejáveis tanto para a construção como para a utilização das mesmas.

As loxodrômias são representadas como linhas retas. Essas linhas fazem com os meridianos e paralelos ângulos constantes e iguais aos seus azimutes. Em termos práticos, isso significa que, para se obter informações para se deslocar de um ponto a outro na superfície da Terra com precisão, basta ligar esses dois pontos na carta por uma reta e obter o azimute dessa reta, que será o rumo a ser seguido para se chegar ao ponto de destino. A distância entre esses dois pontos é a medida do segmento de reta que os une, medida na escala de latitude, próximo à latitude média entre esses pontos. Nessa escala, cada minuto de arco equivale a uma milha náutica, ou 1852 metros, fig. 2.2.

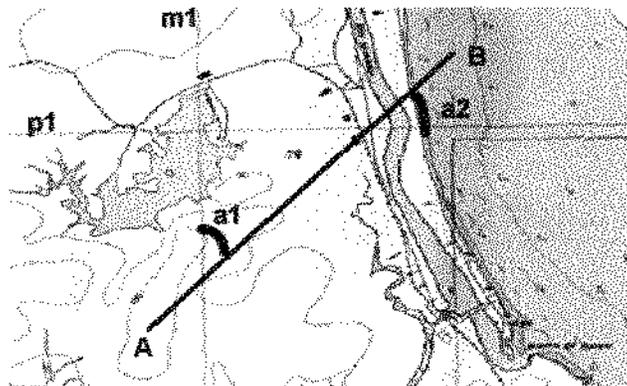


Figura 2.2 Segmento de reta representando uma Loxodrômica.

Na fig. 2.2, o segmento de reta AB representa uma loxodrômica que, na projeção de Mercator, é representada por segmentos de retas, constituindo-se essa característica numa das vantagens dessa projeção. Pode-se notar ainda o ângulo a_1 desse segmento com o meridiano m_1 . Esse ângulo terá o mesmo valor para qualquer outro meridiano cortado pelo segmento. Da mesma forma, pode ser visto o ângulo a_2 do referido segmento com o paralelo p_1 e que terá também o mesmo valor para qualquer outro paralelo cortado pelo segmento.

As cartas náuticas são construídas segundo uma escala, sendo escolhidas escalas que mais se ajustem às necessidades dos usuários. Uma mesma região pode ter mais de uma carta, com diferentes escalas, representando melhor os detalhes dessa região. Podemos dizer então que as cartas náuticas possuem múltiplas escalas, embora não sejam de escala variável. Essa última característica é incompatível com sistemas de representação estática, como são as cartas náuticas impressas.

Nas cartas náuticas, a superfície terrestre é representada de acordo com um sistema de coordenadas, dispondo ainda de recursos para orientações relativa e absoluta de suas feições. Dispõe ainda de rosa-dos-ventos³ para indicar as diversas direções e possui os principais paralelos e meridianos ali representados, além de subsídios para cálculos de declinações magnéticas atualizadas.

Informações de profundidades são representadas nas cartas em metros e decímetros; altitudes, em metros ou pés; distâncias, em milhas náuticas e décimos de milhas ou metros; e velocidades, em nós⁴ e décimos de nós.

Os meridianos são linhas retas verticais com orientação Norte-Sul e perpendiculares aos paralelos, que são linhas retas horizontais, com orientação Leste-Oeste. Finalmente, a carta náutica é multispectral, empregando cores para a caracterização das suas regiões homogêneas e dos símbolos que utiliza.

2.3.4. Informações Contidas nas Cartas Náuticas

Como instrumento básico e indispensável à navegação, as cartas náuticas devem conter todos os dados necessários ao posicionamento fixo e ao traçado de derrotas. Deve também dispor de informações de procedimentos a serem adotados para se evitar perigos que afetem a segurança da navegação.

Modernamente, como fonte de dados para setores de pesquisa científica e análise de aspectos de interesse, algumas informações precisam ser extraídas a partir de dados disponíveis nas cartas náuticas e em outras publicações náuticas específicas relacionadas às mesmas.

³ círculo onde aparecem marcados os pontos cardiais e os pontos colaterais.

⁴ unidade de velocidade utilizada no mar, correspondendo ao número de milhas náuticas percorridas em uma hora.
1 nó = 1 milha / hora.

Vários tipos de cartas náuticas são produzidas pela Marinha de Guerra, satisfazendo necessidades como : operações com minas⁵, onde são exigidos conhecimentos precisos sobre a natureza do fundo do mar, além do relevo submarino da plataforma continental; operações com submarinos, onde se faz necessário um mapeamento completo dos diversos aspectos submersos que possam emitir ecos falsos aos sistemas de busca, como navios afundados (cascos soçobrados); operações anfíbias, onde são necessárias informações detalhadas das praias, como gradiente da inclinação e natureza do litoral; gerenciamento costeiro, onde devem estar disponíveis detalhadamente as praias e baías, com informações precisas de seus contornos.

As informações básicas disponíveis nas cartas náuticas de utilização mais difundida são : a batimetria, medidas de profundidades; informação sobre os perigos à navegação; a sinalização náutica; portos; canais e correntes [Cru92].

As informações da parte terrestre são tratadas de forma bastante seletiva, sendo dado enfoque às regiões costeiras e aos seus aspectos naturais ou artificiais que concorrem para melhorar a segurança da navegação e facilitar a determinação da posição do navio. Essas informações podem ser resumidas em : linhas de costa, curvas de nível e construções notáveis, fig. 2.3.

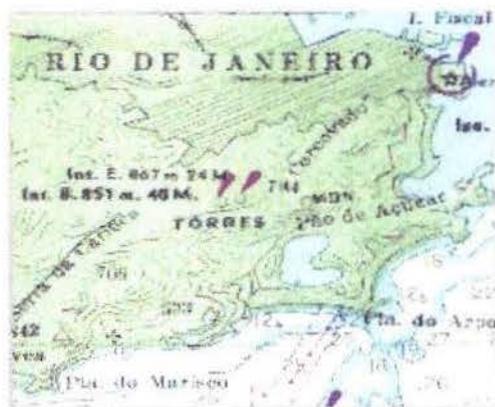


Figura 2.3 Detalhes de uma Carta Náutica.

2.3.5. Características das Aplicações

Como instrumento para uso principal na navegação e também como fonte de dados para análise e planejamento, algumas características principais das cartas náuticas podem ser [Rus87] :

⁵ engenho de guerra empregado sob as águas, contendo material explosivo.

- **planejamento de derrotas** : uma das operações mais comuns é o planejamento do percurso, ou derrota, que a embarcação deverá descrever para se deslocar de um ponto a outro, quando são analisados vários aspectos para a segurança e precisão desse deslocamento.

- **controle da posição** : durante seu deslocamento, procurando descrever a derrota planejada, posições periódicas e sistemáticas devem ser obtidas para a verificação do percurso real da embarcação. Estas posições devem fornecer ainda, subsídios para correções dos possíveis desvios da derrota ocorridos.

- **obtenção da posição**: vários métodos, ou uma combinação deles, podem ser utilizados para a determinação da posição de uma embarcação. Desde a simples observação de pontos na costa, que estejam representados nas cartas, combinada com informações de profundidades fornecidas por sensores, até a utilização de sistemas eletrônicos de indicação da posição.

- **correlacionamento e análise de informações de sensores** : sobreposição de imagens radar com cartas náuticas para o correlacionamento dos pontos e obtenção de informações desejadas de distâncias. Análise de formas e volumes de ilhas e de costas que possam ocultar possíveis embarcações ou que favoreçam o lançamento de armamento.

- **determinação de informações derivadas através de cálculos** : a partir de duas informações de posições sucessivas, calcular a velocidade em função da distância entre essas posições e o tempo despendido para o deslocamento entre as mesmas.

Além dessas operações básicas, existem inúmeras outras mais específicas que dependem do uso mais especializado das cartas náuticas, como o controle de tráfego marítimo em um porto, pesca e lazer, que requerem também uma análise dos dados contidos nessas cartas náuticas.

O próximo capítulo apresenta as cartas náuticas em outro ambiente, o dos computadores eletrônicos, onde novas características funcionais são adicionadas às mesmas, quando passam a ser denominadas Cartas Náuticas Eletrônicas.

3. Cartas Náuticas Eletrônicas

3.1. Introdução

Apesar das diversas definições propostas na literatura para as cartas eletrônicas [Eat90, ML88], cada uma dando ênfase a determinados aspectos das mesmas, seguiremos aquela proposta pela Organização Hidrográfica Internacional (OHI), órgão que tem como responsabilidade promover a padronização internacional da Carta Eletrônica. Ressaltamos que não está estabelecida, até a presente data, uma padronização para essas cartas, embora algumas instruções normativas tenham sido elaboradas pela OHI sobre partes específicas das mesmas [Deh90, Bro⁺88, ML88].

Conforme a OHI, Carta Eletrônica é definida como um sistema que integra as informações da carta, informações de posição e outros parâmetros tais como rumo, velocidade e profundidades [Cru92].

A integração da carta a outros sistemas eletrônicos ou sensores possibilita a utilização das mesmas em diferentes tipos de embarcações, com finalidades diferentes, surgindo daí uma classificação dessas cartas quanto ao tipo de embarcação a que se destinam.

O grau de sofisticação da apresentação das imagens e capacidades do sistema será em função das aplicações específicas. Os SIACE, mencionados anteriormente, são utilizados por alguns autores como definição para as próprias cartas eletrônicas, pois satisfazem as necessidades de diversas aplicações, além da navegação [Rus87]. Neste trabalho, consideraremos os SIACE como sendo as próprias cartas náuticas eletrônicas.

3.2. Classificação

Em função do porte e características específicas de cada navio, a carta náutica eletrônica é classificada em três diferentes grupos, estabelecidas pela RTCM (Radio Technical Commission for Maritime Service), através de seu Comitê para Recomendações de Padronização de SIACE [Cru92].

- classe 1 : para uso em navios que tenham a necessidade de utilizar uma carta eletrônica equivalente à carta impressa, o que se traduz na exigência de maiores recursos computacionais.
- classe 2 : para uso em navios que tenham as mesmas necessidades da classe 1, mas que sejam de porte médio, caracterizados pela constância de suas rotas e viagens relativamente curtas.
- classe 3 : para uso em navios que possuem grande capacidade de manobra e navegam em águas rasas.

Este trabalho considera os requisitos das cartas da classe 1 por exigirem maiores recursos tanto de hardware como de software, além de poderem ter seu uso estendido a atividades tais como controle, análise e pesquisa dos aspectos geográficos representados por essas cartas.

3.3. Algumas Características e Vantagens das Cartas Eletrônicas

Como não existe ainda no mundo um padrão estabelecido para as cartas náuticas eletrônicas, mas sim requisitos a serem atendidos, apresentaremos algumas características básicas de uma carta eletrônica [Deh90, ML88, Pas89].

Uma das principais características de uma carta náutica eletrônica é a de ser um sistema em tempo real que elimina, por exemplo, a forma antiga de obter e plotar a posição do navio. No processo tradicional, logo após a obtenção das referências para se determinar essa posição, as mesmas eram traçadas na carta impressa e só em seguida era identificada a posição do navio em coordenadas de latitude e longitude. Naturalmente, da obtenção das referências para essa posição até a obtenção de suas coordenadas, um determinado período de tempo já havia-se passado, com o navio se encontrando em outra posição diferente dessa última. Isso significa que sempre era analisada uma posição passada [GM86].

Um outro enfoque importante dado às cartas eletrônicas é a integração a outros sistemas, com a preocupação de se especificar o que é integrado e o tipo de sistema a ser utilizado, visando-se obter respostas rápidas tanto em relação às consultas à base de dados como ao processamento das informações. Essas considerações não serão elaboradas neste trabalho específico.

A eventual necessidade de utilizar cartas com diferentes escalas torna necessário que o sistema de apresentação disponha de funções de escalonamento que apresentem regiões com maior ou menor nível de detalhes em função das necessidades do momento. Isso elimina o inconveniente da necessidade, no processo manual, da transposição de todas as informações plotadas em uma determinada carta para outra, de escala maior, pelas necessidades de maior detalhamento quando, por exemplo, se pretende entrar em um canal de acesso a um porto.

O desenvolvimento das cartas náuticas eletrônicas é um caminho natural na economia e racionalização de recursos das embarcações, com as vantagens de reduzir custos e o número de pessoal, preservando-o, por exemplo, do perigo de convivência com cargas tóxicas ou explosivas. O aumento do tráfego marítimo em determinadas regiões do planeta, aliadas às condições atmosféricas e ao estado do mar, demanda cada vez mais o desenvolvimento de sistemas performantes de ajuda à navegação que impeçam a ocorrência de acidentes onde, por exemplo, imensas cargas de óleo ou elementos químicos promovam a destruição da natureza. Esta maior precisão da navegação vem, naturalmente, ao encontro dos desejos e necessidades das áreas empresariais, militares e governamentais [Eat90, ML88].

Neste caso, a possibilidade de integração das cartas eletrônicas com outros sistemas traduz-se em benefícios imediatos, onde informações advindas de sensores diferentes, já compiladas conforme as necessidades da aplicação corrente, são reunidas em uma mesma unidade. Esses sistemas podem ser um sistema eletrônico de posicionamento, como o radar e o GPS (Global Position System), onde, através da utilização de satélites, são calculadas e obtidas as posições atualizadas do navio.

Outra grande vantagem das cartas eletrônicas refere-se à atualização dos seus dados. O caráter dinâmico desses sistemas eletrônicos toma o lugar do processo convencional, onde as alterações chegam aos usuários através de radiodifusão, denominada Aviso aos Navegantes, sendo essas atualizações realizadas através de retoques nas cartas ou reedição das mesmas. Outra técnica atualmente empregada é a colagem, nas próprias cartas, de pequenos trechos atualizados. Além das atualizações propriamente ditas, é necessário um controle eficiente das mesmas e, conseqüentemente, um consumo de vários homens/hora nessa atividade [Pas89].

No sistema de carta eletrônica, com o Aviso aos Navegantes, através de satélites ou mesmo por disquetes de computador, as atualizações da sua base de dados podem ser realizadas automaticamente pelo sistema. O controle de atualizações torna-se, assim, mais confiável, tendo o navegador a certeza de estar com todas as atualizações divulgadas disponíveis no seu sistema e capacitado a receber aquelas alterações que possam ocorrer quando já estiver em alto-mar.

3.3.1. Partes Componentes

Alguns autores consideram a carta eletrônica como sendo apenas um módulo de um sistema maior de informações geográficas (SIG), como ilustrado no diagrama da fig. 3.1. Outros consideram-na ainda como parte de um sistema de controle, como o projeto desenvolvido e intitulado de Sistema Integrado de Controle de Navio que dispõe de um sistema de arquivo digitalizado de cartas náuticas e que incorpora um gerenciador dessa base de dados, contendo recursos para a recuperação e a seleção de feições e outros aspectos de interesse à navegação.

No presente estudo, consideramos que a concepção de uma carta náutica eletrônica é composta dos Sistemas de Informação e Apresentação de Cartas Eletrônicas (SIACE), os quais dispõem de operações que contribuem para prover funcionalidade ao sistema como um todo.

A seguir, abordaremos mais especificamente os SIACE, com ilustrações e descrição de seu funcionamento.

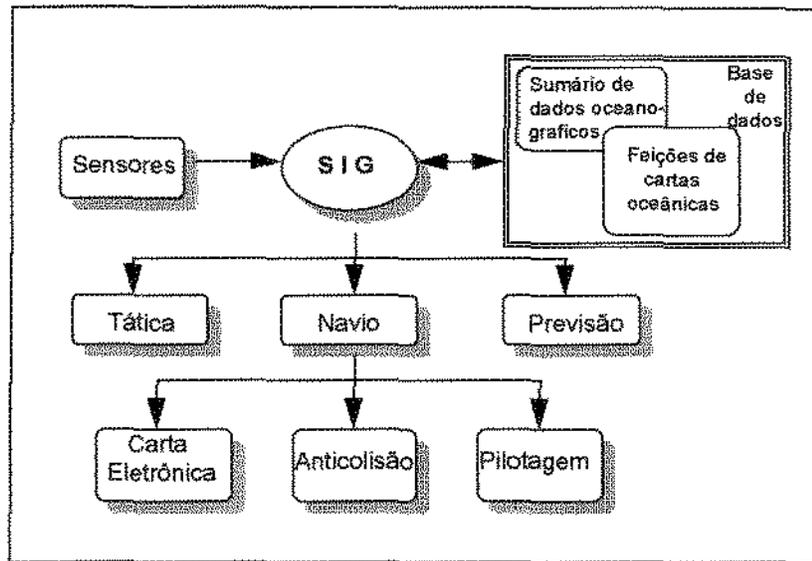


Figura 3.1 Diagrama da organização do sistema.

3.4. Sistema de Informação e Apresentação de Cartas Eletrônico - SIACE

Como já visto, o SIACE é parte fundamental das Cartas Eletrônicas, provendo funcionalidades indispensáveis ao sistema na execução de suas funções. A concepção desses sistemas prevê, por exemplo, que no painel de operação dos mesmos haja disponíveis duas telas gráficas (TG) com suas respectivas telas auxiliares (TA), permitindo que em uma TG trabalhe-se com uma escala grande e na outra TG trabalhe-se com uma escala pequena ou mesmo com uma carta de outra região, dando uma visão mais ampla ao operador [ML88, Ops88]. Utilizando como base o diagrama da fig. 1.1, descreveremos, na próxima seção, os diferentes módulos que compõem um SIACE.

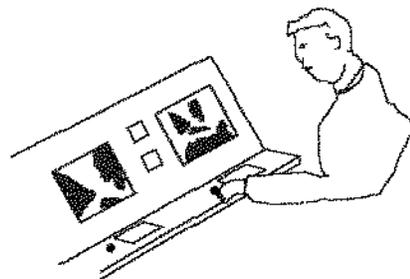


Figura 3.2 Painel do SIACE.

A fig. 3.2 ilustra parte do painel de um SIACE, com as TG exibindo cartas de uma mesma região, mas em escalas diferentes.

3.4.1. Descrição do Funcionamento

Ao se inicializar o sistema, o módulo Gerenciador de Telas carrega uma imagem de uma carta náutica como padrão na tela gráfica. Essa carta que será carregada é a que representa a região onde se encontra a embarcação ou ponto especificado, por exemplo, pelas suas coordenadas. Essa imagem deverá conter as informações mínimas necessárias para a segurança da navegação, como : linha isobatimétrica de segurança, que é determinada em função do calado¹ da embarcação; informações de maré; apresentação de perigos à navegação e demais restrições da região, como áreas proibidas para fundeio e outras.

Através do Sistema Integrado de Navegação (SIN), recebe informações precisas de posicionamento que serão então indicadas na tela e correlacionadas às coordenadas da imagem, sendo essa posição indicada na parte central da tela gráfica. Informações de posição de outras embarcações são, da mesma forma, obtidas e indicadas na tela, em relação à posição do usuário atual que se encontra na região central da tela gráfica. Informações de profundidades locais são recebidas de equipamentos de auxílio à navegação, como o ecobatímetro. Informações de rumo são recebidas de equipamentos como a agulha giroscópica, também através do módulo SIN. Essas informações têm o objetivo de viabilizar a navegação, fornecendo dados que possibilitem checar a posição atual da embarcação.

A carta apresentada na tela gráfica é obtida da base de dados local, através do módulo Gerenciador de Dados. A escala dessa carta, bem como o nível dos detalhes apresentados, é um fator importante a ser especificado quando da implementação do sistema. Normalmente são utilizadas as imagens das cartas náuticas como adquiridas no processo de digitalização.

Na tela auxiliar, são indicadas textualmente as distâncias e marcações dos perigos à navegação; características dos auxílios à navegação das regiões que são visíveis ou encontram-se próximas; previsão do tempo e outras.

Através do módulo atualização/distribuição, a base de dados poderá ser atualizada. Como exemplo de atualização, podemos citar as mudanças em entradas de canais e rios, posicionamento de bóias, permanência de plataformas em determinados locais temporariamente, indicação de cabos submarinos e rotas de navios com cargas perigosas.

Existem dois métodos principais utilizados para as atualizações :

- via postal : folhetos, disquetes ou CD são recebidos via postal com informações para atualização da base de dados.

¹ distância vertical entre a superfície da água e a parte mais baixa do navio naquele ponto [Fon82].

- por telecomunicações : através de ondas de rádio (voz), satélites, telefone ou uma combinação dessas formas, podendo surgir outras formas.

Essas atualizações são provenientes dos serviços hidrográficos que dispõem de uma base de dados da carta eletrônica. Em função do método utilizado para a atualização, diferentes tipos de atualizações podem ser realizadas : manual, semi-automática ou automática [Cru92].

Nos Estados Unidos, por exemplo, a Defense Mapping Agency (DMA) dispõe de uma base de dados com cerca de 5000 cartas náuticas mantidas atualizadas permanentemente, acessada remotamente por usuários (embarcações/escritórios) cadastrados no sistema para o recebimento de dados e atualização dos seus bancos de dados locais.

Esse sistema, conhecido como Navigation Information Gateway System (NAVIGATES), possibilita, através de um link de dados por satélites ou por sistemas de comunicações disponíveis comercialmente, a transferência de dados entre os computadores do Sistema Automatizado de Avisos aos Navegantes (Automated Notice to Mariners System - ANMS) da DMA e os computadores do sistema do usuário, possibilitando a obtenção dos dados necessários às atualizações requeridas. O sistema utiliza um protocolo de comunicações robusto, que elimina os erros na transmissão dos dados, apresentando um alto throughput de dados e sua plataforma são PC equipados com modems com altas taxas de transferência de dados [Log87].

3.4.2. Um Exemplo de Operação : Planejamento da Derrota

O módulo Gerenciador de Telas, através de suas funções, permite o planejamento da derrota a ser descrita pela embarcação. Alguns autores utilizam a teoria dos grafos para a determinação da melhor derrota entre dois pontos [BB87]. Nesse caso, o operador indica apenas os pontos extremos da linha correspondente à derrota.

Consideramos, para essa finalidade, não a aplicação desses algoritmos, mas sim a intervenção do operador. Quando a distância entre dois pontos ultrapassar certos valores ou tiver obstáculos entre os mesmos, impedindo o traçado de um segmento de reta diretamente entre ambos, o operador deverá estabelecer pontos intermediários para contornar esses inconvenientes. Esses pontos podem ser indicados graficamente com o uso de dispositivos apontadores como o "mouse". A característica do sistema de projeção utilizado, representando as loxodrômias como linhas retas facilita essa tarefa. A fig. 3.3 ilustra a situação de planejamento dos pontos de saída de um canal.

As vantagens desse processo são a simplicidade e o aproveitamento da experiência do operador. Quando qualquer restrição for contrariada no planejamento dessa derrota, como a passagem por áreas proibidas ou por linhas isobatimétricas de segurança, o sistema alarma e não aceita a derrota programada, alertando o operador das restrições contrariadas e exibidas na tela auxiliar.

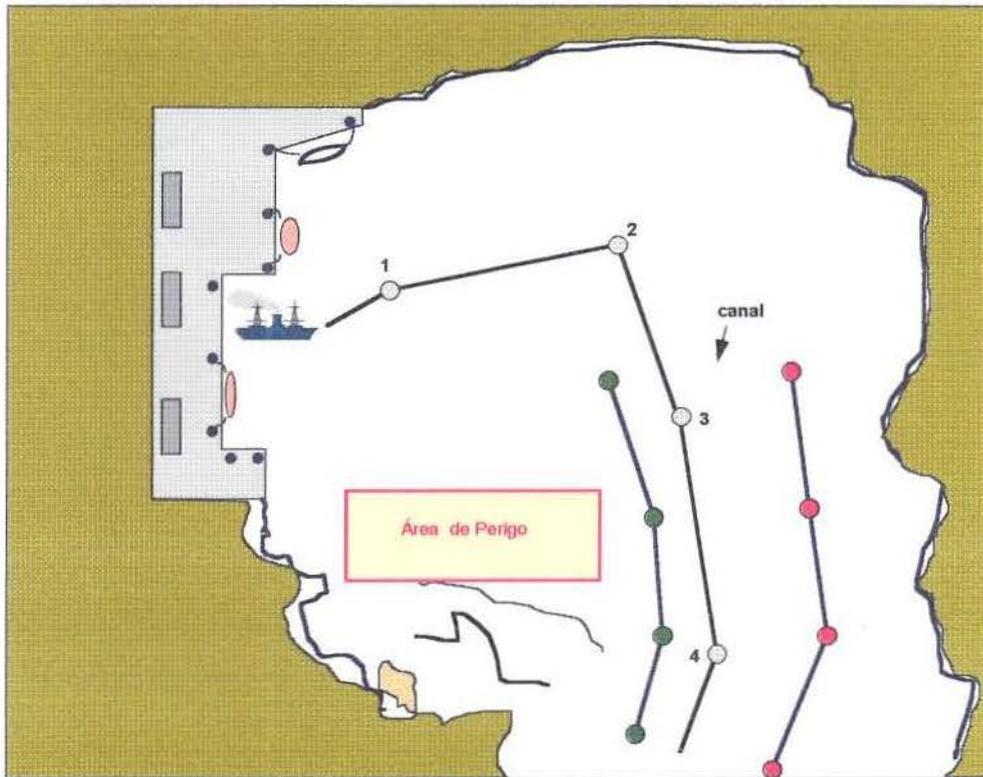


Figura 3.3 Canal de saída de porto com pontos intermediários da derrota estabelecidos.

A fig. 3.3 exemplifica o planejamento da derrota para saída de um porto, com o estabelecimento de pontos intermediários, representados por círculos na cor cinza, por onde a embarcação deverá passar. A indicação de área de perigo, ilustrada por um retângulo, e a indicação dos limites do canal, ilustrado por círculos nas cores verde e vermelho representando bóias, podem ser observadas.

3.4.3. Sistema Auditorável

Através dos módulos Caixa Preta e Anotação, ilustrado na fig. 1.1, será possível ter registrada a derrota planejada. Com o desenvolver da navegação, serão registrados a derrota descrita pelo navio, o movimento relativo dos perigos à navegação, as quebras de restrições ocorridas e as falhas ou discrepâncias grandes de informações de equipamentos, possibilitando a partir daí, recompor, com precisão, todas as situações ocorridas durante a navegação.

A geração de relatórios também é possível, com maior ou menor grau de detalhes. Informações discrepantes de equipamentos possibilitarão a detecção da necessidade de aferição dos mesmos pela comparação com as informações de outros equipamentos.

3.5. Considerações

O desenvolvimento de sistemas de Carta Náutica Eletrônica encontra-se ainda numa fase muito primária, tendo-se em uso pelo mundo algumas implementações para atender a diversas aplicações específicas, com necessidades limitadas, como em embarcações de pesca e recreio [Eat90, ML88].

Evidentemente, a normatização desses sistemas, com a especificação de categorias e requisitos que devam ser atendidos, deverá ser estabelecida por um órgão internacional, única forma de infundir-lhes o necessário crédito indispensável para a aceitação dos mesmos pelos diferentes países, uma vez que sua implantação representa gastos consideráveis e investimentos em um sistema adequado para a sua manutenção por parte dos órgãos hidrográficos competentes, que deverão ser os responsáveis pela correção das informações dos bancos de dados da carta eletrônica. O órgão que atualmente desempenha esse papel é a Organização Hidrográfica Internacional (OHI), órgão assessor da Organização Marítima Internacional (OMI), que vem mantendo equipes para estudos, pesquisas e divulgação das normas necessárias ao aperfeiçoamento desses sistemas que, num futuro não muito distante, serão de uso obrigatório nas embarcações [Deh90, ML88].

Devido ao pouco tempo de uso dos sistemas hoje em serviço, sua robustez ainda não está comprovada, nem conclusões definitivas sobre concepções ou linhas de pesquisas prioritárias foram estabelecidas.

No próximo capítulo, apresentaremos um breve histórico do desenvolvimento das estruturas de dados e suas medidas de eficiência, com alguns comentários voltados para a sua aplicação nas cartas náuticas eletrônicas.

4. Estruturas de Dados Aplicadas às Cartas Náuticas

4.1. Desenvolvimento das Estruturas de Dados

Como requisito para se tratar de estruturas de dados, faz-se necessário o estabelecimento do significado do que é informação, como ela é transmitida e como ela é armazenada nos computadores.

De um ponto de vista simples, a discussão sobre o armazenamento e a transmissão de informações em um computador pode ser iniciada com o estudo da natureza das informações. Todas as operações em um computador envolvem a manipulação de informações. Quando, por exemplo, a CPU espera por uma microinstrução¹, ocorre a recuperação dessa informação e a interpretação da sua representação simbólica para que a microinstrução seja executada [Hay88]. Essa representação simbólica é uma seqüência binária organizada em palavras, que é a unidade de informação dos computadores, possuindo um comprimento fixo de n bits.

Neste contexto, podemos definir como informação todo o material armazenado ou transmitido e que tenha algum significado associado a sua representação simbólica.

A transmissão da informação pode ser compreendida através do processo que ocorre desde a sua origem até o seu destino. Pode-se estabelecer que o processo de transmissão da informação é constituído de : 1 - origem da mensagem, 2 - transmissor, que codificará a mensagem a ser transmitida, 3 - o canal pelo qual a mensagem será enviada, 4 - o receptor, que decodificará a mensagem recebida e 5 - o destinatário da mensagem. Essa seqüência é ilustrada na fig. 4.1.

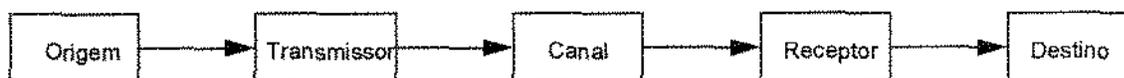


Figura 4.1 Processo de transmissão da informação.

O armazenamento da informação pode ser dividido em duas partes, em função do tipo de memória utilizada para esse propósito : armazenamento em memória principal e armazenamento em memória secundária.

¹ seqüência de microoperações realizadas na CPU durante um ciclo de instrução.

Em **memória principal**, normalmente é utilizada tecnologia de unidades semicondutoras, embora outros tipos de materiais venham sendo utilizados com a aplicação de novas tecnologias. Sua função principal é estabelecer o estado de cada bit distintamente, 0 ou 1, de forma temporária, até a execução das instruções necessárias ao algoritmo corrente. A determinação do estado de uma seqüência desses bits permite representar as informações de forma codificada, como, por exemplo, no código ASCII.

As **memórias secundárias** foram concebidas para o armazenamento de informações de natureza mais permanente. Normalmente são utilizados materiais magnéticos para a retenção da informação, como discos, fitas e tambores. Outro tipo de material com grande capacidade de armazenamento vem sendo empregado ultimamente: discos de leitura ótica.

Todas essas informações precisam ser logicamente organizadas e fisicamente armazenadas e são as estruturas de dados que desempenham esse papel, representando essas informações. Até mesmo informações que possam ser processadas diretamente em nível de instrução de máquina ou aquelas que são utilizadas por linguagens para distinguir os seus diferentes tipos necessitam de uma estrutura de dados para representá-las. Neste contexto, uma definição simples para estruturas de dados pode ser : *coleção organizada de valores com um conjunto de operações que podem ser executadas sobre os mesmos* [RH83].

Em função dos tipos de dados sendo manipulados, determinadas estruturas de dados são mais adequadas que outras. Por exemplo, para os dados primitivos, números e textos, as estruturas de dados utilizadas para representá-los denominam-se estruturas de dados primitivas: inteiros, reais, strings, lógico, ponteiro. A partir dessas estruturas, outras podem ser definidas. As primeiras estruturas de dados utilizadas em computadores eram baseadas em acesso seqüencial e cálculo de endereço.

Já em 1947, Goldstine e von Neumann descreveram os primeiros programas utilizados para acesso a vetores [Nie89]. Arquivos seqüenciais e vetores permaneceram como principais estruturas de dados por um longo período. Em 1954, a linguagem de programação FORTRAN já usava comandos como DIMENSION, READ, TAPE e REWIND para tratar essas estruturas de dados.

Outros tipos de estruturas não foram desenvolvidas naquele período devido ao estágio inicial de desenvolvimento tecnológico das memórias principais. A capacidade de armazenamento muito limitada inviabilizava a utilização de quaisquer estruturas que requeressem maiores recursos de memória. Por outro lado, os tipos de dispositivos de memória secundária disponíveis eram então acessados mais eficientemente de modo seqüencial.

As estruturas de dados não primitivas mais simples são as pilhas, filas e listas circulares. Entretanto, essas estruturas de dados são adequadas ou mais indicadas apenas quando se tem pequenos conjuntos de dados.

DAGs (direct acyclic graph) e Árvores são outras duas categorias de estruturas de dados que conseguiram obter um compromisso elegante entre generalidade e eficiência. Muitas técnicas desenvolvidas para árvores podem ser também estendidas para DAGs. Não obstante, as árvores tornaram-se uma das mais importantes estruturas de dados, tanto para memória principal como para memória secundária na resolução, inclusive, de problemas multidimensionais como acesso por múltiplas chaves (“multikey access”). As árvores, fig. 4.2, vieram a ser as estruturas de dados dominantes porque são estruturas que garantem computação da ordem $O(\log n)$, no pior caso, tanto para acesso seqüencial como para acesso randômico, em operações de inserção e exclusão num conjunto ordenado linearmente [Nie89].

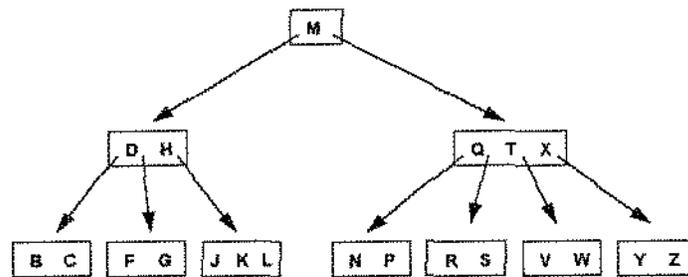


Figura 4.2 B Tree, onde as chaves são as consoantes do alfabeto. Cada nó interno contém n chaves e possui $n + 1$ nós filhos. Todos os nós folhas estão no mesmo nível. O nó M é definido como sendo o nó raiz da árvore [CLR90].

Funcionalmente, as estruturas de dados necessitam de uma estrutura de armazenamento, que é a sua representação particular na memória do computador. Assim, uma mesma estrutura de dados pode ter diferentes estruturas de armazenamento (ou configurações) em função da implementação. Quando utilizadas em memória secundária, recebem a denominação de estruturas de arquivo.

4.2. Tipos de Estruturas de Dados

As estruturas de dados são classificadas em função de diferentes fatores. Eles influenciam o seu projeto e desenvolvimento, o que repercute diretamente no seu desempenho. Alguns exemplos desses fatores são :

- tipos de dados que suportam
- tamanho dos dados
- distribuição dos dados
- dinâmica dos dados

Quanto ao **tipo de dados**, as estruturas podem ser divididas em duas categorias principais : para dados convencionais e para dados não convencionais, item 4.3 . A primeira é aquela que dá suporte a operações com dados alfanuméricos (números e cadeias de caracteres). As aplicações mais comuns que utilizam esse tipo de estruturas são : computação científica em conjuntos estáticos, como cálculos de matrizes; aplicações comerciais, como geração de relatórios, processamento “batch” e cálculos analíticos com a manipulação de dados em arquivos diversos; processamento de transações interativas, como em bancos, com acessos por diferentes atributos (nome, conta, ...) e representação do conhecimento, como em rede semântica em inteligência artificial.

As estruturas de dados que, além de darem suporte aos tipos de dados convencionais, também suportam novos tipos de dados como imagens, pontos ou sólidos no espaço, fazem parte da segunda categoria. Alguns exemplos de aplicação desses tipos de dados são : CAD/CAM (projeto e fabricação assistidos por computador); aplicações geográficas e cartográficas; aplicações com imagens e inteligência artificial.

No objeto de estudo desta dissertação, a carta náutica, existem dados alfanuméricos (números e cadeias de caracteres) e dados espaciais (pontos, linhas, regiões). Aplicações que utilizam esses tipos de dados são designadas **aplicações geográficas**. Os dados espaciais, diferentemente dos tipos de dados alfanuméricos, exigem novos requisitos para o projeto, implementação e estruturas de dados para bancos de dados de imagens.

Tradicionais técnicas de desenvolvimento de estruturas de dados certamente influenciaram o desenvolvimento dessas novas técnicas. Nelas, estão incorporadas as novas funcionalidades, incluindo pré-computação, utilização de relacionamento espacial e computação dinâmica de relacionamentos espaciais de imagens. Outros aspectos específicos dessas novas técnicas podem ser classificados como rotinas especializadas para a manipulação de componentes das imagens.

As aplicações, como por exemplo, a administração cadastral urbana e rural [Cif95], contribuíram grandemente para o desenvolvimento dessas novas técnicas para a manipulação desse novo tipo de dado, o qual desperta cada vez mais o interesse de vários setores.

Várias diferenças existem entre sistemas de banco de dados convencionais, onde os problemas de gerenciamento do armazenamento são relativos àqueles tipos de dados, e sistemas de banco de dados geográficos, onde o gerenciamento dos dados deve ser bem mais extensivo [MZ91]. Essas diferenças incluem modelagem de dados, otimização de consultas, estratégias de indexação, controle de concorrência e gerenciamento de armazenamento.

Tratando mais especificamente da representação dos dados, uma classificação dos dados geográficos será apresentada a seguir e estabelecida como padrão neste trabalho, fig. 4.3 [Lu⁺91].

Os dados geográficos podem ser classificados em dois tipos : espacial e temático. Dados temáticos são dados alfanuméricos (convencionais) associados a entidades gráficas. Exemplo : população de uma cidade e distribuição de renda por região geográfica.

O dado espacial consiste de duas partes: dado geométrico e dado topológico. Dado geométrico é a descrição de objetos espaciais, que podem estar nos formatos raster ou vetorial. Dados topológicos são relacionamentos espaciais entre dados geométricos . Os dados geométricos no formato vetorial podem ser de três tipos genéricos : pontos, linhas e regiões.

Uma linha consiste de um ou mais conjuntos colineares conectados de segmentos de retas representados por um par de pontos. Uma região é representada por um conjunto de segmentos de retas conectados. Ambos os formatos, raster e vetorial, podem ser usados para representar os dados espaciais.

O dado geométrico no formato vetorial é mais adequado para a recuperação baseada em características, enquanto o formato de dado raster é baseado em imagens e conseqüentemente mais difícil de instanciar relacionamentos, a não ser que sofra um pré-processamento. Dessa forma, o dado no formato vetorial é geralmente usado para manipulação, enquanto o formato raster é mais usado para a visualização.

Os dados topológicos são raramente armazenados explicitamente devido a sua grande cardinalidade, entretanto esses dados, geralmente, podem ser derivados dinamicamente.

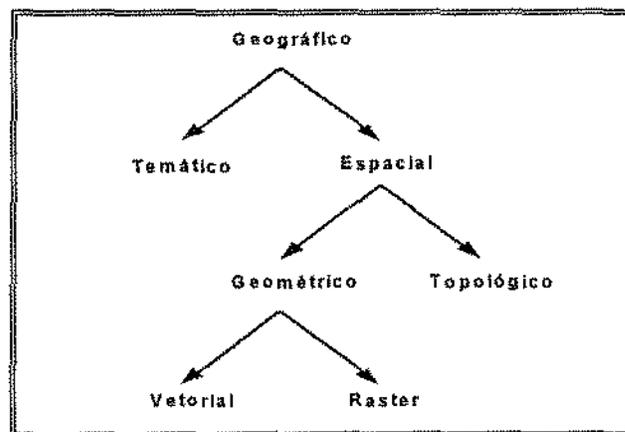


Figura 4.3 Classificação dos dados geográficos.

Quanto ao **tamanho dos dados**, os tipos de dados utilizados em aplicações convencionais têm dimensão nula. Na prática, o que importa é a quantidade de memória a ser alocada a esses dados. Por exemplo, um inteiro simples necessita de bem menos espaço que um tipo real de precisão dupla. Normalmente, para esses dados são utilizadas estruturas de dados primitivas.

Nas aplicações não convencionais, onde os dados básicos são os pontos, linhas e regiões, esses são divididos em duas categorias: pontos e aspectos de tamanho não-zero. No âmbito da carta náutica, os aspectos de tamanho não-zero podem ser **grandes**, como regiões de terra e mar; **médios**, como ilhas, lagos e rios ou podem também ser **pequenos**, como faróis, bóias e outros símbolos. Várias estruturas de dados foram desenvolvidas para suportar esses diferentes tamanhos de dados, como as R Tree, K-d tree, Grid File, Point Quadtree, Spatial Quadtree e suas variações.

Quanto à **distribuição dos dados**, encontramos nas cartas náuticas conjuntos de dados distribuídos de forma uniforme, como a batimetria (medida de profundidades), onde os pontos com valores de profundidades são regularmente distribuídos. Por outro lado, as ilhas são normalmente encontradas agrupadas em determinadas regiões ou isoladas aleatoriamente. Esse aspecto influencia a eficiência das estruturas de dados, por exemplo, em relação às buscas. Em um conjunto ordenado e uniforme, normalmente as buscas demandam tempo da ordem de $O(\log n)$. Entretanto, para essa mesma operação, outras distribuições podem demandar tempo linear, da ordem de $O(n)$.

Em relação à **dinâmica dos dados**, as estruturas podem ser classificadas em estáticas ou dinâmicas. O que influencia o desempenho das estruturas de dados em função dessa característica é a necessidade ou não de se rebalanceá-las periodicamente. Isso é necessário para evitar a degradação progressiva do seu desempenho devido as operações de inserção e exclusão de elementos nas mesmas. Neste contexto, **Estruturas Dinâmicas** são aquelas onde estão intercaladas operações de inserção e remoção de dados com operações de busca. Esse tipo de estrutura de dados caracteriza-se por permitir modificações na composição do conjunto de dados que representa. Nesse caso, o conjunto de dados varia em relação ao número de elementos e também em relação aos valores desses elementos. As operações de inserção, remoção e atualização de elementos modifica o tamanho e disposição da estrutura de dados. A maioria das estruturas de dados espaciais são dinâmicas, como as SKD tree, Radix tree, Heaps, Hash Tables e suas variações [CLR90], embora encontremos estruturas espaciais estáticas, como as derivadas das árvores binárias.

As **Estruturas Estáticas** são aquelas que não necessitam ser rebalanceadas, pois no seu conjunto de dados não estão previstas inserções ou remoções frequentes de elementos, embora possam ocorrer eventuais atualizações. As operações mais comuns nessas estruturas são as buscas. O número de elementos no conjunto não se modifica, mas apenas seus valores. O tamanho dessas estruturas permanece, então, constante. Computação numérica em ciências e em engenharia que lidam com álgebra linear e computação de matrizes são exemplos de aplicações de conjuntos estáticos. Matrizes são exemplos de estruturas de dados estáticas : os valores mudam, mas seu tamanho e forma raramente modificam-se. Outros exemplos de estruturas estáticas são : Arrays, Quadtrees e KD trees.

Um exemplo de tipo de dado nesta aplicação, que determinará a utilização de um ou outro tipo de estrutura, é aquele relativo à batimetria. O conjunto de dados relativos à batimetria caracteriza-se por ser basicamente estático, pois, a partir de sua definição, são construídas as cartas náuticas. O número de pontos sondados em uma determinada região para a confecção de uma carta náutica é previamente estabelecido em função da escala desejada e permanece fixo a partir de então. Eventuais mudanças podem ocorrer nesse conjunto de dados por ocasião de atualizações nas cartas náuticas, quando novas sondagens podem ser realizadas. Isso ocorre principalmente em regiões mais críticas, como em canais de acesso a portos. Normalmente novas cartas ou trechos das mesmas são construídos a partir desses novos dados, formando-se então um novo conjunto de dados, que também será estático para a nova carta.

4.3. Estruturas de Dados Espaciais

As estruturas de dados mais diretamente relacionadas com o nosso trabalho são, naturalmente, as estruturas de dados espaciais. Essas estruturas são assim designadas devido aos seus tipos de dados básicos. Aplicações convencionais (não espaciais) têm como tipos de dados básicos as cadeias de caracteres ("strings") e números, enquanto aplicações não convencionais (espaciais) têm como tipos de dados básicos pontos ou sólidos em n-dimensões e imagens, além dos dados convencionais.

Aplicações cartográficas têm como tipos de dados básicos pontos, linhas e polígonos, normalmente no espaço bi ou tridimensional, para representar suas feições : contornos, linhas, polígonos e símbolos, que são bastante irregulares.

Em teoria, as estruturas de dados convencionais também têm condições de suportar aplicações espaciais. Algoritmos para a determinação dos relacionamentos espaciais entre os dados, como sobreposição, adjacência, intersecção e proximidade utilizam determinados artifícios que resolvem o problema. Entretanto, o desempenho dessas estruturas é bem inferior, além das dificuldades da utilização do banco de dados pelos usuários, exigindo-se um conhecimento intrínseco da definição do esquema devido às diversas relações existentes para a representação dos dados espaciais [Cox91].

As estruturas de dados espaciais têm evoluído sob a influência de vários fatores : 1 - tecnologia de bancos de dados, com ênfase em modelagem e organização lógica; 2 - a longa história do desenvolvimento das estruturas de dados em resposta aos requerimentos de outras aplicações; 3 - o recente e rápido progresso em geometria computacional, onde foram identificadas consultas típicas e padrões de acesso a dados espaciais [Nie89].

A gerência e a manipulação dos dados espaciais vêm sendo realizadas atualmente por Sistemas de Informações Geográficas (SIG). Eles suprem as necessidades de gerenciamento de recursos naturais (como agricultura, pecuária e ecologia), gerenciamento urbano (como rede de telefonia, tráfego viário e de energia), gerenciamento costeiro (batimetria, perfis de praia), acústica submarina

(velocidade do som na água, gradientes, propagação) e muitos outros. Os aspectos a serem normalmente considerados nesse contexto são :

- 1 - o dado representa entidade em algum espaço Euclidiano d -dimensional k^d ;
- 2 - entidades são acessadas normalmente através de sua localização espacial; e
- 3 - estruturas são mais complexas que a dos dados convencionais.

Os SIG são sistemas que possuem diversos graus de sofisticação, com funcionalidades necessárias para a manipulação e a gerência de dados espaciais, o que inclui : captação e entrada de dados, gerenciamento da base de dados espaciais, transformações de dados espaciais para permitir sínteses e análises, apresentação de dados e geração de relatórios (gráficos ou textuais) [Cox91].

4.3.1. Grupos de Estruturas de Dados Espaciais

Consideraremos basicamente três grupos distintos de estruturas de dados espaciais:

- **derivadas de árvores binárias** : aquelas estruturas que estendem o funcionamento das árvores binárias, caracterizando-se por terem nós de baixo “fan-out”², serem predominantemente estáticas e pouco adequadas para o gerenciamento de dados em memória secundária por causarem várias “page-faults”³.

- **derivadas de estruturas “hash”** : aquelas estruturas que foram projetadas exclusivamente para o gerenciamento de dados em memória secundária, dispostos em páginas de disco denominadas “buckets”. Essas estruturas provêm um mapeamento dos dados no espaço multidimensional para os “buckets” onde são armazenados (espaço unidimensional). Na prática, elas podem ser caracterizadas por dividirem um conjunto de dados em grupos, de forma que a busca de um determinado elemento pode ser realizada apenas dentro do grupo a que ele pertence [Cas73].

- **derivadas de “multiway tree” (árvores multiárias)** : aquelas estruturas onde, a partir de um determinado nó, existem mais que dois caminhos possíveis de serem percorridos. Enfim, é uma generalização de uma árvore binária de pesquisa.

4.4. Análise de Eficiência de Estruturas de Dados

Para a análise da eficiência de estruturas de dados, os processos que constituem o conjunto de operações para a sua coleção organizada de dados são avaliados. Alguns exemplos de processos são : inserção de um novo elemento na estrutura, busca de um elemento e eliminação de um elemento.

² número de apontadores ou filhos de um nó.

³ ocasionam requisição de páginas que não estão na memória.

“A eficiência de um processo é seu custo total relativo” [RH83]. Eficiência é sempre uma medida relativa. Os parâmetros para se medir a eficiência de estruturas de dados são definidos normalmente através de duas abordagens :

- 1 - quantidade de memória utilizada; e
- 2 - tempo de execução do programa

A quantidade de memória utilizada varia em função de diversos fatores, como tipo de dado, implementação específica e tipo de memória utilizada. O tempo de execução do programa varia em função dos tipos de consultas realizadas na estrutura. No âmbito da presente aplicação, consideramos que o fator mais importante é o tempo de execução do programa. Essa escolha justifica-se pelo fato do sistema ser concebido para realizar operações em tempo real e também devido à tecnologia de memórias hoje existente, com um preço relativamente acessível em relação ao **volume de dados X capacidade de armazenamento e custo X unidade de informação armazenada**. Essas memórias também apresentam altas taxas de recuperação dos dados. Evidentemente, o comportamento dos programas varia em função dos fatores acima citados, como também em relação aos valores, tamanho, distribuição, dinâmica e formato dos dados. Outras medidas de custo também utilizadas são : tempo de pré-processamento da estrutura e tempo de atualização.

Utilizando-se como medida de custo de algoritmos o tempo total despendido na sua execução, três situações são correntemente utilizadas para essa medida :

- melhor caso
- caso médio
- pior caso

À luz da análise detalhada da aplicação, escolhe-se uma ou outra situação. Não obstante, o custo de um algoritmo não é necessariamente a sua única medida de eficiência.

Na Carta Náutica Eletrônica proposta, consideramos que o **pior caso** seja a situação mais adequada a ser considerada. O tipo de operação a ser realizada sobre as imagens no processo de navegação constitui-se normalmente de um grupo reduzido e bem definido de operações básicas que devem, principalmente, prover segurança a esse processo. Nesse âmbito, o tempo de execução das funções do sistema é considerado um fator de segurança da navegação. Qualquer outra operação além daquelas consideradas básicas pode tolerar um custo de tempo maior, pois será classificada como não básica para a segurança da navegação.

Para ilustrar a determinação do custo de algoritmos, definiremos duas operações de busca em uma estrutura tipo lista [RH83].

A busca seqüencial pode ser descrita pelo seguinte algoritmo :

```
procedimento busca_lista(z,i) retorne booleano
  i ← 1
  enquanto i ≤ nr_de_elementos e lista[i] ≠ z faça
    i ← i + 1
  fim enquanto
retorne (i ≤ nr_de_elementos) { true : z está na lista. false : z não está na lista }
```

Assumindo que a probabilidade p_i de encontrar um elemento qualquer na lista seja $1/\text{nr_de_elementos}$, o custo c_i para encontrar o i -ésimo elemento é proporcional a i e o número esperado E de avaliações booleanas pode ser estabelecido como [RH83] :

$$E = \sum p_i c_i = \sum (1/n) i = 1/n \sum i \quad (1 \leq i \leq n)$$
$$= (n + 1) / 2$$

Podemos concluir que, na busca seqüencial em uma lista com n elementos, esse algoritmo pode despendar tempo de $O(n)$.

Um outro exemplo de busca é a busca binária que pode ser descrita pelo seguinte algoritmo :

```
procedimento busca_lista(z,i) retorne booleano
  l ← 1
  h ← nr_de_elementos
  encont ← false
  enquanto l ≤ h e não encont faça
    m ← [(l + h) / 2]
    xm ← lista[m]
    caso
      xm < z : l ← m + 1
      xm > z : h ← m - 1
      xm = z :
        i ← m
        encont ← true
    se não encont então
      i ← l
    fim Se
  fim enquanto
retorne encont
```

Neste caso, o conjunto de n elementos ordenados será recursivamente dividido até se chegar ao n -ésimo elemento. O custo desta divisão recursiva é $O(\lg_2 n)$.

A tabela 4.1 ilustra os custos dessas buscas em função do tamanho n da entrada.

nº de elementos	n	10	20	100	200
busca seqüencial	$n/2$	5	10	50	100
busca binária	$\lg_2 n$	4	5	7	8

Tabela 4.1 Custos de algoritmos para diferentes técnicas de busca.

A ordem de grandeza do custo da busca seqüencial em relação à busca binária, por exemplo, pode ser avaliada a partir dos dados da tabela 4.1 apresentada. Pode-se também inferir que para um conjunto de elementos da ordem de 10^5 pontos, por exemplo, essa diferença pode significar a viabilidade ou não da implementação de uma determinada técnica.

4.5. Principais Estruturas de Dados Espaciais

Na literatura encontram-se dezenas de estruturas de dados desenvolvidas para as mais diferentes finalidades, atendendo requisitos dos mais variados. Alguns exemplos dessas estruturas serão apresentados a seguir a título de ilustração, com considerações acerca de seu funcionamento.

Árvore Binária de Busca : apresentada em [Knu73], é mais utilizada em memória principal, pois em memória secundária apresenta uma baixa utilização do espaço de armazenamento, causando fragmentação da informação e apresentando baixo desempenho. É uma estrutura de dados estática.

KD Tree : derivada da árvore binária de busca, com a diferença que, em cada nível, discrimina uma dimensão. É eficiente para “range queries” e sua utilização também se restringe mais à memória principal pelos mesmos motivos já apresentados. É também uma estrutura estática [Ben75].

MX-CIF Quadtree : efetua uma decomposição regular do espaço. É adequada para representar coleções de pequenos retângulos. Não suporta bem as “range queries”. MX é devido a “matrix” e CIF advém de “Caltech Intermediate Form” [Sam90].

QuadTree : derivada das árvores binárias, é utilizada para representar pontos ou o espaço bidimensional, particionando-o recursivamente em quatro quadrantes, o que implica na existência sempre de 4 nós filhos. Possui, ainda, diversas variantes, em função de vários aspectos, como tipo e tamanho de dado que representa. É também uma estrutura de dados basicamente estática [Sam90]. Quando utilizada para representar pontos recebe a denominação de Point Quadtree e, para representar o espaço bidimensional, é designada Region Quadtree.

Octree : possui o mesmo princípio de funcionamento da quadtree, com a diferença de ter sido desenvolvida para representar o espaço tridimensional. Ou seja, é uma generalização das KD Trees para 3 dimensões [Fil94, Sam90].

Range Tree : baseada na árvore de segmentos, onde um domínio linear é particionado hierarquicamente. Cada partição do domínio corresponde a um nível em uma árvore de segmentos. Essas últimas são utilizadas pelas “Range Trees” para realizar buscas em várias dimensões [Ben80, Fil94].

R Tree : apresentada em [Gut84], é uma generalização das árvores binárias, onde, a partir de cada nó, mais de dois caminhos são possíveis de serem seguidos. São bastante adequadas para gerenciamento de dados em memória secundária, com economia na utilização do espaço de armazenamento. É bastante eficiente para “range queries”, tendo um dos melhores desempenhos entre as estruturas de dados. É uma estrutura dinâmica e utiliza a estratégia MBR⁴.

Grid File : proposta por Nievergelt [NHS84], associa os dados às páginas de discos através de um mapeamento. Para isso, realiza uma divisão do espaço k-dimensional onde estão os dados, em um conjunto de retângulos de k-dimensões. Esse espaço dividido é então chamado de “Grid Directory”.

No próximo capítulo, discutiremos o processo de aquisição dos dados do sistema, abordando as fases de pré-processamento e processamento dos mesmos. Serão dados alguns enfoques sobre imagens raster, seguidos da apresentação de formatos de dados para SIG, correlacionamento da posição geográfica e esquemas de representação de imagens, bem como o processo de reconstrução das mesmas.

⁴ estratégia para representar objetos de formas irregulares. Cada objeto é representado pelo menor retângulo k-dimensional que consegue contê-lo em sua totalidade [Cox91].

5. Uma Análise da Aquisição e Processamento dos Dados de Imagens de Cartas Náuticas.

5.1. Introdução

Antes dos dados estarem disponíveis para serem manipulados pelo sistema, deverão sofrer um tratamento adequado visando sua utilização efetiva. O objetivo desse tratamento é adequar os dados ao processamento a que serão submetidos posteriormente.

A adequação dos dados ao sistema dá-se, basicamente, em três fases :

- 1 - digitalização;
- 2 - pré-processamento; e
- 3 - processamento.

A fig. 5.1 ilustra essas 3 fases, mostrando também o processo paralelo de entrada de dados convencionais do sistema, como as informações de manuais e informações sobre a simbologia da carta náutica.

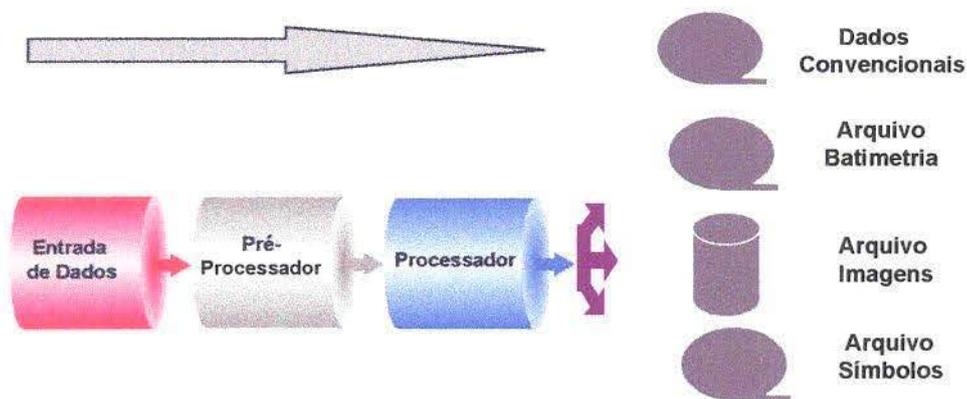


Figura 5.1 Fases de tratamento dos dados no sistema.

Nessas fases, será levada em consideração a forma como os dados captados serão manuseados e como serão derivadas das imagens digitalizadas as informações necessárias a nossa aplicação específica. Os processos ocorridos em cada uma dessas fases serão descritos seqüencialmente neste capítulo.

5.2. Entrada dos Dados

As cartas náuticas impressas constituem a base de dados do sistema. Essas deverão ser digitalizadas através de dispositivos do tipo "scanner". As vantagens de se usar esse processo, comparado à digitalização em mesas digitalizadoras, por exemplo, são a maior simplicidade, maior rapidez e custos relativos menores. Além desses fatores, esses dispositivos oferecem bons resultados na digitalização das cartas náuticas, reproduzindo com fidelidade todos os seus aspectos. A maior dificuldade desse método está na precisão e correlação da posição geográfica das componentes da imagem [PM90, SE90], abordada em 5.5.2.

Os dispositivos de leitura ótica tipo "scanner" possibilitam, ainda, a obtenção de imagens com diferentes resoluções¹, o que flexibiliza sua posterior manipulação por parte de funções de PDI.

Na utilização de mesas digitalizadoras, o processo de digitalização implica na seleção de pontos a serem representados, causando uma aproximação na representação dos pontos intermediários não digitalizados. Esse problema é ilustrado na fig. 5.2, onde pontos de um polígono foram escolhidos para serem digitalizados. O problema da aproximação feita desse polígono pode ser percebida na ilustração. Esse problema somente poderia ser solucionado se uma quantidade de pontos bem maior fosse utilizada para representar o polígono considerado, elevando os custos da digitalização.

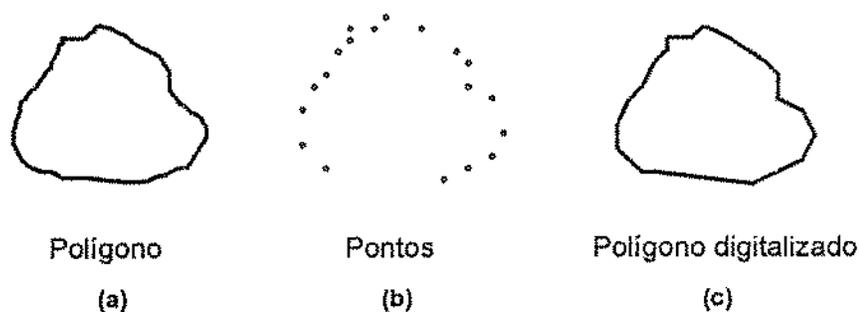


Figura 5.2 Pontos (b) de um polígono (a) selecionados para digitalização (c).

No manuseio desses dados pictoriais, é necessário definir claramente quais características específicas são importantes e, portanto, deverão ser preservadas no processo de digitalização. As imagens de cartas náuticas assim obtidas deverão possuir as seguintes características, a serem preservadas durante o processo de digitalização :

¹ neste contexto, é a quantidade de pontos por polegada quadrada [dpi].

- **Orientação Norte-Sul** - para possibilitar uma correspondência entre as coordenadas geográficas e as posições relativas das diferentes componentes da imagem, o processo de digitalização deverá garantir que os meridianos da imagem estejam posicionados verticalmente, assim como os seus paralelos devem estar posicionados horizontalmente. Essa característica depende dos cuidados no momento de se posicionar a carta náutica a ser digitalizada e da qualidade do hardware e software utilizados para essa finalidade, que deverão evitar ou corrigir quaisquer distorções na imagem;

- **Caráter Multiespectral** - as cores originais existentes nas cartas náuticas deverão ser preservadas, distinguindo, além das regiões que representam, toda a sua simbologia. Normalmente 16 cores, incluindo o preto e o branco são julgadas necessárias e suficientes para satisfazerem essa exigência. Equipamentos de digitalização que atendam esse requisito são facilmente encontrados no mercado atualmente;

- **Resolução** - para representar os dados do mundo real utilizando-se o formato raster, um dos maiores problemas que se observa é, justamente, a precisão. Para se conseguir uma boa representação das propriedades geométricas das entidades do mundo real, como o seu contorno, por exemplo, uma aproximação deverá ser feita, caso esse contorno não coincida com o formato e tamanho dos pixels utilizados para representá-lo. Uma solução para esse problema é aumentar a resolução, isto é, cada pixel representará uma área menor do mundo real. Considera-se que um ponto no mundo real deva ter o pixel de tamanho máximo igual à metade desse ponto para representá-lo de forma aceitável [Cif95]. Devido a necessidade de uma representação adequada dos dados reais, a resolução a ser utilizada na digitalização dessas imagens, assim como a sua captação e exibição na TG, é um dos muitos problemas considerados pela OHI. É oportuno lembrar que não se obtém vantagens em gerar imagens com resoluções altas se a tela não tiver capacidade compatível para apresentá-las.

- **Outras Propriedades** - no processo de digitalização, não devem ser introduzidos quaisquer outras variáveis que possam modificar as propriedades da imagem original. Os principais aspectos a serem considerados nesse sentido são a distorção, a conexidade de pontos vizinhos, o tamanho das células utilizadas no formato raster (pixels) para representar os dados e, ainda, a resolução utilizada na digitalização.

A entrada dos dados textuais relativos às informações da simbologia da carta náutica, por exemplo, e que estejam disponíveis em manuais e em outras publicações é representada pela seta maior na fig. 5.1. Esta representação indica que este processo é paralelo e independente dos processos existentes nas fases de tratamento da imagem.

Neste contexto, utilizamos o termo *aspecto* como referência a quaisquer partes, símbolos e regiões representados nas cartas náuticas impressas. Os termos *entidade* e *feição* referem-se aos elementos do mundo real, como ilhas, contornos, terra e sinalização náutica que estejam representados nas cartas náuticas. O termo *componente* é utilizado para esses mesmos elementos quando nos referirmos às cartas náuticas digitalizadas (imagens das cartas náuticas impressas).

5.2.1. A Função Imagem

Uma imagem consiste na representação bidimensional do espaço. Quando esse espaço é dividido em células, estas são designadas pelo termo *formato raster*. Cada uma dessas células corresponde a uma área específica do espaço geográfico e é denominada pixel (de “picture element”) ou ponto. Dessa forma, cada célula representa uma porção do espaço. As células consideradas e denominadas pixels normalmente são as que têm formato regulares, como as células quadradas e retangulares, fig. 5.3 e fig. 5.11, mas também existem células nos formatos triangulares e hexagonais, embora sejam de uso menos comum [PM90].

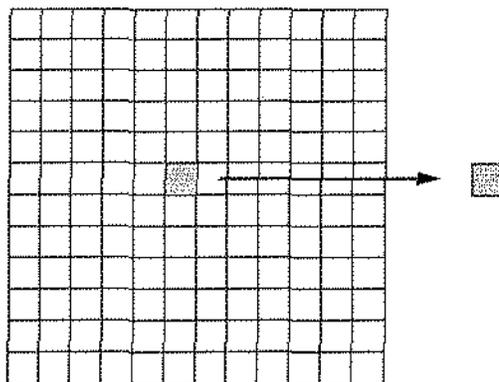


Figura 5.3 Espaço dividido em células quadradas.

O valor representado por cada um dos pixels individualmente é interpretado como o seu brilho. Nesse contexto, uma imagem é representada por uma função $f(x,y)$. O valor dessa função define o brilho (k-tuplas de valores) da imagem. Para uma imagem binária, esses valores podem ser 0 ou 1, indicando o preto e o branco, respectivamente. Para imagens na escala de cinza, esses valores podem variar entre 0 e 255, por exemplo. Para imagens coloridas, utiliza-se geralmente a função RGB (“Red-Green-Blue”), onde uma combinação de intensidade de cada espectro resulta em diferentes cores. Cada cor básica do espectro tem seus valores variando entre 0 e 255 [RK82].

A matriz da fig. 5.4 ilustra a representação de uma imagem $f(m,n)$, onde m varia de 1 ... M e n varia de 1 ... N . Os pontos dessa imagem constituem as suas células. A estrutura de dados mais comumente empregada para representar esses dados é a matriz, pois ela permite a obtenção da posição relativa de cada pixel na imagem. Além desse fator, permite o acesso individual a cada pixel e a aplicação direta e intuitiva dos conceitos de vizinhança 4-conectada e 8-conectada, fig. 5.5.

$$\begin{array}{l}
 \text{imagem } f(m,n) \\
 m : 1 \dots M \\
 n : 1 \dots N
 \end{array}
 \quad [F] = \begin{pmatrix}
 f(1,1) & f(1,2) & \dots & f(1,N) \\
 f(2,1) & & & \\
 f(3,1) & & & \\
 \dots & & & \\
 f(M,1) & & \dots & f(M,N)
 \end{pmatrix}$$

Figura 5.4 Imagem $f(m,n)$ representada por uma matriz.

A vizinhança 4-conectada de um ponto considera seus vizinhos nas direções norte-sul e leste-oeste, fig. 5.5a. A vizinhança 8-conectada de um ponto considera, além das direções da vizinhança 4-conectada, as direções nordeste-sudoeste e noroeste-sudeste, fig. 5.5b.

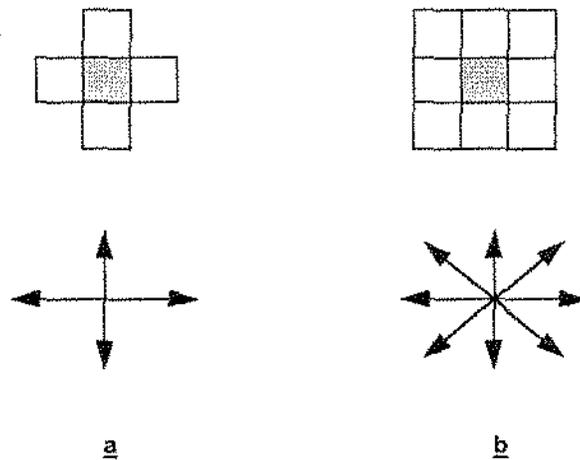


Figura 5.5 Vizinhança 4-conectada (a) e 8-conectada (b).

Somente através da aplicação das funções de PDI, aspectos isolados dessas imagens podem ser obtidos quando necessário. Por exemplo, os contornos e as linhas da costa podem ser obtidos através da segmentação das diferentes componentes da imagem.

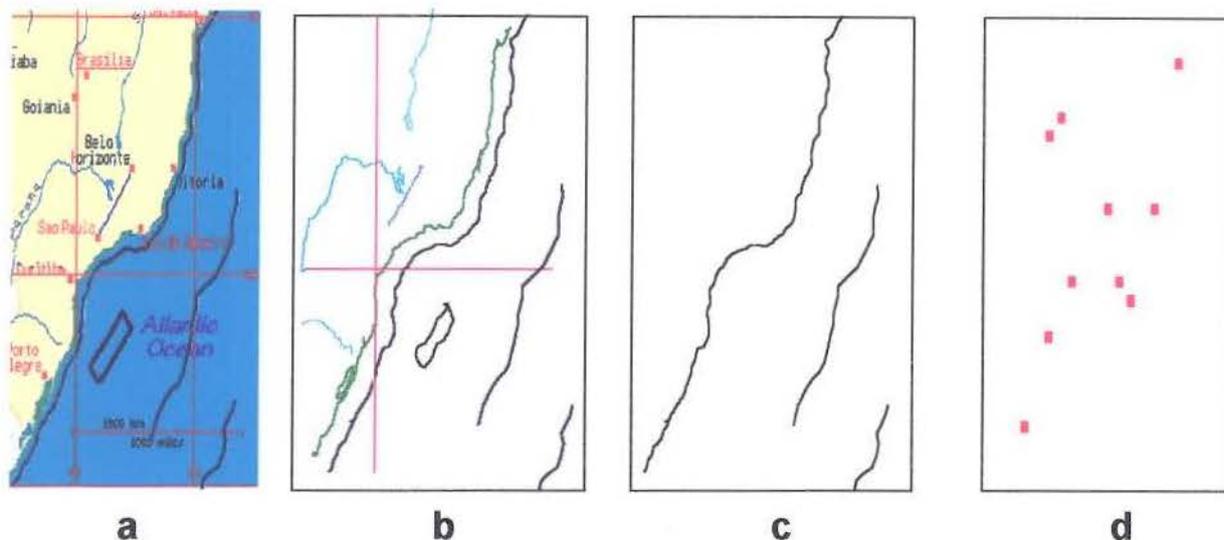


Figura 5.6 Diferentes componentes da imagem segmentadas e exibidas separadamente.

A fig. 5.6 ilustra algumas opções de visualização na TG das imagens na base de dados. Em **a**, é apresentada uma parte de uma carta náutica; em **b**, são mostrados os contornos e linhas; em **c**, são exibidas as linhas isobatimétricas e em **d**, é exibida parte da simbologia da imagem.

5.2.2. Representação Raster

Muitos autores consideram que os dados para a carta eletrônica deverão estar no formato raster, possibilitando a construção dinâmica das cartas na TG à medida que a embarcação se movimenta, através da recuperação das imagens dessas cartas na base de dados.

Na representação raster, a extensão espacial de uma entidade é representada por pixels [GB90]. Além da qualidade de exibição das imagens, da aquisição relativamente barata e simples, o formato raster permite que todos os detalhes existentes nas cartas náuticas sejam preservados e exibidos na TG, mantendo a qualidade e a quantidade suficientes de informações que garantam a segurança da navegação.

O formato de dados raster vem difundindo-se cada vez mais em função de novas tecnologias para a aquisição de dados para SIG aliadas à redução de seus custos. Esses sistemas caracterizam-se por aceitar uma ampla variedade de tipos e formatos de dados como entrada e é um dos campos em que ocorrem os maiores problemas operacionais [SE90].

Uma das fontes de dados para SIG é a tecnologia de sensoriamento remoto, atualmente produzindo um volume considerável de dados raster, da ordem de terabytes/dia, com utilização em diversas áreas de aplicação além de SIG. Aerofotogrametria, scanner multiespectral, satélites meteorológicos, satélites do projeto Landsat e satélites do programa Seasat são alguns exemplos de fontes de dados hoje disponíveis [Cam⁺92, EEB89, SE90].

Vários projetos hoje em andamento, como o SEQUOIA 2000 [AS94], envolvem um grande volume de dados raster. Esses são provenientes principalmente de imagens satélites, abrangendo diferentes bandas espectrais. Nesse projeto, sensores como o AVHRR (“Advanced Very High Resolution Radiometer”) possuem vários canais para realizar medidas em diferentes comprimentos de ondas. Além dessa variedade de canais, dados com diferentes resoluções são produzidos.

Técnicas modernas para visualização de terreno atualmente integram diferentes áreas, como Sensoriamento Remoto, PDI, SIG e Computação Gráfica, construindo mapas raster multiresolução. Para destacar os pontos de maior interesse, essas técnicas procuram obter um contraste através da utilização de imagens montadas (mosaicos) com regiões em diferentes resoluções [Gra⁺94].

Não obstante, o formato raster apresenta algumas desvantagens :

- 1 - o dado raster depende de uma projeção específica. Assim, problemas ocorrem quando são combinados mapas raster de diferentes fontes;
- 2 - um banco de dados independente de escala não pode ser construído usando essa representação;
- 3 - aspectos nos mapas raster normalmente não são manipulados individualmente. Dessa forma, um suporte através de estruturas de dados é mais difícil;
- 4 - a geometria de entidades fica restrita aos limites das células; e
- 5 - adicionalmente, dados raster são bem mais volumosos.

5.2.3. Formatos de Arquivos em SIG

Existe uma variedade enorme de formatos de arquivos de exportação para programas SIG, Tabela 5.1, que muitas vezes apenas confundem ou dificultam os usuários em suas aplicações [Bra93]. Isto porque não há, até o momento, um padrão único de formato para estes arquivos, o que dificulta a troca de dados entre os diferentes sistemas. Normalmente, cada serviço hidrográfico adota o padrão utilizado pelo fabricante dos equipamentos e softwares que utiliza.

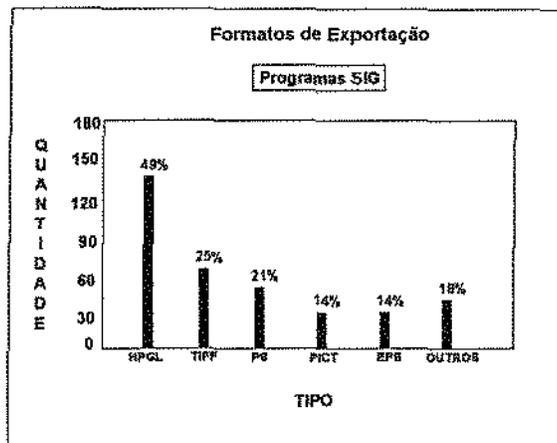


Tabela 5.1 Formatos de exportação de arquivos para SIG.

A tabela 5.1 ilustra a quantidade de formatos mais utilizados em programas para SIG, fruto de uma pesquisa realizada pela International GIS Sourcebook em 1993 [Bra93].

Além desses formatos, outros comumente encontrados são : ARC/INFO Export Format, ASCII File, Digital Line Standard Format (DLG), Auto CAD Drawing Exchange Format, GRASS Format e Interactive Graphic Design System Format [Int95].

Não obstante, para se desenvolver uma carta náutica eletrônica que manipule as informações de todo o globo e que permita o intercâmbio de dados entre os países componentes do sistema, há a necessidade de se adotar um padrão, visando homogeneizar todos os bancos de dados cartográficos para uso na carta náutica eletrônica, ou garantindo que os formatos dos mesmos sejam facilmente convertidos um para o outro. Essa iniciativa partiu do órgão internacional responsável pelo projeto da carta náutica eletrônica, a OHI (Organização Hidrográfica Internacional), através da criação do Comitê de Intercâmbio de Dados Digitais (CEDD : Committee for Exchange of Digital Data), cujo padrão estabelecido de formato dos dados deveria ser experimentado no denominado Projeto Mar do Norte [Mig90].

No desenvolvimento do banco de dados cartográfico regional para o Projeto Mar do Norte, em 1987, no total 18 cartas náuticas de portos e aproximações e 12 cartas oceânicas foram digitalizadas, produzindo o primeiro banco de dados cartográfico eletrônico internacional.

Um dos objetivos principais desse projeto foi o de padronizar o formato de digitalização, pelo uso do formato sendo criado pelo CEDD.

Entretanto, o trabalho do CEDD ainda estava em andamento por ocasião do Projeto Mar do Norte e, embora algumas tentativas de usar seu formato tenham sido feitas, a maioria dos participantes usou seus próprios formatos nacionais por julgarem que o trabalho do CEDD ainda estava incompleto. Assim, a troca de dados entre esses bancos de dados não foi possível, ficando cada país responsável pela compilação dos dados e implementação da carta náutica eletrônica de suas respectivas regiões de responsabilidade.

Esse aspecto do formato de digitalização dessas cartas náuticas apresentado pela OHI, é apenas o começo, sendo necessário também padronizar outros aspectos, como cores e símbolos. Considera-se que até a primeira década do próximo século esses problemas ainda não estarão completamente resolvidos. Tais aspectos serão usados principalmente para quando, num futuro próximo, for criado um banco de dados cartográfico regional para a carta náutica eletrônica abrangendo, por exemplo, a costa atlântica da América do Sul e áreas adjacentes, incorporando-se depois outras áreas de interesse [ML88, Pas89].

Considerando-se que as cartas eletrônicas e os SIACE são sistemas recentes, torna-se difícil estabelecer critérios para escolher quais linhas de pesquisas são melhores ou piores e qual delas seguir.

5.2.4. Dados Obtidos do Processo de Digitalização

Como já visto, o processo de digitalização em “scanners” gera uma imagem onde a unidade básica de informação é a célula ou pixel.

Em função da resolução em que a imagem foi gerada, haverá um maior ou menor número de células por unidade de área na mesma. A estrutura de dados utilizada normalmente para representar esta imagem é a matriz, onde as células que a compõem representam intensidade de brilho.

Sob o ponto de vista de um SIG, esses dados podem ser acessados por diferentes chaves, que podem ser os seus atributos geométricos, como a sua localização. Sob o ponto de vista de Sistemas Pictoriais, o acesso aos dados é feito por rotinas de PDI, uma vez que as imagens são armazenadas de forma não analisada.

Nessa imagem, os atributos geométricos dos dados estão relacionados basicamente com a sua posição. A determinação da forma das entidades é feito através do agrupamento das células que a representam, com a utilização de funções de PDI. As relações espaciais (topologia) podem ser, da mesma forma, derivadas dinamicamente por funções de PDI. Os valores dos atributos não-geométricos dos dados, como textos e tabelas podem ser extraídos da imagem ou obtidos de outras fontes.

5.2.5. Dados dos Sensores

Uma grande diversidade de equipamentos eletrônicos para auxílio à navegação, com diferentes graus de sofisticação, estão disponíveis no mercado e são utilizados por diversos usuários em todo o mundo.

Esses equipamentos, que continuam em permanente aperfeiçoamento, com a incorporação de tecnologias mais recentes e que provêem maiores e melhores funcionalidades aos usuários, reúnem, ainda, informações de sensores diversos. Eles são utilizados pelas cartas eletrônicas que os integram com as informações da carta náutica, reunindo, para o usuário, as diversas informações necessárias, em um só módulo, através do SIN.

Os sensores mais comuns que podem ser utilizados são descritos sucintamente, a seguir, com enfoque sobre o tipo de dado que fornecem :

- **Radar** : através do retorno das ondas eletromagnéticas emitidas por esse sensor, são obtidas informações de distâncias de entidades. Seu emprego mais comum na navegação é para fornecer distâncias de terra e de outros navios. Esse sensor também indica a marcação² dos objetos, embora com menor precisão que a medição de distâncias dos mesmos. Uma vantagem desse sensor é a de poder ser utilizado em más condições de tempo, como em chuvas, neblina e à noite.

- **Anemômetro** : indica a intensidade e a direção do vento em relação ao rumo do navio e, por isso, são valores relativos. Para se obter os valores reais, ou seja, em relação ao norte geográfico, há a necessidade de se realizar cálculos vetoriais para a obtenção desses valores, onde são considerados o rumo e a velocidade do navio.

- **Ecobatímetro** : calcula a profundidade local através da medição do tempo despendido para o retorno de pulsos sonoros emitidos pelo sensor em direção ao fundo do mar.

- **Agulha Giroscópica** : esse sensor indica a direção e o sentido do norte verdadeiro.

- **Hodômetro** : indica a velocidade do navio em relação à massa líquida, ou seja, a velocidade na superfície. Caso haja uma corrente no local, para se obter a velocidade em relação ao fundo, deve-se considerar a direção, sentido e a velocidade da corrente, realizando-se cálculos vetoriais para a obtenção desses valores.

² é o azimute de um objeto medido do navio onde está o observador. Pode ser marcação verdadeira quando em relação ao Norte Geográfico ou marcação relativa, quando em relação ao rumo atual do navio do observador.

- **Loran** : é um sensor que, a partir de sinais recebidos de duas estações transmissoras diferentes em terra, determina a posição do navio em relação às mesmas. Como existe um grande número de estações em terra, é formada uma malha cobrindo todo o globo terrestre, servindo principalmente para grandes distâncias. Seu nome deriva das palavras **Long Range Navigation**.

- **Decca** : como o Loran, é um sensor que possibilita a determinação da posição do navio em função de sinais de onda de rádio emitidos por estações em terra. Entretanto, aqui são necessárias mais estações em terra para se determinar a posição.

- **Rádio Goniômetro** : é um receptor de ondas de rádio com a capacidade de indicar a marcação da origem dessas ondas. Assim, estações em terra originárias dessas emissões terão sua marcação determinadas e, através de triangulação, pode ser definida a posição do navio.

- **GPS** : é um sensor que, através da utilização de satélites, possibilita a obtenção da posição do navio. O princípio fundamental de funcionamento desse sistema, denominado Sistema de Posicionamento Global (Global Position System - GPS), é a medida de distâncias para alguns pontos conhecidos na superfície da terra. Nesse sensor, são indicadas as latitudes, longitudes e, quando utilizado em aeronaves, altitudes do receptor.

- **Sonar** : através do retorno dos pulsos sonoros emitidos na água quando os mesmos encontram um obstáculo, pode-se determinar as distâncias e marcações desses obstáculos, além de outras características dos mesmos. Seu emprego principal é na guerra anti-submarino e na guerra de minas.

Esses dados são processados pelo SIN (Sistema Integrado de Navegação), fig. 1.1, e enviados ao sistema (SIACE), através de interfaces adequadas, para posterior utilização.

5.3. Fase de Pré-Processamento das Imagens

O propósito dessa fase é garantir a qualidade das imagens obtidas pelo processo de digitalização. Os erros ocorridos nesta fase podem originar uma imagem de má qualidade, o que obrigará sua correção ou, eventualmente, nova digitalização [LRO94].

Todos os métodos de entrada de dados espaciais inserem algum tipo de erro na informação gerada e, posteriormente, utilizada para processamento, análise ou visualização. O tipo e a intensidade do erro inserido nesse processo determina a qualidade do dado espacial obtido. Outros fatores também são determinantes da qualidade desses dados, como o armazenamento, manipulação, conversão e os próprios procedimentos de controle de qualidade dos mesmos [Int95].

A necessidade de um pré-processamento das imagens advém das características peculiares da forma de obtenção das mesmas. A opção de se obter os dados a partir das cartas náuticas impressas, justificada pela qualidade com que as mesmas são confeccionadas e pela rapidez na transformação do dado analógico para dado digital, implica na utilização de sofisticados algoritmos associados aos equipamentos do tipo “scanner”.

Um dos problemas que surge é a deformação na imagem, problema esse já ocorrido devido à passagem dos dados do espaço **3D** para o espaço **2D**, fig. 5.7, quando foram parcialmente contornados pelo método de projeção (capítulo 2, item 2.3.1). Dessa forma, para se ter uma representação fiel dos aspectos do mundo real, deve-se evitar que novas deformações ocorram no processo de digitalização.

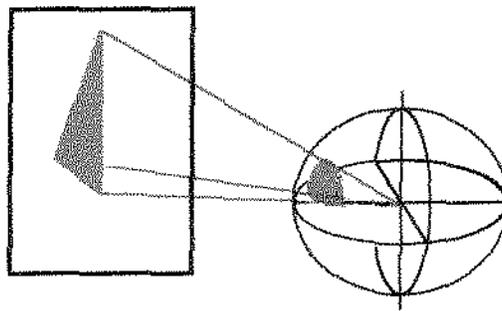


Figura 5.7 Retificação do espaço **3D** para o espaço **2D**.

Outros fatores a serem verificados para garantir a boa qualidade das imagens obtidas são a **acurácia** da posição dos dados da carta náutica, sua **completitude**, sua **exatidão** e **integridade**.

Nesse contexto, esses fatores são assim definidos :

- **acurácia** da posição é definida como a real correspondência entre os dados representados na imagem em relação à sua posição, forma e extensão e as entidades do mundo real. Esse fator é importante devido à utilização que se vai fazer da informação. Por exemplo, em um cabo telefônico submarino, tem-se o maior interesse na precisão de sua localização geográfica, para impedir, por exemplo, que navios possam fundear no local. Já em um cabo telefônico aéreo, o interesse maior é identificar, por exemplo, as suas conexões, como caixas, ramais e sub-ramais a que se liga;
- **completitude** dos dados pode ser definida como a medida da quantidade de componentes existentes na imagem analógica e na imagem digital, verificando-se a supressão de algumas dessas componentes ou a introdução de outras inexistentes originados durante o processo de digitalização.

- **exatidão** pode ser estabelecida como sendo a avaliação de quão bem os dados da imagem correspondem às entidades do mundo real como, por exemplo, a forma de uma ilha.
- **integridade** pode ser definida como sendo o relacionamento espacial entre os elementos de dados das cartas náuticas.

Para a verificação desses fatores e validação da imagem, pode ser prevista a participação do operador. Embora já existam softwares que possam verificar alguns dos fatores apresentados, sua alta complexidade limita a sua utilização [Int95, SE90]. Além dessa última consideração, avaliamos que um operador experiente possa apresentar resultados mais imediatos nesse trabalho, como tomada de decisão mais rápida, baseado em sua experiência [LRO94].

5.4. Fase de Processamento das Imagens

Para se proceder à análise de uma imagem, é necessário, inicialmente, identificar e isolar os diferentes componentes da mesma [RK82]. Uma imagem de uma carta náutica possui algumas componentes com uma padronização específica. Por exemplo, as linhas contínuas podem ser classificadas em finas, médias e grossas. Essas linhas representam limites de regiões homogêneas, servem como fronteira entre regiões diferentes, como as linhas da costa que separam regiões de terra de regiões do mar. Representam também contornos, tanto de símbolos quanto de regiões, como as ilhas. Apesar de desejável, essas linhas não têm sempre os mesmos atributos, os quais variam em função de sua utilização específica dentro da carta náutica. Torna-se necessário, então, que esse conjunto de atributos seja identificado para cada tipo de componente da imagem, bem como a maneira como interagem. Esse procedimento de classificação das diferentes linhas da imagem requer técnicas específicas de PDI.

A seqüência de algumas operações de PDI associadas à presente aplicação será abordada nos itens seguintes.

5.4.1. Detecção e Afinamento de Componentes da Imagem

As principais componentes da imagem que devem ser identificadas nesta fase são as linhas, os contornos das regiões, os caracteres alfanuméricos, a simbologia e a batimetria. O afinamento de parte dessas componentes tem o propósito de reduzi-las a um pixel de espessura. Essa operação facilita a sua posterior correlação geográfica, além de auxiliar no processo de segmentação, item 5.4.3. Várias técnicas para esses propósitos podem ser encontradas em [ACL75, AK87, DH72, JC92, LLS92, RK82].

Um exemplo de algoritmo para afinamento de uma imagem binária, com a utilização de máscaras de afinamento, fig. 5.8, representando configurações de pontos da borda possíveis de serem eliminados, pode ser descrito como :

```

início
  para cada uma das máscaras faça
    para cada ponto da imagem faça
      calcular  $F_M$ 
      se  $F_M$  então
        imageOut(x,y)  $\leftarrow$  0
      senão
        imageOut(x,y)  $\leftarrow$  imageIn(x,y)
      fim se
    fim para
  fim para
fim

```

Neste algoritmo, F_M é uma função lógica associada à máscara M_i , como :

$F_M = (1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 4) \cdot (\overline{5} \cdot \overline{6} \cdot \overline{7})$, onde o ponto (.) denota a operação booleana AND.

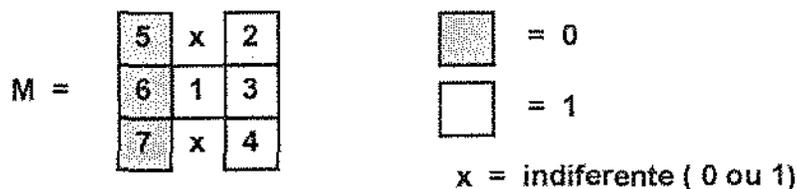


Figura 5.8 Exemplo de máscara para afinamento.

5.4.2. Segmentação das Componentes

Esta fase de decomposição da imagem em regiões, através da segmentação de suas diferentes componentes, visa possibilitar a escolha de um esquema de representação das mesmas, permitindo uma economia de espaço e facilidades de processamento. Aqui, uma imagem de uma carta náutica denotada por Σ , será particionada em uma coleção de subconjuntos S_1, \dots, S_m , onde a união de todos os $S_i = \Sigma$ e $S_i \cap S_j = \emptyset$ para todo $i \neq j$, onde $(1 \leq i \leq m)$.

Os principais aspectos a serem distinguidos nas cartas são :

1. áreas representativas de terra;
2. áreas representativas de mar;
3. áreas representativas de rios, lagos, lagoas e mangues;
4. textos e números;
5. símbolos (pontos, áreas, linhas, textos ...); e
6. linhas diversas e contornos.

Esses diferentes aspectos segmentados compõem os diferentes subconjuntos S_i da imagem.

Áreas representativas de terra são regiões normalmente extensas da imagem, com cores representativas em tonalidades verdes³, sobre as quais estão dispostos outros aspectos das cartas, como textos, números e símbolos. Devido à característica homogênea dessa região, é possível a utilização de esquemas de representação de regiões de forma econômica e eficiente para seu armazenamento no sistema, como veremos oportunamente.

A cor uniforme representando áreas do mar, normalmente com grande extensão nas cartas, permite que estas sejam consideradas como o “background” da imagem, formando outro subconjunto homogêneo de pixels.

Áreas representativas de rios, lagoas, lagos e mangues formam um terceiro subconjunto homogêneo de pixels da imagem, com cores na tonalidade azul³ representando essas regiões.

Textos e números são aspectos que conferem grande semântica à imagem, variando de cor, fonte e tamanho. Esses aspectos devem ser segmentados, correlacionados à sua posição geográfica e armazenados em memória secundária. Informações pontuais de profundidade e altitude, linhas isobatimétricas e curvas de nível utilizarão um modelo para serem representadas posteriormente nessas imagens, podendo então ser descartadas. Em seguida, o operador pode selecionar, através desse modelo, quais profundidades, linhas isobatimétricas ou curvas de nível deseja ter exibidas na TG.

Dois aspectos que deverão receber um tratamento bastante diferenciado e cuidadoso são a indicação isolada de altitudes na costa e as curvas de nível, pois a sua extração da imagem pode fazer enorme diferença ao usuário, uma vez que estas informações possibilitam um “sentimento” do terreno visível, facilitando, portanto, a determinação da posição relativa do usuário.

Entretanto, essas informações de altitudes estarão disponíveis ao usuário, juntamente com as informações de profundidades, através de um método aqui adotado para construir e exibir as curvas de nível e linhas isobatimétricas, além de exibir também informações isoladas de altitudes e profundidades, que é o Modelo Digital de Terreno, abordado, posteriormente, no capítulo 6.

³ essas cores não são padronizadas, podendo o leitor encontrar outras cores para representar esses mesmos aspectos.

Os símbolos constituem-se numa variedade de formas, cores e estilos. A adequabilidade desses símbolos que estão reunidos na Carta de Símbolos e Abreviaturas, para apresentação e visualização em sistemas eletrônicos como os SIACE, foi estudada pela empresa Universal Systems Ltda. através de um contrato com o Serviço Hidrográfico Canadense (CHS - Canadian Hydrographic Service) em 1987 [Mac⁺89].

As conclusões preliminares dessa pesquisa demonstram a necessidade de mudanças nas cores atualmente empregadas nas cartas impressas, visando evitar uma possível confusão na interpretação de aspectos, devido ao grande agrupamento dessas cores nas cartas impressas e também visando distinguir melhor os diferentes aspectos através do emprego de mais cores.

Os textos deverão ter o seu tamanho modificado, devendo ser pelo menos duas vezes maiores que os existentes nas cartas impressas, possibilitando uma leitura mais fácil dos mesmos na TG. Foi concluído também que esses textos não seriam normalmente apresentados, só sendo exibidos em função das necessidades correntes.

Alguns símbolos utilizados nas cartas impressas foram considerados inadequados para uso na carta eletrônica. O seu tamanho e forma, por exemplo, são inadequados, pois há que se estabelecer uma relação entre o tamanho e o nível de importância dos mesmos para exibição na TG. A mudança de escala durante a operação do sistema também requer uma adequação na apresentação dos símbolos, pois devido à escala utilizada os mesmos poderão tornar-se imperceptíveis ou com pouco destaque.

Finalmente, foi concluído que em função das limitações físicas da forma como os humanos percebem informações visuais do tipo símbolos, textos, tamanhos e cores utilizados nos SIACE, esses fatores precisam ser devidamente considerados na análise de projetos desses sistemas [Mac⁺89].

Como vimos, linhas da costa e linhas de contorno separam regiões, como terra e mar, terra e rios, entre outras. Há uma variedade considerável de linhas nas cartas, com diferentes estilos e espessuras [EN79]. Sobre o mar essas linhas representam pontos de mesma profundidade, como as linhas isobatimétricas, ou podem fazer parte de símbolos, como o setor de visibilidade⁴ de um farol, além de poderem representar o contorno de ilhas. Em terra, indicam pontos de mesma altitude, fazem parte da simbologia, como a de auto-estradas, estradas de ferro e contornos de regiões, como lagos.

A distinção clara de cada componente, o conjunto S a que pertence e suas características, é fundamental para possibilitar a sua representação em um determinado esquema. Por exemplo, pode-se utilizar o MAT (transformada do eixo medial), item 5.5.2, para representar a região que simboliza o mar, com grande economia de bits para a representação dos pixels que compõem essa região.

⁴ região geográfica limitada por um ângulo horizontal que é estabelecido a partir de um farol, dentro do qual o mesmo pode ser avistado do mar. O limite externo dessa região varia em função do alcance das luzes do farol.

Após essas componentes serem segmentadas e correlacionadas às suas respectivas posições geográficas, teremos uma imagem da carta náutica mais “limpa”. Consideramos, porém, que a imagem padrão a ser apresentada na TG é constituída de regiões de terra, mar, rios, lagos, lagoas, ... , os símbolos e, pelo menos, uma linha isobatimétrica de segurança que variará em função das características da embarcação. As informações textuais bem como linhas isobatimétricas com outros valores de profundidades, além de informações pontuais de profundidades e altitude, serão opcionais para o operador.

Consideramos, ainda, que um estudo mais específico e cuidadoso, visando avaliar a real contribuição prática das representações de forma generalizada nas cartas, principalmente em relação à simbologia, é de fundamental importância na transição do uso das cartas convencionais impressas para o ambiente dos computadores.

5.4.3. Correlacionamento da Posição Geográfica

A imagem obtida, por si só, ainda é muito pouco útil em termos de aplicação prática devido aos pixels não estarem correlacionados ao posicionamento geográfico. Assim, esse correlacionamento torna-se obrigatório, devendo ser conseguido através de um processo que garanta a manutenção da precisão da carta náutica original.

A fonte de dados para a digitalização, que são as cartas náuticas impressas, já possuem um sistema de coordenadas e um sistema de projeção para representar o espaço 3D. O estabelecimento, então, de pontos na imagem, correlacionados ao posicionamento geográfico, pode ser uma forma de se conseguir o posicionamento dos demais pontos, através de interpolação.

O método a ser utilizado, entretanto, para se obter esse correlacionamento, por um extremo pode considerar o correlacionamento de cada pixel da imagem, o que, à primeira análise, torna-se completamente inviável devido a grande quantidade desses pontos. Por outro extremo, pode-se apenas correlacionar os pixels correspondentes aos vértices da imagem e, através de interpolação, obter-se as posições dos pixels intermediários. Nesse âmbito, a imagem seria considerada como um “papel de parede” ou “quadro de fundo”, sobre o qual as operações seriam realizadas [Sco93].

Uma técnica bastante utilizada na prática é o registro das imagens, onde alguns pontos da mesmas são correlacionados à posição geográfica. Nas cartas náuticas, esses pontos permitem, através das equações diferenciais de Mercator [Bak75], a obtenção da posição geográfica de outros pontos da imagem.

Essa técnica é ilustrada na fig. 5.9, onde quatro pontos foram escolhidos para registrar a imagem. O estabelecimento desses pontos na imagem, denominados pontos de controle de terra (“Ground Control Points - GCP”) deverá obedecer critérios que possibilitem fácil acesso aos mesmos na carta náutica impressa ou no próprio terreno, permitindo a obtenção de suas coordenadas localmente. A tecnologia GPS, que permite a obtenção precisa de coordenadas geográficas de pontos na superfície da terra, já é utilizada para esse propósito [Int95]. Conhecidas as coordenadas dos GCP, essas podem ser associadas aos pixels que os representam na imagem ou mesmo servir para o controle de qualidade da mesma, uma vez que o correlacionamento da posição geográfica pode ser feito a partir de pontos estabelecidos na própria carta náutica impressa que serviu como fonte dos dados.

Na fig. 5.9 pode-se observar, a título de exemplo, os quatro GCP estabelecidos para registro da imagem e correlacionamento da posição geográfica dos seus pixels. Entretanto, é necessário também que os pixels pertencentes aos quatro vértices da imagem, fig. 5.10, tenham necessariamente a sua posição geográfica correlacionada. Isso deve-se à técnica de interpolação utilizada para a obtenção da posição de pixels intermediários da imagem. Esta técnica pode ser descrita da seguinte forma [Bak75] : todo e qualquer pixel da imagem deverá estar dentro de um intervalo de latitude e longitude cujos pontos extremos tenham suas posições conhecidas para se aplicar a interpolação. Considerando que os pontos P_1 , P_2 , P_3 e P_4 , fig. 5.10, correspondentes aos quatro vértices da imagem, são utilizados para o registro da imagem, eles têm a sua posição gráfica na imagem correlacionada à sua posição geográfica. A partir dos mesmos, a posição geográfica de um ponto qualquer P_n poderá ser estabelecida. Para isto poderemos considerar os intervalos de longitude $lg1$ e $lg2$ para a obtenção da longitude de P_n e os intervalos de latitude $lat1$ e $lat2$ para se obter a respectiva latitude, fig. 5.10. Esses intervalos correspondem às diferenças de longitude e latitude de P_n aos pontos P_1 , P_2 , P_3 e P_4 .

Para a obtenção das coordenadas do ponto P_n , entretanto, a utilização das equações de Mercator consideram as características específicas da projeção no processo analítico de construção da carta náutica. Isso significa, por exemplo, que a latitude de um ponto P_n situado à meia distância na carta náutica entre dois Pontos P_1 e P_3 não é a metade da soma de suas latitudes [Bak75, EN79].

5.5. Esquemas de Representação de Imagens

O propósito de se buscar um esquema de representação das imagens é a economia de espaço de armazenamento e a adequabilidade ao processamento. Uma vez que na fase de pré-processamento várias componentes, tais como textos e símbolos, são extraídas da imagem, deixando-as mais “limpas”, as regiões que permanecem nas mesmas, após esse pré-processamento, tornam-se bastante homogêneas. Estas regiões podem ser identificadas como :

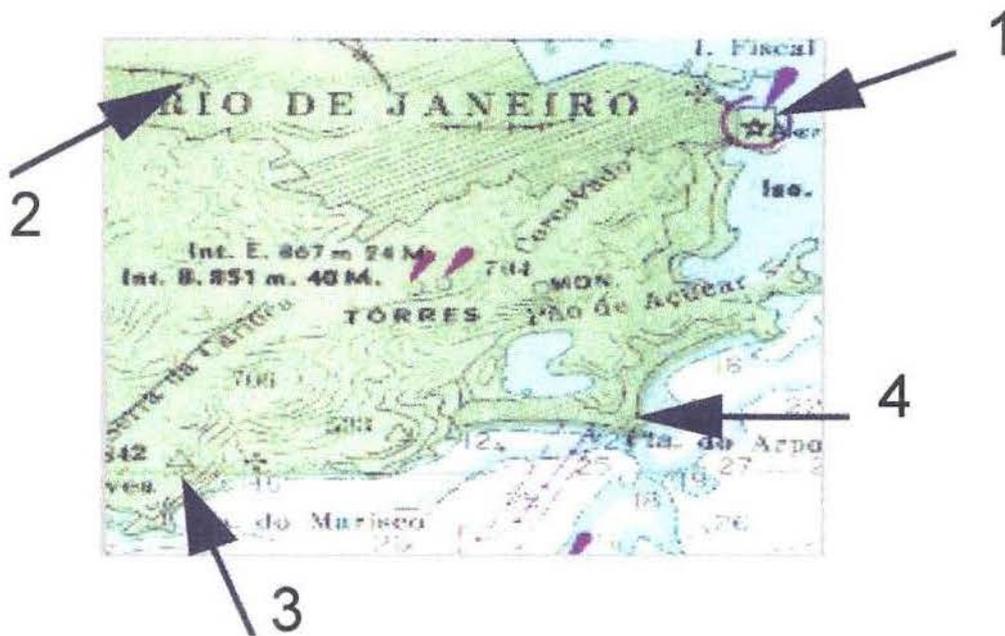


Figura 5.9 Estabelecimento de pontos de controle.

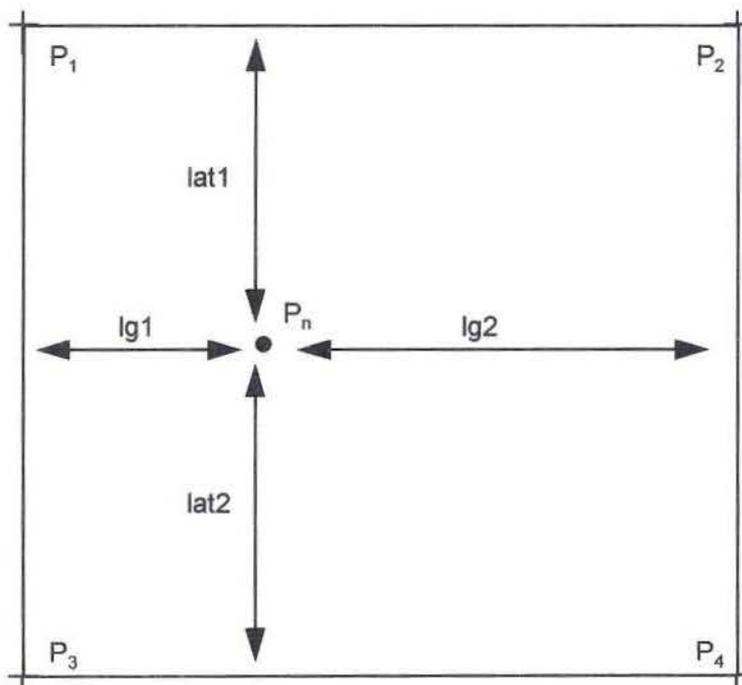


Figura 5.10 Determinação das coordenadas de um ponto a partir de outros pontos conhecidos.

- regiões representativas do mar ;
- regiões representativas de terra (ilhas, ...) ;
- regiões representativas de lagos, lagoas, mangues, rios; e
- linhas de contornos e linha da costa.

Assim, um esquema de representação dessas regiões homogêneas pode ser utilizado tirando vantagem da característica de homogeneidade dos pixels das regiões da imagem. Os esquemas de representação de imagens bidimensionais existentes na literatura podem ser divididos nos grupos apresentados na tabela 5.2 [Cha89, RK82, Sam90a, Sil94].

<ul style="list-style-type: none"> • Colunas <ul style="list-style-type: none"> runs árvores binárias • Blocos <ul style="list-style-type: none"> mat (transformada do eixo medial) quadrees • Contornos • Aproximada <ul style="list-style-type: none"> array blocos bordas e curvas

Tabela 5.2 Esquemas de Representação de Imagens.

Cada tipo de representação oferece vantagens e desvantagens, em função do tipo de imagem utilizada. Como as imagens de cartas náuticas são relativamente simples, principalmente após a fase de pré-processamento, o esquema de representação delas deverá ser eficiente em relação a suas características particulares. A seguir, descreveremos alguns esquemas de representação mais encontrados na literatura.

5.5.1. Colunas

- runs : uma “run” é uma seqüência de pixels em uma coluna de uma imagem, com mesmas características. Assim, cada coluna da imagem pode ser determinada pela especificação dos tamanhos e valores dessas “runs”. Devido as suas características, essa técnica pode ser utilizada para a compressão de imagens. A fig. 5.11 ilustra as “runs” em uma coluna de uma imagem.

Na fig. 5.11, selecionamos a 14ª coluna da imagem, onde pode-se distinguir 7 “runs” existentes na mesma. Para se poder reconstruir esta coluna, basta conhecer o valor do primeiro pixel, o número de pixels com este mesmo valor e a quantidade de pixels de cada uma das “runs”.

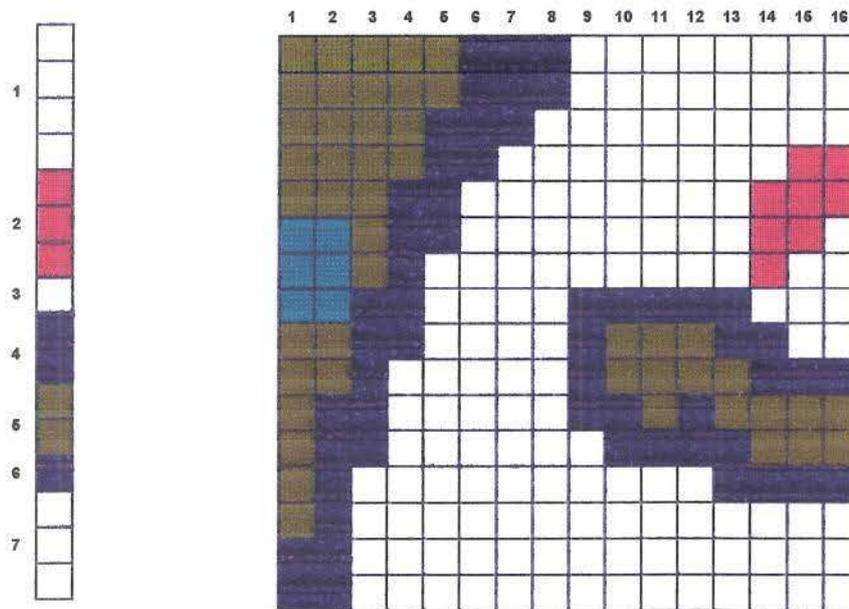


Figura 5.11 Coluna dividida em “runs” e a respectiva imagem.

árvores binárias : apesar de não ser de uso prático comum, nesse caso a árvore binária pode ser usada para representar cada coluna da imagem. Supondo-se que o comprimento da coluna seja potência de 2, ou seja : $n = 2^k$, constrói-se a árvore da seguinte forma : caso a coluna toda tenha o mesmo valor, o nó raiz recebe uma etiqueta com esse valor e representa a coluna. Caso a coluna

tenha valores diferentes, como na fig. 5.12, então o nó raiz recebe dois nós filhos, representando, cada um, metade da coluna. Esse processo se repete até que sejam encontradas metades com valores constantes ou um pixel distinto, quando então esse nó recebe uma etiqueta com o valor encontrado. Assim, todos os nós folhas da árvore representarão os diferentes valores dos pixels da coluna.

Durante o processo de construção da árvore, as colunas são recursivamente divididas ao meio, não se considerando as máximas runs. Dessa forma, podemos ter nós folhas diferentes representando os mesmos valores, embora de pixels distintos, de uma mesma run que foi dividida pelo processo de construção da árvore. Considerando-se a etiqueta 0 para a cor preta, 1 para a cor verde e 3 para a cor branca, a coluna da fig. 5.12 será representada conforme ilustrado :

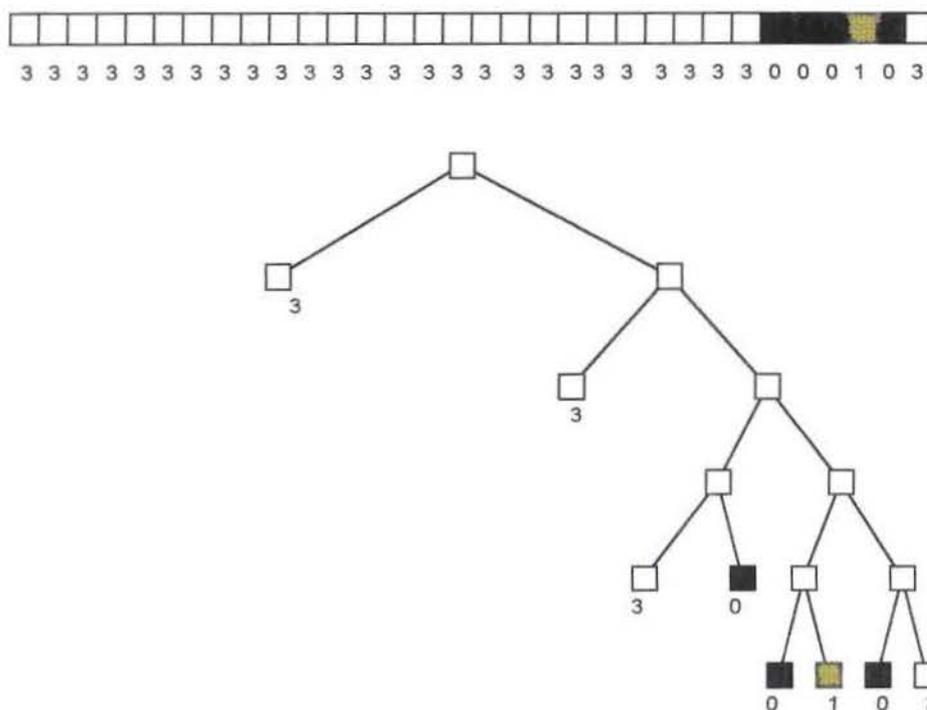


Figura 5.12 Coluna de uma imagem codificada por uma árvore binária.

Nesta figura podemos ver os nós folhas da árvore binária com etiquetas, representando as cores dos pixels da coluna. Esses nós devem armazenar também a informação da quantidade de pixels que cada um representa. Observamos que a coluna é recursivamente dividida em duas partes iguais, até se encontrar metades com valores constantes ou se chegar a pixels distintos [RK82].

5.5.2. Blocos

- MAT (transformada do eixo medial) : para a descrição dessa técnica, por simplicidade, consideraremos a imagem binária da fig. 5.13, denotada por Σ , e seja P cada ponto dessa imagem. O que se deseja é encontrar o conjunto de pontos com centro no ponto P e que forme um quadrado de lado n, onde esses pontos devem ter os mesmos valores. Seja S_p esse conjunto de pontos que formam o maior quadrado de valores constantes contido em Σ e cujo raio seja r_p . Chamaremos S_p de bloco maximal, caso não haja outro conjunto de pontos Q da mesma imagem, tal que S_p esteja contido em S_q .

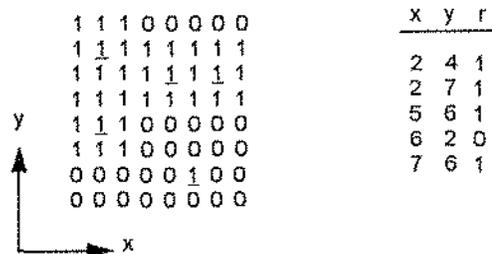


Figura 5.13 Exemplo de cálculo da MAT.

Na fig. 5.13, temos as coordenadas (x,y) e o raio r dos blocos maximais cujos centros estão sublinhados na imagem. Dessa forma, essa imagem 8x8 pode ser reconstruída a partir da tabela de coordenadas dos centros dos blocos maximais e seus raios. Nota-se que pode haver redundância de informação em alguns casos, como nos blocos com centro em (5,6) e (7,6) e raio = 1 que têm um lado em comum. Esse conjunto de centros e raios dos blocos maximais é denominado Transformada do Eixo Medial (“Medial Axis Transformation” - MAT).

- quadrees : essa técnica constitui uma extensão das árvores binárias, onde se representa o espaço bidimensional R^2 , a partir de árvores de grau 4. Usaremos a imagem binária da fig. 5.14A para ilustrar essa representação.

No processo de construção da árvore, o nó raiz representa a imagem original. Caso a mesma tenha somente um valor, esse nó raiz recebe uma etiqueta e o processo pára. Caso a imagem tenha diferentes valores, então o nó raiz recebe quatro nós filhos, representando os quadrantes NW, NE, SW e SE da imagem, respectivamente. Esse processo continua em cada quadrante até que se chegue a quadrantes com valores constantes ou a pixels distintos.

A árvore construída por esse processo é denominada Quadtree e seus nós folhas terão todos grau 4. Nesse tipo de representação não ocorre a redundância de informação, entretanto, caso a mesma imagem sofra uma pequena translação, a árvore que a representa pode ser completamente diferente, ou seja, essa técnica é variante à translação [Cha89, Sam90a].

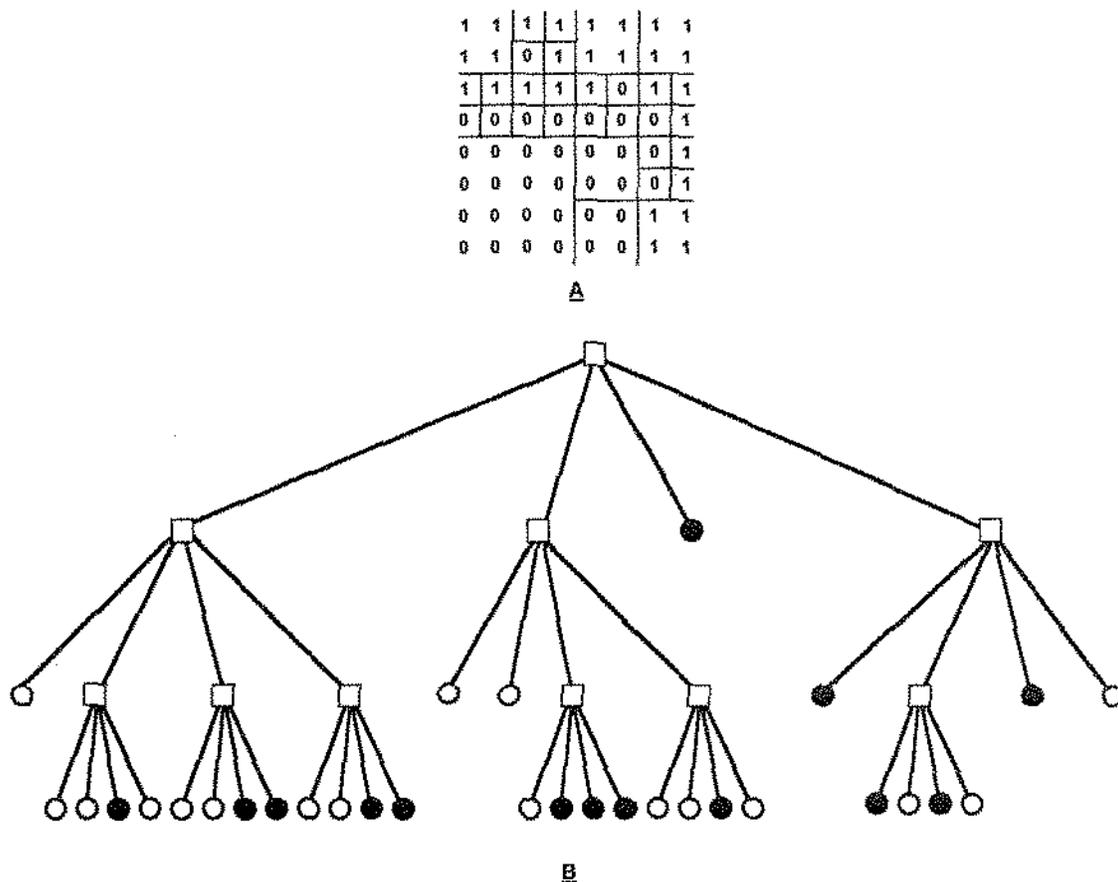


Figura 5.14 Imagem binária (A) representada por uma Quadtree (B).

É importante ressaltar que existe na literatura uma ampla variedade de estruturas do tipo Quadtree, atendendo a necessidades específicas de representação de dados, como as Point Quadtree para dados pontuais, Region Quadtree para dados bidimensionais e as Octree para dados tridimensionais, além de outras variações tais como MX-Quadtree, PR-Quadtree e MX-Cif Quadtree [Sam90, Sam90a].

5.5.3. Contornos

Essa é uma outra classe de representação, onde as diferentes componentes S_i de uma imagem Σ são representadas por suas bordas. O contorno da borda é determinado pela especificação de um ponto de partida e uma seqüência de movimentos em torno dessa borda, conforme direções previamente estabelecidas.

Considerando-se uma imagem 8-conectada e a fig. 5.15 para a codificação dos pixels numa vizinhança 3×3 , cada componente S_i da imagem tem sua borda percorrida e os movimentos necessários codificados de acordo com as respectivas direções. Essa seqüência de movimentos pela borda em uma imagem 8-conectada é chamada de “chain code” e no caso 4-conectado, “crack code” [RK82, Sam90a, SHB93].

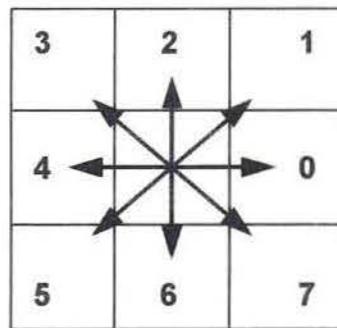


Figura 5.15 Código de Freeman, representando diferentes direções.

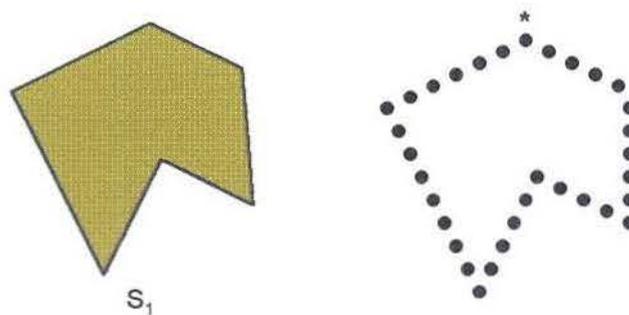


Figura 5.16 Região S_1 de uma imagem e os pontos de seu contorno.

Conforme as direções estabelecidas, obtemos a seguinte seqüência de movimentos para a borda da fig. 5.16 (partindo-se do ponto marcado por *):

- 555557777777111177722223333

Para reconstruir a região S_1 da fig. 5.16, a partir desta codificação, basta conhecer as coordenadas do pixel inicial e seguir as direções indicadas no código, após o que a região interior ao contorno deve ser preenchida para que tenha as mesmas características de cor da região original.

Para o estabelecimento do primeiro pixel da borda, tornando essa representação independente da orientação da imagem, desejável, por exemplo, em operações de casamento de imagens, várias soluções podem ser adotadas. Uma possibilidade é encontrar um pixel na borda cuja codificação resulte em uma seqüência de números que forme o menor inteiro entre todas as possíveis codificações dessa borda [SHB93]. No nosso caso, no entanto, devido à orientação Norte-Sul das imagens, o primeiro pixel da borda será aquele que primeiro for encontrado durante o processo de varredura das linhas da imagem.

5.5.4. Representação Aproximada

Os métodos apresentados anteriormente determinam exatamente as partições S_i de uma imagem Σ . Não obstante, existem métodos que definem aproximações das partições da imagem, sendo os mais comuns apresentados a seguir [GW92, RK82, SHB93] :

- array : esse método é um dos mais simples e baseia-se na redução da resolução da imagem. Essa operação pode ser feita através de técnicas de amostragem. Assim, o número de regiões da imagem será reduzido.
- blocos : esse método baseia-se na simplificação dos esquemas de representação por blocos. Isso é conseguido através da eliminação de parte desses blocos. Por exemplo, na representação MAT, os blocos pequenos podem ser eliminados, causando pouco prejuízo à imagem original.
- bordas e curvas : esse método considera a aproximação das bordas através da utilização de polígonos e linhas de várias formas. Pode sofrer sucessivos refinamentos visando uma melhor aproximação. Assim, regiões da imagem podem ser aproximadas pela união dessas linhas e polígonos.

5.6. Um Esquema de Representação para Imagens de Cartas Náuticas

Neste contexto, ao nos referirmos a imagens Σ , estaremos tratando da imagem da carta náutica já pré-processada, subdividida em m regiões homogêneas S_i definidas na fase de processamento, onde $S_1 \cup S_2 \cup \dots \cup S_m = \Sigma$, ($1 \leq i \leq m$). As regiões homogêneas aqui identificadas são, essencialmente :

- região representativa do mar;
- região representativa de terra e ilhas;
- região representativa de lagos, lagoas, mangues e rios; e
- linhas de costa e linhas de contorno.

Para esta aplicação, uma das principais características nas imagens a serem preservadas pelo esquema de representação deverá ser a manutenção da exatidão da imagem original. Assim, os esquemas de representação por aproximação não se aplicam.

Devido a sua grande extensão, a região representativa do mar pode ser considerada como o “background” da imagem, sobre o qual serão dispostas as outras regiões da mesma. Considerando-se o caso 8-conectado, uma forma bastante adequada para se representar essas regiões é através de seus **contornos**, com a utilização de **chain codes**, tirando vantagem do caráter homogêneo de cada região da imagem, onde os pixels têm valores constantes.

Além da sua simplicidade, esse esquema de representação também permite realizar uma interpretação sobre a forma das regiões como, por exemplo, o seu perímetro, a sua extensividade, etc. Também, com essa representação codificada em “chain codes”, operações de casamento de imagens (“matching”) podem ser realizadas diretamente sobre a representação lógica, sem a necessidade de reconstrução da mesma. A determinação, por exemplo, da existência de uma mudança de direção de 90° em um contorno também pode ser realizada diretamente sobre a sua representação [SHB93].

Considerando a região da fig. 5.16, essa componente pode ser representada pelo seu contorno, através da utilização de chain code. A codificação do contorno poderá ser ainda otimizada, utilizando-se uma “compressão” da codificação. Por exemplo, a codificação da fig. 5.16 pode ser reduzida a :

6(5)8(7)5(1)4(7)5(2)5(3)

Os números fora dos parênteses representam o número de ocorrências dos valores dentro dos parênteses, que indicam a direção, conforme estabelecido na fig. 5.15.

Com essa codificação dos contornos, cada carta náutica poderá ser armazenada através do conjunto de contornos das regiões S_i , além dos outros arquivos necessários aos textos e símbolos, todos correlacionados à sua posição original na imagem.

Em memória principal, deverá ser utilizada uma estrutura de dados do tipo matriz (“array”), possibilitando a representação física da imagem. Essa estrutura de dados possibilita o acesso direto a pontos distintos da imagem (pixel), além de ser bastante adequada à sua visualização [HB86]. Apesar da imagem ser reconstruída e representada em memória principal por matrizes, não significa que a imagem completa possa ser exibida de uma só vez na TG. Em função da resolução da imagem,

resolução da TG e escala utilizada, ocorrerá, freqüentemente, a possibilidade de exibição de apenas parte dessa imagem na TG.

Vários autores consideram que, para a exibição dessas imagens, no centro da TG deverá estar o ponto onde se situa o navio [Bro⁺88, Cru92, Eat90, GM86]. À medida que o navio se movimenta em um determinado rumo, essa imagem deverá sofrer uma translação correspondente de forma a manter o navio sempre próximo ao centro da TG, possibilitando que as regiões vizinhas ao mesmo possam estar representadas. Esse assunto é bastante polêmico, pois qualquer componente de interesse que esteja sendo observada em um determinado instante poderá “sair” da TG devido ao movimento do navio e conseqüente translação da imagem. Esse problema pode ser contornado pela utilização de uma segunda TG no painel do SIACE, onde regiões da imagem podem ser escolhidas para visualização independentemente da posição do navio.

5.6.1. Reconstrução das Imagens

Obtidos os arquivos dos subconjuntos S_i da imagem Σ , as seguintes etapas devem ser consideradas para a reconstrução da mesma, **nesta ordem**, fig. 5.17:

1. o “background” da imagem é considerado como sendo a região representativa do mar. Logo, essa região não necessita ter seu contorno codificado. Na matriz em memória principal, todos os pixels que não forem modificados serão considerados como pertencentes a essa região;
2. deverão ser adicionados na matriz as regiões representativas de terra e ilhas;
3. em seguida, são adicionadas as regiões representativas de rios, lagos, lagoas, etc ;
4. na seqüência, são adicionados os contornos e linhas de costa; e
5. finalmente, deverão ser adicionados os símbolos e os textos, além de linhas isobatimétricas e curvas de nível indicadas pelo operador.

A fig. 5.17 ilustra o processo de reconstrução de uma imagem. Essa seqüência de operações constitui uma superposição de camadas, cada uma representando uma região distinta da imagem.

É conveniente lembrar que a determinação de quais símbolos e linhas deverão ser adicionados à imagem apresentada inicialmente é um problema que deverá ser bastante avaliado, procurando-se selecionar aqueles que confirmam garantia de uma navegação segura. Essa questão é considerada pela OHI, onde critérios para determinar quais aspectos são imprescindíveis estão sendo analisados. A definição e padronização desses critérios e a sua conseqüente adoção é um fator essencial para conferir confiabilidade aos SIACE, sendo um passo importante nas considerações de ordem legal para sua utilização comercial.

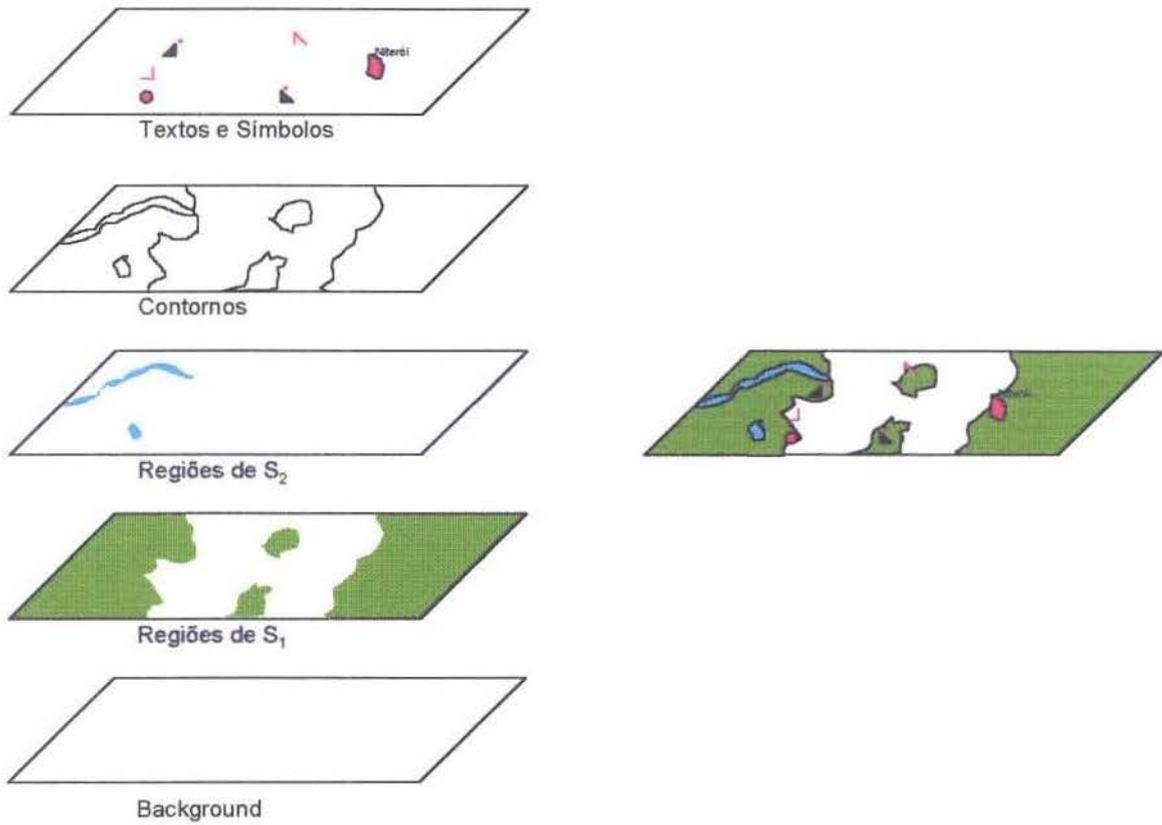


Figura 5.17 Seqüência de reconstrução de uma imagem.

6. Funções do Sistema e Estruturas de Dados Associadas

6.1. Introdução

No contexto do diagrama apresentado na fig. 1.1, os módulos componentes do SIACE deverão dispor de funções de PDI para a execução de várias operações do sistema. Essas funções deverão estar agrupadas principalmente em um módulo associado ao Gerenciador de Telas. Este módulo deve, basicamente :

- ◆ prover uma interface com o usuário através da TG e dispositivos de entrada do sistema, como teclado e dispositivos apontadores;
- ◆ permitir a realização de operações sobre as imagens, como o planejamento de derrotas;
- ◆ exibir informações recebidas do módulo gerenciador de dados.

Definiremos, a seguir, algumas funções que consideramos necessárias ao desenvolvimento de um tal sistema. As estruturas de dados associadas a estas funções também serão apresentadas.

6.1.1. Descrição das Funções

Essas funções serão apresentadas na seguinte ordem :

◇ Modelo Digital de Terreno (MDT) - esta função está associada à possibilidade do usuário especificar os valores de profundidades das linhas isobatimétricas a serem representadas e exibidas, conferindo uma maior flexibilidade ao sistema. Atendendo às solicitações específicas do operador, esta flexibilidade representa, naturalmente, um aumento na segurança da navegação. A utilização do MDT, além de conferir maior semântica às imagens, também possibilita que as mesmas pareçam mais “limpas”, sem os vários valores puntiformes de profundidades que existem nas cartas impressas.

◇ Computação Dinâmica de Relacionamentos Espaciais - a determinação de distâncias, informações de inclusão e adjacência entre diferentes aspectos faz parte da análise e compilação de dados para diversas finalidades ligadas à navegação. Como a cardinalidade das informações topológicas é muito grande para ser explicitamente armazenadas no banco de dados, elas devem ser obtidas dinamicamente.

◇ “Windowing” - possibilita a seleção de áreas específicas de interesse dentro da imagem. Esse processo pode servir para reduzir o volume de dados para posterior processamento ou visualização, permitindo isolar apenas a área de interesse específico.

◇ **Orientação Variável do Norte** - possibilita uma orientação variável do eixo norte-sul da imagem para exibição na TG. Como padrão, consideramos que a imagem é sempre apresentada com o eixo norte-sul posicionado verticalmente na TG, com o norte na parte superior da mesma.

◇ **Sobreposição de Imagens Radar** - a possibilidade de sobrepor as imagens obtidas de radares com a carta náutica permite uma comparação para a determinação da posição do navio. Esse processo aumenta a confiabilidade da posição obtida e, portanto, aumenta a segurança da navegação.

6.2. Modelo Digital de Terreno - MDT

O propósito de se utilizar uma metodologia para a exibição de linhas isobatimétricas na TG, possibilitando ao usuário selecionar quais dessas linhas devam ser exibidas, advém de necessidades práticas de cada usuário. Um exemplo é a necessidade de se estabelecer um limite de proximidade de um navio ao continente em função do seu calado. Uma solução para esse problema, em particular, é considerar uma determinada linha como o limite de profundidade segura e que, portanto, não deve ser ultrapassada pelo navio.

Uma tendência atual de vários Serviços Hidrográficos é a de associar informações locais de profundidades, que necessitam de uma interpretação do operador em função dos valores de profundidades dos pontos vizinhos, às linhas isobatimétricas. A tendência é utilizar mais as linhas isobatimétricas que conferem mais semântica à imagem, além de deixar a TG mais “limpa”.

O modelo por nós escolhido para a computação e apresentação dessas linhas e pontos de indicação de profundidades é o MDT [Dev85, Flo⁺85, Gra⁺94, Nag94, Pin94, PS94, SR94]. Um modelo que representa a superfície da terra por um **conjunto de dados digitais**, onde cada dado contém as coordenadas x, y e z dos pontos em R^3 e uma função que possibilita a obtenção de novos pontos intermediários através da interpolação das profundidades dos pontos existentes. Podemos concluir que, quanto maior o número de pontos digitalizados no banco de dados, mais precisa será a representação das linhas isobatimétricas na TG. Entretanto, será em função da escala da carta que se utilizará maior ou menor quantidade de pontos, devendo-se estabelecer um bom compromisso entre **custo de obtenção dos dados e representatividade da região pela carta náutica**.

6.2.1. Problema de Busca Multidimensional

A recuperação eficiente dos pontos necessários à construção das linhas isobatimétricas pode ser identificada como um problema de busca em subespaço (“range search”) [Fil94], ilustrado na fig. 6.1.

Para o propósito deste trabalho, o problema pode ser formalmente enunciado da seguinte maneira :

Seja $P = \{ p_1, p_2, \dots, p_N \}$, um conjunto de N pontos dispersos no espaço euclidiano ($p_i \in \mathbb{R}^3 \forall 1 \leq i \leq N$).

Seja $\Sigma \subseteq 2^{\mathbb{R}^3}$ uma família de subespaços de busca, definida através de alguma coleção de predicados.

Deseja-se pré-processar P de modo a responder eficientemente a consultas relativas a quais pontos de P estão contidos em um subespaço de busca $\sigma \in \Sigma$.

Os predicados definidos para Σ determinam a natureza das regiões cujos pontos de sondagem podem ser requeridos. Para os nossos propósitos, basta que Σ admita subespaços ortogonais, isto é, $\sigma = [a_1, b_1] \times [a_2, b_2] \times [a_3, b_3]$, onde $[a_i, b_i]$ ($1 \leq i \leq 3$) denota um intervalo fechado na coordenada i .

O tipo de resposta em que estamos interessados é : quais são os pontos de P contidos em cada subespaço de busca σ dado como consulta, isto é, queremos determinar o conjunto $P \cap \sigma$. Para responder tais consultas, efetuadas repetidas vezes sob uma mesma massa de dados, é útil arranjar as informações dos pontos P em uma estrutura pré-processada, que permita efetuar buscas eficientemente. Claro que isto acarreta custos de uso de memória e tempo de pré-processamento, os quais são compensados pela agilização das buscas.

No nosso caso, o problema também pode ser tratado como busca das informações de sondagens no plano horizontal de projeção (\mathbb{R}^2), com etiquetas representando as profundidades.

Para efeito de análise do problema e apresentação de uma estrutura como solução, consideraremos que o MDT possui um arquivo de pontos P , relacionado às regiões representadas pelas cartas náuticas. As medidas de custos a serem consideradas nesse problema de busca podem ser o tempo de consulta e a quantidade de espaço de memória requerida para armazenar a estrutura de dados pré-processada destinada a suportar as buscas.

6.2.2. Solução Genérica

Esta solução genérica de busca em subespaço considera a utilização de um conjunto único de pontos no plano de projeção \mathbb{R}^2 , representando, por exemplo, todo o litoral brasileiro. O subconjunto de pontos a ser recuperado para memória principal será estabelecido em função da carta náutica sendo utilizada pela embarcação e pelos valores de profundidade indicados pelas linhas isobatimétricas selecionadas.

Existem várias soluções para suportar esses pontos e permitir sua recuperação eficiente para a memória principal. Consideramos aqui a solução exposta no trabalho de Roussopoulos e Leifker [RL85] e avaliada no trabalho de Cox [Cox91], correspondente a estrutura de dados R* Tree em ambiente estático, uma das mais eficientes para “range queries”, e a Range Tree, também considerada em vários trabalhos na literatura [Ben80, Fil94, Lue78, Ove⁺90, WL85].

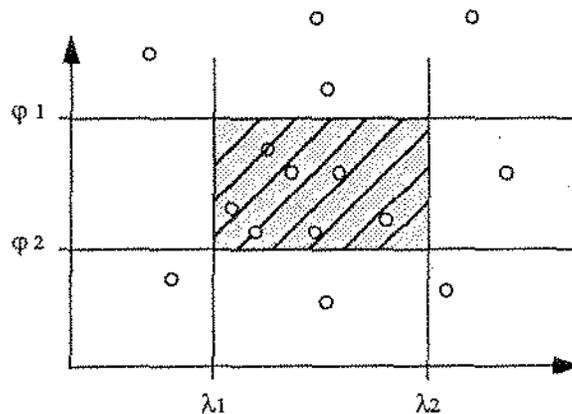


Figura 6.1 Conjunto de Pontos em R2, representando a batimetria, com subespaço de busca ortogonal delimitado pelas coordenadas φ (latitude) e λ (longitude) de seus vértices.

A estrutura R* Tree foi escolhida neste contexto por três razões principais :

1. existência de uma avaliação prática do seu desempenho,
2. possuir um conjunto de dados semelhante ao utilizado neste contexto para o MDT, e
3. ser uma das estruturas que apresentou melhores resultados em diversos experimentos [Bec⁺90, Cox91, Kri⁺89].

6.2.2.1. R* Tree

É uma estrutura de dados dinâmica, derivada da R Tree [Gut84], cuja característica importante é uma otimização em relação à inserção de elementos na árvore [Bec⁺90].

Uma estrutura R^* Tree consta basicamente de :

- **nós folhas**, contendo entradas do tipo :
 - (**oid**, **rectangle**), onde **oid** refere-se ao registro no banco de dados utilizado para descrever a entidade espacial e **rectangle** é o retângulo de K -dimensões que contém a entidade espacial referida por **oid**.
- **nós intermediários**, contendo entradas do tipo :
 - (**cp**, **rectangle**), onde **cp** é o ponteiro para o nó filho, ou seja, uma subárvore hierarquicamente subordinada à entrada, e **rectangle** é o retângulo que contém os demais retângulos das entradas dos nós filhos a que **cp** faz referência.

Para a construção da estrutura, é necessário estabelecer algumas condições. Sejam **M** e **m** os números máximo e mínimo de entradas que estarão associadas a um nó, respectivamente.

Uma R^* Tree tem de satisfazer as seguintes propriedades [Cox91]:

- o nó raiz tem no mínimo dois nós filhos, a não ser que seja um nó folha;
- todo nó não-folha (intermediário) tem entre **m** e **M** filhos, a não ser que seja raiz;
- todo nó folha contém entre **m** e **M** entradas, a não ser que seja raiz; e
- todos os nós folhas aparecem no mesmo nível.

Nesse contexto, **Retângulo Diretório** é definido geometricamente como sendo aquele retângulo mínimo que contém os demais retângulos das entradas dos nós hierarquicamente subordinados a ele. As figuras a seguir ilustram a construção parcial de uma R^* Tree, onde o conjunto de dados são as informações de profundidades do litoral brasileiro¹, fig. 6.2.



Figura 6.2 Ilustração do conjunto de dados relativo à batimetria do litoral brasileiro.

¹ esse conjunto de dados serve apenas como ilustração, não tendo correspondência com os dados reais.

Consideremos, conforme mostra a fig. 6.3, que as informações de profundidades referentes ao litoral brasileiro sejam subdivididas em R_i regiões. O número i de regiões será utilizado para a definição dos valores de M e m . Esse valor, normalmente, é obtido em função da capacidade de armazenamento dos "buckets" (unidade de área de armazenamento em disco). Neste caso, para a utilização da estratégia MBR (representação de objetos de formas irregulares, onde cada um deles é representado pelo menor retângulo k -dimensional que consegue contê-lo em sua totalidade), para representar esses pontos, os retângulos que os contém terão dimensões nulas [Ooi90, RL85].

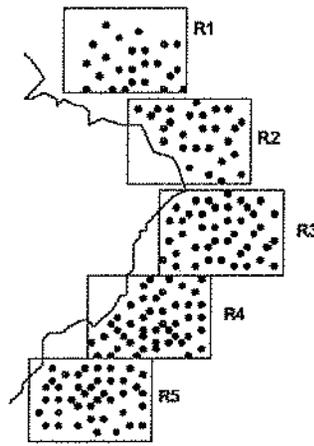


Figura 6.3 Conjunto de dados relativo à batimetria em sub-regiões.

O critério para se estabelecer os retângulos que constituirão as novas entradas nos níveis intermediários da estrutura deverá considerar os requisitos de otimização estabelecidos e utilizados para o desenvolvimento da R^* Tree [Bec⁺90].

A fig. 6.4 ilustra um exemplo de estabelecimento dos retângulos a partir das regiões consideradas na fig. 6.3. Uma das características desse conjunto é que, por ser previamente conhecido, permite que os retângulos sejam estabelecidos de forma otimizada, evitando a ocorrência de sobreposição entre os mesmos. Em 6.4b, tem-se o estabelecimento de novos retângulos contendo subconjuntos de pontos. O retângulo 1 na fig. 6.4b é novamente subdividido, fig. 6.4c. Finalmente, o retângulo a na fig. 6.4c é exibido separadamente em 6.4d, podendo-se ver os pontos de dimensões nulas p_i da batimetria, contidos em retângulos de dimensões também nulas

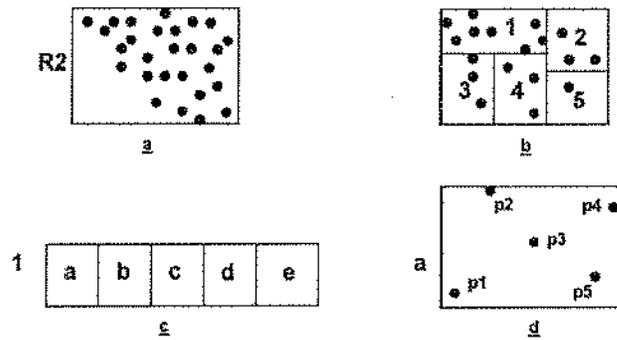


Figura 6.4. Conjunto de dados da batimetria dividido por "buckets".

A construção parcial da R^* Tree para essa configuração é apresentada na fig. 6.5. Pode-se constatar que no nó raiz são estabelecidas entradas em função das regiões. Nos nós intermediários, são estabelecidas novas entradas em função dos dados e, finalmente, nos nós folhas são distinguidos os retângulos de dimensão nula. Estes retângulos contêm os pontos p_i com informações de profundidades associadas a sua localização espacial através das coordenadas ϕ e λ relativas às suas latitudes e longitudes, respectivamente.

A R^* Tree supera os melhores resultados para dados pontuais. Os experimentos e testes realizados, bem como os conjuntos de dados estabelecidos para os mesmos podem ser encontrados em [Bec⁺90, Cox91, Kri⁺89].

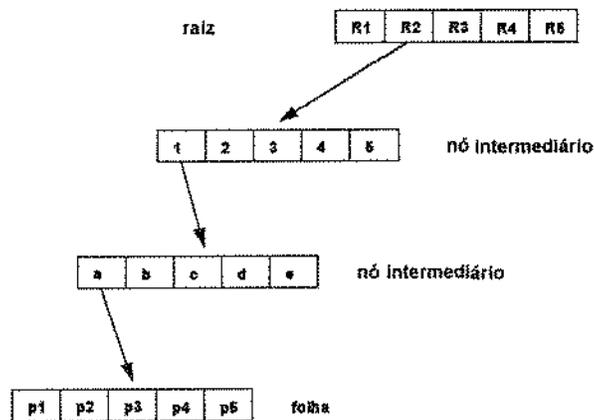


Figura 6.5 Construção parcial da R^* Tree.

A consulta nessa árvore pode ser assim descrita : suponhamos que se deseja recuperar o ponto p_3 , especificado através de suas coordenadas, fig. 6.5. No nó raiz, é pesquisado em qual retângulo que faz parte da entrada desse nó estão contidas essas coordenadas e encontrado o retângulo R_2 . Na seqüência, o nó intermediário apontado pelo retângulo R_2 é pesquisado da mesma forma, onde obtemos o retângulo 1. Novamente, o próximo nó intermediário apontado pelo retângulo 1 é pesquisado, onde chegamos ao nó folha. Nesse nó, é pesquisado o retângulo que contém as coordenadas fornecidas, sendo encontrado o retângulo p_3 . Esse retângulo contém o ponto de mesmo nome, p_3 .

Para recuperar os pontos referentes a uma área, especificada através das coordenadas dos pontos de seus limites, basta localizar o menor retângulo que contém esses pontos limites e recuperar os demais pontos contidos nesse retângulo.

Um motivo importante de se ter essa estrutura de dados em memória secundária é o fato da mesma ser persistente, não tendo que ser reconstruída cada vez que o sistema sofra uma interrupção.

6.2.2.2. Range Tree : Outra Solução

Uma outra estrutura visando o suporte e a recuperação eficiente dos dados para a memória principal e que pode ser associada ao nosso problema de busca é a Range Tree.

Esta solução considera a utilização de um conjunto único de pontos no espaço euclidiano R^3 , ou do mesmo conjunto de pontos no espaço euclidiano R^2 , onde os valores de profundidade constituem etiquetas de cada ponto. No nosso caso, esse conjunto de dados também pode ser relativo, por exemplo, às informações batimétricas de todo o litoral brasileiro.

Para ilustrar esta estrutura de dados, utilizamos a Range Tree apresentada em [Fil94]. Na literatura esta estrutura possui complexidade assintótica $O(\log^{d-1} N)$ para o tempo de busca, onde N é o número de pontos de sondagem armazenados e d é o número de dimensões (2 ou 3, no nosso caso). Portanto, esta estrutura de dados apresenta melhor desempenho para consulta que a própria R^* Tree.

Nesta estrutura de dados, cada nó da árvore primária divide a primeira dimensão em faixas, onde os pontos pertencentes a essas faixas constituem os denominados conjuntos canônicos. Cada nó dessa estrutura primária aponta para uma árvore secundária (não subárvore) para tratar a próxima dimensão, associada a cada faixa da árvore primária. Essa divisão continua recursivamente para a terceira dimensão. No caso da nossa aplicação específica, temos assim uma árvore que discrimina a latitude, cujos nós apontam para árvores que discriminam a longitude e os nós destas últimas apontam para árvores que discriminam as profundidades.

Essa árvore é ilustrada na fig. 6.6, considerando-se os pontos em R^2 . Pode-se observar a distribuição dos pontos no plano, os limites da região de interesse, que é o subespaço de busca, ilustrado pela faixa cinza contendo os pontos p_4 , p_6 e p_8 , e as faixas verticais estabelecidas na divisão da primeira dimensão, constituindo os conjuntos canônicos.

A fig. 6.6 ilustra uma consulta na estrutura Range Tree, onde deseja-se recuperar os pontos contidos numa área especificada por um retângulo de cor cinza. Como podemos observar nesta figura, os pontos p_4 , p_6 e p_8 constituem a saída dessa consulta.

Inicialmente, a 1ª dimensão dividida em conjuntos canônicos é pesquisada. Em seguida, em cada faixa de interesse (aquelas onde há intersecção com o retângulo cinza), serão pesquisadas a 2ª dimensão, em cada uma das árvores secundárias que representam as faixas de interesse, verificando-se os pontos que se encontram dentro dos limites impostos pelo retângulo cinza. Assim, são recuperados os pontos p_4 , p_6 e p_8 .

Na fig. 6.6, os nós da árvore relativa à 1ª dimensão têm uma numeração que indica a faixa que cada um representa. No nó que contém a numeração (1,6), por exemplo, essa notação indica que o primeiro número (1) pertence ao conjunto (inclusive) e o segundo número (6) não pertence ao conjunto (exclusive) de valores desse nó.

6.2.3. Traçado das Linhas Isobatimétricas : um exemplo prático

A fig. 6.7 ilustra um problema prático de um usuário que deseja estabelecer uma área segura por onde possa navegar, restringindo o valor mínimo de profundidade dessa área. Suponhamos que esse valor de profundidade seja de 90 m e que o operador deseja ter exibida uma linha isobatimétrica representando os pontos de profundidade de 90 m na TG, além da área segura em que possa navegar. A seta vermelha representa o navio e a sua direção.

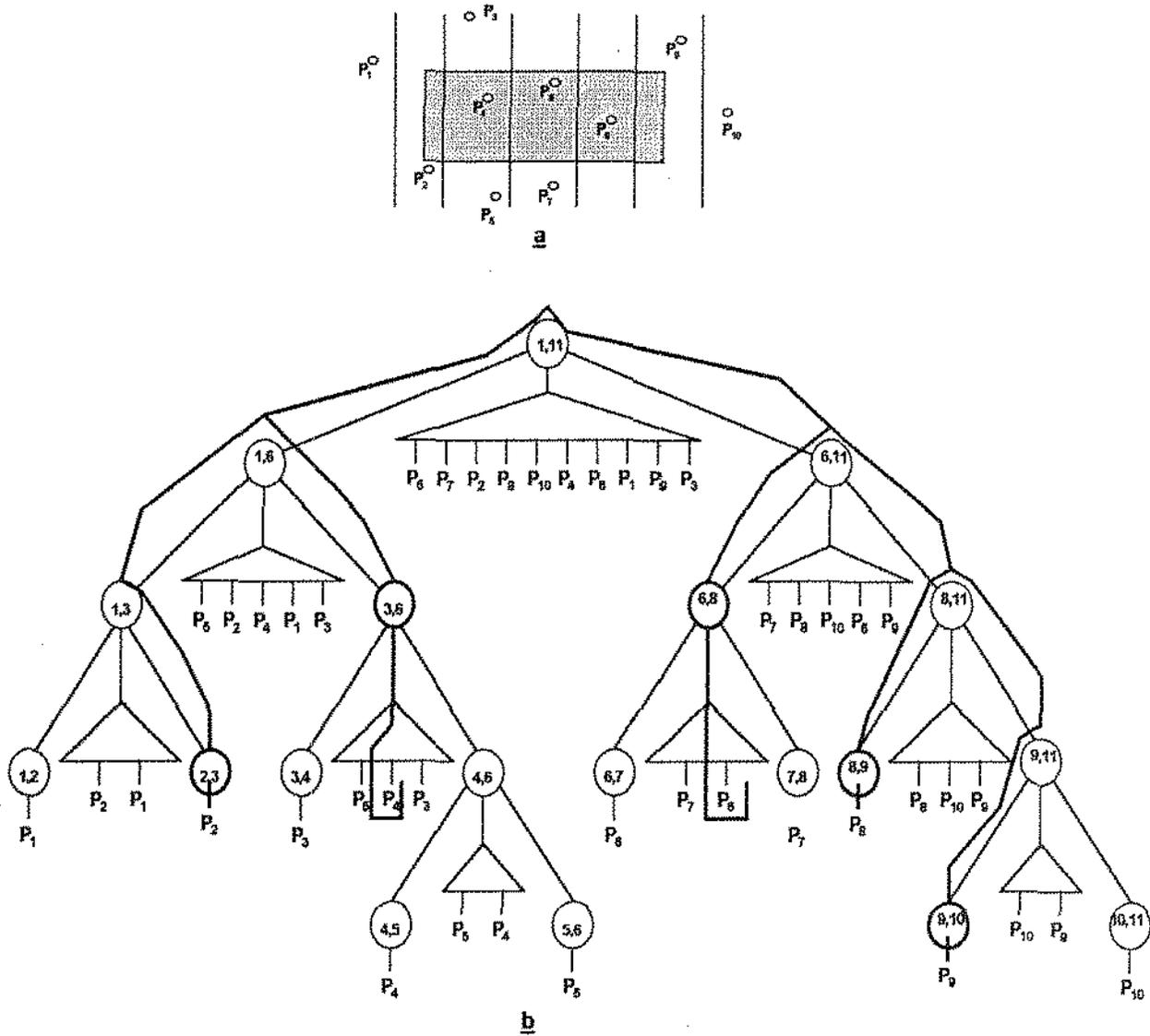


Figura 6.6 Range Tree para duas dimensões, considerando-se os valores de profundidades como etiquetas dos pontos no espaço euclidiano R^2 .

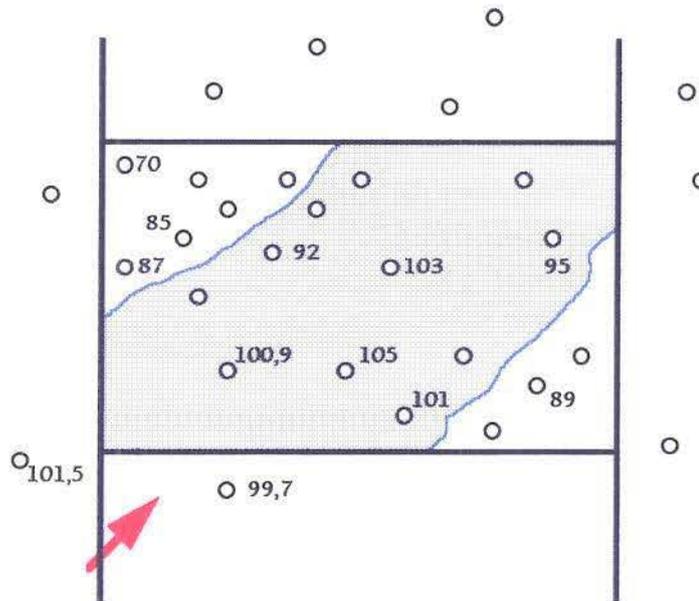


Figura 6.7 Estabelecimento de isolinhas com valores preestabelecidos, delimitando uma área com valor mínimo de profundidade.

Podemos observar nesta figura que não existe nenhum ponto representando valores de profundidade de 90 m. Entretanto, existem vários pontos com valores de profundidades próximos a esse valor, os quais podem ser obtidos eficientemente através de uma busca utilizando a R* Tree ou a Range Tree, por exemplo. O traçado das linhas isobatimétricas de 90m, limites da região segura para navegação, pode ser conseguido através de um processo de interpolação dos pontos com profundidade próxima a 90m [Pin94].

Dessa forma, o usuário poderá, então, ter estabelecida a área desejada, bem como as isolinhas com os valores de profundidade por ele especificado. Na fig. 6.7, as isolinhas são representadas por linhas de cor azul e a área segura para a navegação está representada pela cor cinza.

Outro exemplo deste tipo de aplicação, que pode ser abordado da mesma forma, são as curvas de nível das regiões costeiras e das ilhas de uma determinada área.

6.3. Computação Dinâmica de Relacionamentos Espaciais

Os relacionamentos espaciais definem as relações entre entidades da carta náutica através de suas características (extensão e localização no espaço), visando determinar, entre outras características: sobreposição, adjacência, intersecção e proximidade entre elas. Operações de análise e manipulação dos dados implica em acesso individual às entidades geográficas representadas nas cartas náuticas. Elas podem não envolver diretamente os meios flutuantes, como no controle de poluição, controle de contaminação da massa líquida e na determinação, por exemplo, do percurso de um cabo submarino, onde a proximidade de ilhas e da costa necessitem ser respeitados.

Nesse contexto, as consultas de SIG típicas, para entidades espacialmente próximas, são possíveis através de funções de PDI e são realizadas dinamicamente. Para abordar o problema de relacionamentos espaciais entre componentes das imagens, torna-se necessário definir algumas operações básicas necessárias à aplicação.

Sistemas de Informação Pictorial que consideram a partição do espaço em células, ou pixels, normalmente possuem uma biblioteca de programas específica para a operação e a manipulação de seus dados. Algumas das operações de manipulação de dados mais comuns são : operadores de arestas, grupamento de pontos, valores médios de pontos, classificação de pontos, histograma de imagens, detecção de contornos, mudança de projeção e intersecção de polígonos [CCK81, JC88].

Na prática, a bordo dos navios, quase todos os problemas de navegação são resolvidos graficamente, na carta, com o emprego de instrumentos tais como régua, régua paralela, compasso e transferidor. Para a carta náutica eletrônica, tais problemas podem ser resolvidos através de cálculos analíticos e através de operações de análise de imagens por algoritmos de PDI. Esse conjunto de operações para a carta eletrônica pode ser estabelecido como : operações pontuais, locais (ou de vizinhança), globais e transformações geométricas.

6.3.1. Operações Pontuais

Alguns exemplos dessas operações são :

- dado um ponto, determinar a sua categoria e as suas coordenadas (interrogação de imagem raster)

Essa operação possibilita que o operador “aponte” para um determinado ponto na imagem, como o símbolo de um farol, por exemplo, e tenha maiores informações sobre o mesmo apresentadas na TG ou TA. A obtenção das coordenadas de um determinado ponto pode-se dar da mesma forma. O caso contrário também é possível, localizando-se pontos na imagem através de suas coordenadas.

- dados dois pontos, determinar a distância entre eles

As distâncias entre o navio e pontos em terra, ilhas, outros navios ou pontos de mudança de rumo, por exemplo, podem ser obtidas através dessa operação. Essas distâncias podem ser definidas facilmente através de cálculos analíticos, conhecidas as coordenadas dos dois pontos.

- dados dois pontos, determinar o azimute entre ambos

Uma das atividades básicas de qualquer navegador é a obtenção de azimutes, seja de pontos em terra ou de outros navios. Essa operação permite que essas informações sejam obtidas a partir de cálculos analíticos. Cabe ressaltar aqui que as linhas verticais da imagem têm orientação norte-sul, exceto quando sofrem rotação. Dessa forma, basta determinar o ângulo, no sentido indireto, entre a linha vertical que passa pelo ponto origem e a linha que liga esse ponto origem ao ponto que se deseja saber o azimute.

- dados dois pontos, traçar uma reta entre os mesmos

O traçado de segmentos retilíneos na carta é outra atividade básica de qualquer navegador. Para a realização dessa operação, o operador pode indicar os pontos extremos desses segmentos e os pixels pertencentes a esse segmento terão os seus atributos de brilho mudados para a cor estabelecida para o segmento de reta. Essa operação é básica para o planejamento de derrotas, onde o operador indica pontos intermediários da mesma. Esses pontos intermediários são então ligados entre si, formando a derrota. A obtenção de distâncias entre esses pontos, bem como o azimute entre cada par de pontos são informações que permitem, por exemplo, o cálculo de consumo de combustível.

6.3.2. Operações Locais (Seqüenciais ou Paralelas)

Alguns exemplos dessas operações são :

- dado um ponto, determinar os aspectos que encontram-se dentro de um raio preestabelecido (proximidade circular e quadrática, por exemplo)

As operações locais conferem um grande poder de análise e avaliação da imagem. O estabelecimento de uma área circular segundo um raio, a partir da posição do navio, permite, por exemplo, que seja obtido o número de embarcações detectadas pelo radar e que estejam dentro desse raio, indicadas na carta náutica pela sobreposição de imagens radar, item 6.6.

- dado um ponto (um farol, por exemplo), determinar a região em que está contido

Tendo-se as coordenadas de um ponto, por exemplo, pode-se saber a região em que o mesmo está contido.

- dado um ponto, determinar sua distância a uma região estabelecida

Tendo-se as coordenadas de um ponto, como as do navio, por exemplo, deseja-se determinar a distância deste ponto a uma determinada região (distância não geodésica). Nesse caso, basta definir um ponto da região em questão para que, através de cálculos analíticos essa distância seja obtida.

- determinar a área de uma dada região

O cálculo de áreas pode ser útil em várias situações. A determinação da área a partir de uma imagem pode ser obtida pela contagem do número de pixels da região. Como sabemos, cada pixel representa uma área do espaço geográfico. Multiplicando-se então o número de pixels pela área que cada um representa individualmente, obtém-se a área total da região cuja precisão depende, naturalmente, da resolução da imagem.

Uma das soluções para cálculo de áreas é utilizar descritores escalares de regiões através de uma estrutura Quadtree.

Um exemplo de algoritmo, usando Quadtrees, para cálculo da área de regiões de uma imagem é:

```
início
  para etiqueta = 1 até nr_de_regiões faça
    região[etiqueta] ← etiqueta
    área[região[etiqueta]] ← 0
  fim para
  H ← profundidade_da_árvore
  para todo nó folha faça
    h ← profundidade_do_nó
    se nó_etiqueta ≠ 0 então           { background tem etiqueta 0 }
      área[região[etiqueta]] ← área [região[etiqueta]] + 4(H-h)
    fim se
  fim para
fim   { variável área[região[etiqueta]] conterá a área da região[etiqueta] }
```

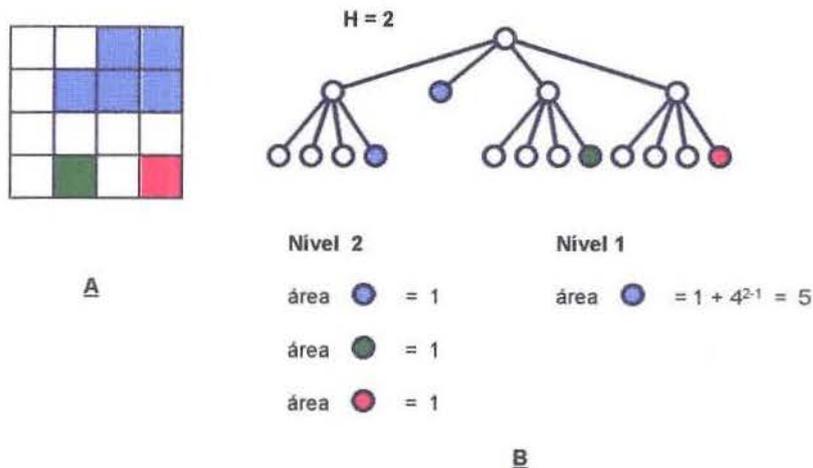


Figura 6.8 Cálculo de área com a utilização de Quadtree.

A fig. 6.8a contém uma imagem com diferentes regiões, onde os pixels de cada região têm as mesmas características. Na fig. 6.8b está ilustrada a Quadtree que representa esta região e a área calculada.

- dada uma região, determinar o seu perímetro

O cálculo do perímetro de uma região pode ser realizado diretamente sobre a sua representação lógica através da contagem dos seus pontos. Regiões onde ocorrem, por exemplo, variações acentuadas das direções dos seus contornos também podem ser determinadas diretamente sobre a sua representação. Nesse caso, basta analisar a representação codificada (lógica) dos contornos e procurar mudanças de direção nos valores desejados. Como no código de Freeman [RK82] as direções variam de ângulos de 45° , no sentido direto, caso se deseje obter regiões com variações de 90° em seu contorno, essas estarão representadas no código por uma diferença de duas unidades.

- dada uma região, determinar a intersecção com componentes de outras categorias

Essa operação possibilita a determinação de, por exemplo, a quantidade de auxílios à navegação em uma região estabelecida. Pode-se também definir um tipo de categoria e desejar saber a quantidade de ocorrências dessa categoria em uma região preestabelecida.

- dadas duas regiões, determinar a distância entre elas

A determinação de distâncias entre regiões é realizada normalmente sob dois diferentes enfoques. Menor distância entre as regiões ou distância entre os seus centróides. Não obstante, uma terceira forma de se obter essas distâncias, considerada por nós como sendo a melhor opção para aplicação na navegação, é estabelecer um ponto em cada uma das regiões e obter a distância entre esses dois pontos. A justificativa para essa opção é que o navegador normalmente deseja sair de um determinado ponto de uma região e chegar a um ponto qualquer em outra região.

6.3.3. Operações Globais

Alguns exemplos dessas operações são :

- conversão do formato raster para o formato vetorial

Muitas vezes, por questão de maior velocidade de processamento ou economia de memória, deseja-se exibir os dados no formato vetorial. Para isso, uma conversão da imagem no formato raster para o formato vetorial deverá ser feita. Algumas abordagens para essa operação são encontradas na literatura [Cif95, Sam90a, SE90, Sil94].

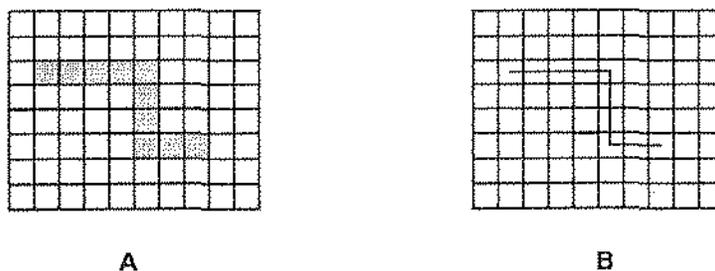


Figura 6.9 Conversão do formato raster para formato vetor.

A conversão de dados raster para vetor envolve vários problemas com níveis de complexidade razoáveis. Inicialmente, são examinados os contornos das regiões, onde a situação ideal é quando os mesmos têm um pixel de largura. Entretanto, essa situação não é comum, sendo necessário executar um afinamento desses contornos. Um exemplo simples de conversão, considerando-se a imagem da fig. 6.9, é representar cada segmento de reta através dos seus pontos extremos. Nesse caso, basta ligar esses pontos para se construir cada segmento. No caso de imagens mais complexas, onde os contornos estão numa diagonal, a obtenção de um segmento reto necessita de algoritmos de aproximação poligonal mais elaborados [SE90].

- histograma da imagem

O histograma é uma operação global utilizada, por exemplo, em segmentação de imagens. Na carta náutica, podemos estabelecer faixas de valores para regiões de terra, mar e demais regiões, representando cada uma por um único valor. O histograma de imagens pode ser usado, aqui, para facilitar a detecção de componentes através de um processo de limiarização [Cha89].

- sobreposição de imagens

Além da sobreposição de imagens radar, item 6.6, outros temas podem ser sobrepostos. Se considerarmos cada tema pertencente a uma determinada camada, essas podem ser sobrepostas uma as outras de modo a atender às necessidades do operador. Exemplos de camadas são :

1. biologia marinha (microorganismos, plantas, peixes, ...);
2. tipos de fundo (lama, areia, pedra, cascalho ...);
3. temperaturas médias das águas (diferentes cores); e
4. nível de poluição das águas (diferentes tonalidades ou cores).

- mudança de resolução espacial

Um dos problemas aqui é o dado não estar na resolução correta ou mais adequada a uma aplicação específica, encontrando-se o banco de dados espacial numa escala pouco apropriada.

O problema de diminuição da resolução espacial envolve o aumento do tamanho das células, ou unidade elementar da imagem. Este processo requer que o operador estabeleça regras para a realização da união (“merge”) dos atributos das células de uma determinada área. A média dos valores dos atributos das células dessa área é um exemplo de regra [SE90].

Quando as células descrevem categorias discretas, a regra da maioria ou pluralidade pode ser utilizada para derivar a nova categoria para o dado agregado a partir dessas células. No caso do número de células por categoria ser o mesmo, uma regra de prioridade deve ser estabelecida. Para a navegação, o conteúdo da imagem deve ser levado em consideração. Por exemplo, a fig. 6.10 ilustra o caso em que a categoria 1, que indica terra, deve ter prioridade sobre a categoria 2, que indica mar, pois qualquer ponto de terra constitui perigo a um navio e não pode ser suprimido [SE90].

1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2
1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2
1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2
1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2
1	1	1	2	2	2	2	2	2	1	1	1
1	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2
2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2

1 - terra
2 - mar

1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	2	2
1	1	2	2	1	1
1	2	2	2	1	2

1 - terra
2 - mar

Figura 6.10 Agregação espacial de células por categoria. A categoria 1, terra, sempre tem prioridade em relação à categoria 2, mar.

6.3.4. Operações Geométricas

Exemplos dessas operações são :

- rotação

Consiste na transformação de cada ponto da imagem em um caminho circular, estabelecido através de um ângulo de rotação. Essa operação é descrita detalhadamente no item 6.5.

- translação

Consiste na transformação de cada ponto da imagem segundo um caminho retilíneo, de uma posição para outra [HB86].

- mudança de escala

Consiste em alterar homoteticamente as componentes da imagem segundo um fator de escala pré-estabelecido [HB86, SE90].

Todas essas operações conferem uma ampla funcionalidade à carta eletrônica, possibilitando realizar as atividades necessárias à navegação. Entretanto, outras operações podem ser incorporadas a esse conjunto, conferindo outras funcionalidades ao sistema. Cabe aqui ressaltar que várias dessas operações podem ser realizadas diretamente sobre a estrutura de dados (representação lógica), não necessitando ser aplicadas sobre a imagem apresentada na TG (representação física).

6.4. Windowing

É assim denominado o processo de se extrair uma subseção retangular de uma imagem [Sam90]. A aplicação dessa técnica, no contexto da Carta Eletrônica, dá-se quando o operador deseja a exibição de uma região específica da carta náutica por ele selecionada. No nosso caso, essa seleção visa, por exemplo, reduzir o volume de dados para a aplicação de rotinas de PDI nessas áreas, diminuindo a quantidade de computação necessária.

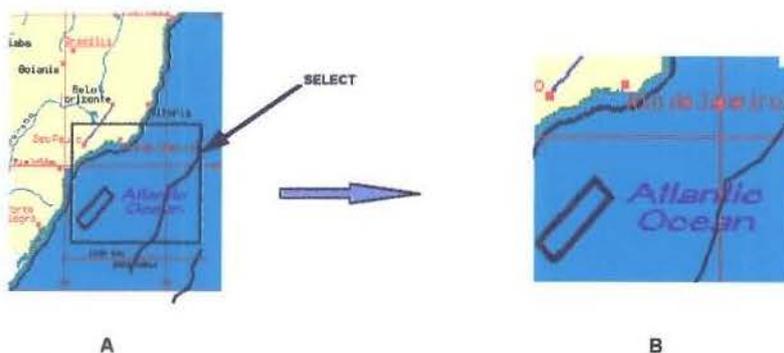


Figura 6.11 Região selecionada na imagem ilustrando a técnica de “Windowing”.

A fig. 6.11 ilustra a realização de “windowing” sobre a imagem à esquerda, quando uma região delimitada por um retângulo, 6.11A, é extraída da imagem e apresentada isoladamente na figura da direita de forma ampliada, 6.11B. Esta imagem pode ser apresentada, eventualmente, numa outra TG.

A técnica a ser utilizada para se obter a seção desejada da imagem depende da sua forma de representação. Várias estruturas de dados raster permitem que esse processo seja executado de modo relativamente simples, como a Quadtree citada anteriormente. Entretanto, consideramos que a estrutura de dados matriz seja a mais adequada para a realização do “windowing”, pois um algoritmo seqüencial simples permite realizar essa operação nessa estrutura.

Nessa estrutura, os limites da área de interesse deverão ser indicados pelo operador, normalmente através de um dispositivo apontador, como o “mouse”. Procedendo dessa forma, uma cópia dos pixels dentro dessa área selecionada deverá ser processada para exibição na TG.

A fig. 6.12 ilustra parte de uma imagem, podendo-se observar a disposição de seus pixels na matriz, bem como as características de cor de cada um. Ao se selecionar uma determinada região através dos seus limites, os pixels pertencentes a essa região são todos copiados para uma outra estrutura de dados matriz correspondente à região selecionada.

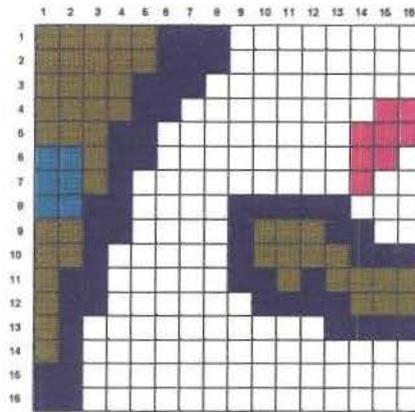


Figura 6.12 Imagem em uma estrutura matriz.

6.4.1. Escala

Apesar da facilidade de se exibir em sistemas computacionais imagens em escala variável, no nosso caso, isso se torna dispensável na prática. Em função da forma de aquisição de dados aqui utilizada, somente aquelas escalas disponíveis nas cartas náuticas impressas estarão também disponíveis na Carta Eletrônica. Essas escalas variam entre 1 : 3.000.000 para cartas gerais a 1 : 150.000 para cartas particulares [EN79].

Se por um lado, a possibilidade de se exibir imagens em escala variável pode conferir um aumento de flexibilidade a um determinado sistema, característica desejável em muitas aplicações, para a Carta Eletrônica os benefícios não aparecem tão evidentes. Na prática, constata-se que um número reduzido de diferentes escalas são utilizadas satisfatoriamente. Especificações da OHI afirmam que seis diferentes escalas são desejáveis para o propósito da carta eletrônica [Mac'89].

Na verdade, não se obtém benefícios em se ampliar uma imagem construída sob uma determinada escala, pois nenhum ganho em precisão ou nível de detalhe será observado [Int95]. Quando é realizada a ampliação da imagem, o que se faz é aumentar o tamanho dos pixels ou manter o seu tamanho original e aumentar o seu número na imagem ampliada de forma que n pixels correspondam a um pixel na imagem original ("zoom-in").

Por outro lado, a redução no tamanho das imagens, denominada de “zoom-out”, também não provê aumento da precisão da imagem original. Normalmente, o tamanho dos pixels é reduzido ou então é realizada a média dos valores dos pontos numa vizinhança da região a ser representada por uma região menor na nova imagem definida por esses pontos médios. A redução das imagens, por qualquer uma dessas técnicas, pode levar a inconsistências topológicas ou à supressão de aspectos das mesmas.

Finalmente, sistemas com escala variável provocam um aumento considerável da complexidade de manipulação das componentes com precisão variável.

6.5. Orientação Variável do Norte

Naturalmente, as imagens exibidas nas TG, por estarem associadas a coordenadas geográficas, são apresentadas segundo uma determinada orientação. A forma primária de se trabalhar com essas imagens é dispô-las de forma que o seu Norte fique na parte superior da TG, com a linha norte-sul disposta verticalmente nessa TG. Não obstante, essa orientação do Norte não é obrigatoriamente fixa, podendo o operador, em função das necessidades práticas momentâneas, requerer outra disposição da mesma. Para atender a esse requisito do usuário, uma função que possibilite a rotação da imagem deve estar disponível no sistema. Nesse contexto, consideramos a operação de rotação, que é definida como a transformação de pontos através de um caminho circular [HB86].

Para a aplicação dessa função, duas situações devem ser consideradas : primeiro, quando se deseja apenas analisar a imagem, sem a realização de cálculos analíticos e, segundo, quando se deseja realizar as operações normais do sistema sobre a mesma sob demanda (em tempo real). O problema que surge, em função de uma ou outra situação, é o erro causado pelas distorções na imagem quando da rotação efetuada sobre a mesma, o que pode comprometer a precisão dos resultados esperados. Esta função deve ser utilizada, na maioria das vezes, na segunda situação, quando operações são realizadas sobre a imagem.

O método utilizado para correlacionar as coordenadas da imagem às coordenadas geográficas é fundamental para avaliar a ordem de grandeza das imprecisões. Em um extremo, considerando-se cada pixel da imagem correlacionado à posição geográfica, em princípio, não haveria problemas para o sistema em função das distorções provocadas pela rotação dessa imagem, exceto pela visualização. No outro extremo, tendo-se apenas os pixels dos vértices da imagem correlacionados à posição geográfica, item 5.4.3, a posição dos demais pixels é obtida através de cálculos analíticos. A utilização da Projeção de Mercator implica, por esse processo, na aplicação de correções devido às distorções inerentes a esse sistema de projeção. Uma distorção na imagem provocada pela sua rotação resultará na associação indevida das coordenadas da imagem às coordenadas geográficas dos seus pontos interiores, podendo expor o usuário a sérios riscos de utilização de informações incorretas ou imprecisas.

6.5.1. Uma Solução Genérica

Na manipulação de imagens, o que inclui a rotação, é necessária a aplicação de transformações geométricas apropriadas às coordenadas dos seus pontos. Apesar de ser uma transformação básica, métodos diferentes podem ser utilizados para esse fim [GW92, HB86, SHB93].

Normalmente, a ordem de grandeza do valor da rotação é expresso em ângulo de rotação, que determina o total de rotação para cada ponto da imagem.

O processo de rotação de uma imagem requer um ponto origem em relação ao qual os outros pontos serão transformados. Esse ponto, geralmente, é a origem do sistema de coordenadas da imagem, sendo o sistema de coordenadas cartesianas o mais comum.

- a transformada

A seguir, ilustraremos a transformação de um ponto genérico da imagem, girando-o de uma posição inicial P de coordenadas (x,y) para uma posição P' de coordenadas (x',y') , determinada por um ângulo de rotação θ :

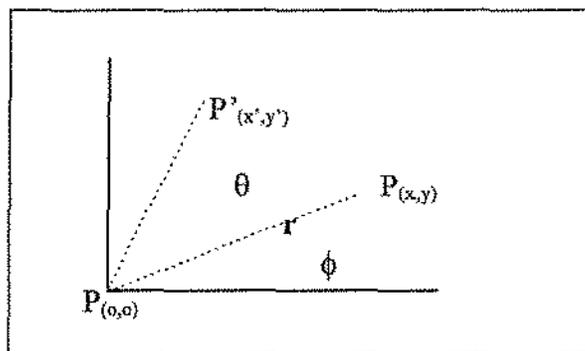


Figura 6.13 Rotação de um ponto de um ângulo θ .

Na fig. 6.13, seja ϕ o ângulo medido entre o eixo horizontal do sistema de coordenadas e o segmento que une o ponto origem desse sistema ao ponto P , no sentido direto. Seja r a distância do ponto P à origem do sistema de coordenadas. As coordenadas (x,y) do ponto P podem ser, então, especificadas em função de r e de ϕ :

$$\begin{aligned} x &= r \cos \phi \\ y &= r \sin \phi \end{aligned}$$

As coordenadas (x',y') do ponto P' podem ser especificadas em função de ϕ e de θ :

$$\begin{aligned} x' &= r \cos(\phi + \theta) = r \cos \phi \cos \theta - r \sin \phi \sin \theta \\ y' &= r \sin(\phi + \theta) = r \sin \phi \cos \theta + r \cos \phi \sin \theta \end{aligned}$$

E assim :

$$\begin{aligned} x' &= x \cos \theta - y \sin \theta \quad e \\ y' &= y \cos \theta + x \sin \theta \end{aligned}$$

Isto é, as coordenadas do ponto P' podem ser especificadas em função das coordenadas (x,y) do ponto P original e do ângulo de rotação θ .

Nesta aplicação, utilizando imagens do tipo cartas náuticas, muitas vezes é necessário girar essas imagens em relação a um ponto pivô genérico, normalmente localizado no centro da região de interesse corrente.

A rotação da imagem em relação a um ponto pivô genérico de coordenadas (x_r, y_r), é determinada pela seguinte equação :

$$\begin{aligned}x' &= x_r + (x - x_r) \cos \theta - (y - y_r) \sin \theta \\y' &= y_r + (y - y_r) \cos \theta - (x - x_r) \sin \theta\end{aligned}$$

Com a especificação dessa fórmula, a velocidade da determinação das novas coordenadas dos pontos da imagem em função de um ângulo de rotação θ será proporcional ao tempo de execução, pelo sistema, das operações trigonométricas e aritméticas necessárias. Naturalmente, esse tempo de computação pode tornar-se excessivo em função do tamanho e da resolução da imagem a ser processada.

6.5.2. Uma Solução Específica

As cartas náuticas possuem um sistema de coordenadas cuja característica principal é dada pela presença dos meridianos e paralelos, dispostos transversalmente entre si. Normalmente, devido a essa característica, regiões limitadas por esses paralelos e meridianos são consideradas para a representação e análise. As próprias cartas náuticas impressas, na impossibilidade de incluírem toda a superfície do globo terrestre em uma única carta, representam regiões limitadas por paralelos e meridianos, em diferentes escalas. Dessa forma, essas regiões têm, geralmente, formatos retangulares e às vezes quadrados.

- distorções

Apesar de tecnologias avançadas em computação gráfica, mais especificamente para a exibição de imagens, onde CRT com resoluções cada vez maiores estão disponíveis, aumentando a possibilidade do uso de telas "raster-scan" como terminais gráficos interativos, podem ocorrer distorções provocadas pela rotação de uma imagem [HB86, Sam90a]. Por exemplo, o fato de um segmento de reta, com seus pontos extremos localizados sobre um mesmo meridiano, estar disposto na TG segundo um determinado ângulo de rotação, pode ocasionar uma distorção nesse segmento. Essa distorção ocorre também em função da resolução da imagem e da própria TG.

No âmbito da carta náutica eletrônica, a manutenção da precisão da imagem original é fundamental para a navegação. Dessa forma, uma rotação em ângulo variável da imagem podendo provocar distorções e conseqüentes imprecisões ou erros nas operações não pode ser considerada nessa aplicação. Naturalmente, a rotação da imagem de 90° elimina esses problemas e, neste caso, o sistema pode facilmente dispor dessa funcionalidade. Para ilustrar a aplicação dessa operação, considere o caso em que um conjunto de navios desloca-se no sentido Leste e o operador, situado no último navio, deseja vê-los na TG na mesma posição relativa que os vê do passadiço do seu navio. Uma rotação da imagem de 90°, no sentido anti-horário, permite tal visualização.

- rotação de 90°

A rotação da imagem, embora em ângulos de 90°, possibilita a variação da orientação do norte da imagem, conferindo flexibilidade ao operador. Com a disposição dos paralelos e meridianos da imagem ou verticalmente ou horizontalmente, o problema das distorções é evitado, pois o alinhamento dos pixels entre dois pontos extremos de um segmento que esteja sobre um meridiano ou um paralelo na imagem não se alterará em função da rotação da mesma [HB86]. O emprego de uma estrutura de dados adequada promove a eficiência dessa operação, diminuindo o seu tempo de computação.

Uma estrutura de dados que, devido as suas características, provê uma ótima solução para essa transformação é a Quadtree [Sam90a]. A codificação das Quadtrees permite uma grande economia de espaço para imagens do tipo cartas náuticas. Por essas imagens possuírem poucas sub-regiões de cores homogêneas, normalmente apenas um número reduzido de nós é, então, necessário para representar cada uma dessas sub-regiões homogêneas [HB86].

O método mais simples para se executar a rotação em passos de 90° nessas imagens, considerando-se a utilização de Quadtrees implementadas com a utilização de ponteiros, é a rearrumação dos mesmos na própria estrutura. Isso é realizado percorrendo-se a árvore em pré-ordem e executando uma rotação dos ponteiros em cada nó. Essa rotação pode ser dada no sentido anti-horário e é baseada nas seguintes observações :

1. os pixels de cada quadrante passarão a pertencer ao quadrante que o sucede imediatamente no sentido anti-horário e
2. cada pixel no novo quadrante aparecerá como se tivesse sofrido uma rotação de 90°.

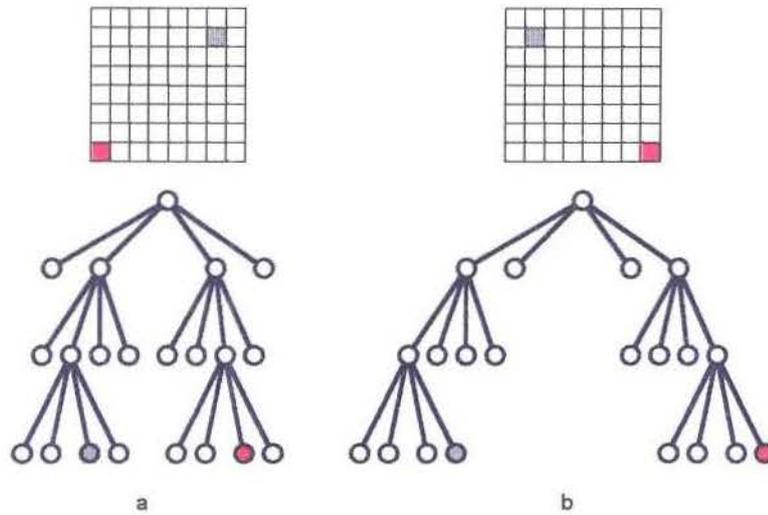


Figura 6.14 Rotação de imagem em uma Quadtree.

A fig. 6.14a ilustra uma imagem representada por uma Quadtree e que sofrerá uma rotação de 90° no sentido anti-horário. Após essa transformação, fig. 6.14b, percebe-se a mudança ocorrida na árvore que representa a imagem.

Uma vez que a estrutura de dados para o sistema é caracterizada como estática, métodos baseados em Quadrees implementadas por cálculo de endereços, também, podem ser utilizados para se efetuar essa transformação. Esses métodos consideram uma árvore de entrada, onde é representada a imagem original, e uma árvore de saída, onde serão posicionados os nós da primeira após serem calculados os seus novos endereços [Sam90a].

Nesse caso, apesar de um determinado nó estar representando um conjunto de pixels de cores idênticas, cada um deles deverá ter sua nova posição estabelecida dentro desse nó na árvore de saída.

Em ambos os métodos acima, sempre haverá a necessidade da conversão da representação matriz-quadtree e, após serem realizadas as operações necessárias, uma nova conversão quadtree-matriz. Essa necessidade é motivada pela tecnologia empregada nos dispositivos de exibição de imagens, como displays raster-scan ou os randômicos, onde nos “frame buffers” desses dispositivos as imagens raster necessitam estar associadas a um sistema de coordenadas para a sua exibição [HB86, Sam90a].

6.6. Sobreposição de Imagens Radar¹

A integração dos dados dos sensores é um dos grandes benefícios deste sistema. O radar, um dos principais sensores utilizados na navegação, fornece imagens digitalizadas dos contatos detectados. Uma forma de integração desses dados à carta náutica eletrônica é a sobreposição dessas imagens radar à mesma, possibilitando indicar nas cartas as posições dos contatos radar.

Os radares são utilizados principalmente para a obtenção de distâncias. Secundariamente, fornecem a marcação das entidades náuticas.

A sua contribuição à navegação pode ser assim enumerada :

1. permite determinar a posição do navio;
2. indica as distâncias de perigos à navegação, como obstáculos naturais, sinalização náutica e outros navios; e
3. funciona de forma aceitável mesmo em condições adversas de tempo e à noite, sendo, muitas vezes, o único recurso do navegador nessas ocasiões.

6.6.1. Breve Descrição do Funcionamento

Os radares, quando utilizados para a navegação, constam basicamente das unidades apresentadas na fig. 6.15.

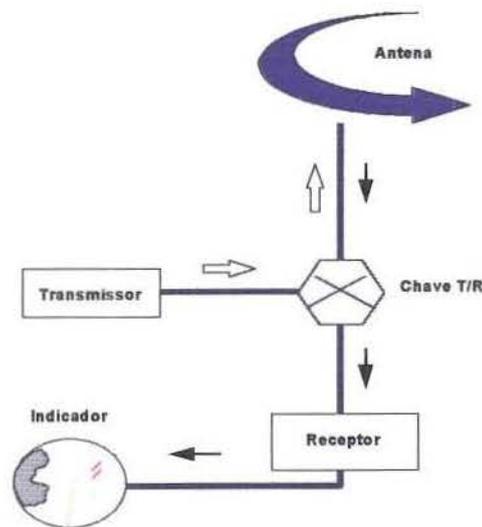


Figura 6.15 Diagrama de um Radar.

¹ RADAR é a sigla da designação em língua inglesa de RADIO DETECTION AND RANGE.

O transmissor emite um impulso numa frequência muito elevada (banda centimétrica). A chave T/R funciona como um interruptor que liga a antena ao transmissor ou ao receptor. O receptor recebe parte da energia emitida que refletiu em algum obstáculo e retornou à antena. O indicador exibe a representação desses obstáculos.

O princípio de funcionamento do radar baseia-se na emissão de impulsos de ondas eletromagnéticas em várias direções de forma seqüencial, através de sua antena rotativa. A detecção do retorno das ondas eletromagnéticas emitidas, denominado eco radar, permite determinar as distâncias dos obstáculos que as refletiram. Esse processo é contínuo e instantâneo, considerando-se a velocidade de propagação das ondas eletromagnéticas, da ordem da velocidade da luz [EN79]. A área da região representada pelo radar é função do alcance dessas ondas e por esse motivo, dificilmente a região representada pelo radar coincidirá com o tamanho da região representada pela carta náutica, ou seja, o tamanho das imagens a serem sobrepostas serão diferentes.

Vários fatores influenciam a qualidade dos dados fornecidos por esses equipamentos, como por exemplo, as condições meteorológicas. Entretanto, eles incorporam funções que compensam essas influências e, normalmente, apresentam bons resultados.

6.6.2. Apresentação dos Dados

Esses equipamentos dispõem de uma tela de exibição dos dados, normalmente circular, cujo centro é associado à origem do seu sistema de coordenadas (telas retangulares e quadradas também são comuns). A tela circular, por exemplo, é graduada de 0° a 360° e pode exibir círculos concêntricos equidistantes de valores predeterminados, em função da escala utilizada.

Várias facilidades estão incorporadas a esses equipamentos, como mudança de escala e deslocamento do ponto origem do sistema de coordenadas para qualquer parte da tela. Nesse equipamento, a imagem a ser sobreposta à carta náutica apresenta-se de forma digital. Para eliminar o eco correspondente às massas terrestres, normalmente o retorno radar é tratado e as informações a serem exibidas correspondem à sinalização náutica, como bóias, refletores radar² e outros navios.

Um dos problemas a ser considerado para efeito de sobreposição é justamente a precisão do radar, principalmente quando se trabalha com cartas de escalas grandes. Testes práticos demonstraram uma precisão da ordem de 12 metros [Eat90]. Dependendo de onde o navio esteja navegando, esse valor pode ser muito grande, necessitando ser diminuído sensivelmente para ser utilizado com confiança e segurança.

² obstáculos artificiais situados em pontos predeterminados em terra ou no mar, com o propósito de refletir as ondas radar dos navios, possibilitando a determinação precisa de suas distâncias.

As subseções seguintes abordam os problemas de escala e precisão das imagens associados à operação de sobreposição de imagens de cartas náuticas e de radares.

6.6.3. Ajuste de Escala, Tamanho dos Pixels e Orientação das Imagens

A operação de sobreposição requer que as imagens provenientes do radar e da carta náutica tenham suas escalas ajustadas. Esse ajuste de escalas é necessário para tornar a representação, por exemplo, de uma ilha, do mesmo tamanho em ambas as imagens.

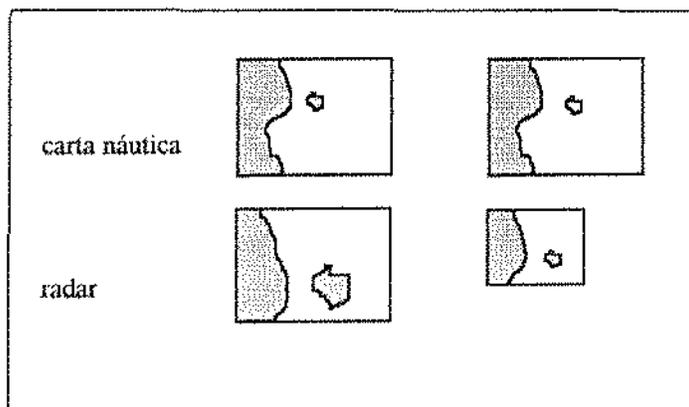


Figura 6.16 Ajuste de escala para sobreposição de imagens.

A fig. 6.16 ilustra duas imagens a serem sobrepostas. No alto, à esquerda, está ilustrada uma imagem de carta náutica. Abaixo, à esquerda, está ilustrada a imagem radar. À direita, estão as duas imagens representadas na mesma escala, onde nota-se que a imagem radar ficou inicialmente menor. É oportuno lembrar que as imagens não representam a mesma extensão da região considerada. Observa-se na fig. 6.16 que a imagem radar representa apenas uma parte da região representada pela carta náutica.

O tamanho dos pixels das imagens também é um fator que deve ser observado. A sobreposição de imagens não requer que seus pixels tenham o mesmo tamanho, entretanto a forma mais direta de se evitar perda de informação é que esses tamanhos, quando diferentes, sejam potência de 2 um do outro. Esse requisito é importante para que a sobreposição não provoque inconsistências ou perda de informação.

6.6.4. O Processo de Sobreposição

Considerando a informação no formato raster, cada célula da imagem radar que compõe a entrada será analisada por um algoritmo seqüencial simples. As componentes dessa imagem radar serão sobrepostas sobre a imagem da carta náutica pelo método “cookie cutter” [Cif95], ou seja, a intensidade dos pixels da carta náutica serão substituídos pelos respectivos valores de brilho dos pixels da imagem radar.

Os pontos origem nas duas imagens, a partir de onde os pixels serão relativamente sobrepostos, são as posições do navio em cada uma. A fig. 6.17 ilustra essa situação.

A fig. 6.17 ilustra uma imagem radar, apresentando três “pontos” com as cores verde, azul e vermelho, a ser sobreposta a uma carta náutica que apresenta, além da região de terra em cor cinza, uma componente em cor preta e um símbolo de refletor radar na cor azul com perímetro vermelho. À direita, na mesma figura, tem-se ilustrado o resultado da sobreposição, onde houve a coincidência entre o ponto verde da imagem radar e a componente preta da carta náutica. A imagem indica também que houve coincidência entre os pontos correspondentes ao refletor radar em ambas representações.

O traço vermelho da imagem radar não estava representado na carta náutica e foi adicionado à mesma, simbolizando um contato³ que encontra-se próximo. O ponto preto menor representa a posição do navio.

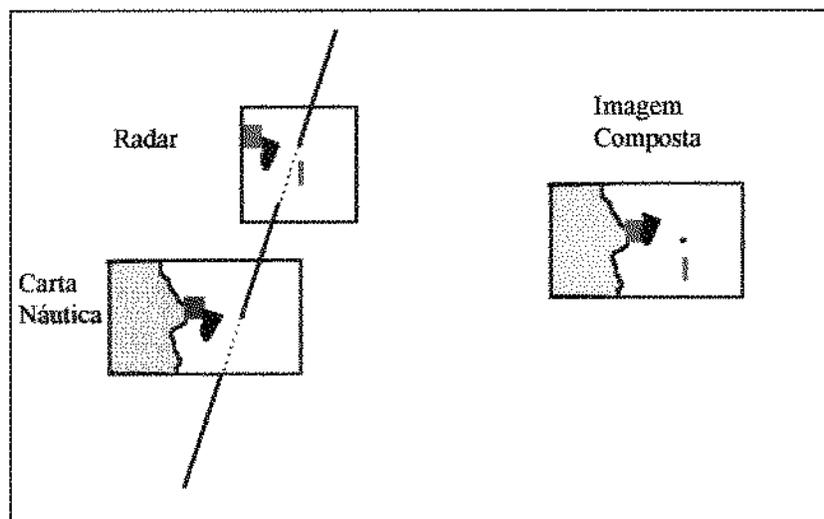


Figura 6.17 Sobreposição de imagem radar à carta náutica.

³ ecos de entidades ou feições náuticas obtidos pelo radar.

As componentes da imagem radar que são sobrepostas à imagem da carta náutica possuem características específicas, como cor e forma, que as caracterizam, distinguindo-as das componentes da carta náutica. Com essa sistemática, a distinção entre as componentes da imagem radar e as componentes da carta náutica que eventualmente não coincidam podem ser facilmente identificadas.

6.6.5. Estrutura de Dados e o Problema da Sobreposição

Devido à simplicidade na representação das imagens, neste contexto, as matrizes são as estruturas de dados que melhor reúnem as condições necessárias para o processo de sobreposição. Além de, normalmente, representarem células quadradas, possibilitam a identificação imediata da posição relativa de um ponto genérico da estrutura a partir de qualquer outro ponto definido como origem na mesma. São também independentes da origem estabelecida para a representação da imagem. Estruturas de dados do tipo Quadtree, por exemplo, modificam-se completamente em função do ponto origem escolhido para particionamento do espaço.

Estruturas de dados do tipo matriz não apresentam esse problema pois são invariantes à translação. Isso significa que o navio pode ter seu movimento indicado numa mesma estrutura, modificando-se os valores dos atributos apenas do pixel correspondente à posição atual do mesmo e restaurando-se os pixels relativos a sua posição anterior. A fig. 6.18 ilustra a sobreposição de duas imagens representadas por matrizes, com origens em posições relativas distintas.

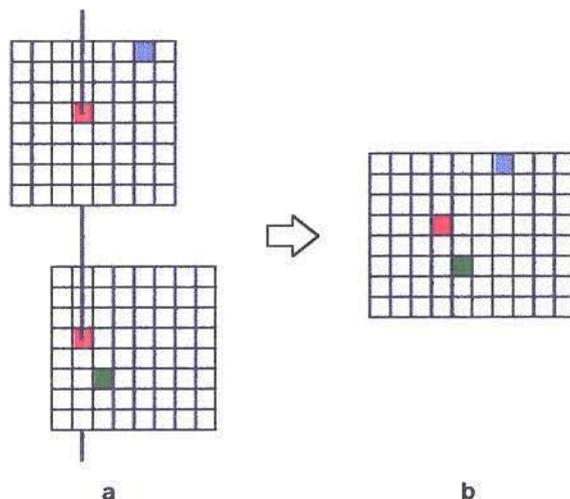


Figura 6.18 Sobreposição de duas imagens representadas por matrizes.

Pode-se notar na matriz de saída da fig. 6.18b que as componentes representadas em cada imagem mantêm a sua posição relativa à origem, representada pelo pixel de cor vermelha.

Outras estruturas de dados que vêm despertando cada vez mais o interesse são aquelas denominadas estruturas raster hierárquicas. Estas estruturas, também chamadas de estruturas de dados piramidais, utilizam diferentes camadas para representação do espaço [SE90]. Em cada camada, a resolução espacial modifica-se. Cada célula de uma camada superior é a média de algumas células da camada imediatamente inferior. A fig. 6.19 ilustra uma Quadtree onde cada célula do nível mais alto é a média de quatro células do nível imediatamente inferior.

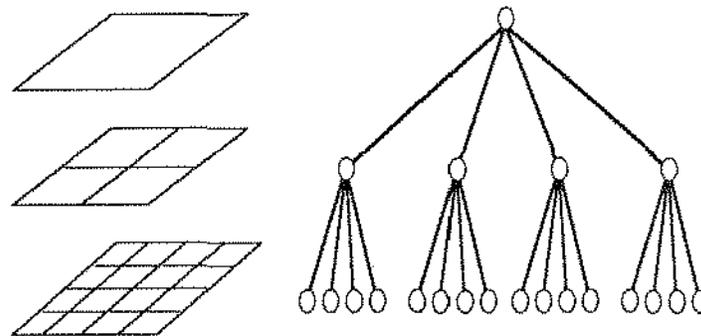


Figura 6.19 Estrutura Quadtree.

Uma desvantagem dessas estruturas é a de despendarem muito espaço para a sua representação. Uma matriz, por exemplo, corresponderia apenas à camada mais baixa dessas estruturas, dispensando as demais. Para algumas aplicações, entretanto, elas possibilitam a diminuição da quantidade de computação, permitindo trabalhar-se nas camadas superiores, onde ocorre uma redução no volume de dados a ser processado.

Uma característica dessas estruturas é a de serem variantes à translação, o que significa que, dependendo do ponto utilizado para se realizar a divisão do espaço, a árvore que o representa modifica-se completamente. A fig. 6.20 ilustra esse problema.

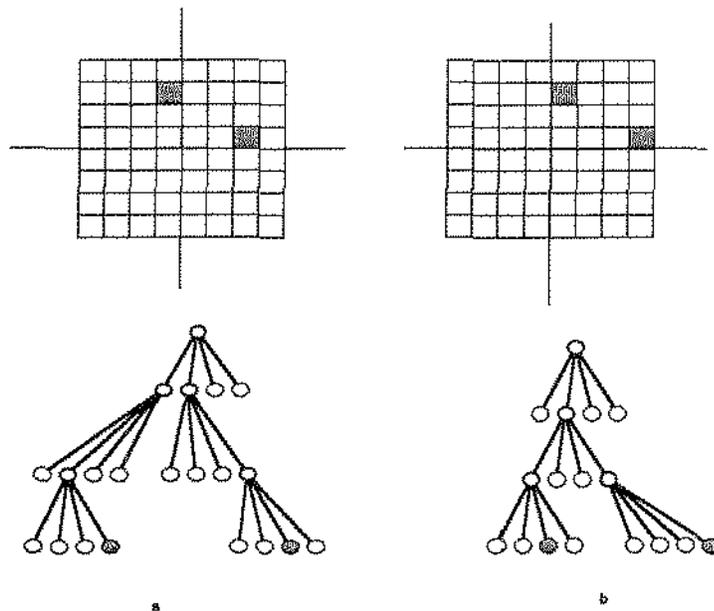


Figura 6.20 Representação em estruturas Quadtree de uma mesma imagem antes e após sofrer uma translação.

Para efeito de sobreposição de imagens nesta aplicação, como o ponto origem é variável (aquele onde situa-se o navio), essa representação torna-se impraticável dada a necessidade de se construir uma nova árvore cada vez que se for efetuar uma nova sobreposição de imagens.

Finalmente, a sobreposição de imagens raster tem amplo uso neste trabalho. Os vários temas relacionados ao ambiente que as cartas náuticas representam podem, por exemplo, ser mapeados em diferentes camadas associadas às regiões representadas por cada carta. Alguns exemplos de temas são :

1. biologia marinha (microorganismos, plantas, peixes, ...),
2. tipos de fundo (lama, areia, pedra, cascalho ...),
3. temperaturas médias das águas (diferentes cores),
4. nível de poluição das águas (diferentes tonalidades ou cores),
5. presença de entidades artificiais (cabos e emissários submarinos, navios afundados, ...),
6. riquezas (jazidas de petróleo e minérios, ...), e
7. regiões de espécies raras (espécies em extinção, áreas de proteção, ...).

Com a implementação das operações exemplificadas aqui, o apoio à tomada de decisão de um tal sistema deve-se tornar mais flexível. Por exemplo, o percurso de um cabo submarino a ser instalado, numa determinada região, deve levar em consideração fatores como tipo de fundo. Esse estudo pode ser desenvolvido sobrepondo-se a camada representando o percurso planejado, do referido cabo submarino, com a camada representando os tipos de fundo dessa região. A partir da imagem resultante, uma avaliação do percurso planejado pode ser mais facilmente realizada. Evidentemente, inúmeras outras possibilidades de combinação de temas existem, o que dependerá exclusivamente das necessidades dos usuários.

7. Conclusão

Neste trabalho, abordamos diversos problemas relativos ao desenvolvimento de um sistema de cartas náuticas eletrônico sob o enfoque de PDI. Esses problemas foram discutidos sob o ponto de vista de estruturas de dados e das funções básicas associadas a um tal sistema.

Devido à variedade de assuntos envolvidos, abrangendo áreas tais como Cartografia, Navegação, Computação Gráfica, Sensoriamento Remoto, Geografia, Banco de Dados, Estatística e Processamento Digital de Imagens, este trabalho apresenta um caráter genérico, com algumas definições, conceitos e requisitos indispensáveis a uma melhor compreensão do desenvolvimento de um tal sistema.

Discutimos algumas soluções para a obtenção dos dados do sistema, com uma análise sobre as necessidades de pré-processar esses dados, visando torná-los utilizáveis pelo sistema e apresentamos, baseados nas características específicas das cartas náuticas, alguns esquemas para representação e processamento dessas imagens.

Além da identificação dos diversos problemas relativos à concepção de um sistema de Cartas Náuticas Eletrônico, a abordagem das funções do sistema, associada à análise das respectivas estruturas de dados, permitiu-nos, entre outros : investigar a viabilidade da utilização de imagens raster como fonte primária de dados; identificar a necessidade de integração e do estabelecimento de normas de vários aspectos das cartas náuticas que viabilizem o desenvolvimentos desses sistemas eletrônicos; e analisar estruturas de dados para problemas específicos como a representação dos pontos relativos à batimetria, por exemplo.

Naturalmente, a fim de dar continuidade a este trabalho, alguns de seus aspectos específicos precisam ser analisados, tais como : avaliação e estabelecimento de normas para vários aspectos das cartas náuticas, como padronização de cores, símbolos, linhas e textos; desenvolvimento de sistemas de banco de dados para dar suporte aos tipos de dados da carta náutica e que permitam ao usuário a construção de novos tipos a partir dos existentes; implementação das estruturas de dados propostas para o MDT e avaliação prática de seu desempenho; e estudo do sistema através de uma abordagem híbrida, com a utilização de imagens nos formatos raster e vetorial. Atualmente, alguns destes aspectos estão sendo considerados no DCC/UNICAMP, num trabalho de desenvolvimento de um protótipo deste tipo de sistema.

Referências Bibliográficas

- [ACL75] C. Arcelli, L. Cordella, S. Levialdi. *Parallel Thining of Binary Pictures*. Electronic Letters, vol. 11, nr. 7, Apr. 1975.
- [Ak87] T. J. Amim, R. Kasturi. *Map Data Processing : Recognition of Lines and Symbols*. Optical Engineering, vol. 26, nr. 4, Apr. 1987.
- [AS94] Jean T. Anderson, Michael Stonebraker. *SEQUOIA 2000 Metadata Schema for Satellite Images*. SIGMOD RECORD, vol. 23, nr. 4, dec 1994, pp. 42 - 48.
- [Bak63] Mucio P. R. Bakker. *Cartografia*. Curso de Especialização de Hidrografia e Navegação, vol. 1, DHN, 1963.
- [Bak75] Mucio P. R. Bakker. *A Projeção de Mercator*. DHN 23-1, 1975.
- [BB87] B. Berking, M. Buck. *Electronic Chart User Requirements in the Federal Republic of Germany*. Royal Institute of Navigation, NAV 87 Data Dissemination and Display Electronics in Navigation. London, Sep., 1987.
- [Bec⁺90] N. Beckmann, Hans-Peter Kriegel, R. Schneider, B. Seeger. *The R* - Tree : An Efficient and Robust Access Method for Points and Rectangles*. Proceedings SIGMOD90, vol. 19, issue 2, jun 90, pp. 322-331.
- [Ben75] J. L. Bentley. *Multidimensional Binary Search Trees Used For Associative Searchig*. Commun. ACM, vol. 18, nr. 9, 1975 , pp. 509-517.
- [Ben80] Jon Louis Bentley. *Multidimensional Divide-and-Conquer*. Communications of the ACM, vol. 23, nr 4, april 1980, pp. 214-229.
- [Bra93] Amauri A. Brandalize. *Formatos de Arquivos : chega de quebrar a cabeça*. Fator GIS, nr. 02, jul, ago, set/93, pp. 7-11.
- [Bro⁺88] G. Broadfoot, R. Everett, H. Halbesma, B. Mulder. *ECDIS/ECDB Operational in the Netherlands*. The Hydrographic Journal, nr. 50, Oct, 1988, pp. 13-19.
- [Cam⁺92] G. Câmara, R. C. M. Souza, U. M. Freitas, M. A. Casanova. *SPRING : Processamento de Imagens e Dados Georeferenciados*. Anais SIBGRAPI V, 1992, pp. 233-242.

- [Cas73] R. G. Casey. *Design of Tree Structures for Efficient Querying*. Com. of the ACM, vol. 16, nr. 9, sept 1973, pp. 549-556.
- [CCK81] M. Chock, A. F. Cardenas, A. Klinger. *Manipulating Data Structures in Pictorial Information Systems*. IEEE Computer, Nov 1981, pp. 43-50.
- [Cha81] Shi-Kuo Chang. *Pictorial Information Systems : Guest editor's introduction*. IEEE Computer 19, Nov., 1981, pp. 10-12.
- [Cha88] Bernard Chazelle. *A Functional Approach to Data Structures and its use in Multidimensional Searching*. SIAM Journal Comput., vol. 17, nr. 3, jun 88, pp. 427-463.
- [Cha89] Shi-Kuo Chang. *Principles of Pictorial Information Systems Design*. Prentice Hall International, Inc. 1989.
- [Cif95] Ricardo R. Ciferri. *Um Benchmark Voltado à Análise de Desempenho de Sistemas de Informações Geográficas*. Dissertação de Tese de Mestrado, Departamento de Ciência da Computação - UNICAMP, 1995.
- [CLR90] Thomas H. Cormen, Charles E. Leiserson, and Ronald L. Rivest. *Introduction to Algorithms*. McGraw-Hill Book Company, 1990.
- [Cox91] Frederico S. Cox Junior. *Análise de Métodos de Acesso a Dados Espaciais Aplicados a Sistemas Gerenciadores de Banco de Dados*. Dissertação de Tese de Mestrado, Departamento de Ciência da Computação - UNICAMP, 1991.
- [Cru92] Emanuel Bras da Cruz. *Módulo Carta Eletrônica de Um SIG*. Dissertação de Tese de Mestrado, IME, 1992.
- [Deh90] H. Deheinzeln. *Necessidades dos Usuários*. Navigation, nr. 151, 1990.
- [Dev85] B. J. Devereux. *The Construction of Digital Terrain Models on Small Computers*. Computers & Geosciences, vol. 11, nr. 6, 1985, pp. 713-724.
- [DH72] R. O. Duda, P. E. Hart. *Use of the Hough Transformation to Detect Lines and Curves in Pictures*. Com. of ACM, nr. 1, vol. 15, Jan. 1972, pp. 11-15.
- [Eat90] R. M. Eaton. *GPS and the Electronic Chart will go a long way towards Preventing Tanker Grounding*. Lighthouse, Edition 41, Spring 1990, pp. 27-33.

- [EEB89] M. Ehlers, G. Edwards, Y. Bedard. *Integration of Remote Sensing with Geographic Information Systems : A Necessary Evolution*. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, vol. 55, nr. 11, nov 1989, pp. 1619-1627.
- [EN79] Renato T. Bittencourt. *Navegação*. Escola Naval, 1979.
- [Fil94] Renato Fileto. *Busca em Subespaços em Várias Dimensões*. Dissertação de Tese de Mestrado, Departamento de Ciência da Computação - UNICAMP, 1994.
- [Flo⁺85] L. de Floriani, B. Falcidieno, C. Pienovi, G. Nagy. *Efficient Selection, Storage, and Retrieval of Irregularly Distributed Elevation Data*. Computers & Geosciences, vol. 11, nr. 6, 1985, pp. 667-673.
- [Fon82] Maurílio M. Fonseca. *Arte Naval*. Escola Naval, 1982.
- [Fre81] Michael L. Fredman. *Lower Bounds on The Complexity of Some Optimal Data Structures*. SIAM Journal Comput., vol. 10, nr.1, feb 1981, pp. 1-10.
- [FT94] Andrew U. Frank, Sabine Timpf. *Multiple Representations for Cartographic Objects in a Multi-scale Tree - an Intelligent Graphical Zoom*. Comput. & Graphics, vol. 18, nr. 6, 1994, pp. 823-829.
- [GB90] O. Gunther, A. Buchmann. *Research Issues in Spatial Databases*. SIGMOD RECORD, vol. 19, nr. 4, Dec., 1990, pp. 61-68.
- [Gem82] Peter Gemmar. *Image Correlation : Processing Requiriments and Implementation Structures on a Flexible Image Processing System (FLIP)*. Notes and Reports in Computer Science and Applied Mathematics. Warner Rheinboldt, eds, University of Pittsburgh, Academic Press, Inc. 1982, pp. 87 - 98.
- [GM86] Stephen J. Glavin, David Monahan. *Cartographic Design Considerations For the Electronic Chart*. Lighthouse, Edition 33, April, 1986, pp. 10 - 13.
- [Gra⁺94] K. C. Graf, M. Suter. *Perspective Terrain Visualization - A Fusion of Remote Sensing, GIS, and Computer Graphics*. Comput. & Graphics, vol. 18, nr. 6, 1994, pp. 795-802.
- [GW92] Rafael C. Gonzalez, Richard E. Woods. *Digital Image Processing*. Addison-Wesley Publishing Company, 1992.
- [Gut84] A. Guttman. *R-Trees : A Dynamic Index Structure for Spatial Searching*. In Proceedings of ACM SIGMOD Conference on Management of Data, Jun , 1984, pp. 599 - 609.

- [Hay88] John P. Hayes. *Computer Architecture and Organization*. McGraw-Hill Int. Edition, Comp. Science Serie, Sec. Edition, 1988.
- [HB86] Donald Hearn, Pauline Baker. *Computer Graphics*. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1986.
- [HSW90] A. Hutflasz, H. W. Six, P. Widmayer. *The R-File : An Efficient Access Structure for Proximity Queries*. SIGMOD Rec. , vol. 19, nr. 2, Jun - 1990, pp. 372 - 379.
- [II82] Mitsuo Ishii, Yasushi Inamoto. *Memory Structures for an Image Processing System*. Notes and Reports in Computer Science and Applied Mathematics. Warner Rheinboldt, eds. University of Pittsburgh - Academic Press, Inc. 1982, pp. 353 - 371.
- [Int95] Internet. *WWWTEXT, USGS*, 1995, pp. 1-37.
- [JC88] Thomas Joseph, Alfonso F. Cardenas. *PICQUERY : A High Level Query Language for Pictorial Database Management*. IEEE Trans. on Software Engineering, vol. 14, nr. 5, may 1988, pp. 630 - 638.
- [JC92] B. K. Jang, R. T. Chin. *One-Pass Parallel Thinning : Analysis, Properties, and Quantitative Evaluation*. IEEE Trans. on Pattern Ana. and Mach. Int., vol. 14, nr. 11, Nov. 1992, pp. 1129 - 1140.
- [Knu73] D. E. Knuth. *The Art of Computer Programming*. Addison-Wesley Publishing Co., volume 3, 1973.
- [Kri⁺89] H. P. Kriegel, M. Schiwietz, R. Schneider, B. Seeger. *Performance Comparison of Point and Spatial Access Methods*. Lecture Notes in Computer Science 409, pp. 89 - 114.
- [LLS92] L. Lam, S. W. Lee, and C. Y. Suen. *Thinning Methodologies - A Comprehensive Survey*. IEEE Trans. on Pattern Ana. and Mach. Int., vol. 14, nr. 9, Sep. 1992, pp. 869 - 882.
- [Log87] Kevin P. Logan. *Improvements in Advanced Eletronic Navigation Systems*. IEEE AES Magazine, Sept, 1987, pp. 20 - 22.
- [LRO94] Neucimar J. Leite, Marcus V. S. Roberto, Cleomar M. M. Oliveira. *Um Sistema de Extração de Informações de Cartas Náuticas*. GIS Brasil 94, Congresso e Feira para Usuários de Geoprocessamento, Curitiba, Out, 1994.
- [Lu⁺91] H. Lu, B. C. Ooi, A. D'Souza, C. C. Low. *Storage Managment in Geographic Information Systems*. Advances in Spatial Databases, O. Gunther, H. J. Schek, editors, 2nd Symposium SSD'91, pp. 450 - 471.

- [Lue78] G. S. Lueker. *A Data Structure for Orthogonal Range Queries*. In Proc. 19th Annu. IEEE Sympos. Found. Comp. Sci., 1978, pp. 28-34.
- [Mac⁺89] G. Macdonald, S. Grant, M. Eaton, J. Macdougall, B. Beale. P. Leenhouts. *ECDIS Development in Canada*. Lighthouse, Edition 39, Spring 1989, pp. 7 - 11.
- [MC86] G. Morse, M. Casey. *The Canadian Hydrographic Service Experiment in Electronic Chart Distribution*. Marine Positioning, Oct, 1986, pp. 279-284.
- [Mig90] Altineu P. Miguens. *Cartas Náuticas Eletrônicas : Uma Realidade*. Leituras Seleccionadas da Diretoria de Hidrografia e Navegação, Mai, 1990, pp. 1 - 7.
- [ML88] Peter W. Mushkat, Cynthia Lamson. *Electronic Chart Display Information Systems : Operational, Policy and Legal Issues*. Oceans' 88 - A Partnership of Marine Interests. Baltimore, 31, oct - 2 Nov 1988, pp. 1589 - 1593.
- [MZ91] Claudia Bauzer Medeiros, Roberto Zicari. *Direções de Pesquisa em Bancos de Dados para Suporte a Novas Aplicações*. Revista de Informática Teórica e Aplicada, vol. 1, nr.4, Dez., 1991, pp. 5 - 22.
- [Nag94] George Nagy. *Terrain Visibility*. Comput. & Graphics, vol. 18, nr. 6, 1994, pp.763-773.
- [NHS84] J. Nievergelt, H. Hinterberger, K. C. Sevcik. *The Grid File : An Adaptable, Symmetric Multikey File Structure*. ACM Trans. on Database Systems, vol. 9, nr. 1, March 1984, pp. 38 - 71.
- [Nie89] J. Nievergelt. *7 +- 2 Criteria for Assessing and Comparing Spatial Data Structures*. Lectures Notes in Computer Science 425, pp. 3 - 27.
- [Ooi90] Beng Chin Ooi. *Efficient Query Processing in Geographic Information Systems*. Lectures Notes in Computer Science 471 - Springer Verlag, 1990.
- [OP87] E. J. Obloy, J. E. Peruzzi. *Potential Legal Liabilities in the Era of the Electronic Chart*. Royal Institute of Navigation, NAV87, Data Dissemination an Display-electronics in Navigation, Oct, 1987, pp. 1 - 8.
- [Ops88] L. H. Opstal. *Standardization of Electronic Charts*. Journal of Navigation, nr. 2, vol. 41, 1988, pp. 288 - 294.
- [Ove⁺90] M. H. Overmars, M. H. M. Smid, M. T. de Berg, M. J. van Kreveld. *Maintaining Range Trees in Secondary Memory, part I: partitions*. Acta Inform., 27, pp. 423-452.

- [Pas89] Jean-Nicolas Pasquay. *A Carta Náutica : Situação Atual e Desenvolvimento*. Cols Bleus, nr. 2038, 17 jun 1989, pp. 1 - 5. (Tradução: Leituras Seleccionadas da Diretoria de Hidrografia e Navegação, Dez, 1990.)
- [Pin94] Silvania de A. Pinto. *Um Sistema de Representação de Relevos*. Dissertação de Tese de Mestrado, Departamento de Ciência da Computação - UFMG, Abril, 1994.
- [PM90] Donna J. Peuquet, and Duane F. Marble, editors. *Introductory Readings in Geographic Information Systems*. Taylor & Francis, 1990.
- [PS94] C. Pienovi, M. Spagnuolo. *Handling Discrete Surfaces By Analysis and Simulation*. Comput. & Graphics, vol. 18, nr. 6, 1994, pp. 785-793.
- [RFS88] N. Roussopoulos, C. Faloutsos, T. Sellis. *An Efficient Pictorial Database System for PSQL*. IEEE Trans. on Software Eng., vol. 14, nr. 5, may 1988, pp. 639 - 650.
- [RH83] Edward M. Reingold, Wilfred J. Hansen. *Data Structures*. Little, Brown and Company, 1983, pp. 1 - 38.
- [RK82] Azriel Rosenfeld, Avinash C. Kak. *Digital Picture Processing, vols. 1 and 2*. Academic Press, INC. Sec. Edition, San Diego, Cal., 1982.
- [RL85] N. Roussopoulos, D. Leifker. *Direct Spatial Search on Pictorial Databases Using Packed R-Trees*. In Proceedings of the ACM SIGMOD Conference, May 1985, pp.17-31.
- [Rog88] Mortimer Rogoff. *Electronic Charts - At The Heart of 21st Century Navigation*. IEEE Plans 88 Position Location and Navigation Symposium Record Navigation into the 21st Century. Orlando, 29 Nov - 2 Dec, 1988, pp. 88 - 95.
- [Rus87] P. J. D. Russel. *ECDIS A Mariner's view of the user requirements of the electronic chart and electronic chart display and information systems*. Seaways, Dec., 1987, pp. 3 - 5.
- [Sam90] Hanan Samet. *The Design and Analysis of Spatial Data Structures*. Addison-Wesley Publishing Company, Inc., 1990.
- [Sam90a] Hanan Samet. *Applications of Spatial Data Structures*. Addison-Wesley Publishing Company, Inc., 1990.
- [Sco93] D. F. Scott. *Visual Basic 2 For Windows*. LTC Editora. 1993.

- [SE90] J. Star, John Estes. *Geographic Information Systems - An Introduction*. Prentice Hall, Inc. 1990.
- [SHB93] M. Sonka, V. Hlavac, R. Boyle. *Image Processing, Analysis and Machine Vision*. Chapman & Hall Computing, 1993.
- [Sil94] Ardemirio B. Silva. *Sistemas Georeferenciados de Informação : Uma Introdução*. Unicamp, Out 1994.
- [SR94] Florian Schröder, Patrick Robbich. *Managing The Complexity of Digital Terrain Models*. *Comput. & Graphics*, vol. 18, nr. 6, 1994, pp. 775-783.
- [USV88] A. Unnikrishnan, P. Shankar, Y. V. Venkatesh. *Threaded Linear Hierarchical Quadrees for Computation of Geometric Properties of Binary Images*. *IEEE Trans. on Software Engineering*, vol. 14, nr. 5, May 1988, pp. 659 - 665.
- [WL85] D. E. Wilhard, G. S. Lueker. *Adding Range Restriction Capability to Dynamic Data Structures*. *J. ACM*, 32, 1985, pp. 597-617.