

Carta Náutica Eletrônica **Uma Implementação**

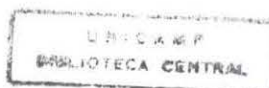
Marcus Vinícius da Silva Roberto

*Este exemplar corresponde a redação final da tese devidamente corrigida e defendida pelo **Sr. Marcus Vinícius da Silva Roberto** e aprovada pela Comissão Julgadora.*

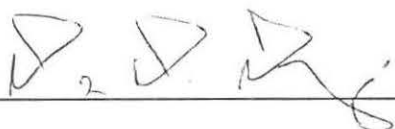
Campinas, 20 de dezembro de 1996


Prof. Dr. Neucimar Jerônimo Leite

*Dissertação apresentada ao Instituto de Computação - UNICAMP, como requisito parcial para obtenção do Título de **Mestre em Ciência da Computação**.*



Tese de Mestrado defendida e aprovada em 19 de dezembro de 1996 pela Banca Examinadora composta pelos Professores Doutores



Profº. Drº. Arnaldo de A. Araújo



Profª. Drª. Cláudia Maria Bauzer Medeiros



Profº. Drº. Neucimar Jerônimo Leite

Agradecimentos

À Marinha do Brasil, pela confiança.

À Rita de Cássia, minha esposa, pelo apoio e compreensão imensuráveis.

Ao Prof. Neucimar Jerônimo Leite^{*}, meu orientador, pela amizade, paciência e pelos valiosos ensinamentos.

Ao Prof. Jorge Stolfi, pelas opiniões e pelos valiosos esclarecimentos sobre estruturas de dados.

Aos amigos Zuquello e Marques, por colaborarem para que meu caminho fosse mais fácil.

^{*} Este trabalho está inserido no contexto dos projetos: Geoprocessamento Sistemas e Técnicas - **GEOTEC** e Sistema de Aquisição, Processamento e Reconhecimento de Imagens - **SAPRI**, ambos desenvolvidos no âmbito do **PROTEM-CC/CNPq**.

Resumo

Carta Náutica Eletrônica : Uma implementação

Este trabalho visa descrever os problemas encontrados e soluções apresentadas durante o desenvolvimento do protótipo de uma carta náutica eletrônica, bem como os procedimentos de processamento de imagens usados como apoio.

A primeira parte é composta de uma breve descrição da história e da teoria cartográfica utilizada. São apresentados os métodos aplicados na resolução dos problemas, tanto de navegação como planejamento, e como estes aspectos se mesclam para auxiliar na especificação da interface operacional da carta náutica eletrônica.

A segunda parte tem sua maior ênfase na apresentação do modelo de dados e das operações básicas implementadas no protótipo da carta náutica eletrônica. A modelagem é feita tendo como base um banco de dados relacional que armazena tanto os dados geográficos como os operacionais.

A abordagem da terceira parte visa descrever um sistema de processamento digital de imagens cujo objetivo é o aproveitamento de cartas náuticas impressas como fontes de dados para o sistema eletrônico. A ênfase é dada ao processamento das imagens de cartas náuticas digitalizadas e à obtenção das coordenadas geográficas dos elementos de interesse que estejam nelas representados.

Um exemplo de como os procedimentos e operações descritos interagem é dado na quarta parte juntamente com as conclusões e comentários finais.

Abstract

Electronic Nautical Chart: An Implementation

In this work we describe some problems concerned with the development of an electronic nautical chart prototype and the related digital image processing procedures.

The first part presents a brief description of the cartography history and theory. The methods applied to solve navigational and planning problems are also presented together with the electronic nautical chart operational interface.

The second part describes the data model and the basic system's operations. The model is given according to a relational database which stores the geographic and the operational data.

The description of a digital image processing system, defined to use the regular printed nautical charts as a data source for the electronic system, is presented in the third part. The emphasis is on the processing of scanned nautical charts to obtain the geographical coordinates of the different components.

An example considering the different procedures and operations is given in the fourth part, followed by some conclusions and final comments.

Conteúdo

CAPÍTULO I.....	4
CAPÍTULO I - NAVEGAÇÃO E CARTAS NÁUTICAS.....	5
1.1 - INTRODUÇÃO.....	5
1.2 - PROJEÇÃO DE MERCATOR.....	6
1.2.1 - Cartografia.....	6
1.2.2 - Mapas e cartas.....	6
1.2.3 - Representação da superfície da terra.....	7
1.2.4 - Sistemas de projeções.....	7
1.3 - CARTAS NÁUTICAS.....	9
1.3.1 - Características.....	9
1.3.2 - Algumas operações sobre cartas náuticas.....	10
1.3.3 - Determinação de posições.....	11
1.3.4 - Sistemas de auxílio à navegação.....	13
1.4 - ASPECTOS GERAIS DE CARTAS NÁUTICAS ELETRÔNICAS ...	16
1.4.1 - Características.....	16
1.4.2 - Evolução e expectativas.....	17
1.4.3 - O sistema DGPS.....	18
1.4.4 - Entidades internacionais envolvidas.....	19
1.4.5 - Integração RADAR.....	19
1.4.6 - Custos e precisão.....	20
1.4.7 - Operações básicas.....	21
1.4.8 - Mudanças de escala.....	22
 CAPÍTULO II.....	 27
CAPÍTULO II - CARTA NÁUTICA ELETRÔNICA.....	28
2.1 - OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	28
2.1.1 - Sistema de uso geral.....	28
2.1.2 - Componentes básicos da carta eletrônica.....	28
2.1.3 - Importação.....	29
2.1.4 - Apresentação.....	29
2.1.5 - Fatores cartográficos.....	29
2.1.6 - Fatores acompanhados.....	30
2.1.7 - Informações.....	30
2.1.8 - Pano de fundo.....	30
2.1.9 - Integração com banco de dados.....	30
2.2 - MODELO DE DADOS.....	31

2.2.1 - Tipos de dados	31
2.2.2 - Manipulação de dados espaciais	32
2.2.3 - Pontos Fixos	33
2.2.4 - Linhas Fixas	33
2.2.5 - Áreas Poligonais Fixas	34
2.2.6 - Setores Circulares Fixos	35
2.2.7 - Pontos Dinâmicos	36
2.2.8 - Linhas Dinâmicas	37
2.2.9 - Áreas Poligonais Dinâmicas	38
2.2.10 - Setores Circulares Dinâmicos	38
2.2.11 - Objetos Cartográficos	40
2.2.12 - Outras informações	41
2.3 - OPERAÇÕES E FUNÇÕES BÁSICAS	41
2.3.1 - Determinação de azimutes, distâncias e círculos de igual distância	42
2.3.2 - Interrogação de pontos	43
2.3.3 - Interrogação de linhas	50
2.3.4 - Interrogação de áreas poligonais	51
2.3.5 - Interrogação de áreas circulares	52

CAPÍTULO III..... 54

CAPÍTULO III - IMPORTAÇÃO DE DADOS..... 55

3.1 - INTRODUÇÃO	55
3.2 - PRÉ-PROCESSAMENTO	56
3.2.1 - Transformação radiométrica	56
3.2.2 - Transformações geométricas	58
3.2.3 - Correção da inclinação da imagem	60
3.2.4 - Interpolação de <i>pixels</i>	61
3.3 - PROCESSAMENTO	64
3.3.1 - Resolução espacial e resolução de cores	64
3.3.2 - Reconhecimento de linhas e contornos de áreas	66
3.3.3 - Reconhecimento do litoral	67
3.3.4 - Reconhecimento de isolinhas	68
3.3.5 - Reconhecimento de contornos de áreas	71
3.3.5.1 - <i>Deslocamento e diferença</i>	73
3.3.5.2 - <i>Operadores direcionais de Prewitt</i>	73
3.3.5.3 - <i>Operador de Laplace</i>	74
3.3.5.4 - <i>Operador de Sobel</i>	75
3.3.5.5 - <i>Deteção de contornos no módulo de Importação</i>	75
3.3.6 - Segmentação de caracteres alfanuméricos	76
3.3.7 - Reconhecimento de pontos e símbolos	79
3.3.8 - Obtenção de Componentes Conexos	80
3.3.8.1 - <i>Originando listas secundárias</i>	81
3.3.8.2 - <i>Adicionando pontos ao final de listas secundárias</i>	81

3.3.8.3 - <i>Unindo listas secundárias</i>	83
3.3.8.4 - <i>Um exemplo de geração de componentes conexos</i>	84
3.3.8.5 - <i>Formatando a estrutura de acordo com o modelo</i>	87
3.3.9 - Conversão de coordenadas	88

CAPÍTULO IV 94

CAPÍTULO IV - UM EXEMPLO DE APLICAÇÃO 95

4.1 - ESTUDO DE CASO	95
4.1.1 - Ilha de Alcatrazes	95
4.2 - IMPORTAÇÃO DE DADOS	96
4.2.1 - Linhas do litoral	96
4.2.2 - Obtenção de isobatimétricas e curvas de nível	97
4.2.3 - Obtenção das coordenadas do farol	99
4.2.4 - Montagem do setor de visibilidade do farol	100
4.3 - OPERAÇÃO DA CARTA NÁUTICA	102
4.3.1 - Planejamento da derrota	102
4.3.2 - Fundeio	104

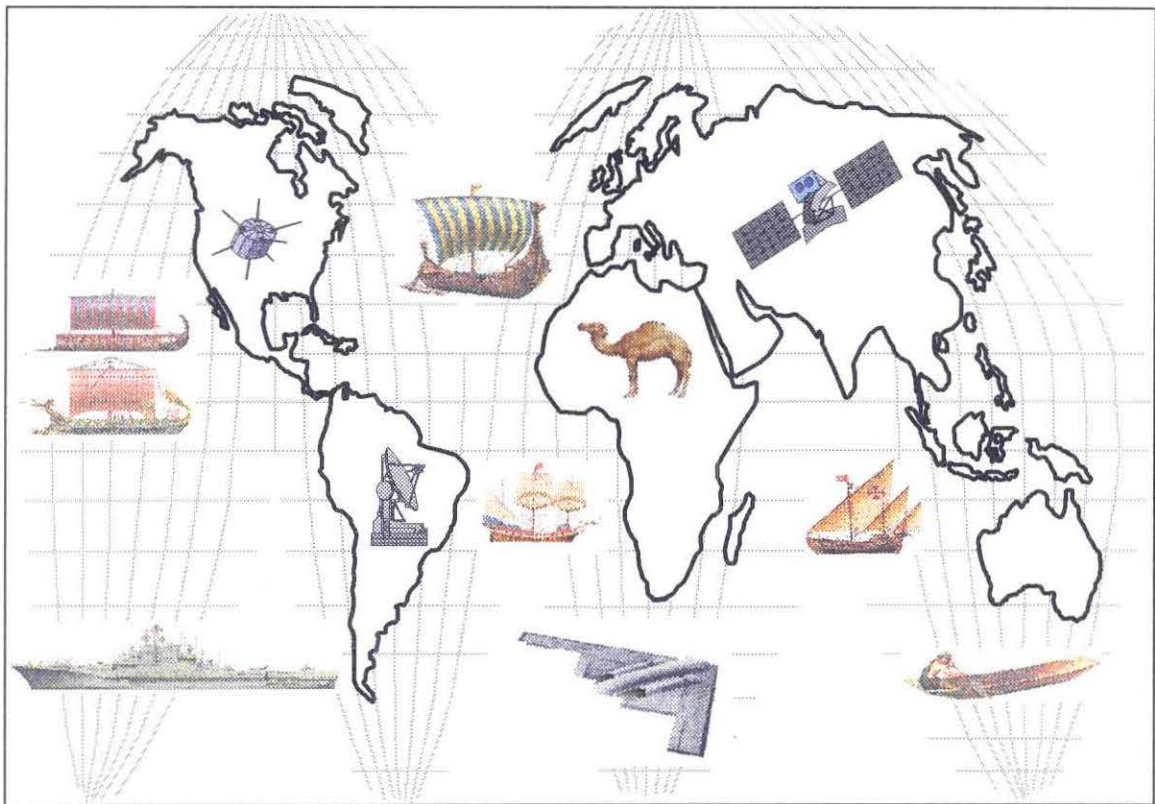
CAPÍTULO V 106

CAPÍTULO V - CONCLUSÕES 107

5.1 - RESUMO	107
5.2 - PRINCIPAIS PROBLEMAS ENCONTRADOS	108
5.2.1 - Cruzamentos e valores de isolinhas	108
5.2.2 - Restrição da atuação de algoritmos de processamento de imagens ..	108
5.2.3 - Importação de grandes áreas	108
5.3 - COMENTÁRIOS FINAIS	109
5.3.1 - Qualidade e confiabilidade dos dados obtidos	109
5.3.2 - Custos e tempo de processamento	109
5.3.3 - Flexibilidade na obtenção dos dados	109
5.3.4 - Consolidação geográfica	110
5.3.5 - Integração da carta eletrônica com outros sistemas existentes	110
5.4 - POSSÍVEIS EXTENSÕES	110

REFERÊNCIAS 112

Capítulo I



Navegação e Cartas Náuticas

Capítulo I - Navegação e Cartas Náuticas

1.1 - Introdução

Navegação é a ciência e a arte de conduzir com rapidez e segurança uma nave para um destino específico, em um intervalo de tempo previamente estabelecido. Em uma aproximação maior, podemos dizer que todo aquele que lida com o problema de achar o seu caminho, seja ele na terra, água ou ar, é um navegador.

O mais antigo mapa de que se tem notícia é um pequeno tablete de cerâmica do terceiro milênio a.c., no qual os Sumérios representaram o seu Estado. Os primeiros mapas egípcios datam de 14 séculos a.c. e tinham como objetivo manter os limites das propriedades que eram inundadas pelas cheias do rio Nilo.

Impulsionados pelas necessidades de expansão da sua civilização, os gregos e romanos deram o primeiro grande impulso na cartografia. A fundação de novas colônias e expedições militares forneciam a demanda para que novas técnicas fossem usadas na demarcação de novos territórios conquistados [BAGR85].

O primeiro escrito geográfico que descrevia a terra como plana e cercada por oceanos data do século 6 a.c.. Porém, já no século 3 a.c., Erastótenes foi capaz de calcular a circunferência da Terra com grande acuidade. Ele e seu contemporâneo Hiparco lançaram os fundamentos da cartografia científica ao elaborarem o sistema de coordenadas geográficas, baseado em Latitudes (φ) e Longitudes (λ), tão importante na navegação atual.

Antes que os navegadores se aventurassem a cruzar os oceanos, o comércio marítimo restringia-se a mares interiores, ilhas próximas e viagens costeiras. Um navegante não podia ficar muito tempo sem ver terra. A principal preocupação era manter a sua posição bem determinada, pois o conhecimento prévio de acidentes geográficos, correntes marítimas, pedras ocultas, ventos, marés e perigos à navegação em geral estão firmemente ligados à posição [BAGR85].

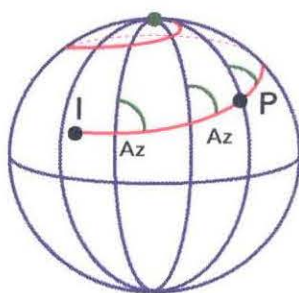


Figura 1. 1 - Exemplo de loxodrômia.

No início, tais conhecimentos eram passados adiante informalmente, no entanto o engenho humano criou mapas, diários de navegação, impressos e um sem número de recursos tecnológicos que tornaram a navegação atual bem mais segura e precisa, ainda que menos romântica.

Ao lado da bússola, a carta náutica talvez seja um dos instrumentos de navegação mais antigos de que se tem notícia, e o homem que a tornou um instrumento acurado e lhe deu a forma atual foi Gerardus Mercator (1512 a 1594).

Mercator foi um cartógrafo flamengo bem conhecido pelo seu trabalho realizado com mapas e cartas, especialmente a Projeção de Mercator, que usa linhas retas para representar paralelos, meridianos e loxodrômias¹ (Figura 1. 1). Mercator usou sua projeção cilíndrica pela primeira vez no mapa mundi de sua autoria em 1569, no qual a história e a criação do mundo eram ilustradas. Este somente foi encontrado em Wroclaw, na Polônia, em 1889. Apenas quatro cópias deste mapa são conhecidas nos dias atuais, embora o Bureau Hidrográfico Internacional o tenha reproduzido na íntegra, com suas dezoito folhas, em 1931.

1.2 - Projeção de Mercator

1.2.1 - Cartografia

A exemplo da navegação, a cartografia é a ciência e a arte de expressar graficamente, por meio de mapas e cartas, o conhecimento humano da superfície terrestre.

Esta expressão gráfica é ciência porque, para alcançar a exatidão desejada, procura o apoio da astronomia, matemática, topografia e geodésia, entre outras. É arte quando se subordina às leis da estética, simplicidade, clareza e harmonia [BAKK65].

1.2.2 - Mapas e cartas

Não há uma definição formal diferencial rígida de cartas e mapas. No entanto, o uso consagra o mapa como uma representação ilustrativa, cuja escala, normalmente pequena, engloba uma grande área. Já a carta é a representação de aspectos naturais e artificiais destinada a fins práticos da atividade humana [BAKK65].

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) classifica as cartas da seguinte forma:

- Topográficas
- Planimétricas
- Cadastrais e plantas
- Aeronáuticas
- Náuticas
- Especiais

¹ Linhas que interceptam os meridianos em ângulos iguais.

Das citadas, vamos nos limitar às Náuticas, fruto do levantamento de mares, cursos d'água, canais e lagoas navegáveis e que se destinam, principalmente, à segurança da navegação.

1.2.3 - Representação da superfície da terra

No final do século XVII, Newton divulgou a idéia de que a terra não teria uma forma esférica perfeita. Haveria um achatamento nos pólos em virtude do movimento de rotação. No final do século passado e no início deste século surgiu a concepção do geóide que, longe de ser um elipsóide regular, refletia todas as irregularidades da superfície terrestre. Embora preciso, o geóide não é de muita utilidade para a cartografia que necessita de uma superfície geometricamente definida. Deste modo, foi elaborada uma série de aproximações para superfícies de referência; a saber:

Autoridade	Raio Equatorial	Raio Polar	Excentricidade	Achatamento
Bessel (1841)	6.377.397,16m	6.356.078,96m	0,081 696 8	1/299
Clarke (1866)	6.378.206,40m	6.356.583,80m	0,082 271 8	1/294
Clarke (1880)	6.378.249,17m	6.356.514,99m	0,082 483 2	1/293
Helmert (1907)	6.378.200,00m	6.356.818,17m	0,081 812 0	1/298
Hayford (1909)	6.378.388,00m	6.356.911,95m	0,081 991 9	1/297

A Diretoria de Hidrografia e Navegação, do Ministério da Marinha, adota nas suas cartas o elipsóide de Hayford [BAKK65].

1.2.4 - Sistemas de projeções

Qualquer representação de uma superfície pressupõe uma regra ou método segundo o qual será feita a correspondência entre os pontos desta superfície e a superfície de referência adotada. A estes métodos e regras dá-se o nome de sistemas de projeções. Os sistemas de projeções podem ser classificados segundo vários aspectos.

Quanto ao método de construção, as projeções podem ser geométricas, analíticas e convencionais.

As geométricas baseiam-se em princípios geométricos bem definidos e podem ser subdivididas em perspectivas e pseudo-perspectivas. Uma projeção é chamada de perspectiva quando o feixe de linhas que corta a superfície converge para um ponto de vista. É a posição do ponto de vista que dá nome às projeções perspectivas (Figura 1. 2). Quando o ponto de vista fica situado no centro da terra, ela é chamada de gnomônica; quando fica situado no lado oposto da terra, fica caracterizada como estereográfica e quando o ponto de vista fica no infinito, é classificada como ortográfica. As projeções pseudo-perspectivas são obtidas a partir das projeções perspectivas e do uso de artifícios para obter determinadas propriedades [BAKK65].

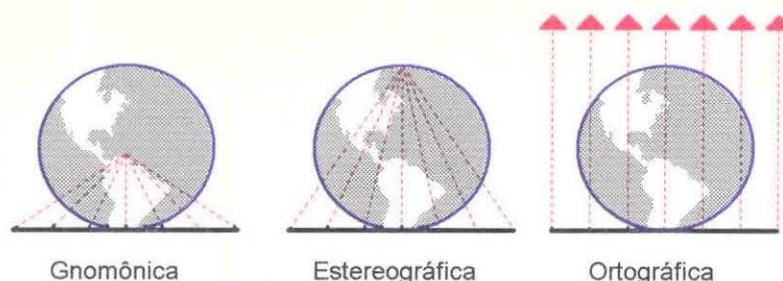


Figura 1. 2 - Sistemas de projeções perspectivas.

As analíticas afastam-se do sentido puramente geométrico e se apóiam em leis e fórmulas matemáticas na definição dos parâmetros da projeção com o fim de obter determinada propriedade.

As projeções convencionais são aquelas obtidas por critérios arbitrários e seu uso fica restrito a aplicações bem específicas.

Quanto à superfície de projeção adotada, os sistemas de projeção podem ser classificados em planos, cônicos, cilíndricos e poliédricos (Figura 1. 3). A projeção plana pode ser chamada, ainda, de azimutal ou zenital, em virtude dos azimutes em torno do ponto de tangência serem representados sem deformações [BAKK65].

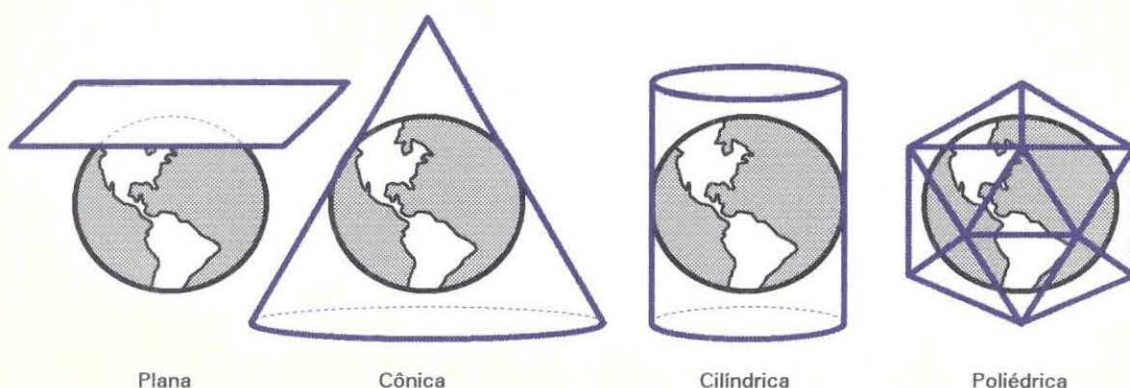


Figura 1. 3 - Superfícies de projeção.

As projeções podem ser classificadas, pelas propriedades que conservam, da seguinte forma:

- Equidistantes, quando não há deformações lineares. Geralmente a equidistância só é obtida em uma determinada direção.
- Equivalentes, quando não há deformações de áreas, isto é, as áreas da carta e da superfície da terra sempre diferem de um mesmo fator de escala.
- Conformes, quando não apresentam deformações nos ângulos, não alterando, portanto, as pequenas áreas.

A projeção de Mercator, classificada à luz dos critérios até aqui expostos, é: analítica, cilíndrica, equatorial e conforme. Neste caso, leis matemáticas fazem a projeção da superfície da terra sobre um cilindro tangente ao equador, mantendo os ângulos e pequenas áreas sem deformação [BAKK75].

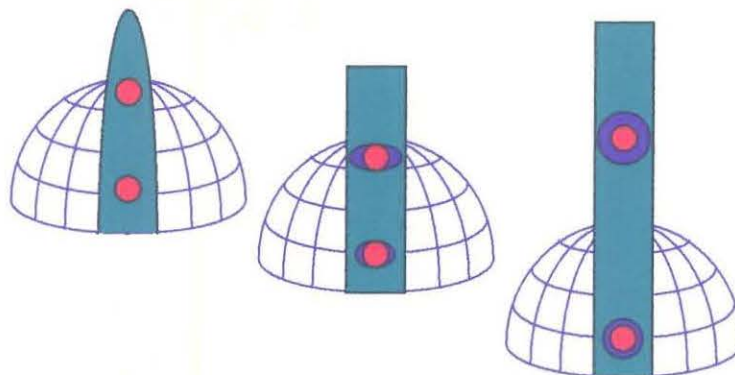


Figura 1. 4 - Deformações na construção da projeção de Mercator.

1.3 - Cartas Náuticas

1.3.1 - Características

Embora as cartas náuticas possam ser construídas usando-se princípios diferentes, as que nos interessam são aquelas obtidas pela projeção de Mercator, com características bem definidas, tais como:

- As linhas correspondentes aos meridianos e paralelos são verticais e horizontais, respectivamente.
- As linhas correspondentes aos rumos constantes (loxodrômias) são linhas retas que sempre cortam os meridianos e paralelos no mesmo ângulo.
- A inclinação de uma reta que une dois pontos corresponde ao rumo entre eles.
- Os ângulos e as formas das pequenas áreas são conservadas.
- A escala é verdadeira sobre o equador e aumenta sobre os paralelos.
- Há um aumento da escala sobre os meridianos na mesma proporção do aumento sobre os paralelos.
- Os pólos não possuem representação.

Tais propriedades dão à carta náutica a capacidade de servir de substrato na resolução de problemas diversos, tanto no auxílio ao planejamento como, principalmente, na navegação [BAKK75].

1.3.2 - Algumas operações sobre cartas náuticas

As cartas náuticas podem ser usadas em várias atividades, além da navegação. O planejamento de ações diversas, acompanhamento de situações, suporte para realização de pesquisas e o gerenciamento de aspectos de interesse podem beneficiar-se das informações contidas na carta.

Para que tais atividades sejam efetuadas, o usuário da carta deve ser capaz de manipulá-la, bem como os seus vários instrumentos de apoio, nas várias operações básicas suportadas por ela. **Algumas** destas operações são descritas a seguir.

Para **determinar o azimuth entre dois pontos** conhecidos é necessário que se use uma régua especial chamada régua paralela (Figura 1. 5) que permite uma movimentação sobre a carta sem que a direção indicada pela mesma se modifique. Desta forma, tudo o que temos de fazer é posicionar a régua na mesma direção da reta que une os dois pontos e movê-la até uma das rosas-dos-ventos impressas na carta. Com a régua cruzando o centro da rosa, podemos fazer a leitura do azimuth no ponto em que a escala graduada é interceptada [BITT79].

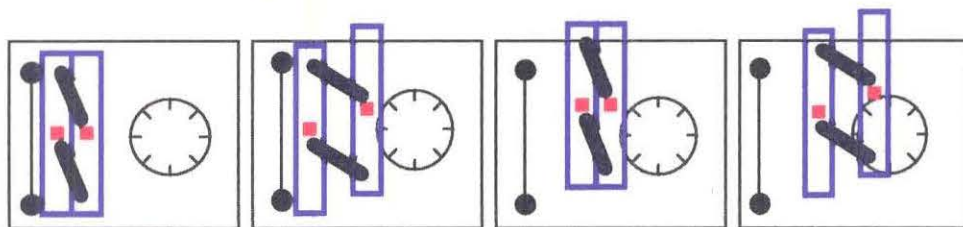


Figura 1. 5 - Determinação de azimuthes.

Esta operação pode ser realizada no sentido inverso, isto é, **traçar uma reta de inclinação igual a um azimuth determinado** (Figura 1. 6). Para tal, basta que posicionemos a régua sobre uma das rosas-dos-ventos de maneira que o azimuth desejado e o centro da rosa sejam tangentes à mesma borda, e movimentá-la para o local onde deve ser traçada a reta [BITT79].

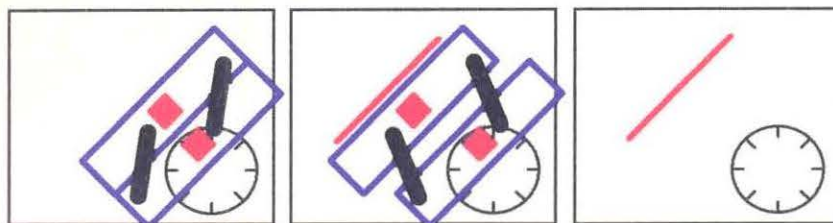


Figura 1. 6 - Traçado de azimuthes.

As operações acima foram descritas de maneira tradicional. A régua paralela desenhada usa articulações visando manter o paralelismo, e não possui nenhum tipo de escala representada nas suas metades. Hoje, porém, há vários tipos de réguas e cada uma tem a sua maneira peculiar de movimentação. Algumas incorporam até mesmo uma escala angular que nos permite usar qualquer meridiano como referência, ao invés da rosa.

Caso seja necessário **medir a distância entre dois pontos conhecidos**, usamos o compasso de pontas secas (Figura 1. 7). Cada uma das pontas do compasso deve ser posta sobre um dos pontos. Após isto, o compasso deve ser colocado na escala de latitudes, a escala vertical, ao redor da latitude média dos pontos envolvidos. Tal procedimento minimiza as diferenças oriundas das deformações da projeção. A distância em milhas é equivalente ao número de minutos de grau entre as pontas do compasso [BITT79].

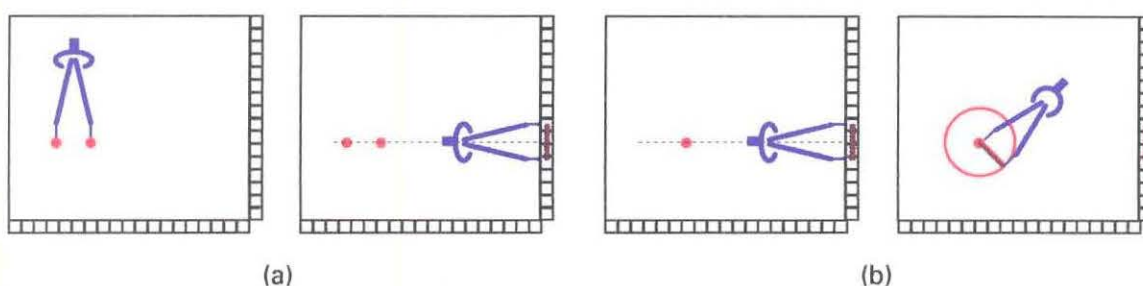


Figura 1. 7 - Determinação (a) e traçado (b) de distâncias.

A exemplo da determinação de azimutes, também é possível partir de um único ponto e determinar outros que estejam a uma **distância específica** (Figura 1. 7). O compasso usado, neste caso, possui apenas uma ponta seca. Com a distância em milhas, calculamos o valor em graus da escala de latitude e abrimos o compasso neste valor, centrado na latitude do ponto conhecido. A ponta seca é, então, colocada sobre o ponto desejado, e um círculo de igual distância pode ser traçado na carta [BITT79].

1.3.3 - Determinação de posições

Uma maneira de se obter a posição no mar é usando o método conhecido como navegação estimada. Neste método, incrementos são feitos à posição inicial do navio, conforme o seu rumo e a distância percorrida. O rumo do navio é obtido usando-se a bússola, também conhecida como agulha magnética. Um outro tipo de agulha, a giroscópica, é o mais utilizado pelos navegantes, uma vez que aponta para o norte geográfico, ao invés do magnético. A agulha giroscópica não pode ser usada nas regiões polares. A distância percorrida pode ser obtida através de equipamentos chamados odômetros. O odômetro mede a distância percorrida e a velocidade atingida pelo navio em relação à massa líquida. Uma grande desvantagem deste método é não levar em conta as correntes marítimas e o efeito dos ventos sobre a embarcação. Outra, é a necessidade

de manter estes equipamentos sempre muito bem aferidos, pois qualquer diferença, por mínima que seja, pode gerar um grande erro durante uma longa travessia [BITT79].

À despeito da existência de outros métodos para a obtenção da posição, a **posição estimada** é sempre calculada, pois a comparação entre ela e a **posição observada** de um navio, para um mesmo horário, é uma técnica utilizada para a determinação de rumos e intensidades de correntes.

Uma vez que o operador da carta náutica esteja familiarizado com as operações básicas, poderá usá-las com objetivos mais específicos. Ao navegante interessa o seu posicionamento. Portanto, freqüentemente emprega o método do cruzamento de linhas de posição.

O conceito de Linhas de Posição (LP) pode ser expresso como o conjunto de posições geográficas que satisfazem determinadas propriedades que possam ser medidas pelo navegador e seus equipamentos. Não são necessariamente linhas retas. As LP mais utilizadas são da forma de retas, círculos, hipérboles e nos formatos livres das isolinhas representadas na carta.

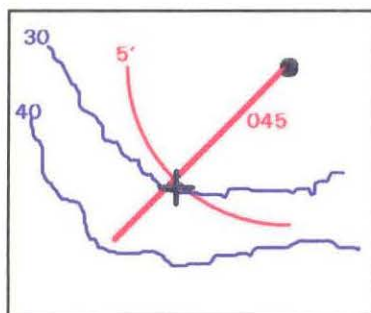


Figura 1. 8 - Determinação de posição usando LP.

Podemos exemplificar o emprego das LP da seguinte forma: um navegador avista uma pequena ilha com um farol, conforme mostrado na Figura 1. 8. Através de observações óticas ele determina o azimuth do farol como sendo 045. Usando o seu RADAR (RAdio Detection And Range) ele obtém a distância de 5 milhas do refletor radar do farol, enquanto o seu ECOBATÍMETRO indica uma profundidade de 30 metros. Neste caso, o navegador pode determinar a sua posição traçando na carta as LP do azimuth, da distância, e cruzando-as com a LP de 30 metros impressa na carta.

A LP de 045 será uma reta de inclinação 045, partindo do farol observado; a de 5 milhas será um círculo de igual distância, com 5 milhas de raio, centrado na pequena ilha. Ambas poderão ser desenhadas na carta usando as técnicas descritas anteriormente.

A LP de maior precisão é a obtida por observações óticas do azimuth. Normalmente, vários pontos são observados e as suas retas convergem para o ponto onde está localizado o navegante. O grande inconveniente de só usarmos linhas de azimuth é que não podemos nos afastar de terra ou de pontos notáveis. O RADAR não possui esta barreira tão rígida. Embora o seu raio de ação permita que o navegador se desloque sem

ver terra, também possui limitações que inviabilizam a sua utilização na determinação de posições numa travessia oceânica [BITT79].

Durante muito tempo, a única opção para o navegador oceânico era a observação da altura dos astros por ocasião do crepúsculo. A altura de um astro é definida como o menor ângulo formado entre a linha do horizonte e o astro. Portanto, as duas únicas horas do dia em que tanto os astros como o horizonte estão visíveis são os crepúsculos matutino e vespertino. Para se obter esta medida é usado o sextante, engenhosa combinação de escalas, lentes, espelhos e *vernier*².

A LP gerada pela altura de um astro é a base de um cone cujo vértice é o astro observado, e que intercepta a Terra nos locais onde a observação da altura obtém o mesmo valor. Na prática, em áreas reduzidas, podemos aproximar um segmento deste círculo por uma reta [ENPC78]. Portanto, ao cruzarmos várias “retas” de vários astros somos capazes de determinar a nossa posição. Os inconvenientes restantes ficam sendo o estado atmosférico e o número de crepúsculos durante o dia. Um tempo chuvoso ou nublado não permite este tipo de observação. A resposta humana a esta limitação veio primeiro com os sistemas de radiogoniometria, navegação hiperbólica, inercial e mais tarde com a navegação por satélites, apresentados a seguir [BITT79].

1.3.4 - Sistemas de auxílio à navegação

Um equipamento de radiogoniometria é capaz de determinar a direção da qual parte uma emissão rádio. Estações são espalhadas pelo mundo e permitem que os navegantes consigam obter os respectivos azimutes.

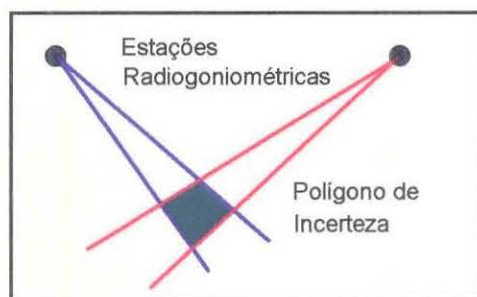


Figura 1. 9 - Área determinada por cruzamento radiogoniométrico.

O azimute obtido desta forma não pode ser usado diretamente na determinação da posição, visto que as ondas de rádio não se propagam sobre loxodrômias e, sim, percorrendo trajetórias ortodrômicas³. Correções levam em conta a posição estimada do

² O *vernier* de um sextante é um conjunto mecânico que permite a manipulação, com extrema precisão, das lentes e espelhos em ângulos muito pequenos. [ENPC78]

³ O menor caminho entre dois pontos na superfície. São segmentos de círculos máximos e, portanto, variam os azimutes durante o trajeto.

navio e a posição da antena transmissora. Embora pareça a solução definitiva, uma LP de um azimuth radiogoniométrico não pode ser representada por uma reta (Figura 1. 9). As características peculiares da propagação rádio fazem com que um setor angular seja a representação mais correta. Portanto, ao cruzar vários azimuths radiogoniométricos, o navegador pode se deparar com um polígono de grandes proporções [BITT79].

A navegação hiperbólica baseia-se no princípio geométrico de construção da hipérbole: o lugar geométrico dos pontos cujas diferenças das distâncias entre eles e dois outros pontos, denominados de focos, são constantes.

Para tirar proveito deste princípio foram instaladas, em vários locais, estações de transmissão, cujo alcance é mundial. Os sinais emitidos por estas podem ser captados por receptores especiais instalados em navios. Além de sintonizá-los, estes receptores podem determinar a diferença de fase entre duplas de sinais e, neste caso, tomando-se duas estações como focos, determina-se uma hipérbole.

Cartas náuticas especiais trazem malhas impressas representando as várias hipérbolas (Figura 1. 10) que podem ser obtidas em uma dada região. Cruzando as hipérbolas correspondentes a alguns pares de estações, podemos determinar a posição do navio. Uma vez que a posição foi plotada neste tipo de carta, deve ser transferida para outra que indique os outros aspectos de interesse à navegação [BITT79].

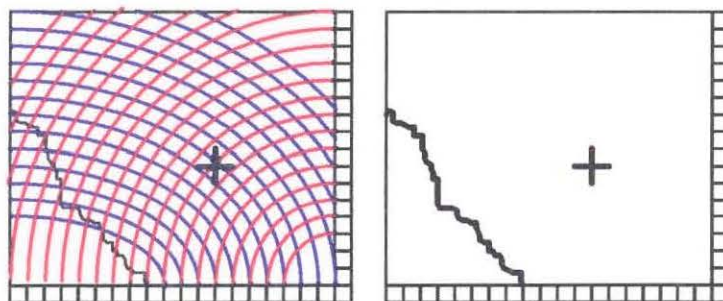


Figura 1. 10 - Navegação hiperbólica.

O processo todo não é imediato pois os sinais de rádio sofrem variações sazonais e devem ser corrigidos segundo uma tabela de observações de erros. A precisão de um sistema, como o descrito anteriormente, é da ordem de uma milha náutica (aproximadamente 1850m). Alguns exemplos de sistemas baseados neste princípio são: Decca Navigation System, Loran, Omega e GPS.

Enquanto os sistemas anteriores podem ser caracterizados por algum tipo de interação com o ambiente, a navegação inercial não necessita de observações, medidas, sinais de rádio ou de qualquer outro tipo. É um sistema de posicionamento estimado, no qual toda a movimentação do navio, aeronave ou espaçonave é determinada de forma contínua e semelhante à navegação estimada. A diferença é que ao invés de obter rumos e distâncias navegadas, ela emprega acelerômetros com o intuito de determinar a aceleração da nave em três planos ortogonais. Os valores obtidos são integrados, a fim de se determinar as velocidades e distâncias percorridas em cada um dos planos. Os

acelerômetros são montados no que se convencionou chamar de “Plataforma Estabilizada”, que possui liberdade de movimentação nos três planos ortogonais. Assim sendo, a plataforma é capaz de manter a sua orientação inicial, à despeito da movimentação da nave. Esta plataforma é estabilizada por giroscópios que medem a rotação em relação ao espaço livre.

No campo militar, a navegação inercial é de grande importância pois livra o navio ou submarino da necessidade de se basearem em observações e sinais que podem sofrer efeitos de variações meteorológicas e de interferências naturais, bem como causadas pelo próprio homem. A principal desvantagem deste tipo de navegação é o alto custo do equipamento. Os aviões de grande porte da aviação civil, por exemplo, já contam com este tipo de auxílio.

A navegação por satélites trouxe à tona um velho princípio adaptado a uma nova tecnologia. Um astro depende de horário e condições atmosféricas para ser observado passivamente, ao passo que um satélite transmissor e receptor rádio pode ter os seus sinais monitorados em praticamente qualquer tempo, desde que a sua trajetória esteja próxima a um receptor na Terra.

Quando o primeiro satélite artificial foi lançado, em 1957, os cientistas puderam observar uma variação na frequência transmitida. Tal variação é conhecida como Efeito Doppler. Resumidamente, podemos dizer que uma fonte móvel tem a sua frequência percebida diferentemente por um receptor externo de acordo com o seu movimento relativo. Ao se aproximarem, a frequência percebida no receptor é maior do que a emitida pelo transmissor, enquanto que, ao se afastarem, a frequência no receptor é menor do que a transmitida.

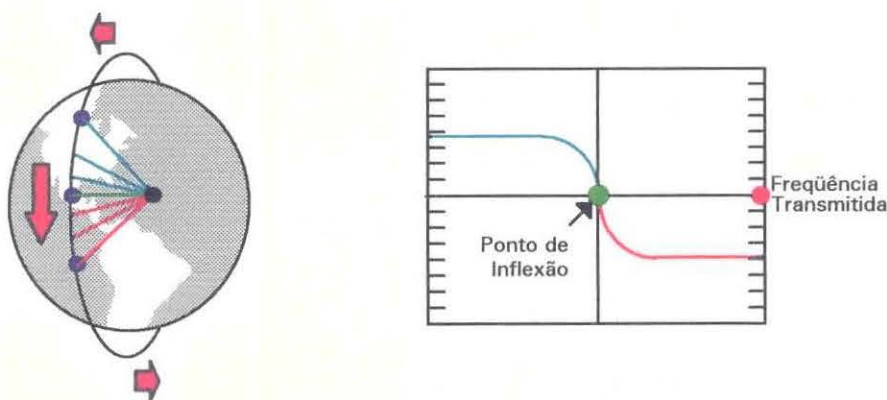


Figura 1. 11 - Navegação satélite.

O sistema TRANSIT usa este princípio. Ele emprega seis satélites de órbita polar a 965 km de altitude e com um período orbital de 108 minutos (Figura 1. 11). Cada um destes satélites é equipado com uma memória capaz de armazenar a sua posição por um período de doze horas. Os detalhes das órbitas são transmitidos para os satélites, por estações terrenas, quando estes passam ao seu alcance. Outras estações estão permanentemente monitorando a movimentação dos satélites, seus respectivos desvios

Doppler e alimentando o centro de computação de dados do sistema com estas informações. O centro de computação envia, assim, os dados orbitais dos satélites para as estações transmissoras, dados estes que são permanentemente atualizados. Os detalhes do posicionamento do satélite, durante a sua órbita, são recebidos pelo equipamento do navegador que mede também o Efeito Doppler, enquanto o satélite está no seu raio de ação. A posição do satélite, no exato momento em que há a inflexão na variação da frequência, permite que a distância entre o navegador e o satélite possa ser determinada e, conseqüentemente, calculada a posição do navegador.

Por fim, após obter a sua posição, o navegador deve plotá-la na carta a fim de medir o seu progresso, avaliar desvios e decidir as ações a serem tomadas. A carta náutica se torna, assim, o plano de convergência de vários tipos de informações, algumas delas não necessariamente ligadas à navegação.

1.4 - Aspectos gerais de cartas náuticas eletrônicas

1.4.1 - Características

Uma Carta Náutica Eletrônica (CNE) não visa apenas a substituição, de forma automatizada, das cartas tradicionais. Uma vez que a tecnologia atual permite que equipamentos diversos sejam integrados e troquem informações, o termo ECDIS (Electronic Chart Display Information System) parece ter um significado mais apropriado.

O diagrama de blocos de um ECDIS pode ser como o mostrado na Figura 1. 12.

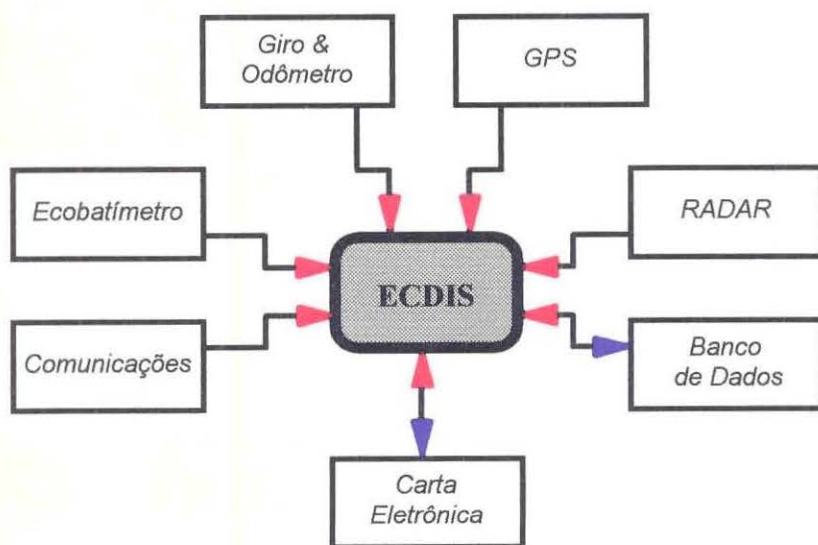


Figura 1. 12 - Exemplo de ECDIS.

Os componentes mostrados neste diagrama possuem as seguintes funções:

- GPS - Sistema de posicionamento global hiperbólico que usa a rede de 21 satélites do ministério da defesa americano. Os satélites são posicionados em seis planos orbitais a uma altitude média de 20.200 Km. Dezoito destes ficam em serviço, enquanto três permanecem na reserva, em órbita. Outros quatro ficam na Terra e podem ser lançados em caso de necessidade. O sistema fornece a latitude e longitude de um navio ou aeronave com 15m de precisão.
- RADAR - Fornece o contorno da costa, ilhas e posições relativas de outros navios em relação ao navio de origem. Tais informações são frequentemente fornecidas em forma de vídeo e podem ser processadas por um computador dedicado, para obtenção de rumos e velocidades de navios detectados.
- Banco de Dados - Todas as informações deste sistema devem ser armazenadas em um banco de dados que possibilite um acesso rápido e seletivo [DATE84], [DFFP85]. Cabe salientar que o banco não apenas fornece dados geográficos, mas também armazena observações relevantes de vários aspectos de interesse, indicados pelo operador, para posterior utilização.
- Carta Eletrônica - É a responsável pela visualização das informações fornecidas pelos módulos anteriores, juntamente com as cartas de navegação selecionadas. Serve como principal via de interação com o ECDIS.
- Comunicações - Um navio pode receber inúmeras informações úteis à sua navegação, avisos meteorológicos, fotos de satélites, pedidos de socorro, dados sobre outros navios etc. Por exemplo, o NavTex é um receptor de texto que será equipamento obrigatório para todos os navios até o final da década.
- Ecobatímetro - Fornece a profundidade do local onde está navegando o navio de origem, baseado no tempo de retorno dos ecos gerados pela emissão de pulsos sonoros.
- Giro & Odômetro - Informam o rumo verdadeiro e a velocidade de deslocamento do navio de origem em relação à massa líquida.

Desta forma, embora o conceito de CNE seja mais específico [CHAS85] e o termo ECDIS seja mais abrangente, limitaremos o horizonte do estudo apresentado, ressaltando apenas, os módulos relativos à Carta Eletrônica e ao Banco de Dados.

1.4.2 - Evolução e expectativas

A história da navegação está repleta de acidentes de grandes proporções que poderiam ser evitados de maneira simples, desde que as ações fossem tomadas no momento certo [EATO90]. O erro humano é a principal causa observada. O famoso

acidente do superpetroleiro Exxon Valdez, no Alasca, é um bom exemplo. O comandante não se encontrava no passadiço (ponte) e um tenente inexperiente fazia a navegação. Este último não percebeu que o rumo do navio acabaria levando ao desastre, ainda que Bligh Reef, o recife contra o qual o navio colidiu, estivesse claramente assinalado nas cartas [DOOL94].

Caso estivesse disponível um sistema no qual o navegador pudesse planejar com antecedência a sua derrota, acompanhá-la a fim de corrigir desvios e receber alarmes informando a proximidade de perigos, o número de acidentes de navegação seria bem menor, assim como os prejuízos causados. No caso do Exxon Valdez, foram estimados em US\$ 3 bilhões, entre danos ao meio ambiente e perda de equipamentos e petróleo.

Em maio de 1994, a Organização Marítima Internacional (OMI) concluiu a especificação de padrões que poderão permitir aos navegantes deslocarem-se em rotas costeiras e canais, com precisão da ordem de metros. A aceitação final havia sido prevista para novembro de 1995.

Atualmente, a legislação obriga que toda embarcação possua um conjunto de cartas náuticas para a sua navegação [OBPE87], [RUSS87]. Espera-se que, no futuro, o ECDIS seja não somente um substituto legal para a carta impressa mas também uma exigência das companhias seguradoras. Num passado não muito distante, o RADAR sofreu um processo de aceitação semelhante, sendo hoje um equipamento obrigatório [DOOL94], [RUSS87], [ROGO88].

Como o ECDIS pretende ser um sistema completo e integrado, existe a necessidade de um processo de posicionamento geográfico. O escolhido foi o DGPS, derivado do GPS, e descrito a seguir.

1.4.3 - O sistema DGPS

O sistema GPS de posicionamento por satélites, do departamento de defesa americano, emite dois tipos de sinais para uso distinto entre civis e militares. O sinal degradado é de uso permitido aos civis e qualquer companhia pode produzir equipamentos que usem tais sinais. Neste caso, a precisão é da ordem de 100 metros. Um outro grupo de sinais é de uso exclusivo das forças armadas americanas e pode localizar qualquer nave com uma precisão de 1 cm. Para tal, usam receptores e equipamentos de cálculo diferenciados daqueles dos civis.

A precisão de 100m não é suficiente para a navegação em águas restritas, onde muitas vezes os canais de navegação são até mais estreitos [EATO90]. A solução encontrada foi a criação do DGPS (Differential Global Positioning System). Este sistema usa dois conjuntos de sinais. O primeiro é emitido pelos satélites, propositadamente degradado, enquanto que o segundo provém de estações costeiras que enviam correções para uma área de 400 km de raio. Estas estações têm a sua posição determinada com grande acuidade no momento da sua construção. Elas comparam permanentemente a sua posição conhecida com a obtida pelo GPS. A seguir, o erro é calculado e disseminado para as embarcações. Nelas, os seus respectivos ECDIS devem fazer as correções necessárias para que a posição do navio seja obtida com a precisão de 3m, suficiente para as necessidades da navegação costeira e em águas restritas [MULA88]. Fora do alcance

das estações, o GPS produz posições com a precisão já citada. Porém, como o navegante estará bem afastado de terra e dos perigos, desvios de até uma milha serão facilmente tolerados [DOOL94].

Especialistas estimam que o impacto na navegação, com a introdução do ECDIS, será tão grande quanto o ocasionado pela adição do RADAR [DEHE90]. A principal vantagem mencionada é que ao invés de mostrar a posição passada do navio, mesmo que atrasada de apenas alguns minutos, este sistema mostra o presente, sem qualquer atraso. Além disto, será permitido ao navegante escolher os aspectos a serem mostrados nas telas do sistema. Uma mesma área pode ser observada sob diversos pontos de vista. Uma embarcação que esteja manobrando com o intuito de fundear⁴ em uma determinada área realmente necessita de dados diferentes de outra que esteja apenas passando pelo mesmo local a caminho do alto mar. Tal flexibilidade permitirá que apenas as informações relevantes a cada caso sejam mostradas e, conseqüentemente, diminuindo a saturação das imagens [DOOL94], [EATO90].

Para efetuar as operações citadas até o momento, basta a integração de um sistema computacional qualquer com um outro de navegação. No entanto, as especificações iniciais exigem que as cartas sejam emitidas por entidades oficiais e que admitam atualizações enviadas eletronicamente. Os sistemas de um modo geral, devem possuir alternativas em caso de falhas, e serem aprovadas por entidades tais como Loyd's Register, American Bureau of Shipping ou Véritas Bureau [DEHE90], [OBPE87].

1.4.4 - Entidades internacionais envolvidas

Algumas entidades internacionais estão trabalhando nas especificações do vários componentes do ECDIS [CHAS85], [DEHE90], [DOOL94], [EATO90]. A OMI é a responsável pela elaboração dos padrões a serem seguidos. É ela que determina quais e quantos equipamentos devem ser instalados nas embarcações. Cabe notar que navios com emprego e porte diferenciados possuem requisitos diversos [BEHM88].

A Organização Hidrográfica Internacional (OHI) está trabalhando nos formatos de armazenamento, atualização e visualizações das cartas no sistema.

A Comissão Eletrotécnica Internacional (CEI) emite informações detalhadas dos padrões técnicos empregados.

Tanto a OMI quanto a OHI adotam o conceito de caixas pretas, especificando apenas as informações necessárias e as geradas pelos componentes do sistema. As companhias que estão fornecendo equipamentos seguindo as proposições destes organismos têm a liberdade da implementação tecnológica.

1.4.5 - Integração RADAR

A integração de imagens RADAR despertou, inicialmente, grande polêmica por parte da comunidade marítima. Havia a idéia de que a superposição de imagens de cartas

⁴ Lançar o ferro, ancorar.

eletrônicas com vídeo RADAR causasse confusão ao navegante, uma vez que aumentaria consideravelmente a densidade de informações contidas na imagem exibida [DOOL94].

O repúdio foi tão forte que num dos primeiros rascunhos dos padrões da OMI, havia a proibição explícita da superposição de imagens RADAR. Alguns pesquisadores do Instituto Alemão de Navegação [BEBU87] não concordaram com essa idéia e montaram, juntamente com a empresa Atlas, um sistema no qual as diferentes imagens poderiam ser superpostas.

O principal motivo alegado foi que o navegador teria de, mentalmente, consolidar informações de duas telas diferentes. A primeira impressão foi bastante favorável à superposição, visto que os ecos de bóias balisadoras foram rapidamente associados às respectivas representações na carta. Desta forma, podemos admitir que, em grandes escalas, o efeito da combinação das duas imagens pode ser obtido, sem grandes problemas [DEHE90], [EATO90]. No entanto, quando pensamos nos princípios do RADAR e na maneira com a qual as imagens são obtidas, podemos levantar dúvidas quanto à precisão da superposição em escalas menores.

Um estudo inicial foi proposto junto a empresas tradicionais na fabricação de equipamentos RADAR, porém, por questões mercadológicas, elas não pretendem ver os seus produtos como periféricos de sistemas mais desenvolvidos. Ao invés disso, os fabricantes de radares pensam em produzir, eles mesmos, sistemas ECDIS integrados [DOOL94].

1.4.6 - Custos e precisão

Uma vez que um ECDIS pode fornecer ao navegante informações de extrema precisão, faz-se necessário um conjunto adequado de cartas em formato digital, acuradas o suficiente para garantir a segurança.

As primeiras cartas estão surgindo em dois formatos distintos: raster e vetorial. O formato vetorial aplica-se com mais facilidade na obtenção de zoom inteligente, por exemplo.

Alguns organismos oficiais estão usando cada um destes diferentes formatos. A U.S Defense Mapping Agency selecionou o formato vetorial, para o mapa que está elaborando que abrange todo o planeta. A U.S. National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) e o Almirantado Britânico estão produzindo cartas no formato raster para uso interino [DOOL94].

Usando leitores óticos do tipo *scanner*, NOAA está sendo capaz de digitalizar diferentes camadas que montam uma carta, permitindo ao operador selecionar os diferentes aspectos a serem apresentados, a ordem de superposição e a maneira com que as imagens se combinam.

As primeiras estimativas feitas pela NOAA apontam para um custo de US\$ 25 milhões, aproximadamente US\$ 20.000,00 por carta, para obter um paralelo digital de todas as suas impressões. A agência possui, ainda, cerca de 880 cartas convencionais para transformar, enquanto deve continuar gerando 300 cartas atualizadas por ano. O trabalho total deve durar cerca de 10 anos com o orçamento atual. A marinha americana deverá

colaborar neste processo, cobrindo 25% da costa onde estão situadas as suas bases e estações [DOOL94].

O primeiro resultado produzido pela NOAA é a carta raster, da baía de Delaware, que está sendo comercializada em um disco de 3.5" 1.44 MB a um custo de \$14.

Atenta ao surgimento de várias tendências na representação e armazenamento das cartas digitalizadas, a OHI está emitindo dois conjuntos distintos de padrões. O primeiro especifica como os dados devem ser adquiridos, armazenados e transferidos. É o IHO Transfer Standard for Hydrographic Data [IHO90], que inclui uma modelagem, um catálogo de objetos e o formato de troca de dados DX-90.

O formato DX-90 é um arquivo texto que descreve as feições e as características geográficas usando ASCII, e é bem semelhante aos formatos de troca usados em sistemas de CAD [IHO90]. A principal crítica a este padrão é o tamanho que os arquivos atingem, dificultando a sua transmissão e armazenamento. Aguarda-se que seja elaborado um formato binário que não sofra tais restrições.

O segundo padrão da OHI diz respeito à exibição das cartas nas telas dos ECDIS que, essencialmente, devem ser idênticas em forma e precisão às cartas impressas.

1.4.7 - Operações básicas

Uma carta náutica eletrônica deve possuir um conjunto de operações básicas que permita o seu uso nas diversas aplicações. Como exemplo, temos as operações já descritas, tais como obtenção de azimutes, distâncias, e coordenadas geográficas. Além destas, outras devem ser definidas, com o intuito de adequar fatores que influenciam a aparência da carta. A seleção da escala de exibição e escolha dos aspectos a serem mostrados e escondidos são alguns exemplos [BEHM88].

De maneira semelhante às cartas impressas, uma carta eletrônica precisa ser atualizada [BEBU87], [LOGA87]. O mundo está em constante mutação e a segurança da navegação exige que tão logo uma mudança ocorra, esta deva ser refletida na sua representação gráfica. Regiões cuja profundidade varie, que sofram mudanças em seu balizamento ou que presenciem modificações que impliquem em perigo à navegação, devem ter sua representação revista, de modo a refletir tais transformações.

Nas cartas tradicionais, o navegador deve ter acesso a estas informações, alterando manualmente os dados impressos. Em algumas ocasiões, o conjunto de mudanças é tão amplo que é distribuído um pedaço da carta para que seja colado sobre a região em questão. Nas cartas eletrônicas, esta operação deve ser simplificada consideravelmente, uma vez que todas as informações necessárias à construção da imagem estão armazenadas em um banco de dados [DOOL94], [LOGA87].

A vantagem da carta eletrônica fica mais evidente à medida em que tais atualizações podem ser feitas em alto mar, no momento em que se tornem necessárias [BEBU87], [MOCA86]. Um navio que esteja se aproximando do Rio de Janeiro, por exemplo, pode receber as mudanças no canal de entrada do porto, ainda que estas ocorram após a sua partida do porto de origem.

Caso o processo de montagem da imagem da carta seja raster, basta que uma nova imagem do local alterado seja enviada a bordo. Normalmente, técnicas de validação de

imagens devem ser aplicadas, visando assegurar ao navegante a correção dos dados recebidos. Caso o processo de formação da imagem da carta seja baseado em dados armazenados no formato vetorial, apenas os aspectos modificados necessitam ser transmitidos, juntamente com os mecanismos de verificação [ROGO88]. Uma das grandes desvantagens da representação matricial, neste caso, é o fato de que a transmissão requer muito mais dados, sendo mais lenta, mais suscetível a erros e mais cara.

1.4.8 - Mudanças de escala

Um navegador não utiliza apenas uma única carta durante o seu trajeto. De uma forma geral, as cartas usadas durante a travessia são de escala menor, abrangem uma grande área e apresentam informações mais consolidadas e genéricas, ao contrário das cartas de entrada e saída de portos e canais que possuem uma escala grande, representam pequenas áreas e mostram pormenores de toda a região ilustrada. Tal riqueza de informações é necessária, pois uma embarcação pode usar qualquer ponto de referência com o intuito de navegar. Assim, caso possamos ver algum ponto notável ou obter o seu eco RADAR é quase certo que esse ponto esteja representado numa carta de grande escala.

A variedade de cartas utilizadas durante uma viagem completa tem o seu paralelo eletrônico nas mudanças de escala. A princípio, uma única base de dados pode gerar imagens nas várias escalas desejadas e as operações gráficas, usando os conceitos de *window* e *viewport* [FTMA87], fazem com que não tenhamos que nos restringir a escalas predefinidas.

A escolha dos aspectos representados em cartas de escalas diferentes é feita manualmente. Além de seguir uma série de regras básicas, um cartógrafo usa, também, a sua experiência e seu senso de estética para selecionar as componentes e estabelecer o grau de consolidação das informações de uma carta. Parece simples transferir para meios computacionais o conjunto de decisões feitas pelo ser humano durante este processo. Na prática, porém, encontramos alguns problemas ainda sem solução definitiva. O grande volume de dados faz com que a seleção dos elementos a serem apresentados ganhe grande importância. A questão não é apenas mostrar a mesma imagem em escalas diferentes, mas sim fazer com que a profundidade de detalhes mude conforme a escala selecionada. Como proceder para que a imagem não fique nem muito pobre nem excessivamente cheia de informações?

A solução mais simples, e a mais adotada, é gerar um conjunto de dados para cada carta, propriamente dita, e permitir que o usuário possa efetuar a operação de aproximação e afastamento sempre com o mesmo número de detalhes. Portanto, uma carta genérica apresentará sempre informações genéricas, ainda que seja mostrada em grande aproximação. Para que o grau de profundidade dos detalhes seja maior, o operador deve selecionar, a seu critério, um outro conjunto de dados para exibição.

Outra tentativa de solucionar este problema consiste na automatização da troca do conjunto de dados. Os diferentes conjuntos de cartas são colocados hierarquicamente em uma estrutura de dados tipo árvore, juntamente com as escalas limites nas quais cada conjunto deve ser apresentado. O algoritmo de exibição da imagem verifica a área a ser

mostrada, a escala selecionada e, automaticamente, baseado na resolução dos dados disponíveis, seleciona o conjunto, ou conjuntos, que proporcionam a melhor apresentação.

As soluções anteriores podem ser aplicadas indistintamente sobre dados no formato raster ou vetorial. Porém, no caso vetorial, o nível de segregação pode ser levado até o mais simples objeto. Isto é, feições devem ter várias representações específicas para várias faixas de escala. Essas faixas podem variar daquela em que o objeto não é mostrado até aquela em que aparece com o seu grau máximo de detalhes. Cabe salientar que, na maioria dos casos, o intervalo de escalas nas quais uma feição é exibida com seus diferentes níveis de detalhe está contido no intervalo daquelas em que o sistema é capaz de exibir.

O conceito de mudança de escalas confunde-se com as operações gráficas de zoom. Segundo Frank & Stimpf [FRTI94] o zoom em sistemas geográficos pode ser a combinação de três tipos básicos.

O Zoom Gráfico afeta apenas a maneira com a qual os elementos gráficos serão mostrados. Após uma operação de zoom, os objetos ficam maiores e há um estreitamento do campo visual (Figura 1. 13). Portanto, é apenas uma mudança de escala, com o mesmo fator, em todos os objetos. O nível de exibição de detalhes permanece constante e as posições e tamanhos relativos são mantidos [FRTI94].

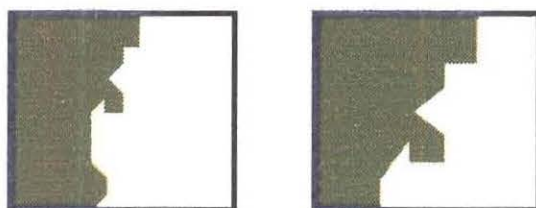


Figura 1. 13 - Exemplo de zoom gráfico.

Em sistemas geográficos, o zoom gráfico, embora necessário, não é o mais importante visto que determinados tipos de elementos devem sofrer um aumento no seu tamanho de forma diferenciada de outros, que muitas vezes não necessitam de aumento algum. Um exemplo seria a toponímia e símbolos de elementos pontuais.

O Zoom de conteúdo foge da idéia gráfica de aproximação visual. Esta categoria de zoom leva a um maior ou menor grau de pormenores na imagem, sem que esta sofra qualquer mudança na escala ou ponto de vista. Por exemplo, se um navio está se aproximando da costa, pode ser de interesse que as isobatimétricas [DIACON] mostradas passem a ser exibidas com intervalos menores entre elas. Neste caso, o navegador manteria a escala da carta e aumentaria a quantidade de informações sobre o aspecto profundidade, ou seja, aumentaria o grau de detalhe sobre um dado aspecto (Figura 1. 14). Este tipo de zoom pode atuar seletivamente sobre determinadas classes de objetos ou de forma mais generalizada sobre todas as feições da carta [FRTI94].

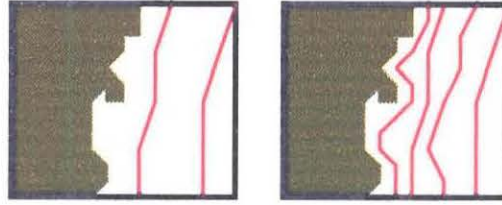


Figura 1. 14 - Exemplo de zoom de conteúdo.

A Pedra Filosofal dos tipos de zoom foi chamada de Zoom inteligente por Frank & Stimpf. A sua atuação pode ser comparada a um observador posicionado numa plataforma com grande mobilidade vertical. Quanto mais alta é a posição da plataforma, maior é o campo visual, mais objetos são mostrados e o nível de detalhe da exibição de cada um é menor. Caso contrário, quanto mais baixa a plataforma, menor o campo visual, menor o número de objetos e maior o nível de detalhe da exibição de todos eles [CHAN89]. Podemos ver este efeito na Figura 1. 15. Isto pode ser descrito como o princípio da densidade constante de informações. O zoom gráfico não segue este princípio, visto que uma operação de afastamento faz com que a área mostrada seja maior, sem que seja acrescida nenhuma informação.

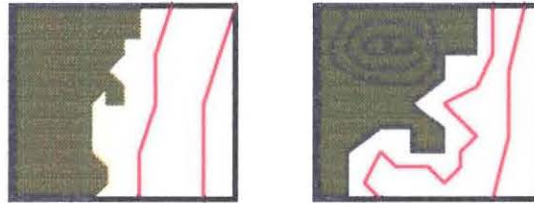


Figura 1. 15 - Exemplo de zoom inteligente.

Em cartografia este princípio é conhecido como Lei de Töpfer [FRTI94] e pode ser representado por:

$$n_f = n_a \times \sqrt{\frac{m_a}{m_f}}$$

onde:

- m_a escala atual sendo mostrada
- m_f próxima escala a ser mostrada
- n_a número de objetos da escala atual
- n_f número de objetos da próxima escala

Esta lei pode ser enunciada em função da área do campo visual ao invés da escala de exibição, o que resulta em:

$$\text{Número de Objetos} / \text{Área} = \text{Constante}$$

Em suma, podemos dizer que um zoom inteligente respeita o princípio de densidade constante de informações. Isto implica na utilização de estruturas hierárquicas para o armazenamento dos dados geográficos, uma vez que, à medida em que o campo visual sofre restrições, mais detalhes de objetos devem ser mostrados.

A Árvore de Escalas Múltiplas (Figura 1. 16) parece ser a resposta para a implementação do zoom inteligente. Nela os objetos possuem várias representações, correspondentes a várias escalas, e mantêm entre si o vínculo que permite aproximar e afastar o ponto de vista da observação, sem que apareçam representações duplicadas de uma mesma feição [FRTI94].

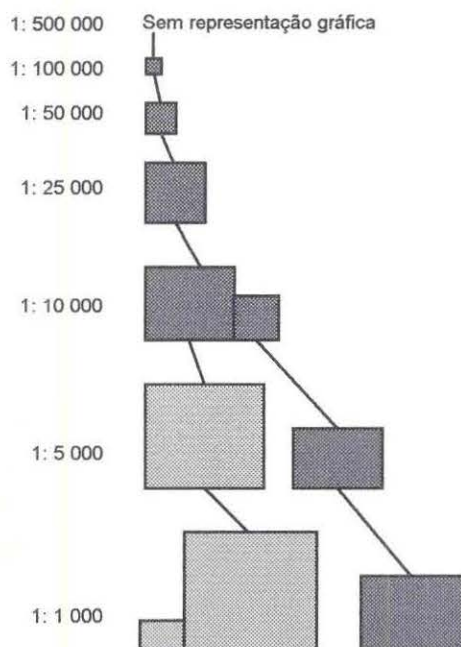


Figura 1. 16 - Exemplo de uma árvore de escalas múltiplas.

Esta estrutura seria suficiente para o zoom desejado se o conjunto de dados, nela armazenado, estivesse perfeitamente balanceado em termos de densidade de informações e as escalas de apresentação ficassem limitadas àquelas presentes na estrutura. Para conseguir isto, durante a geração dos dados digitais, medidas precisariam ser efetuadas constantemente, o que tornaria todo o processo lento e caro. A solução é verificar, no instante da montagem da imagem, quanto cada objeto contribui em termos de densidade.

Isso não só garante que a Lei de Töpfer será respeitada, mas também faz com que objetos possam ser representados em uma dada escala, com seus respectivos dados sendo obtidos em outra.

O efeito para o operador é que as escalas selecionadas podem ser contínuas, ainda que na árvore os dados ocupem níveis específicos. Para o gerador dos dados, permite que cada objeto tenha a sua hierarquia particular, de acordo com as suas características, sem que a escala de digitalização de um interfira com a de outro.

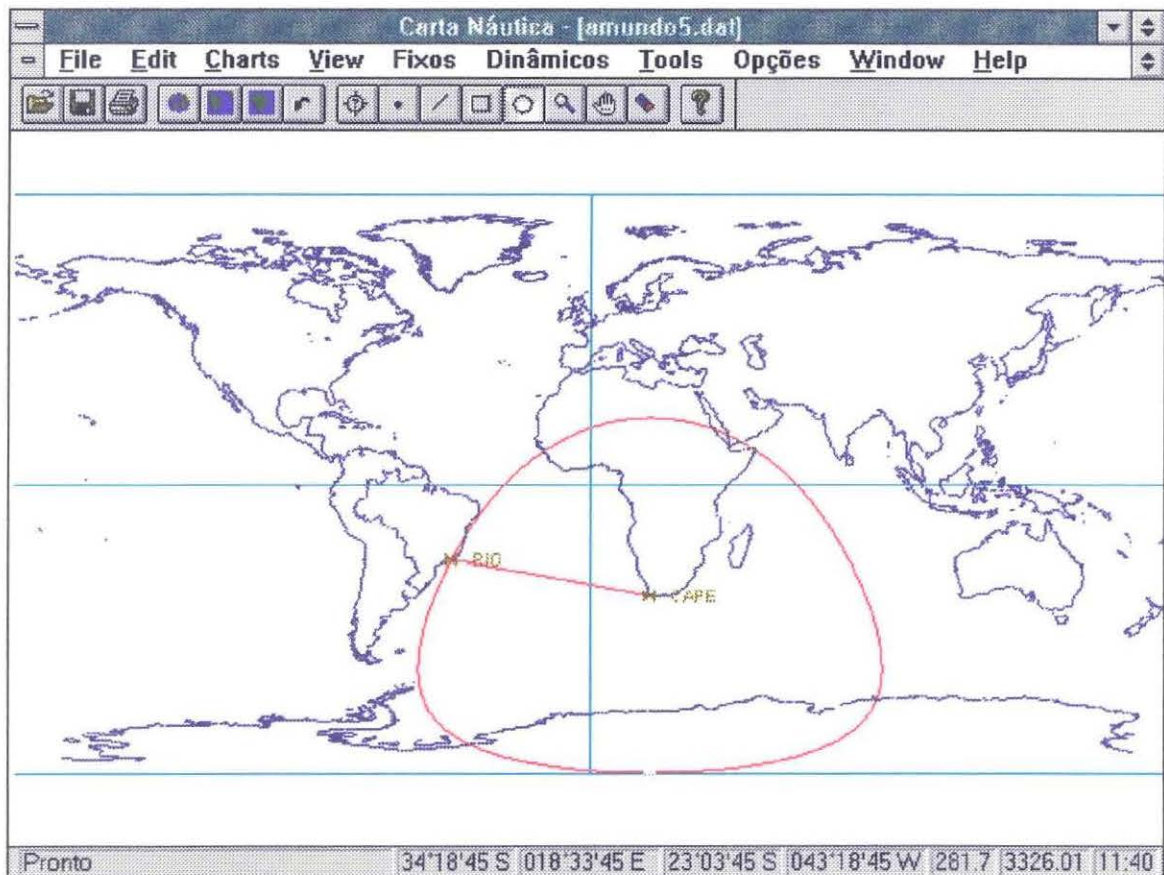
A medida de contribuição na densidade de informações proposta é o número de pontos discretos (*pixels*) diferentes do fundo, em relação a todos os pontos que compõem a imagem.

Podemos comparar este processo com a medição da quantidade de tinta usada para montar uma gravura em apenas uma cor. Neste caso, a nossa tinta eletrônica é medida conforme a montagem dos objetos e garante que a imagem não se torne nem muito sobrecarregada nem muito pobre [FRTI94].

O ponto negativo no uso desta técnica é a redundância de informações, onde uma mesma região passa a ter várias representações, correspondentes a vários níveis de detalhe, o que faz com que as atualizações e as buscas de elementos para a plotagem se tornem mais complexas e sujeitas a incorreções.

Neste estudo, decidimos que as redundâncias deveriam ser controladas através de um sistema gerenciador de banco de dados. Os modelos físicos empregados, as estruturas auxiliares e as operações implementadas, são o tema do próximo capítulo.

Capítulo II



Carta Náutica Eletrônica

Capítulo II - Carta Náutica Eletrônica

2.1 - Objetivos específicos

2.1.1 - Sistema de uso geral

A Marinha do Brasil possui, atualmente, vários grupos de trabalho com diferentes necessidades em aplicações de geoprocessamento. Cada um deles pode gerar, de maneira mais ou menos autônoma, algum tipo de sistema que auxilia a realização das suas atividades. Esses sistemas são frutos de visões específicas e são implementados sobre plataformas de hardware e software das mais diversas. Nenhum deles constitui uma ferramenta de uso geral e a sua aplicação coordenada torna-se difícil e até mesmo impossível em alguns casos.

Neste sentido, objetivamos desenvolver um sistema de geoprocessamento com ênfase na apresentação e manipulação de dados geográficos de cartas náuticas cuja arquitetura seja flexível o suficiente para servir, entre outros, de coluna dorsal à integração dos sistemas de gerenciamento e apoio à decisão já existentes, bem como dos que venham a ser definidos [COWE88], [GASA83], [JONE88].

Cabe ainda salientar que a maioria dos sistemas mencionados anteriormente usa informações armazenadas em formatos diversos e possuem uma base de dados fixa, dificultando a atualização de aspectos. Em alguns casos é necessária uma alteração no próprio código dos programas para que mudanças possam ser realizadas.

Decidimos dar uma maior ênfase na aquisição e manipulação de dados no formato vetorial. No entanto, sabemos que algumas tarefas podem ser mais facilmente executadas sobre aspectos no formato raster. Sendo assim, a nossa abordagem principal levará em conta o formato vetorial mas a arquitetura proposta é capaz de ser ampliada de forma a aceitar ambos [LOBR87].

2.1.2 - Componentes básicos da carta eletrônica

A carta eletrônica é o módulo alvo do protótipo aqui proposto. O diagrama de blocos dessa implementação pode ser representado como indicado na Figura 2. 1 [LOBR87].

O sistema compõe-se, inicialmente, de duas partes distintas: o módulo de Apresentação e o de Importação de aspectos.

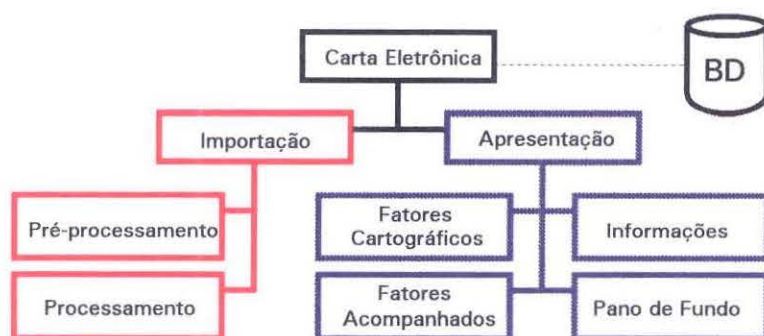


Figura 2. 1 - Diagrama de Blocos da Carta Eletrônica.

2.1.3 - Importação

O módulo de importação de aspectos recebe imagens de cartas náuticas para a obtenção das coordenadas geográficas dos aspectos de interesse [FAUS87]. Técnicas de processamento digital de imagens e de cartografia são usadas para este fim. Em última instância, a importação é a responsável pela transformação da representação dos dados geográficos do formato matricial para vetorial. Todas as funções dos blocos de Pré-processamento e Processamento da imagem serão descritas posteriormente.

2.1.4 - Apresentação

O módulo de apresentação constitui a interface gráfica do sistema com o usuário [RIUL87]. Ele é o responsável pela visualização das imagens e das informações alfanuméricas associadas aos vários aspectos [KPIN87]. Os quatro componentes deste módulo e suas respectivas funções são os seguintes:

2.1.5 - Fatores cartográficos

Os Fatores Cartográficos estão relacionados com a plotagem em tela dos fenômenos de comportamento estático notáveis à navegação, ou ao gerenciamento de projetos. Tipicamente, são objetos que dificilmente variam sua forma, posição geográfica ou outras características de interesse [CART88]. Tais fatores devem, à princípio, estar armazenados internamente em formato vetorial. Como exemplo podemos citar: linha da costa, isobatimétricas, curvas de nível, áreas específicas etc. O operador usa a interface para informar ao sistema a área, a escala da plotagem e os tipos de objetos a serem mostrados. Cabe ao sistema recuperar as informações necessárias, no banco de dados, e exibir os resultados na tela com cores e simbologia apropriadas.

2.1.6 - Fatores acompanhados

Este conjunto de operações é responsável pela plotagem em tela dos aspectos que apresentam movimento, mudam de forma ou composição. Tais fatores são objetos de comportamento bem mais dinâmico do que os fatores cartográficos. Como por exemplo citamos: navios, aeronaves, banquisas, áreas de busca etc. O operador usa a interface de forma semelhante à descrita anteriormente, informando também os tipos de fatores acompanhados que deseja visualizar. Cabe ao sistema recuperar os dados adequados e superpor a plotagem deste novo conjunto de imagens ao gerado pelos fatores cartográficos.

2.1.7 - Informações

O módulo de Informações tem por finalidade gerenciar a atividade fim do sistema proposto. Ele é constituído de um conjunto de rotinas especializadas com alto grau de independência, cuja função é satisfazer pedidos de atualização ou obtenção de informações. Tais pedidos podem ser feitos tanto pelo próprio sistema quanto pelo usuário. Este sub-módulo é responsável por cálculos de posições, distâncias, projeções gráficas e cartográficas, rotas de navegação etc. Desta forma, caso seja necessária a incorporação de novas funções, basta que ela seja incluída neste conjunto e as informações pertinentes anexadas ao respectivo banco de dados [CRUZ92].

2.1.8 - Pano de fundo

O Controle do Pano de Fundo efetua o correto posicionamento de imagens do tipo bitmap em uma região exibida na tela. A atuação do operador do sistema dar-se-á na seleção prévia das áreas representadas por *bitmaps* e dos aspectos armazenados de forma vetorial mostrados sobre estes. Assim, por exemplo, podemos não exibir a linha do litoral, armazenada em forma vetorial, esta informação já esteja presente caso na imagem bitmap. Por outro lado, as áreas de interesse, armazenadas vetorialmente, podem ser exibidas sobre uma representação *bitmap* [LOBR87].

2.1.9 - Integração com banco de dados

Uma carta eletrônica lida naturalmente com um grande volume de informações [FRAN88]. Nem todos os usuários devem ser autorizados a efetuar o conjunto total das operações disponíveis no sistema. Pessoas sem qualificações não devem poder entrar nos arquivos de dados e modificá-los [BEBU87]. Não só pelo possível estrago que poderiam causar, mas pelas informações de caráter sigiloso eventualmente armazenadas no sistema.

Alguns dos principais motivos que justificam o uso de um Sistema Gerenciador de Banco de Dados (SGBD) nas especificações são:

- Grande volume de informações [FRAN88], [CHAN89].
- Alta sensibilidade dos dados [BEBU87], [FRAN88].
- Segurança [BEBU87].
- Complexidade do modelo [FRAN88], [JOHN87], [KPIN87].

Ainda que de forma diferenciada, tanto o módulo de Apresentação quanto o de Importação devem ter acesso ao banco de dados. A Importação fornece elementos geográficos ao banco. A sua principal forma de ação é a inclusão de aspectos com um grande intervalo entre cada uma delas. Já a Apresentação deve fazer consultas constantes sempre que uma nova imagem deva ser montada. Os dados geográficos da região selecionada pelo operador devem ser obtidos, bem como as informações acerca de Fatores Dinâmicos. Neste caso, o banco será acessado constantemente e as operações serão primariamente de consulta.

O módulo de Fatores Cartográficos realiza quase que somente consultas, embora seja possível efetuar atualizações de forma a alterar as diversas feições. Os objetos tratados terão um número estável e as principais alterações serão feitas na composição de cada um deles.

Comportando-se de forma diversa, os Fatores Dinâmicos devem ter sua carga de atuação bem dividida entre consultas e modificações. Um objeto que apresenta movimento pode ter a sua trajetória modificada, o seu tipo alterado, e ser incluído e excluído na base de dados em um intervalo de tempo relativamente curto. A volatilidade dos fatores dinâmicos é inerente a sua própria natureza.

2.2 - Modelo de dados

2.2.1 - Tipos de dados

Vários componentes da carta possuem **representação pontual** [KPIN87]. Por exemplo, faróis, rádio-faróis, estações de transmissão, bóias e auxílios visuais à navegação são identificados por símbolos específicos e ocupam uma posição bem definida. Outros componentes, tais como cidades, terminais de carga, portos e aeroportos podem ter também sua representação reduzida a um único ponto, dependendo da escala da carta. Além disso, objetos dinâmicos como navios e aeronaves, são normalmente tratados como pontos móveis e possuem simbologia própria.

Uma grande quantidade de dados geográficos e informações úteis pode ser representada por **segmentos** [KOB80], [CART88], [KPIN87], curvilíneos ou retos. Como exemplo citamos: linha da costa, isobatimétricas, estradas, ferrovias, canais de navegação e rios. Cada um dos tipos de segmento possui atributos gráficos característicos, tais como cor e padrão de traços-pontos correspondentes. A Figura 2. 4 mostra alguns destes atributos.

As **áreas** são muito usadas em planejamento de operações militares, resgates de náufragos, desastres ecológicos do tipo vazamentos de petróleo etc [KPIN87]. Algumas são traçadas na carta pelos planejadores, ao passo que outras já vêm impressas. Como exemplo destas, temos áreas de fundeio permitido e áreas com determinadas características geográficas preponderantes. É comum termos, indicadas na carta, áreas cujo fundo é composto de um material específico, facilitando ou desaconselhando operações de fundeio. A sua representação gráfica é feita com uma linha limítrofe e um padrão de enchimento, cada um dos quais podendo assumir cores diversas.

Finalmente, uma grande parte das representações requer o complemento de **informações textuais** [KPIN87], [PISP94]. Alguns exemplos deste tipo de associação são:

- Valores de isolinhas.
- Toponímia.
- Valores de sondagens.
- Informações complementares sobre auxílios à navegação.
- Legendas diversas

2.2.2 - Manipulação de dados espaciais

A maioria das informações presentes em uma carta é uma representação de dados espaciais. Possui, portanto, atributos geométricos, não geométricos e relacionamento espacial que podem variar com o tempo [MGEM89], [CRUZ92], [FRAN88], [KPIN87], [PISP94].

Os atributos geométricos são representados no sistema de coordenadas que suporta a carta náutica eletrônica e podem ser expressos em duas ou três dimensões. Por outro lado, atributos não geométricos, tais como código de cores e linhas, símbolos, textos e tabelas, são relativamente independentes do sistema de coordenadas [CRUZ92].

Conforme mencionado anteriormente, os dados espaciais podem ser manipulados usando as abordagens matricial (raster) e vetorial. Em um primeiro instante, a abordagem **principal** deve ser a vetorial, por possuir uma arquitetura de dados mais sólida, permitir uma codificação mais eficiente da topologia, facilitar a obtenção de imagens de alta resolução com um pequeno volume de dados, e conter um conjunto de técnicas já consagrado para digitalização e apresentação seletiva [ROGO88].

O SGBD escolhido aqui para armazenar os dados vetoriais usa o princípio relacional. Algumas das diferentes operações executadas sobre uma carta náutica requerem estruturas de dados auxiliares. Tais estruturas podem ser facilmente geradas a partir de dados obtidos via consultas SQL (Structured Query Language), uma vez que podemos classificar e selecionar, previamente, as informações a serem utilizadas. Tal procedimento facilita o desenvolvimento das rotinas do sistema, visto que várias operações e verificações podem ser feitas de maneira precisa pelo próprio SGBD.

A seguir, apresentamos a modelagem física [DATE84] de um SGBD relacional, um conjunto de operações básicas e algumas estruturas de dados úteis.

2.2.3 - Pontos Fixos

Um componente do tipo ponto fixo tem a sua representação na forma pontual e pertence à classe dos fatores cartográficos. Alguns exemplos, já vistos, são as cidades em pequenas escalas, faróis e pontos notáveis. As informações necessárias à sua correta apresentação são as coordenadas geográficas e o respectivo símbolo.

A Figura 2. 2 mostra o modelo lógico que suporta os pontos fixos. Os nomes das tabelas estão escritos em maiúsculas e as chaves primárias indicadas em negrito. Aparentemente, há uma desnормalização nas tabelas TIPOS_PONTOS e PONTOS_FIXOS na repetição dos campos Visibilidade_Símbolo/Visibilidade_Ponto e Visibilidade_Label.



Figura 2. 2 - Tabelas de Pontos Fixos.

Tal duplicação, todavia, possibilita uma grande flexibilidade operacional. Com os campos de visibilidade sendo atributos das duas entidades representadas, podemos controlar a exibição dos pontos, tanto individualmente quanto agrupados pelo tipo.

Na tabela TIPOS_PONTOS os campos de visibilidade podem ter os valores Visível ou Invisível, enquanto que em PONTOS_FIXOS, além dos anteriores, eles podem assumir o valor Tipo_Ponto. Isto é, caso a visibilidade em PONTOS_FIXOS esteja ajustada para Tipo_Ponto, prevalecerá a indicação estabelecida na tabela TIPOS_PONTOS. Do contrário, o valor explicitado por PONTOS_FIXOS comandará a visibilidade. Este tipo de controle estende-se às entidades restantes que representam linhas, áreas e áreas circulares, possibilitando ao operador escolher os objetos a serem mostrados com exatidão e presteza [DEHE90], [GLMO86].

2.2.4 - Linhas Fixas

As linhas fixas também pertencem aos fatores cartográficos e necessitam de mais informações que os pontos para serem mostradas. Além da cor, uma linha tem um estilo, definido como uma combinação de traços e pontos, que pode ser usado para diferenciar a aparência de segmentos de mesma cor.

Na Figura 2. 3, podemos notar que na tabela PONTOS_LINHAS os campos ID_Linha e Seqüencial formam a chave primária composta. A finalidade do campo Seqüencial é indicar a ordem com que os pontos componentes da linha são ligados entre si. Caso seja necessário gerar uma linha cíclica, uma curva de nível, por exemplo, o primeiro ponto deve ser igual ao último [KOB80], [CART88].

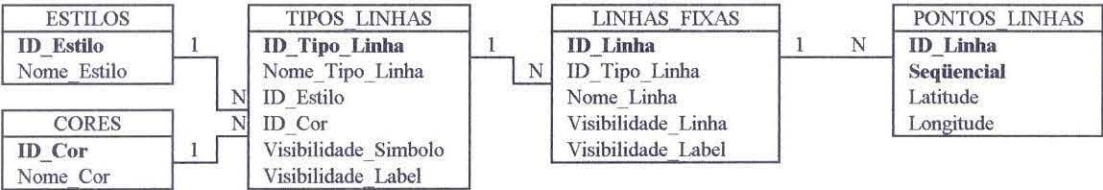


Figura 2. 3 - Tabelas de Linhas Fixas.

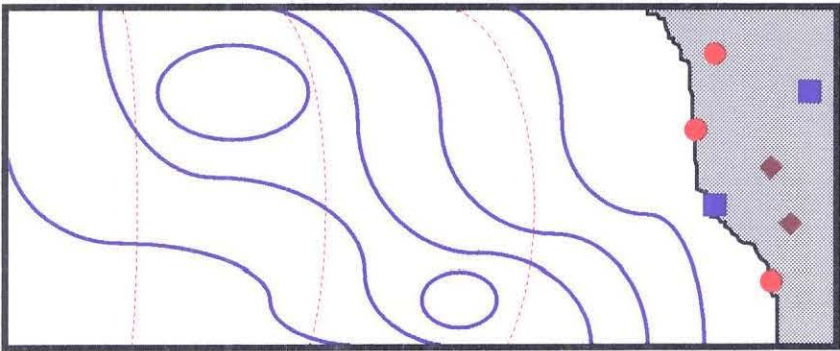


Figura 2. 4 - Exemplo de símbolos e estilos de linhas.

Na Figura 2. 4, temos alguns exemplos de linhas e pontos. As isobatómetras estão representadas por linhas azuis contínuas, enquanto que as isomagnéticas são vermelhas pontilhadas. Pontos diversos localizam-se sobre o litoral e no interior.

2.2.5 - Áreas Poligonais Fixas

Áreas Poligonais Fixas diferem das Linhas Fixas em dois aspectos principais. A área será sempre fechada, mesmo que o primeiro ponto seja diferente do último, o limite da área será traçado de modo a formar um polígono. Uma nova informação, como o polígono será preenchido, está indicada no campo ID_Padrão que, neste protótipo, indica o tipo de hachura a ser usada. A Figura 2 . 5 ilustra o modelo físico de áreas.

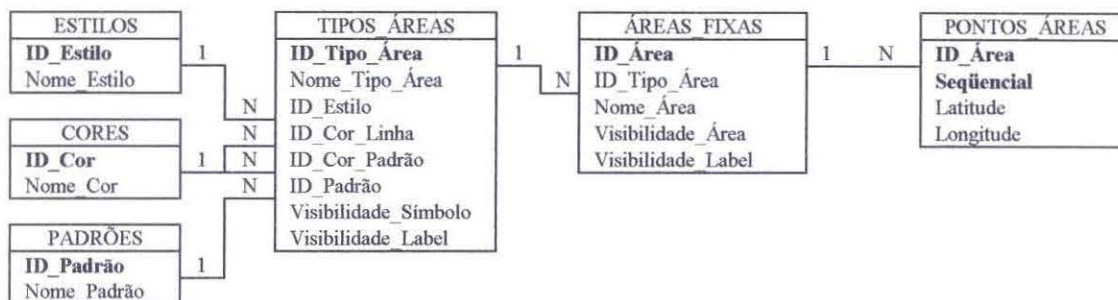


Figura 2 . 5 - Tabelas de Áreas Poligonais Fixas.

2.2.6 - Setores Circulares Fixos

As áreas fixas de uma carta podem assumir formas de um círculo ou de setores circulares. As propriedades, estilo da linha limítrofe e padrão de hachura, são tratadas de maneira semelhante às áreas poligonais fixas. A principal diferença é a existência de um ponto de origem, localizado pelos valores de Latitude e Longitude, a partir do qual o círculo ou setor é traçado com os dados de Raio_Interno, Raio_Externo, Azimute_Inicial e Azimute_Final (Figura 2. 6). Um círculo é obtido quando o raio interno é igual a zero e o azimute inicial tem o mesmo valor do azimute final.

Este tipo de área é muito utilizado na descrição de setores de visibilidade de faróis e interdição de regiões ao tráfego marítimo.

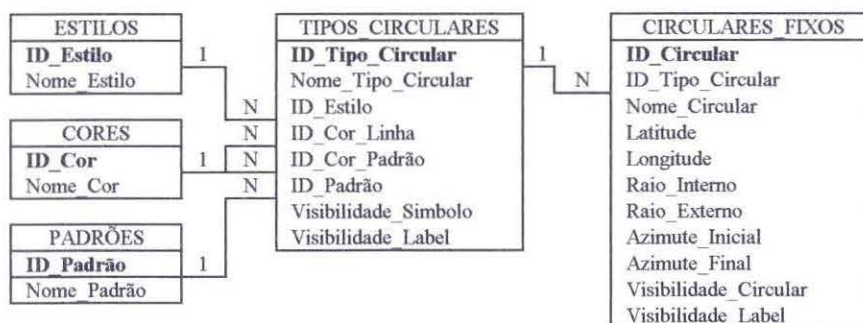


Figura 2. 6 - Tabelas de Áreas Circulares Fixas.

A Figura 2.7 apresenta uma área poligonal, estabelecida por critérios arbitrários, juntamente com um setor de visibilidade de um farol. Nota-se que a presença de uma ilha obstrui a visão do farol representado. Frequentemente, os valores dos azimutes limites são indicados como complemento da imagem.

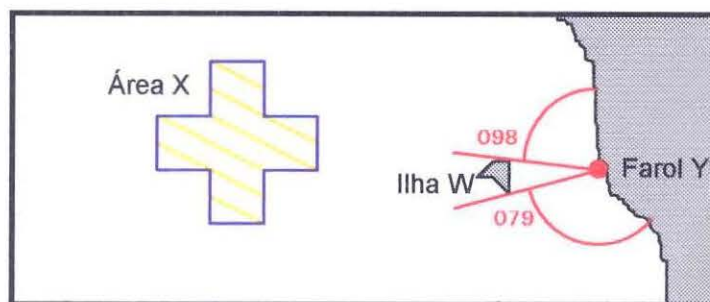


Figura 2.7 - Exemplo de Áreas Poligonais e Setores Circulares.

2.2.7 - Pontos Dinâmicos

Os pontos dinâmicos fazem parte dos objetos tratados pelo módulo Fatores Acompanhados (Seção 2.1.6). A sua modelagem apresenta grande semelhança com a dos pontos fixos, pois o fato de variarem de posição não implica em mudanças na maneira com a qual sua simbologia é mostrada. Podemos notar, na Figura 2. 8, que a entidade Derrota foi anexada a fim de prover as informações necessárias ao deslocamento do ponto. A chave primária de Derrota é composta por ID_Ponto_D e Data_Hora. Exemplos destes pontos dinâmicos podem ser: navios, comboios, submarinos, pontos de referência, aeronaves etc.

A tabela STATUS foi introduzida com o intuito de acompanhar a atividade que um ponto móvel desenvolve. Um navio pode estar fundeado, navegando, à matroca¹ ou mesmo em patrulha. As possibilidades são muitas e dependem dos tipos de pontos dinâmicos. Portanto, o modelo não pode permitir que Status privativos de certos tipos de pontos sejam aplicados a outros. Como exemplo, podemos dizer que um ponto dinâmico do tipo aeronave não pode assumir o Status de “navegando submerso”.

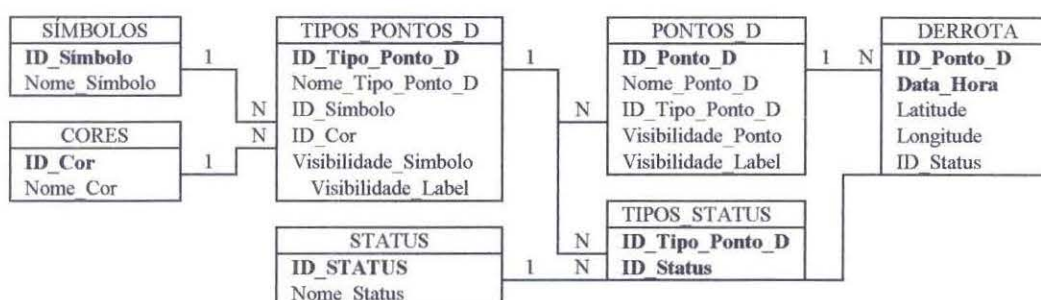


Figura 2. 8 - Tabelas de Pontos Dinâmicos.

¹ Um navio é dito à matroca quando apresenta capacidade de flutuação sem, no entanto, possuir meios próprios de movimentação e manobra.

O problema citado anteriormente poderia ser solucionado com o estabelecimento de restrições de integridade que garantissem que apenas os valores de Status, de acordo com o tipo de ponto dinâmico correspondente, fossem atribuídos aos pontos da derrota. O inconveniente desta solução é que todos os tipos e seus respectivos status devem ser conhecidos com antecedência. Usando as tabelas STATUS e TIPOS_STATUS o usuário se encarrega de efetuar a definição dos valores de Status de cada tipo de ponto. Neste caso, a flexibilidade do sistema aumenta, podendo absorver as necessidades de novos tipos de pontos móveis tão logo sejam criados.

2.2.8 - Linhas Dinâmicas

Os Fatores Acompanhados de formato linear são as linhas dinâmicas. Estas linhas diferem das suas correspondentes fixas por existirem quase que exclusivamente em acompanhamentos de situações e planejamentos em geral. Um outro aspecto divergente a ser abordado é a composição da linha. Uma vez que um ponto móvel é usado como base para o seu deslocamento, temos que representar a linha de tal forma que não sofra mudanças no seu aspecto durante o trajeto.

As diferenças de latitude e longitude, em relação ao ponto base, não são a maneira mais adequada de armazenamento, pois, como já sabemos, o comprimento em metros de um grau, medido sobre um paralelo, varia em razão da latitude, e as linhas representadas desta forma ficariam menores conforme se dirigissem a altas latitudes.

A solução adotada foi usar o azimuth e a distância de cada ponto componente em relação ao ponto base. Isto garante que as dimensões das linhas permaneçam constantes em qualquer latitude.

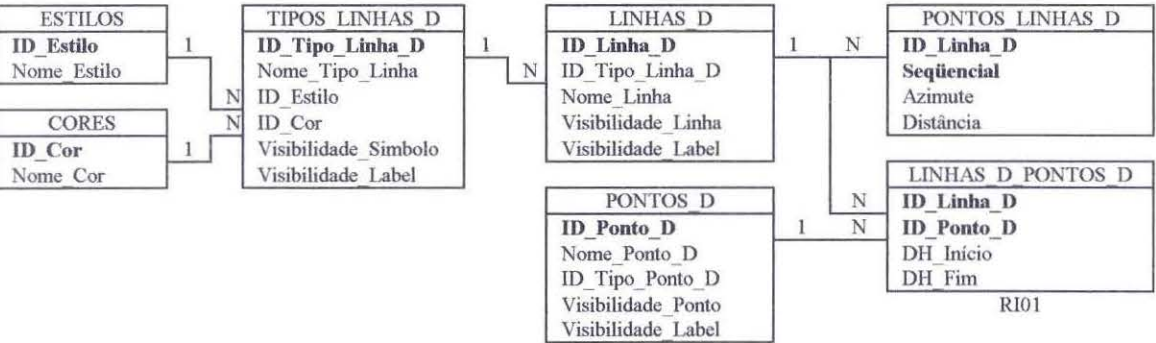


Figura 2. 9 - Tabelas de Linhas Dinâmicas.

Uma linha deve ser capaz de usar mais de um ponto móvel como base. Para prover o suporte a essa necessidade, usamos a entidade associativa especificada na tabela LINHAS_D_PONTOS_D (Figura 2. 9).

Os campos de DH_Inicio e DH_Fim indicam os limites do intervalo de tempo no qual uma linha estará associada a um ponto. Fica clara a necessidade da restrição de

integridade RI01. Uma vez que uma única linha dinâmica pode se relacionar com mais de um ponto móvel, os respectivos intervalos indicados por DH_Início e DH_Fim não podem se sobrepor.

2.2.9 - Áreas Poligonais Dinâmicas

Áreas Poligonais Dinâmicas apresentam grande semelhança com as Linhas Dinâmicas. As únicas diferenças estão relacionadas aos padrões de hachura e o fato das áreas serem sempre fechadas.

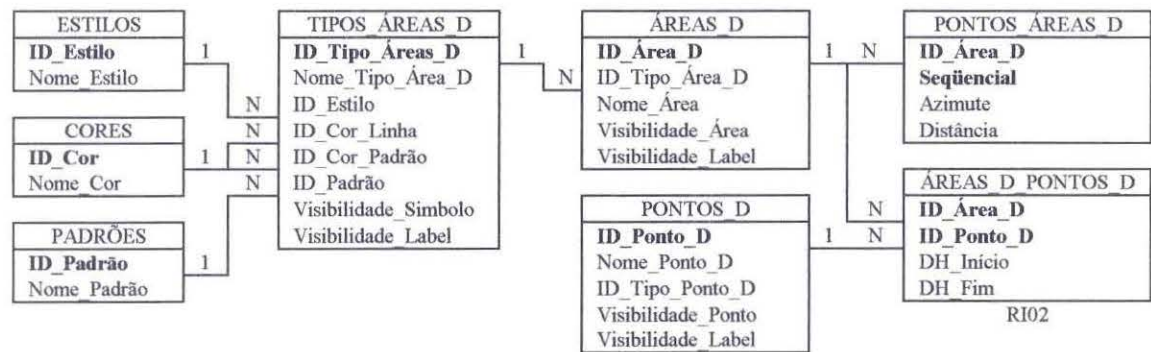


Figura 2. 10 - Tabelas de Áreas Dinâmicas.

As considerações sobre como evitar as deformações durante o deslocamento são idênticas às das linhas. A própria restrição de integridade RI02 (Figura 2. 10) exerce o mesmo papel, sobre a entidade ÁREAS_D_PONTOS_D, que a RI01 efetua sobre LINHAS_D_PONTOS_D.

2.2.10 - Setores Circulares Dinâmicos

As áreas e setores circulares móveis são de grande utilização em alguns tipos de atividades. As principais são operações de busca e salvamento. Isto ocorre porque círculos e setores circulares, além de apresentarem movimento, podem variar o seu raio em função do tempo. Em outras palavras, uma área circular pode crescer para representar a evolução de um quadro em que haja alguma incerteza. Tal situação é freqüente em operações de busca que se iniciam a partir da última posição conhecida (Figura 2. 11). Todos os fatores que contribuem na incerteza, tais como ventos e correntes, têm os seus efeitos concentrados nos parâmetros de velocidade de crescimento do raio da área e no rumo e velocidade de deslocamento.

A Figura 2. 11 exemplifica uma situação comum. A última posição conhecida de um barco que desapareceu está indicada na posição Inicial e a área na qual foram encontrados os sobreviventes está identificada como posição Final [MGEM89].

Os ventos e as correntes fizeram com que a área de busca se deslocasse de acordo com o tempo. Os círculos intermediários estão indicados por linhas tracejadas, e correspondem à área de busca em instantes específicos. Torna-se importante destacar que, na carta eletrônica, aparece apenas a área corrente.

A exemplo dos fatores acompanhados já citados, as áreas circulares dinâmicas usam um ou mais pontos dinâmicos como base para o seu deslocamento. A RI04, mostrada na Figura 2. 12, assegura que cada círculo ou setor dinâmico usa somente um ponto móvel de cada vez. Assim, quando uma área possuir mais de um ponto móvel como base, não poderá haver interseção nos intervalos definidos por DH_Início e DH_Fim, na tabela CIRC_D_PONTOS_D.

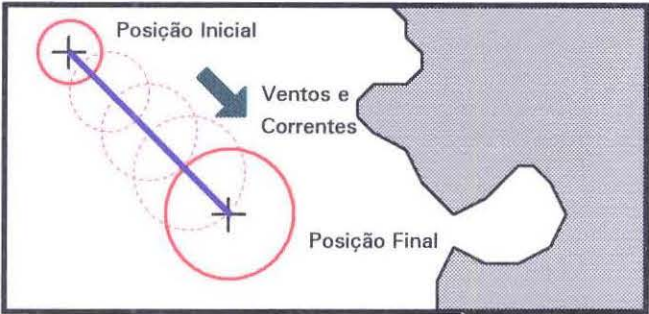


Figura 2. 11 - Exemplo de uma operação de busca.

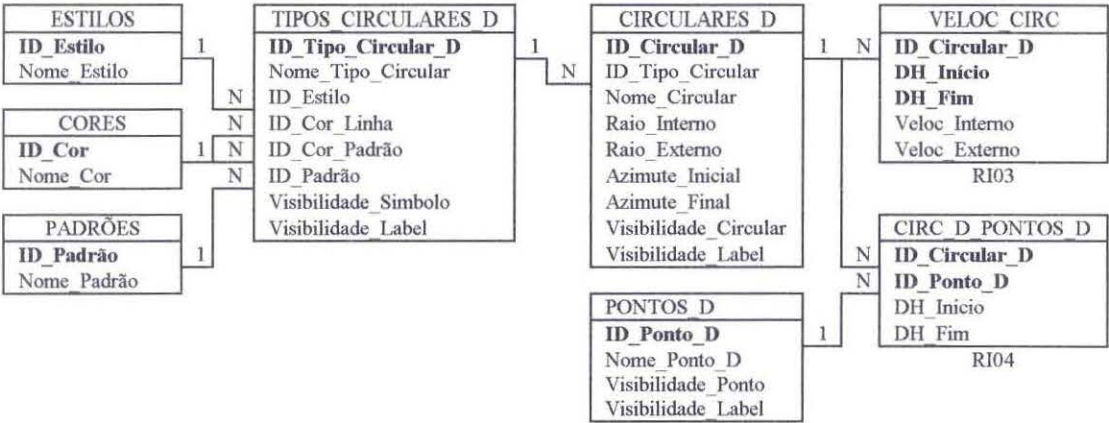


Figura 2. 12 - Tabelas de Áreas e Setores Circulares Dinâmicos.

A tabela que fornece as informações para que a velocidade de crescimento da área também possa variar com o tempo é a VELOC_CIRC. Esta possui ainda uma restrição de integridade, a RI03, que garante a não superposição dos intervalos de vigência das diferentes velocidades.

2.2.11 - Objetos Cartográficos

Os objetos² cartográficos podem ser vistos como o conjunto dos componentes básicos de uma carta náutica eletrônica. Estes objetos possuem na sua estrutura as informações necessárias para que o zoom inteligente possa ser efetuado. Como já vimos, na Seção 1.4.8, isto significa que informações geográficas, em diversas escalas, referentes a um único aspecto, devem ser armazenadas de forma hierárquica a fim de que os vários níveis de zoom possam ser obtidos com a melhor resolução possível.

A atuação dos objetos pode ser ilustrada no seguinte exemplo: a cidade de Salvador, um fator cartográfico, pode ter sua representação variando de um simples ponto a uma ou mais áreas poligonais. O parâmetro utilizado para a escolha da representação adequada é a escala de visualização da carta.

O modelo físico apresentado na Figura 2.13 ilustra a implementação dos objetos cartográficos em um banco de dados relacional.

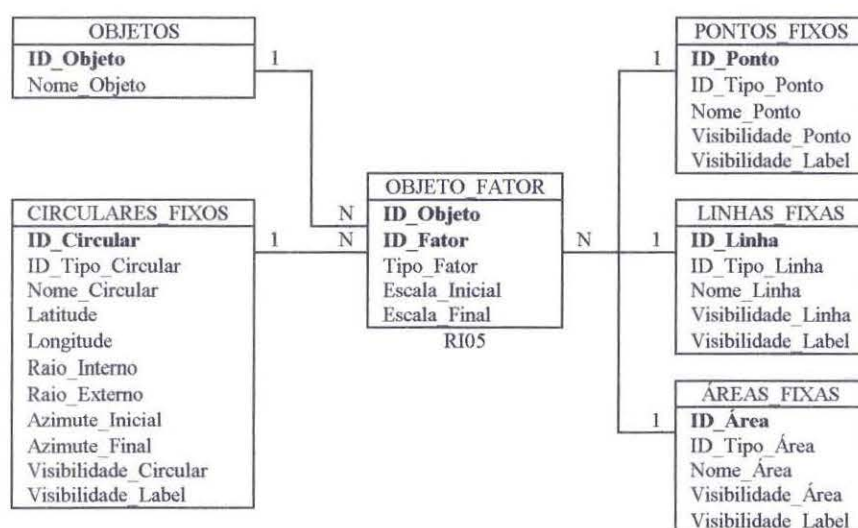


Figura 2.13 - Tabelas de Objetos Cartográficos.

A tabela OBJETO_FATOR tem como objetivo efetuar o relacionamento entre o objeto e os vários fatores cartográficos que o compõem. O campo Tipo_Fator é a implementação física de um supertipo aglutinador de todos os fatores cartográficos. Em uma modelagem lógica os pontos, linhas, áreas e os circulares fixos são subordinados a este supertipo. Os campos Escala_Inicial e Escala_Final indicam ao sistema as escalas de visualização a partir das quais devem ser efetuadas as trocas das representações do objeto. Portanto, uma representação é visível quando a escala corrente situa-se entre as indicadas na tabela OBJETO_FATOR para um nível hierárquico específico.

² Torna-se importante salientar que o termo “objeto”, aqui empregado, não possui o significado normalmente usado em programação.

O número de fatores cartográficos, por nível hierárquico de um objeto, pode variar. Nos níveis mais altos, o objeto pode ser representado por apenas um único fator, enquanto que nas camadas mais baixas vários fatores podem formá-lo. Como exemplo, podemos citar uma bacia hidrográfica. Na parte mais alta da hierarquia a calha principal pode ser exibida através de uma única linha fixa. Conforme atingíssemos níveis mais baixos outros afluentes podem ser mostrados, neste caso, mais de uma linha fixa deve ser usada. Finalmente, nas partes mais inferiores, a calha principal pode ser representada por uma área fixa, juntamente com os afluentes principais, e apenas os rios menores continuam a ser representados por linhas fixas. A Figura 2.14 ilustra este exemplo. Nela, os retângulos vermelhos pontilhados indicam as áreas que sofrem as aproximações.

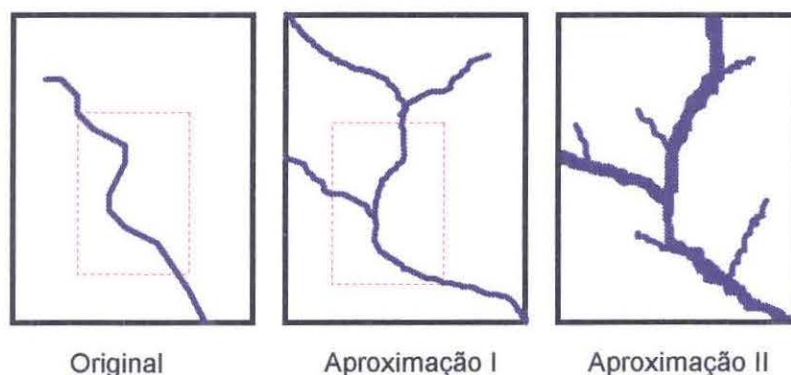


Figura 2.14 - Exemplo de uma representações de objeto em três níveis hierárquicos.

Em resumo, podemos dizer que os Objetos Cartográficos são a implementação relacional da Árvore de Escalas Múltiplas representada na Figura 1.16.

2.2.12 - Outras informações

Os tópicos abordados anteriormente podem ser considerados como aspectos gerais de um sistema que utiliza informações de cartas náuticas. Além dos problemas da navegação e do planejamento, não é objetivo deste estudo tecer uma longa teia de pormenores referentes a aplicações específicas. Desta forma, caso seja do interesse de um grupo de trabalho guardar outras informações, basta que as tabelas necessárias sejam anexadas.

2.3 - Operações e funções básicas

A seção anterior abordou a especificação da base de dados que dá suporte à carta náutica eletrônica. Nesta seção, nós discutiremos os processos que manipulam os dados descritos de maneira a obter a funcionalidade característica de uma carta. Alguns desses processos agem diretamente sobre o banco, outros exigem que estruturas auxiliares sejam mantidas em memória RAM e há ainda os que manipulam apenas elementos da interface gráfica para obter resultados específicos. Como exemplo de tais processos citamos:

2.3.1 - Determinação de azimutes, distâncias e círculos de igual distância

Conforme descrito no Capítulo I, a determinação de distâncias e azimutes, bem como as suas respectivas plotagens na carta, são a base das operações de caráter mais complexo e abrangente que planejadores e navegadores costumam efetuar. Portanto, são de grande importância na operacionalidade da carta eletrônica [OPSTAL].

Estas operações pertencem ao conjunto daquelas que apenas manipulam elementos da interface. A sua natureza predominantemente geométrica faz com que no mesmo instante em que efetuemos os cálculos necessários, possamos traçar na carta os resultados obtidos. Tal possibilidade aumenta muito o nível de interação com o sistema, uma vez que o usuário final passa a ter acesso simultâneo às representações alfanuméricas e gráficas dos elementos calculados, enquanto estes podem ser modificados continuamente de acordo com as suas necessidades [GLMO86].

Para obtermos a distância e o azimuth entre dois pontos basta que efetuemos um cálculo matemático dependente das coordenadas destes pontos. Tal processo é descrito abaixo, usando os pontos P1 e P2 como base.

Seja:

$Lat1 \ \& \ Lon1$	Latitude e Longitude de P1
$Lat2 \ \& \ Lon2$	Latitude e Longitude de P2
$DLat = Lat2 - Lat1$	Diferença de latitudes
$DLon = Lon2 - Lon1$	Diferença de longitudes
$LatM = \frac{Lat1 + Lat2}{2}$	Latitude média de P1 e P2
$Apart = DLon \times \cos(LatM)$	Apartamento
$Alfa = \arctan\left(\frac{Apart}{DLat}\right)$	Incremento angular
$Dist$	Distância entre P1 e P2
$Azim$	Azimuth entre P1 e P2
$Setor$	Correção de quadrante [1 2 3 4]
	1 - $DLat \leq 0$ and $DLon \leq 0$
	2 - $DLat \leq 0$ and $DLon > 0$
	3 - $DLat > 0$ and $DLon \leq 0$
	4 - $DLat > 0$ and $DLon > 0$

Assim:

$$Dist = \frac{Apart}{\sin(Alfa)}$$

O azimuth é calculado conforme os valores de *Setor*.

- 1 - $Azim = 180 + Alfa$
- 2 - $Azim = 180 - Alfa$
- 3 - $Azim = 360 - Alfa$
- 4 - $Azim = Alfa$

A técnica escolhida para implementação da interface desta operação é bem conhecida em computação gráfica. O ponto P1 é determinado a partir do sistema de coordenadas da tela, no instante em que o usuário aperta o botão esquerdo do *mouse*. O ponto P2 é obtido a partir de uma simples movimentação do *mouse*. Uma linha é traçada de P1 a P2 fazendo um XOR dos seus pontos componentes com os pontos do fundo. A cada vez que um novo P2 é determinado, a linha anterior é novamente traçada em modo XOR, o que causa a restauração do fundo, antes da linha atual ser plotada também em XOR. Este ciclo permanece até que o usuário libere o botão do *mouse*.

Para obter um círculo de igual distância não podemos usar círculos gráficos. O sistema de coordenadas faz com que haja incorreções caso esta prática seja adotada. A solução encontrada é gerar um polígono regular com o número de lados suficientemente grande para que possa ser tomado por um círculo. Neste caso, o procedimento parte das coordenadas do ponto P1, determina uma série de pontos P2 com a distância desejada e varia o azimuth até que um polígono fechado seja obtido. O traçado na carta é feito usando a mesma técnica citada no parágrafo anterior, substituindo a linha pelo polígono.

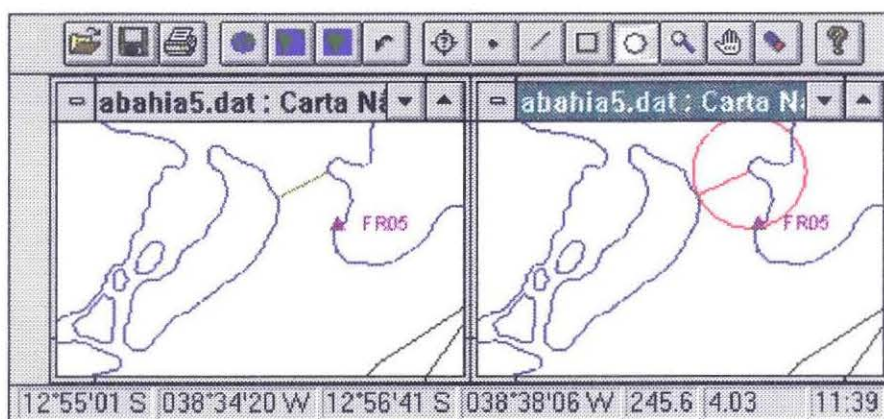


Figura 2.15 - Exemplo de tela parcial do protótipo.

A Figura 2.15 reproduz a barra de ferramentas, duas janelas e a barra de status do protótipo. Podemos observar, na barra de status, as coordenadas do ponto inicial, final, azimuth e distância em milhas náuticas entre eles. Estes valores mudam de acordo com a movimentação do *mouse*, permitindo ao usuário um acompanhamento constante das atividades desenvolvidas. A janela da esquerda ilustra a determinação e plotagem de distância e azimuth entre pontos, e a da direita exibe um círculo de igual distância. O último campo da barra inferior mantém a hora do sistema.

2.3.2 - Interrogação de pontos

No contexto deste protótipo, interrogar um fator é obter mais informações sobre o mesmo. Assim, para efeito desta operação, podemos caracterizar dois tipos básicos de dados a respeito de um fator: informações de caráter gráfico, tais como símbolo e cor, e

dados cuja natureza não permita sua plotagem na carta. Como exemplos desta última categoria, podemos citar o número de habitantes de uma cidade e os tipos de equipamentos de comunicação de uma estação rádio. O importante é que, embora sem simbologia gráfica, tais informações podem ser de utilidade para o navegador e devem estar disponíveis, para consultas, a partir da imagem da carta.

As informações complementares devem ser obtidas no banco de dados através da chave primária do fator. Tal tipo de ação não envolve uma grande perda de tempo uma vez que, na maioria dos bancos de dados, as consultas que retornam apenas um único registro são implementadas por processos que usam o conceito de *hashing* [MAMB89]. De maneira geral, podemos resumir o trabalho do sistema como consistindo na obtenção da chave do fator e, com ela, efetuar a consulta ao banco de dados que retorne as outras informações desejadas.

O número típico de fatores fixos presentes em uma tela não chega a uma centena. Desta forma, o uso de estruturas mais elaboradas para consultas pode acabar penalizando o usuário no tempo de processamento, para a respectiva montagem em memória. Entretanto, podem existir aplicações específicas que necessitem manipular um grande número de pontos e almejem manter a interface ativa durante todo o tempo. Tais aplicações podem usar um processo em separado para a montagem das estruturas desejadas, enquanto o processo principal continua respondendo às solicitações do usuário. Neste caso, a opção de interrogação ficaria desativada durante a montagem das estruturas e tão logo esta fosse terminada seria dado ao usuário o direito de interrogar os pontos desejados, sem que, para isso, fosse necessário privá-lo das outras operações disponíveis durante este intervalo.

Cabe ao operador selecionar a opção de interrogação e pressionar o botão do *mouse* quando este se encontrar sobre o fator de interesse. O sistema obtém a posição em coordenadas geográficas do ponto em que o *mouse* é acionado e efetua uma busca nas estruturas auxiliares a fim de recuperar a chave desejada.

Quando a opção de interrogação é selecionada, o cursor passa a ter um quadrado no seu centro (Figura 2. 16) de modo a delimitar a área na qual os pontos serão consultados. O problema que deve ser resolvido aqui consiste na enumeração das chaves primárias dos fatores cujas coordenadas estejam contidas nos intervalos de latitude e longitude estabelecidos pelo cursor.

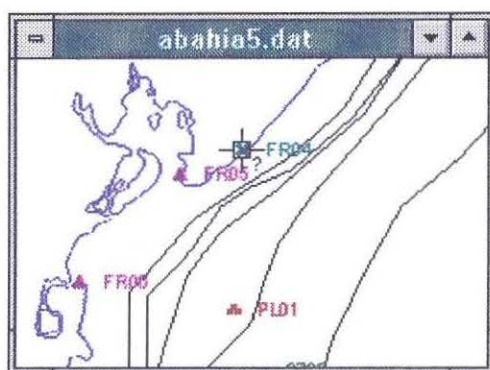


Figura 2. 16 - Interrogação do fator FR04.

Uma vez que tanto a consulta ao banco como a recuperação dos resultados podem ser feitas de maneira consagrada, via ODBC (Open DataBase Connectivity), daremos uma maior atenção à obtenção da chave primária do fator.

A resposta mais simples a este problema usa apenas o banco de dados. Uma consulta SQL pode retornar os pontos cuja posição esteja contida em um intervalo determinado pelo cursor. Admitindo que o ponto superior esquerdo do cursor possua coordenadas Lat1 e Lon1, e o inferior direito Lat2 e Lon2, temos a seguinte consulta SQL:

```
SELECT DISTINCTROW
Pontos_Fixos.ID_Ponto
FROM
Pontos_Fixos
WHERE
((Pontos_Fixos.Latitude<Lat1)AND
(Pontos_Fixos.Latitude>Lat2)AND
(Pontos_Fixos.Longitude>Lon1)AND
(Pontos_Fixos.Longitude<Lon2));
```

Tal consulta usa como exemplo a tabela de Pontos_Fixos para devolver as chaves primárias ID_Ponto contidas no intervalo especificado. A aplicação pode usar estas chaves para buscar as outras informações desejadas pelo usuário. Entretanto, a consulta acima não leva em consideração os estados de visibilidade que um ponto pode ter. Sendo assim, a consulta mais precisa seria:

```
SELECT DISTINCTROW
Pontos_Fixos.ID_Ponto
FROM
Tipos_Pontos INNER JOIN Pontos_Fixos ON Tipos_Pontos.ID_Tipo_Ponto =
Pontos_Fixos.ID_Tipo_Ponto
WHERE
((Pontos_Fixos.Latitude<Lat1) AND (Pontos_Fixos.Latitude>Lat2) AND
(Pontos_Fixos.Longitude>Lon1) AND (Pontos_Fixos.Longitude<Lon2) AND
(Tipos_Pontos.Visibilidade_Simbolo=VISÍVEL) AND
(Pontos_Fixos.Visibilidade_Simbolo=TIPO_PONTO))
OR
((Pontos_Fixos.Latitude<Lat1) AND (Pontos_Fixos.Latitude>Lat2) AND
(Pontos_Fixos.Longitude>Lon1) AND (Pontos_Fixos.Longitude<Lon2) AND
(Pontos_Fixos.Visibilidade_Simbolo=VISÍVEL));
```


Outras soluções envolvem o uso de estruturas auxiliares em memória montadas no instante da plotagem dos fatores apenas com os pontos visíveis. Tais estruturas armazenam as chaves primárias dos pontos plotados e admitirem consultas baseadas nas posições geográficas.

A solução considerada deve definir uma estrutura de dados cujos desempenhos em tempo de consulta, pré-processamento e espaço em memória sejam compatíveis com o propósito do sistema. Examinaremos, para tanto, os comportamentos assintóticos da Lista Ligada, KD-Tree, Quad Tree e Range Tree, relativos a espaços bidimensionais.

A mais simples das estruturas capaz de responder ao problema proposto é a Lista Ligada (Figura 2.17) [GULA86], [VSAF85]. Nela cada nó se liga ao seu sucessor e contém as informações de coordenadas e chave primária de um fator. As principais vantagens da lista ligada referen-se ao seu tempo de pré-processamento e memória requerida que, ambos, são proporcionais ao número de elementos da lista. A maior desvantagem da Lista Ligada ocorre na consulta que também é proporcional ao número de nós. Resumidamente:

- C:** $O(N + k)$ onde **k** é o número de fatores obtidos na consulta.
M: $O(N)$
P: $O(N)$

Onde **(C)** é a complexidade em consulta, **(M)** o uso de memória e **(P)** o pré-processamento requerido:

Assim, o pior desempenho na consulta, neste caso, pode ser compensado com o uso otimizado da memória e pouca perda de tempo no pré-processamento. No entanto, à medida que o número de fatores cresce, o baixo desempenho em consultas pode justificar o uso de outras estruturas de melhor comportamento assintótico.

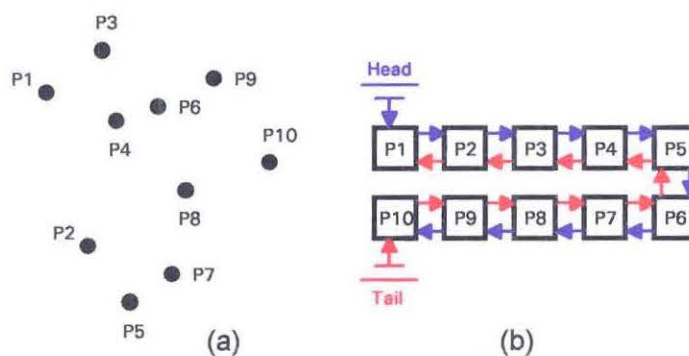


Figura 2.17 - Uma Lista Encadeada para $P = \{ P1,...,P10 \}$. Conjunto de pontos (a) e sua Lista Duplamente Ligada correspondente(b).

A KD-Tree, onde K indica o número de dimensões representadas, (Figura 2.18) é um exemplo de outra estrutura, usada em duas dimensões, a fim de solucionar o problema proposto. Neste caso, a estrutura é montada dividindo-se o conjunto de fatores sucessivamente por meio de linhas horizontais e verticais, alternadamente [SAME90], [SAMT90]. Cada divisão é feita pelo ponto mediano da coordenada em questão. Se a primeira divisão é feita com base na latitude, por meio de linhas horizontais, os subconjuntos resultantes serão novamente divididos pela longitude, e assim repetidamente, até que as regiões obtidas não possuam mais pontos.

As complexidades envolvidas na KD-Tree para duas dimensões são [FILE94]:

C: $O(N^{1/2} + k)$

M: $O(N)$

P: $O(N \log N)$

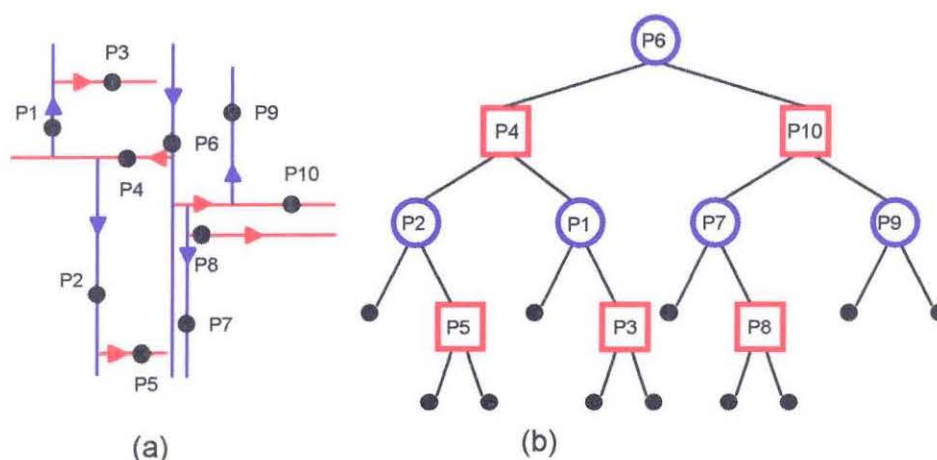


Figura 2.18 - Uma KD-Tree para $P = \{P_1, \dots, P_{10}\}$. Conjunto de pontos relativo à divisão do espaço (a) e sua KD-Tree correspondente(b).

O comportamento das consultas, neste caso, é melhor do que o das Listas Ligadas. A KD-Tree consegue manter o desempenho ótimo em termos de ocupação da memória, sendo menos eficiente no pré-processamento.

A Quad-Tree (Figura 2.19) é outra estrutura de dados montada, também, considerando uma subdivisão do espaço ocupado pelos fatores [RIUL87], [SAME90], [SAMT90]. A principal diferença em relação à KD-Tree é que, a cada divisão, o conjunto dos pontos é particionado em quatro sub-regiões até que estas não possuam nenhum ponto. Cada nó desta estrutura possui, assim, quatro filhos.

As complexidades da Quad-Tree para duas dimensões são: [FILE94]

C: $O(N^{1/2} + k)$

M: $O(N)$

P: $O(N \log N)$

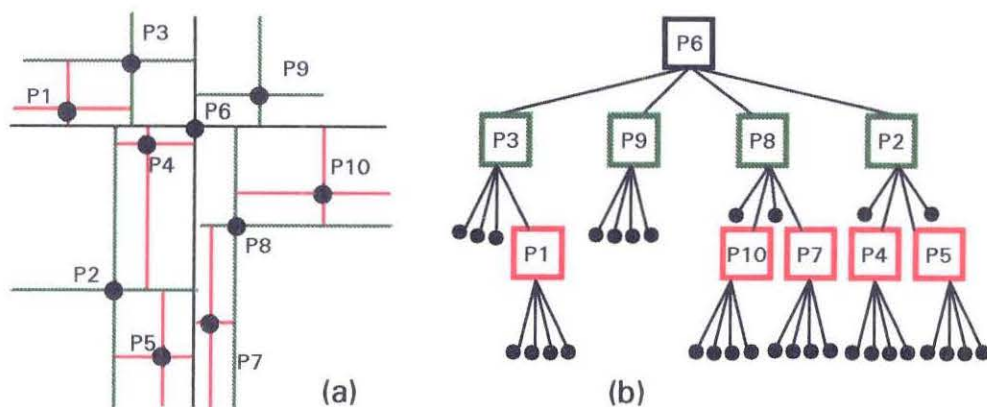


Figura 2.19 - Uma Quad-Tree para $P = \{P1, \dots, P10\}$. Conjunto de pontos relativos à divisão do espaço (a) e sua Quad-Tree correspondente (b).

Como exemplo de outra estrutura, citamos a Range Tree. A sua construção é a mais complexa das estruturas vistas até agora. Em duas dimensões, a Range Tree é composta por uma árvore de segmentos na qual cada nó corresponde a um intervalo em uma primeira dimensão e um ponteiro para uma árvore binária de busca, na segunda. Um engenhoso sistema de ponteiros na segunda dimensão proporciona um excelente comportamento assintótico nas operações de consulta. A Range Tree resultante dessa operação passa a se chamar Bridged Range Tree (Figura 2.21).

As complexidades são as seguintes [FILE94]:

C: $O(\log N + k)$

M: $O(N \log N)$

P: $O(N \log N)$

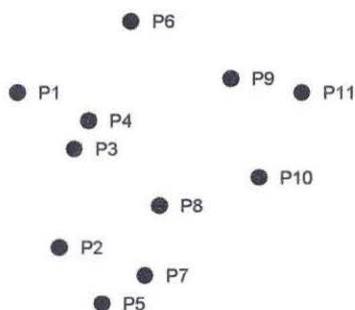


Figura 2.20 - Conjunto de pontos representados.

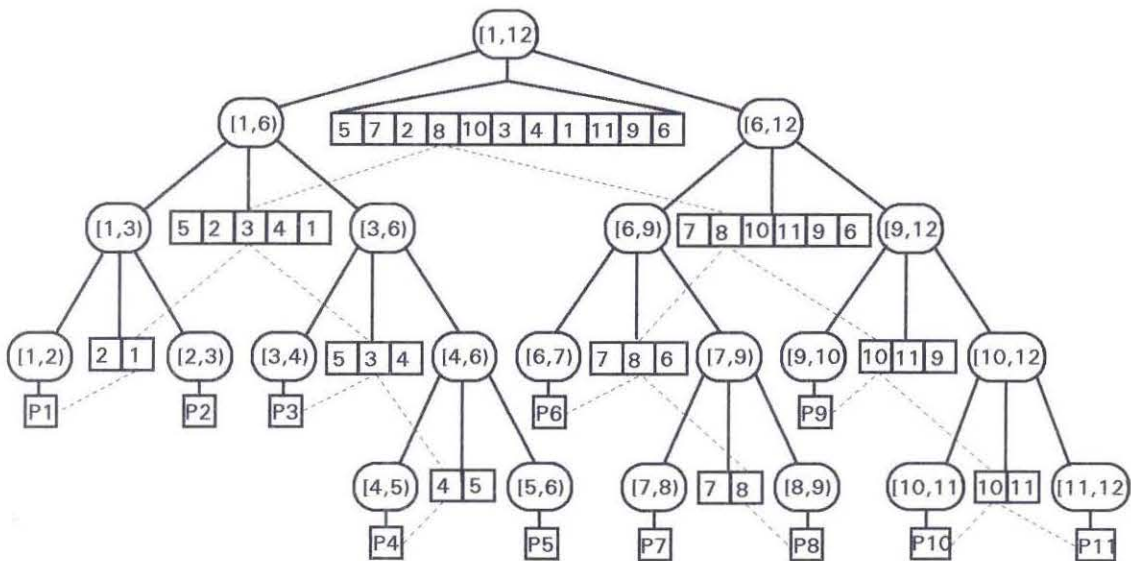


Figura 2.21 - Bridged Range Tree do conjunto de pontos da figura anterior. Apenas alguns dos ponteiros da segunda dimensão são indicados.

Considerando o número relativamente baixo de pontos esperados em uma carta náutica, foi adotado como solução o questionamento do banco de dados. Desta forma o sistema deve ser capaz de lidar com conjuntos de pontos retornados e levar em conta, na consulta ao banco, os valores dos campos *Escala_Inicial* e *Escala_Final* da tabela *Objeto_Fator*. Caso isto não ocorra o usuário pode obter informações indesejadas sobre pontos visíveis, segundo os campos *Visibilidade_Simbolo* das tabelas *Tipos_Pontos* e *Pontos_Fixos* (Seção 2.2.3), porém não mostrados na tela pelo fato da escala selecionada não permitir a exibição da representação pontual do Objeto Cartográfico.

Um ponto importante a ser notado é que a determinação da escala corrente em termos de um denominador (1:10.000, por exemplo), durante a execução do programa, é uma carga desnecessária. Para que os resultados desejados sejam obtidos, podemos considerar a escala corrente como a distância entre os cantos superior esquerdo e inferior direito da janela de exibição. O mesmo significado pode ser aplicado aos campos de *Escala_Inicial* e *Escala_Final*. Portanto, a consulta implementada deve ser:

SELECT DISTINCTROW

Pontos_Fixos.ID_Ponto

FROM

(*Tipos_Pontos* INNER JOIN *Pontos_Fixos* ON *Tipos_Pontos.ID_Tipo_Ponto* =
Pontos_Fixos.ID_Tipo_Ponto) INNER JOIN *Objeto_Fator* ON
Pontos_Fixos.ID_Ponto = *Objeto_Fator.ID_Fator*

WHERE

((*Pontos_Fixos.Latitude*<Lat1 And *Pontos_Fixos.Latitude*>Lat2) AND
(*Pontos_Fixos.Longitude*>Lon1 And *Pontos_Fixos.Longitude*<Lon2) AND
(*Tipos_Pontos.Visibilidade_Simbolo*=VISÍVEL) AND
(*Pontos_Fixos.Visibilidade_Simbolo*=TIPO_PONTO) AND

(Objeto_Fator.Escala_Inicial>ESCALA_ATUAL) AND
(Objeto_Fator.Escala_Final<ESCALA_ATUAL))

OR

((Pontos_Fixos.Latitude<Lat1 And Pontos_Fixos.Latitude>Lat2) AND
(Pontos_Fixos.Longitude>Lon1 And Pontos_Fixos.Longitude<Lon2) AND
(Pontos_Fixos.Visibilidade_Simbolo=VISÍVEL) AND
(Objeto_Fator.Escala_Inicial>ESCALA_ATUAL) AND
(Objeto_Fator.Escala_Final<ESCALA_ATUAL));

2.3.3 - Interrogação de linhas

A interrogação de linhas possui uma importância menor do que a de pontos, em uma carta náutica eletrônica. A maioria das linhas representadas carrega o seu significado na própria representação visual. Desta forma, a implementação da interrogação de fatores lineares pode ser feita, da forma mais simples, por uma consulta ao banco de dados. Neste caso, a consulta deve retornar simplesmente as chaves primárias das linhas cujos conjuntos de pontos possuam algum elemento no interior do quadrilátero especificado pelo cursor.

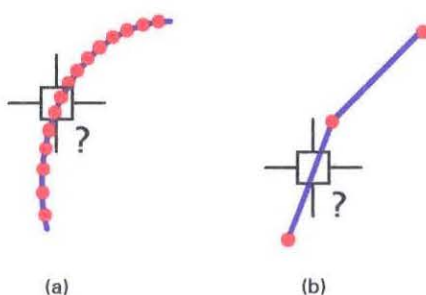


Figura 2.22 - Dois tipos possíveis de interrogação de linhas.

É necessário que se tomem os mesmos cuidados com a visibilidade e a escala de apresentação já mencionados na interrogação de pontos. A Figura 2.22(a) ilustra a interface desta operação.

O problema na utilização deste tipo de consulta é ilustrado na Figura 2.22(b). Uma linha pode ter poucos pontos na sua composição ou a escala da apresentação gerar um espaçamento notável entre eles. Existem várias soluções para a abordagem deste problema. A solução proposta aqui consiste da determinação das linhas cujos pontos, tomados aos pares, sequencialmente, determinem segmentos de retas que interceptem pelo menos uma das duas diagonais do quadrilátero determinado pelo cursor. A Figura 2.23 ilustra este processo.

O par de pontos (1,2) determina coeficientes da equação de uma reta que intercepta uma das diagonais do quadrilátero do cursor. No entanto, o ponto de interseção com a diagonal não está contido no intervalo entre os pontos 1 e 2. A reta que

contém a outra diagonal é coincidente com a reta que contém o segmento (1,2). Ainda assim, não há interseção entre os dois segmentos de reta.

Os pares (2,3) e (3,4) não produzem retas que cruzem alguma reta coincidente com as diagonais do cursor.

Já o par (4,5) ilustra dois casos positivos. A primeira diagonal intercepta a reta suporte do segmento (4,5) e o ponto de interseção fica entre o ponto 4 e o ponto 5. Somente esta condição já seria suficiente para recuperar a chave primária da linha. Além disto, a segunda diagonal é coincidente com a reta suporte do segmento (4,5) e há interseção entre o segmento e a diagonal.

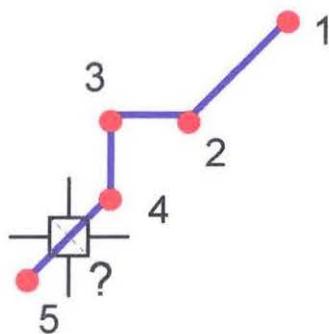


Figura 2.23 - Exemplo de uma interrogação de linha.

2.3.4 - Interrogação de áreas poligonais

Embora existam diferentes enfoques deste problema [CSJE94], usamos um algoritmo bem conhecido para interrogação de áreas poligonais [MAMB89], [PRSH88]. O que queremos obter são as chaves primárias das áreas que contenham o ponto central do cursor no seu interior. A exemplo das operações de interrogação de pontos e linhas, torna-se necessário verificar a visibilidade e a escala do objeto cartográfico para evitar resultados incorretos.

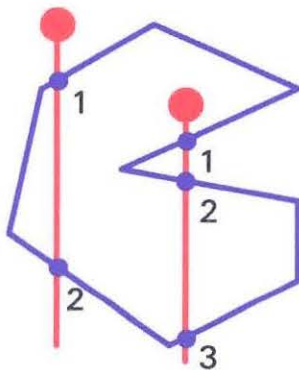


Figura 2.24 - Interrogação de área poligonal.

Todos os lados da área devem ser verificados. As interseções com a semi-reta vertical que parte do centro do cursor, no sentido descendente, devem ser **contadas** [PRSH88]. Caso o número de interseções seja ímpar, o cursor está localizado no interior da área. Consequentemente, a chave primária correspondente pode ser recuperada e usada na consulta.

Alguns cuidados devem ser tomados quando a semi-reta vertical intercepta um lado da área, também vertical, ou um vértice [MAMB89]. As situações ilustradas na Figura 2.25 devem ser testadas.

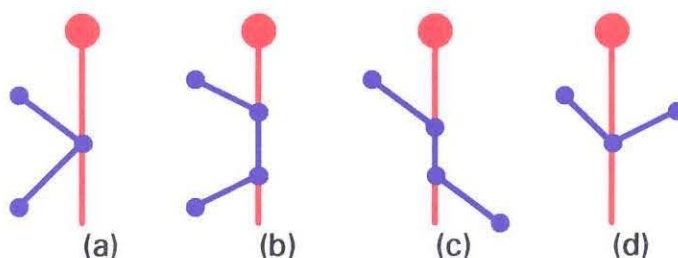


Figura 2.25 - Situações especiais.

As situações (a) e (b) devem ser vistas como nulas, isto é, o contador de interseções não deve ser incrementado, ao passo que as ocorrências semelhantes aos casos (c) e (d) devem gerar apenas um incremento no contador.

2.3.5 - Interrogação de áreas circulares

A interrogação de setores e círculos também se dá de maneira bastante simplificada. Para cada área, são calculados o azimuth e a distância do ponto base do setor ao ponto central do cursor. Caso estes dois valores estejam dentro das faixas estabelecidas pelos campos *Raio_Interno*, *Raio_Externo*, *Azimuth_Inicial* e *Azimuth_Final* a chave do fator pode ser usada para recuperar suas outras informações.

Um único cuidado deve ser tomado quanto aos limites em azimuthes dos setores. Valores iguais podem gerar setores diferentes, dependendo de qual valor representa o azimuth inicial. A figura a seguir ilustra este fato.

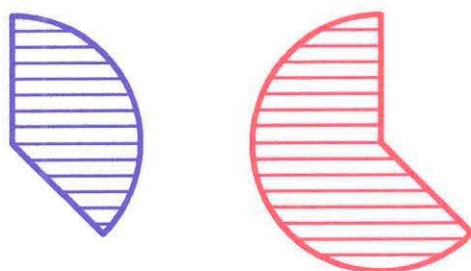
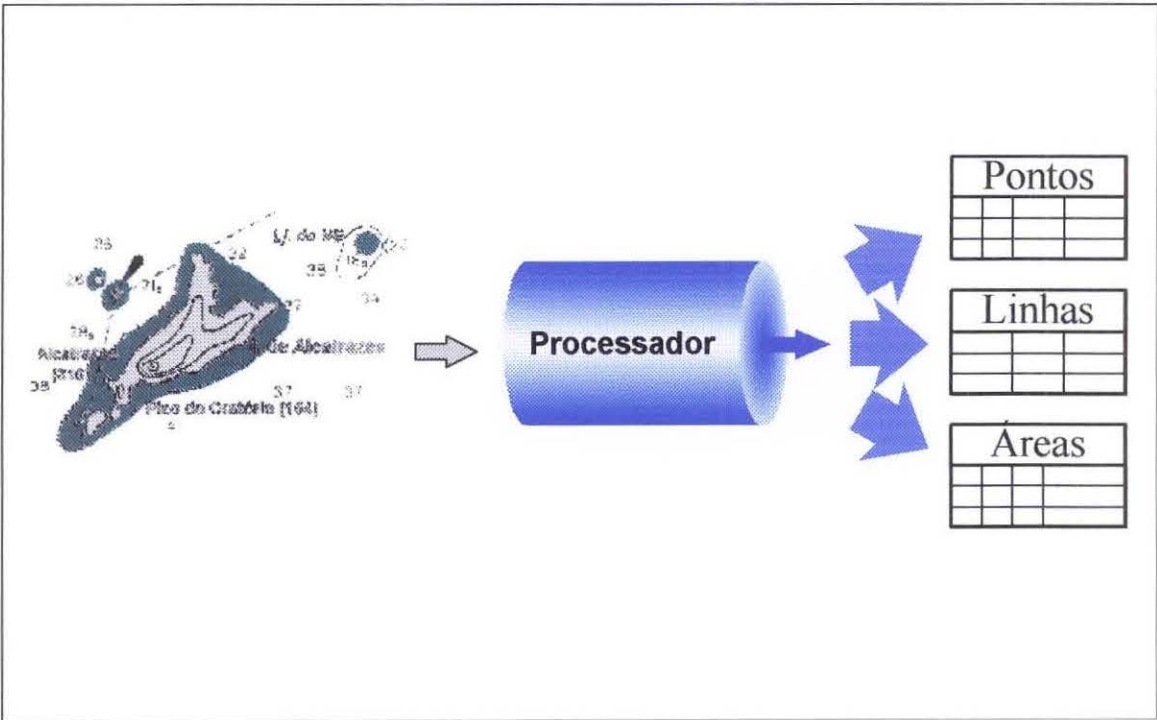


Figura 2.26 - Dois setores diferentes com os mesmos limites.

Capítulo III



Importação de Dados

Capítulo III - Importação de Dados

3.1 - Introdução

Conforme abordado anteriormente, o módulo de Importação de Imagens é o responsável pela transformação de dados do formato matricial para o vetorial Figura 3.1. A fonte de informações compõe-se de imagens de cartas náuticas (*bitmaps*) obtidas por meio de leitores óticos (*scanners*) [JAIN89].

Neste processo de transformação são necessários o conhecimento matemático da projeção de Mercator e o uso de técnicas de Processamento Digital de Imagens, PDI. O mesmo princípio cartesiano usado no módulo de Apresentação é empregado, onde o problema apresenta-se dividido novamente em reconhecimento de áreas, linhas e pontos seguido da conversão de coordenadas [BCBZ92], [KAAL88].

Neste estudo, abordamos apenas as cartas construídas com o uso da projeção de Mercator. No entanto, outros tipos de projeções podem sofrer processos de reconhecimento idênticos, desde que a metodologia de obtenção das coordenadas geográficas seja conhecida.

A funcionalidade prevista para este módulo não é totalmente automática. Uma vez obtidas as imagens, poderá ser necessária a ação em maior ou menor grau de um operador qualificado. Dependendo da complexidade dos componentes da carta a ser processada e dos aspectos a serem obtidos, o operador pode ter que escolher parâmetros específicos de algoritmos ou mesmo atuar diretamente na imagem. Esta atuação terá como finalidade principal a eliminação de informações desnecessárias e o realce daquelas de maior interesse [SUYA90].

Muitos dos algoritmos apresentados beneficiam-se das características peculiares do problema abordado, considerando, entre outros, que uma carta náutica é construída sob a égide de um conjunto de regras e padrões que simplificam a sua aparência final. As isolinhas, por exemplo, possuem atributos gráficos que as diferenciam dos demais componentes e apresentam um comportamento geográfico peculiar que permite o uso de algoritmos de varredura e afinamento sem acarretar perda de informações.



Figura 3.1 - Diagrama de blocos da importação de dados de imagens.

A seguir veremos as rotinas que compõem o pré-processamento e o processamento da imagem.

3.2 - Pré-processamento

Este módulo é responsável pela transformação da imagem inicial numa imagem resultante que possa ser utilizada pelo processamento nas suas várias etapas [BCBZ92], [GSHM94], [KAAL88].

A figura a seguir ilustra, de forma bem exagerada, as ações efetuadas pelo Pré-Processador. Nenhuma ação que gere perda de informações deve ser realizada.

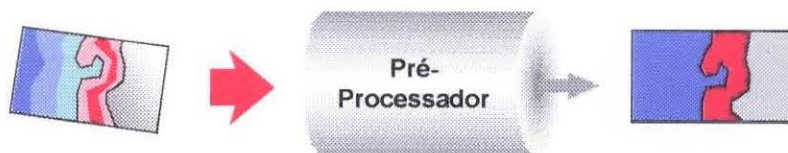


Figura 3.2 - Pré-processamento da imagem.

É importante lembrar que a fonte de dados para este módulo é uma imagem digitalizada de uma carta náutica em papel, obtida por meio de um leitor ótico. Durante o processo de leitura, a própria composição do papel e a distribuição irregular da tinta na sua superfície podem gerar pequenas variações nas cores dos vários pontos componentes da imagem. Algumas destas variações podem não ser percebidas a olho nu. Outras, apesar de evidentes, não afetam as operações realizadas sobre a carta em papel, por serem imediatamente reconhecidas pelo usuário como sem significado. Estas alterações, porém, caso ignoradas e levadas adiante, podem levar o módulo Processador a resultados errôneos.

Uma outra consequência direta do processo de leitura ótica é a quase inevitável inclinação ou rotação da imagem. Embora tal fato não influa no reconhecimento de áreas, linhas e pontos, provoca sérios inconvenientes no momento da conversão do sistema de coordenadas da imagem para o de coordenadas geográficas.

As soluções para os problemas citados anteriormente são, respectivamente, a transformação radiométrica e a rotação da imagem vistas a seguir.

3.2.1 - Transformação radiométrica

Uma ferramenta em processamento digital de imagens tem como objetivo a representação da imagem em uma outra forma de modo a evidenciar algumas de suas propriedades [ROKA82].

O Histograma, uma destas ferramentas, pode ser descrita como a função que indica o número de ocorrências de cada nível de cinza ou cor presente em uma imagem. É uma função densidade de probabilidade que pode ser obtida a partir do algoritmo a seguir, onde H é a função densidade de probabilidade e $I(x,y)$ corresponde ao nível de cinza do ponto (x,y) [BAXE94], [BCBZ92], [CGEW93], [JAIN89].

Início

$H(I(x,y)) = 0;$ // zera os contadores dos níveis

Para cada valor $I(x,y)$

Faça $H(I(x,y)) = H(I(x,y)) + 1;$

Fim Para

Fim

A Transformação radiométrica pode ser classificada como uma operação de PDI do tipo pontual. Isto é, pode ser aplicada a cada ponto da imagem de forma independente. A sua ação nada mais é do que a transformação de um *pixel* de cor C_i em cor C_f [CGEW93].

Assim:

Seja C_i a escala de cores (RGB) da imagem inicial I :

$C_i = [0, 1, 2, 3, \dots, N_i]$

Seja C_f a escala de cores (RGB) da imagem final F :

$C_f = [0, 1, 2, 3, \dots, N_f]$

Uma Transformação radiométrica é uma aplicação $I(CI) \rightarrow F(CF)$ tal que

$\forall ci \in CI, \exists cf \in CF, cf = f(ci)$

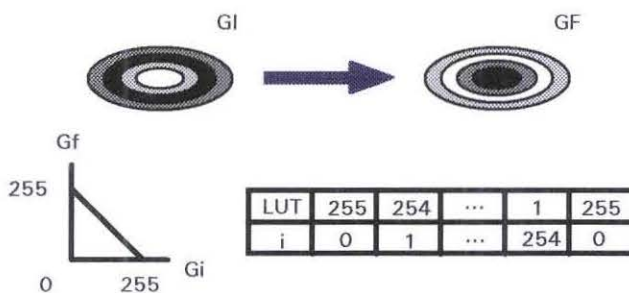


Figura 3.3 - Exemplo de uma operação de inversão de uma imagem G_I usando a Transformação radiométrica.

O uso da Transformação radiométrica em imagens de cartas náuticas é bastante simples uma vez que o seu conjunto de cores componentes é pequeno [BCBZ92]. Neste caso específico, a função desejada pode ser representada pelo gráfico mostrado na Figura 3.4.

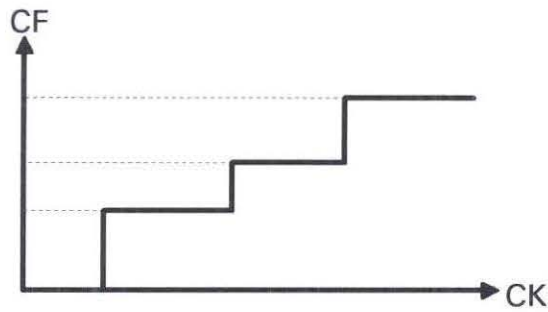


Figura 3.4 - Exemplo de uma transformação usada em imagens de cartas náuticas.

Aqui, a imagem resultante apresenta um histograma com menos ocorrências do que a imagem inicial mas com o número exato de cores estabelecido na padronagem da carta [MSRN88].

3.2.2 - Transformações geométricas

Estas transformações efetuam correções de ordem geométrica das imagens [JAIN89]. Com o uso de transformações matemáticas, os *pixels* são reposicionados nas coordenadas (x', y') a partir de uma posição inicial (x, y) . Estas transformações são usadas para transladar, mudar de escala, e efetuar rotações arbitrárias de uma imagem [ROKA82].

Podemos citar dois tipos principais de transformações geométricas: lineares e não lineares. As transformações lineares incluem a translação, rotação e mudanças de escala. Tais operações não introduzem qualquer tipo de curvatura na imagem processada. As operações não lineares, conhecidas como *warping*, podem introduzir curvaturas localizadas bem como inclinação e torção na imagem final. Algumas das aplicações deste tipo de transformação incluem correções de distorções causadas por defeitos em lentes e aplicação de efeitos de perspectiva [BAXE94], [CGEW93], [JAIN89].

Todas as operações geométricas são levadas a termo movendo-se *pixels* da sua posição original para uma nova localização, na imagem processada, ou seja:

$$T: I(x,y) \rightarrow O(x', y')$$

onde cada operação geométrica T é representada por equações de transformação das coordenadas, definindo novos valores x' e y' em função de x e y originais. Este processo também é conhecido como *source-to-target mapping*.

Naturalmente, tais transformações podem apresentar alguns problemas como, por exemplo, quando realizamos operações de *warping* e mudanças de escala. Nestes casos, podemos obter *pixels* na imagem processada que não foram endereçados por nenhum

ponto da imagem de origem. Conseqüentemente, alguns *pixels* vazios podem aparecer na imagem resultante [BAXE94]. Veja os espaços surgidos na Figura 3.5.

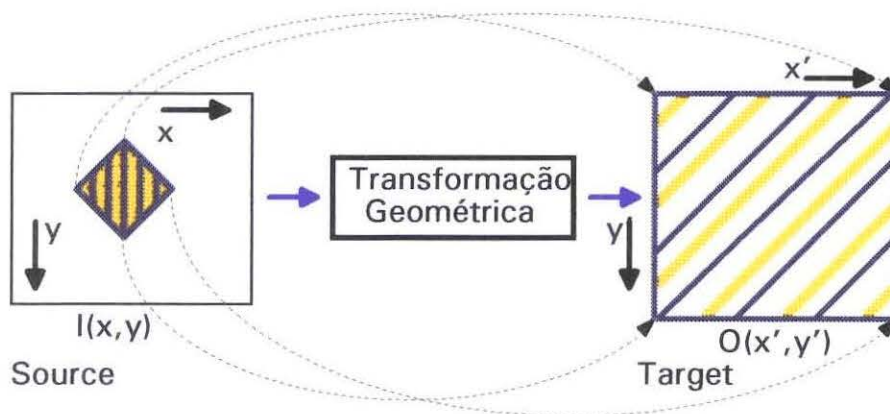


Figura 3.5 -Transformação do tipo *Source-to-Target*.

Com o objetivo de evitar *pixels* não endereçados na imagem resultante, podemos adotar uma outra abordagem do problema [BAXE94]. Usando uma transformação reversa, também conhecida por *target-to-source mapping*, podemos partir das coordenadas dos *pixels* da imagem processada e obter, na imagem inicial, as respectivas cores, isto é:

$$T: O(x,y) \leftarrow I(x', y')$$

Neste caso, (x,y) são as coordenadas dos *pixels* da imagem processada e (x',y') as coordenadas dos pontos na imagem original.

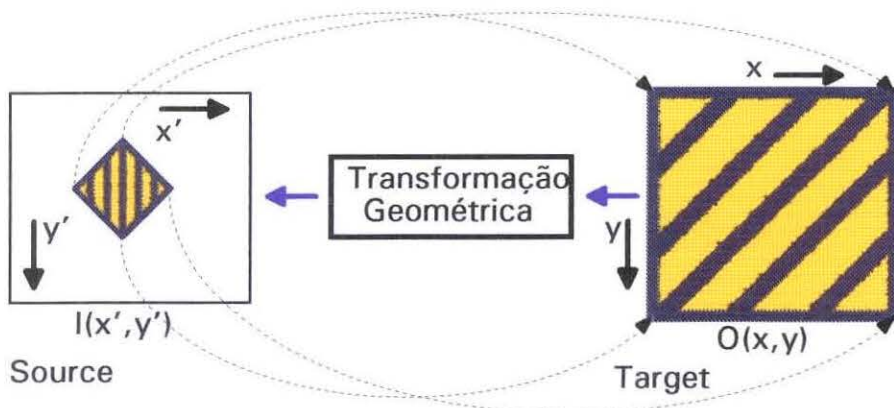


Figura 3.6 - *Target-to-Source Mapping*.

Uma vez que **todos** os *pixels* da imagem processada são verificados, a imagem resultante não contém mais espaços vazios na sua representação Figura 3.6.

3.2.3 - Correção da inclinação da imagem

Uma imagem pode ser girada em torno de um ponto qualquer. Este pode ter sua localização situada dentro ou fora dos limites da imagem [ROKA82]. No nosso caso, consideramos o ponto de coordenadas (0,0), no canto superior esquerdo. As equações para a rotação de uma imagem em um ângulo θ são [BAXE94], [CGEW93], [JAIN89]:

$$x' = x \cos \theta + y \sin \theta$$

$$y' = -x \sin \theta + y \cos \theta$$

Onde x e y são as coordenadas dos *pixels* da imagem de origem e x' e y' , as coordenadas dos respectivos *pixels* na imagem resultante. O ângulo θ é medido no sentido horário com sua origem no *pixel* (0,0).

Conforme discutido na seção 3.2.2 devemos dar preferência à implementação reversa, ou seja:

$$x' = x \cos \theta - y \sin \theta$$

$$y' = x \sin \theta + y \cos \theta$$

Nas equações acima, x e y são as coordenadas dos *pixels* da imagem processada e x' e y' as coordenadas dos respectivos *pixels* da imagem original. O ângulo θ mantém o mesmo significado do enfoque anterior.

Usaremos a transformação direta para um exemplo com $\theta = 30^\circ$. Assim:

$$x' = x \cos 30^\circ + y \sin 30^\circ = x(0.866) + y(0.500)$$

$$y' = -x \sin 30^\circ + y \cos 30^\circ = -x(0.500) + y(0.866)$$

O *pixel* (120, 130), por exemplo, com sua nova localização (168.92, 52.58) nos mostra um fenômeno interessante. Se o valor de θ não for múltiplo de 90° , freqüentemente não teremos resultados inteiros para os valores das coordenadas obtidas, o que torna necessário um procedimento de interpolação das coordenadas [BAXE94], [CGEW93].

3.2.4 - Interpolação de pixels

Sempre que aplicamos uma transformação geométrica a uma imagem, ocorre um novo processo de amostragem, também conhecido como *resampling* [CGEW93], [FIGU94], [JAIN89]. Isto significa que há mudanças na razão e orientação da amostragem original da imagem [ROKA82]. Conforme o número de novos pontos de amostragem, podemos classificar o processo como *downsampling* ou *upsampling*.

O *downsampling* ocorre no caso em que a imagem processada possui dimensões menores do que a inicial. Este processo não nos é útil, uma vez que não será executada nenhuma redução de escala nas imagens originais das cartas náuticas.

O *upsampling* é um processo que aumenta a resolução espacial de uma imagem, empregado sempre que uma transformação geométrica é aplicada a um *pixel*, e as coordenadas resultantes não são inteiras. No enfoque *source-to-target* isto ocorre quando a localização dos *pixels* na imagem processada não é exata como na Figura 3.7. Já no modo *target-to-source* é a localização dos *pixels* da imagem original que não é exata. O processo mostrado na Figura 3.8 ilustra este caso.

A interpolação surge como um procedimento que determina a cor ou nível de cinza de um *pixel* “imaginário” entre as localizações inteiras [BAXE94]. Diferentes esquemas podem ser usados para atingir tal objetivo, dependendo das necessidades de acuidade das diversas classes de aplicações.

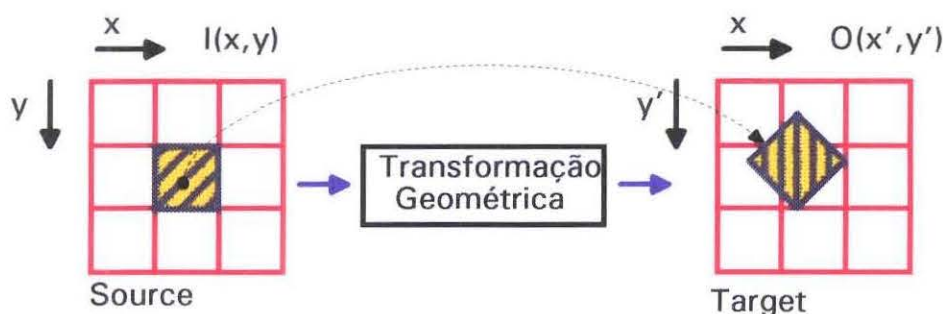


Figura 3.7 - Transformação *source-to-target* quando as localizações dos *pixels* da imagem processada não são inteiras.

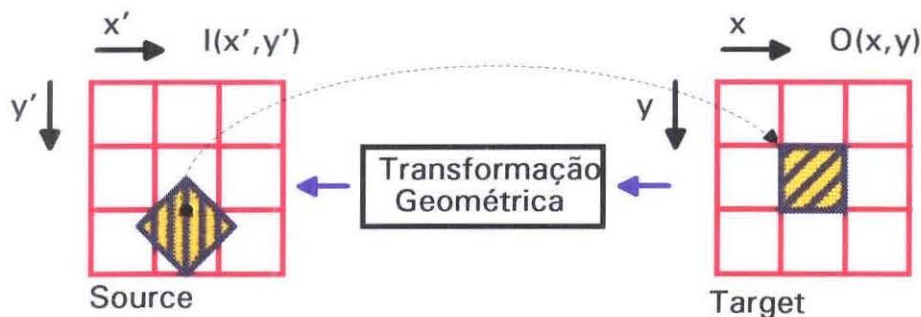


Figura 3.8 - Transformação *target-to-source* quando as localizações dos *pixels* da imagem original não são inteiras.



A forma mais rudimentar de interpolação é a do vizinho mais próximo, ou interpolação de ordem zero. Nesta metodologia são determinadas as coordenadas inteiras mais próximas das coordenadas transformadas. No enfoque *source-to-target* o *pixel* mais próximo recebe o valor da cor ou nível de cinza do *pixel* da imagem de origem [BAXE94], [CGEW93], conforme ilustrado na Figura 3.9.

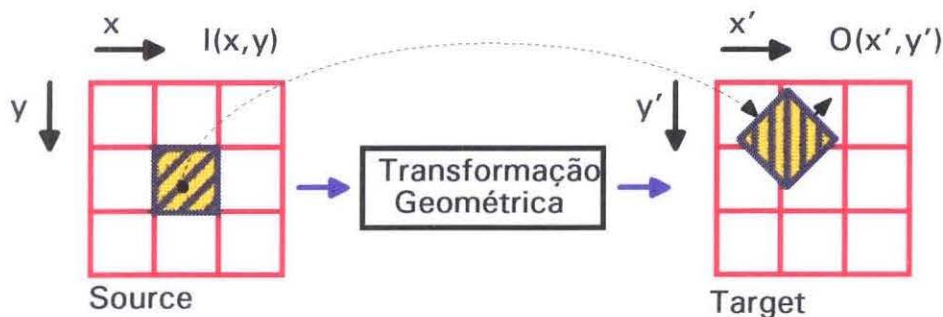


Figura 3.9 - Interpolação do vizinho mais próximo aplicada a uma transformação *source-to-target*.

Quando usamos a visão *target-to-source* o *pixel* mais próximo, na imagem original, indica o valor de cor ou nível de cinza do *pixel* da imagem processada. A Figura 3.10 mostra esta operação.

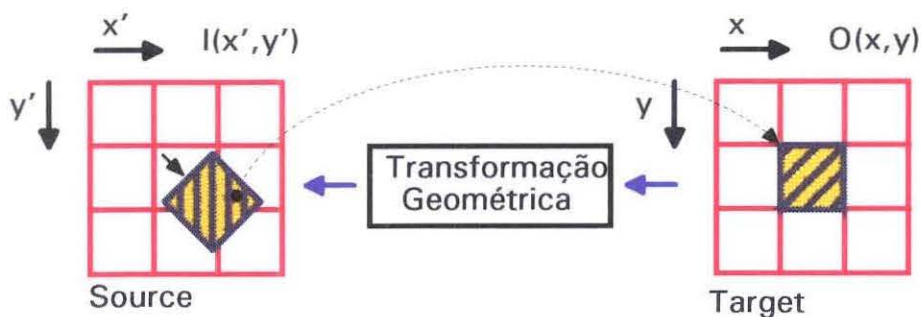


Figura 3.10 - Interpolação do vizinho mais próximo aplicada a uma transformação *target-to-source*.

No caso de mudança de escala, para uma dimensão algumas vezes maior do que a original, podemos começar a notar blocos de *pixels* com os mesmos valores de cor ou cinza. Tal fenômeno é conhecido como *pixelation* [JAIN89] e degrada a qualidade da imagem resultante, podendo requerer o uso de diferentes métodos de interpolação, de acordo com a aplicação [BAXE94].

Outra maneira de efetuar interpolação é a bilinear ou interpolação de primeira ordem [CGEW93]. O objetivo é diminuir o efeito de surgimento de blocos presentes no método do vizinho mais próximo. Para efetuar esta interpolação é feita uma média dos valores dos quatro *pixels* vizinhos, ponderada pelas distâncias ao ponto desejado.

No caso de imagens fotográficas, tal interpolação oferece uma maior suavidade de contornos e evita a formação de blocos. O maior inconveniente no uso deste tipo de interpolação no módulo de Importação de imagens é o fato de que novos valores de cores ou níveis de cinza podem ser introduzidos na imagem processada.

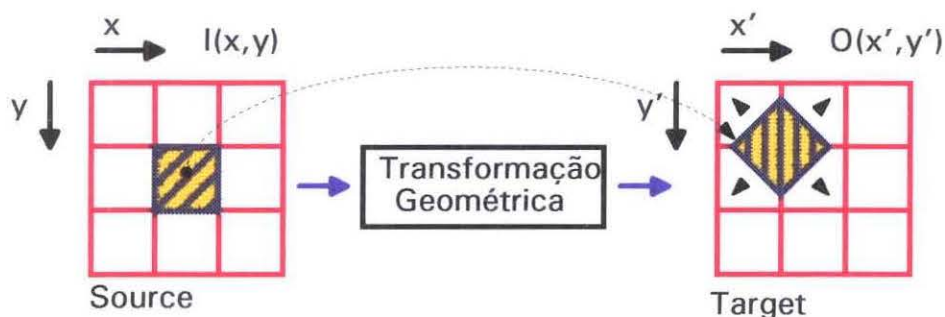


Figura 3.11 - Interpolação bilinear aplicada a uma transformação *source-to-target*.

Como muitas das informações a serem obtidas da imagem da carta são dependentes dos valores dos *pixels*, e raramente serão feitas mudanças de escala no processo de Importação, o método escolhido para o módulo de Pré-Processamento é o do vizinho mais próximo, que permite a correção da inclinação e não modifica o conjunto das cores iniciais.

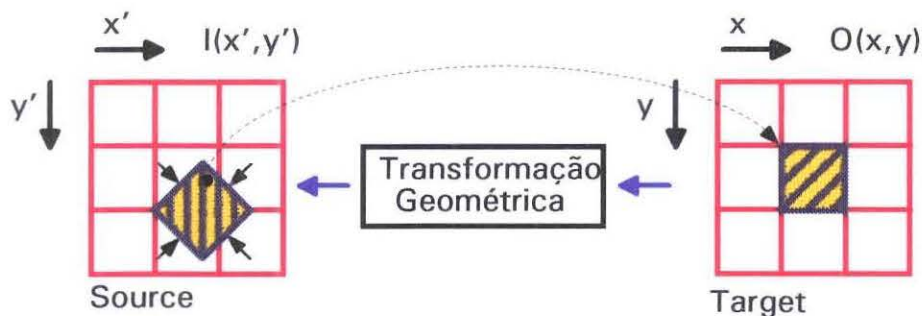


Figura 3.12 - Interpolação bilinear aplicada a uma transformação *target-to-source*.

3.3 - Processamento

O Processamento é um conjunto bem determinado de rotinas e procedimentos que têm como objetivo a identificação dos diversos Fatores Cartográficos, presentes na carta, e a posterior transformação das coordenadas da imagem em coordenadas geográficas correspondentes [BCBZ92], [GSHM94].

Após essa sequência de operações, os dados devem ser arranjados, segundo o modelo descrito no Capítulo II, e introduzidos no banco de dados. A Figura 3.13 ilustra este processo.



Figura 3.13 - Processamento da imagem.

Uma operação importante do módulo Processador refere-se à segmentação das diferentes componentes da carta [CGEW93], [JAIN89], [ROKA82]. Uma imagem de uma carta náutica possui algumas informações que seguem uma determinada padronização. Assim, alguns atributos das suas componentes podem ser facilmente detectados. Por exemplo, determinados tipos de linhas são sempre da mesma cor, outros podem variar sua coloração, mas separam sistematicamente áreas de cores diferentes ou ligam símbolos que não variam. A título de ilustração, podemos citar linhas do litoral que separam regiões de terra e mar, com cores não coincidentes, e estradas que normalmente ligam cidades [KAAL88].

3.3.1 - Resolução espacial e resolução de cores

Para que uma imagem possa ser usada como fonte de dados na Importação devemos garantir que durante o processo de digitalização [BAXE94], [BCBZ92], [CGEW93], [JAIN89] não serão perdidas informações significativas (Figura 3.14).

Conforme citado anteriormente, o número de cores distintas em uma carta náutica é reduzido, não demandando uma grande resolução de cores na imagem original. No nosso caso, após a Transformação radiométrica discutida na seção 3.2.1, a imagem terá no máximo 16 cores, podendo ser representada com quatro *bits* por *pixel*.

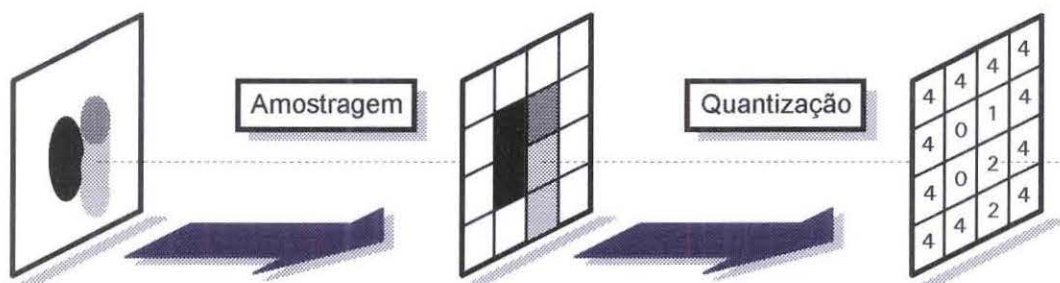


Figura 3.14 - A digitalização é feita por processos de amostragem e quantização.

A resolução espacial pode ser vista como o número de *pixels* que compõe a imagem digitalizada. Em termos ideais a imagem digitalizada deve ser idêntica à original, porém, no caso da análise computadorizada, pode não ser necessária uma excessiva quantidade de *pixels* para se obter os resultados desejados. Além de não alterar o produto final da análise, o uso da resolução espacial apropriada pode economizar tempo de processamento e espaço de armazenamento em disco [BAXE94], [CGEW93], [ROKA82].

Para se determinar a resolução espacial adequada às nossas necessidades, devemos observar o conceito de Frequência Espacial [JAIN89].

Toda imagem possui pormenores, alguns delicados, outros nem tanto, mas, todos compostos de transições cíclicas de brilho. A velocidade com que as variações de brilho acontecem caracteriza a frequência espacial. A Figura 3.15 apresenta imagens com velocidades de variação diferentes. A imagem (a) ilustra uma frequência espacial que é duas vezes menor do que a frequência da imagem (b).

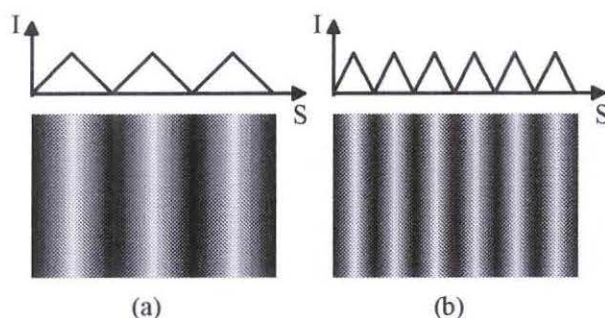


Figura 3.15 - Imagem com baixa frequência (a) e com alta frequência espacial (b).

Juntamente com o conceito de frequência espacial, usamos o Teorema da Amostragem [JAIN89] para determinarmos a quantidade de *pixels* a serem obtidos, em um processo de digitalização de imagem sem perda de informações significativas

[CGEW93]. Informalmente, o teorema diz que para obtermos uma imagem digital com todas as componentes da imagem original sendo mantidos, devemos efetuar a amostragem com uma velocidade pelo menos duas vezes maior do que a velocidade correspondente à sua maior frequência espacial. Esta frequência é conhecida como Frequência de Nyquist. A partir deste critério, garantimos que cada detalhe será amostrado pelo menos duas vezes, nas transições de entrada e saída do objeto, respectivamente [BAXE94], [CGEW93], [JAIN89], [ROKA82].

Caso a imagem seja amostrada com uma velocidade menor do que a recomendada, haverá perda irreversível de informações. Por outro lado, uma amostragem com velocidade maior do que duas vezes aquela da maior frequência dará origem a uma imagem digitalizada com excesso de *pixels*. Este excesso, teoricamente, não se traduz em maior acuidade, mas, na prática, algumas aplicações têm demonstrado um melhor desempenho ou facilidade de processamento quando a amostragem é feita com valores superiores à Frequência de Nyquist [CART88].

3.3.2 - Reconhecimento de linhas e contornos de áreas

Podemos considerar que maioria dos dados geográficos contidos numa carta náutica esteja na forma de linhas e áreas poligonais. Conseqüentemente, um dos principais conjuntos de algoritmos do Processador lida com este tipo de dado. Existem vários algoritmos e técnicas que abordam o problema de detecção, segmentação e apresentação visual de linhas e contornos de superfícies [BCBZ92], [CGEW93], [JAIN89].

O que se busca aqui são procedimentos que além de segmentar as componentes lineares, não alterem a sua forma, posicionamento e conexidade, uma vez que será feita uma correspondência direta entre as coordenadas da imagem e as respectivas coordenadas geográficas [KAAL88]. Para tanto, contamos com um comportamento peculiar das chamadas isolinhas.

Uma isolinha representa o conjunto de pontos na carta que possuem o mesmo valor de uma propriedade física qualquer. Alguns exemplo clássicos, já vistos, são as curvas de nível, isomagnéticas e isobatimétricas que unem pontos de mesma altitude, declinação magnética e profundidade, respectivamente [DIACON].

Tais propriedades físicas possuem a característica de serem representadas nas cartas de forma contínua, isto é, não há interrupções, cruzamentos ou bifurcações neste tipo de linha [GLMO86]. Um cruzamento só é possível no caso de isolinhas que representem grandezas de tipos diversos. É plenamente aceitável que um dado ponto possua declinação magnética de 20°W e profundidade 100m. Porém, não é admissível que sejam apresentados pontos com duas profundidades ou duas altitudes diferentes.

Como já vimos, os atributos gráficos dos diferentes tipos de isolinhas facilitam a sua segmentação. Além disso, como consequência da continuidade da representação das propriedades físicas, podemos dizer que uma isolinha comporta-se de duas maneiras distintas. Ou ela forma um ciclo totalmente contido no interior da imagem ou apenas uma parte dela está visível, com seus extremos interceptando os limites da área em questão [SKTH87].

O mesmo comportamento é observado nas áreas que indicam a proeminência de uma propriedade física qualquer. Áreas que simbolizam valores de propriedades diversas podem apresentar interseção, o mesmo não ocorrendo para valores diferentes da mesma propriedade. A Figura 3. 16 ilustra este conceito.

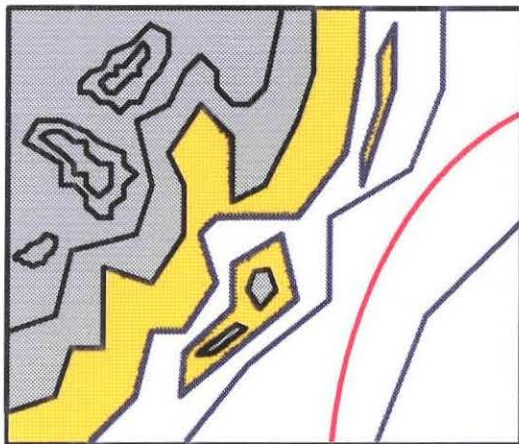


Figura 3. 16 - Comportamento de áreas e isolinhas.

Finalmente, nos resta abordar a largura das linhas em *pixels*, uma vez que o nosso objetivo é transformar uma sequência de *pixels* numa sequência de coordenadas geográficas, de acordo com o modelo adotado. O caso mais comum indica que as linhas raramente se apresentam com apenas um único *pixel* de largura, dificultando a conversão de coordenadas. Este fato nos leva a adotar os procedimentos descritos a seguir.

3.3.3 - Reconhecimento do litoral

O litoral pode ser encarado como uma isolinha qualquer, representando o conjunto de pontos da carta com profundidade zero. Entretanto, para conseguirmos uma melhor extração das coordenadas geográficas das linhas, usaremos uma rotina de afinamento que consistem em obter uma representação das componentes lineares a com apenas um único *pixel* de espessura. Tal prática, entretanto, pode ocasionar erros graves no caso da linha da costa [BERR87], [GRYA86]. A rotina de afinamento empregada na importação será descrita nos itens subseqüentes. A seguir veremos uma descrição do problema e sua abordagem.

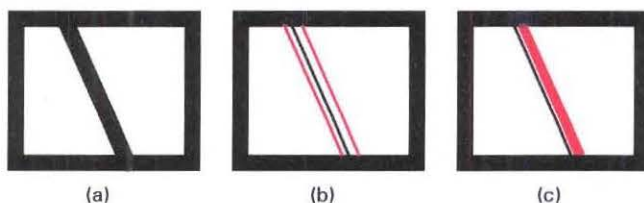


Figura 3. 17 - Litoral (a), afinamento sobre o litoral (b), região de erro gerada (c).

A Figura 3. 17 ilustra o uso do afinamento no litoral de forma ampliada. No passo (c) vemos que o polígono representado em vermelho mudou a sua característica. Inicialmente, a carta em papel representava este espaço como uma área não navegável. Sendo assim, dependendo da escala da carta, esta região pode ser grande o suficiente para oferecer insegurança a um navegador [BERR87].

Para solucionar este problema, podemos considerar o litoral, em termos conceituais, como a linha limítrofe da área continental ou insular. Neste caso, precisamos apenas definir o limite interno desta área, obtendo, assim, o litoral com um único *pixel* de largura na fronteira com o oceano. Em termos de PDI, necessitamos de uma imagem que traduza o conceito anterior, isto é, que apresente uma homogeneidade na área continental e que seja diferente da região oceânica.

A transformação radiométrica pode ser usada para este fim, todas as cores representando aspectos em terra são reduzidas a uma única cor e aquelas que representam componentes no oceano são associadas a outra. A imagem resultante deste processo, aplicado à Figura 3. 16, é representada na Figura 3. 18 (a).

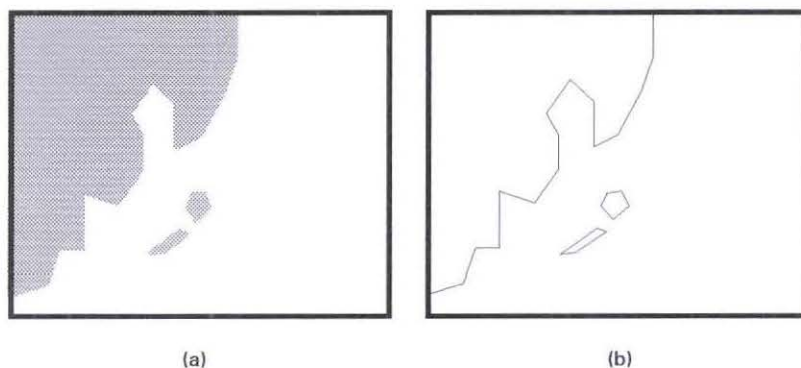


Figura 3. 18 - Reconhecimento da linha da costa em duas etapas. Transformação radiométrica (a) e detecção de contornos (b).

Outras técnicas podem ser empregadas visando a obtenção de um histograma bimodal. O uso de Limiarização ou *Thresholding* é um exemplo [BAXE94], [BCBZ92], [CGEW93], [ROKA82]. A preferência pela transformação radiométrica se dá pelo maior controle que podemos exercer sobre o processo e pela facilidade oriunda do limitado número de cores presentes na imagem.

Uma vez terminada esta fase há a necessidade de se obter o contorno desejado (Figura 3. 18 (b)), considerando os mesmos algoritmos a serem descritos na seção 3.3.5.

3.3.4 - Reconhecimento de isolinhas

Para o reconhecimento das isolinhas na imagem, algumas de suas características, discutidas em 3.3.2, precisam ser exploradas, visto que os algoritmos associados não podem apresentar perda de informações.

A aplicação do afinamento nessas linhas tem como finalidade representá-las com apenas um *pixel* de largura [CGEW93], [JAIN89]. Esta característica diminui a necessidade de outros cálculos e interpolações quando da conversão de coordenadas.

De um modo geral, o processamento das componentes cíclicas, nas quais se incluem as isolinhas, contidas inteiramente na imagem acontece de forma direta. Já aquelas interceptadas pelos limites da imagem necessitam de alguns cuidados. O resultado do afinamento deve ir até o limite da região mostrada para que a componente não fique afastada da borda.

O procedimento adotado para o afinamento é usado tanto para componentes cíclicas como acíclicas. A única diferença é que os aspectos acíclicos, interceptados pelos limites da imagem, devem sofrer um processamento prévio em que um *pixel*, junto a borda da imagem, deve ser escolhido para manter a componente contígua à fronteira. Esta escolha pode ser feita ou automaticamente ou por um operador qualificado.

No caso do afinamento, o sistema define os pontos das linhas e colunas limites da imagem que fazem parte das componentes acíclicas e que mais se aproximem dos eixos medianos, conforme mostrado na Figura 3. 20(b).

O algoritmo empregado nesta etapa utiliza a vizinhança oito-conectada representada na Figura 3. 19. Dois passos básicos são executados iterativamente até a idempotência [CGEW93].

P9	P2	P3
P8	P1	P4
P7	P6	P5

Figura 3. 19 - Vizinhança oito-conectada.

Para efeito de descrição, consideraremos que os pontos das linhas possuem valor 1 e os do fundo, valor 0. Um ponto de borda possui valor 1 e tem, pelo menos, um vizinho oito-conectado com valor 0.

O primeiro passo compõe-se de três condições. Caso o ponto de borda satisfaça todas elas deve ser etiquetado para eliminação após o fim da execução do primeiro passo.

Passo 1:

- 1.a - O número de *pixels* da vizinhança com valor 1 deve estar no intervalo [2,6].
- 1.b - O número de transições $0 \rightarrow 1$ no percurso {P2,P3,P4,P5,P6,P7,P8,P9,P2} deve ser igual a 1.
- 1.c - { (P4 = 0 **or** P6 = 0) **or** (P2 = 0 **and** P8 = 0) }

Uma vez que todos os pontos de borda tiverem sido testados, aqueles etiquetados para eliminação devem ter seus valores alterados de 1 para 0 e a imagem resultante deve sofrer o segundo passo. A exemplo do primeiro passo, caso as três condições sejam satisfeitas, o ponto da borda da nova imagem deve ser marcado para mudança.

Passo 2:

- 2.a - O número de *pixels* da vizinhança com valor 1 deve estar no intervalo [2,6].
- 2.b - O número de transições $0 \rightarrow 1$ no percurso $\{P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8, P9, P2\}$ deve ser igual a 1.
- 2.c - $\{ (P2 = 0 \text{ or } P8 = 0) \text{ or } (P4 = 0 \text{ and } P6 = 0) \}$

Terminados os testes com todos os pontos de borda, aqueles etiquetados para eliminação devem ter seus valores trocados de 1 para 0. A imagem resultante deve ser novamente submetida ao primeiro passo e estes devem ser aplicados alternadamente até que não haja mais mudanças na imagem.

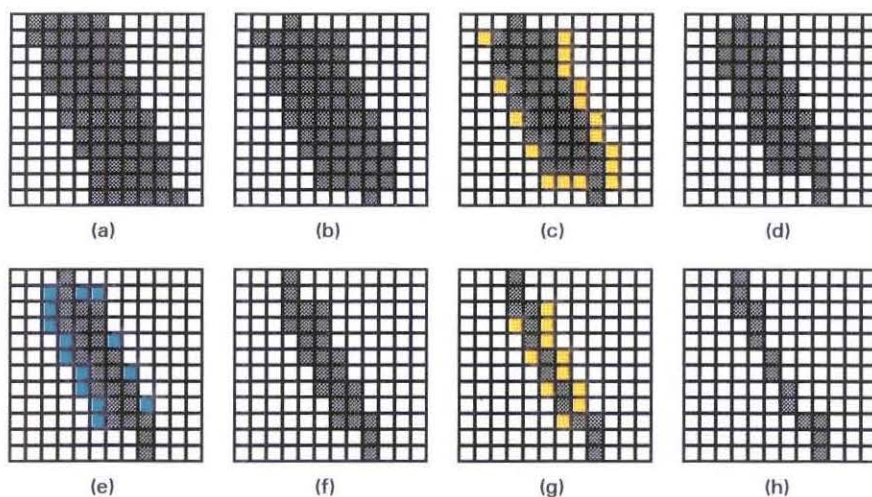


Figura 3. 20 - Afinamento de componentes acíclicas.

A Figura 3. 20 mostra a aplicação do algoritmo a uma componente que intercepta a borda da imagem. Após a imagem inicial (a) temos a escolha dos pontos contíguos à borda (b). Em (c) são indicados, em amarelo, os pontos que satisfazem as condições do primeiro passo e em (d) a imagem resultante quando da eliminação destes pontos. Os pontos azuis em (e) indicam a aplicação do segundo passo, e a imagem resultante da sua eliminação é mostrada em (f). Uma nova aplicação do primeiro passo do algoritmo é indicada em (g) e a imagem final (h) é obtida após a estabilização.

Podemos notar que na Figura 3. 20(h) há dois *pixels* que ainda podem ser eliminados. Uma comparação das máscaras da Figura 3. 21 (a,b,c,d) pode ser feita com o objetivo de eliminar o *pixel* P1 [JAIN89]. Neste caso, se os valores representados em cinza forem iguais a 1 o ponto central P1 pode ser eliminado (Figura 3. 21(e)).

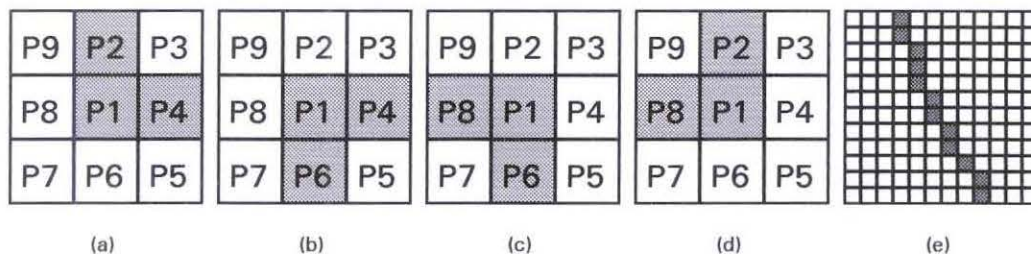


Figura 3. 21 - Máscaras de eliminação de conexões redundantes.

Este procedimento também é válido para os limites de áreas que estejam representados por linhas na carta náutica. Há casos, porém, em que a fronteira entre elas é apenas observada na mudança de cor ou nível de cinza. Para tais casos, como veremos, o enfoque adotado é diferente.

3.3.5 - Reconhecimento de contornos de áreas

Neste tópico buscamos algoritmos que efetuem o reconhecimento de limites entre áreas cujas únicas diferenças são seus respectivos níveis de cinza ou cores. Não há a presença de qualquer linha limítrofe entre as regiões delimitando as suas bordas.

Um contorno pode ser encarado como a fronteira entre duas regiões que apresentem cores diferentes ou descontinuidades abruptas que caracterizam uma borda.

A idéia básica de todas as técnicas de detecção de contorno é o cálculo da derivada local [JAIN89]. Quando a imagem passa de um tom de cinza escuro para um claro a derivada é positiva. Em áreas de cor uniforme a derivada é constante e negativa quando passamos de tons claros a escuros.

A Figura 3. 22 mostra imagens com variações de níveis de cinza, seus respectivos perfis, primeiras e segundas derivadas dos perfis.

Podemos dizer que medindo a amplitude da primeira derivada seremos capazes de detectar bordas [CGEW93], [JAIN89].

O inconveniente do uso da primeira derivada é que ela gera uma resposta dupla, dando origem a uma borda de dois *pixels* de largura. Uma forma de localizar mais precisamente a mudança de brilho é através da segunda derivada, onde um ponto de borda é indicado pela mudança do sinal da segunda derivada [CGEW93], [JAIN89].

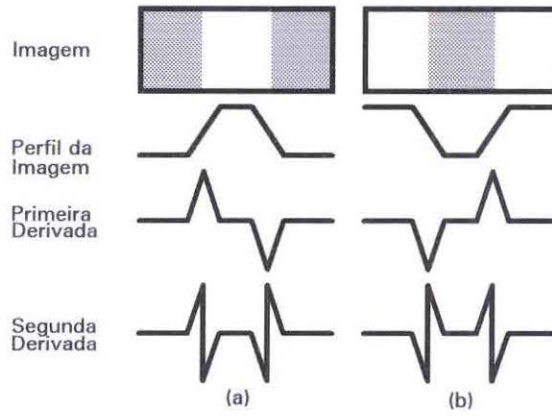


Figura 3. 22 - Detecção de contornos com o uso de derivadas.

Um outro conceito usado para caracterização de bordas é o vetor gradiente [CGEW93], [JAIN89]. Este aponta na direção na qual ocorrem as mudanças de níveis de cinza. Desta forma, a borda é perpendicular ao gradiente e a magnitude do vetor indica a velocidade com que ocorre a mudança de brilho.

Matematicamente, temos que o Gradiente ∇f de uma imagem f com *pixels* de coordenadas (x, y) pode ser representado por:

$$\nabla f = \begin{bmatrix} Gx \\ Gy \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f}{\partial x} \\ \frac{\partial f}{\partial y} \end{bmatrix}$$

O módulo do vetor $\nabla f = \text{mag}(\nabla f) = [Gx^2 + Gy^2]^{1/2}$ é comumente aproximado por:

$$\nabla f \approx |Gx| + |Gy|$$

Gx e Gy representando o gradiente na direção x e y , respectivamente. A fase do vetor $\alpha(x, y)$ é dada por:

$$\alpha(x, y) = \tan^{-1} \left(\frac{Gy}{Gx} \right)$$

Vários métodos usam o princípio linear do cálculo da derivada e do gradiente para determinar pontos de borda. Alguns deles são: Deslocamento e Diferença, operadores direcionais de Prewitt, operadores de Laplace e Sobel, etc. As seções seguintes apresentam alguns destes operadores e sua aplicação no módulo de Importação do sistema.

3.3.5.1 - Deslocamento e diferença

Este método, bastante simples, é particularmente útil quando os pontos de borda posicionam-se formando linhas horizontais ou verticais [BAXE94], [CGEW93], [JAIN89]. Neste caso, devemos deslocar a imagem em questão de um *pixel* e subtraí-la da imagem original. Os eventuais coeficientes negativos devem ser considerados em valor absoluto. A imagem resultante desta operação apresenta as regiões de brilho constante com valores nulos e pontos de bordas verticais ou horizontais com seus valores representando a diferença de nível de cinza entre eles e seus vizinhos. Caso o deslocamento seja na vertical ou horizontal as linhas horizontais ou verticais serão determinadas, respectivamente.

Esta operação pode ser feita com duas imagens ou em processamento local, aplicando-se as máscaras de convolução mostradas na Figura 3. 23.

0	0	0	0	-1	0
-1	1	0	0	1	0
0	0	0	0	0	0
(a)			(b)		

Figura 3. 23 - Máscaras de Deslocamento e Diferença - Vertical (a) e Horizontal (b)

3.3.5.2 - Operadores direcionais de Prewitt

O operador de Prewitt consiste na aplicação de oito máscaras direcionais sobre a imagem [CGEW93]. Cada uma delas resulta em uma imagem com os pontos de bordas destacados nas direções correspondentes a cada máscara.

Como podemos observar, (Figura 3. 24) a soma dos coeficientes é igual a zero, gerando uma imagem com valores de baixa intensidade, nas regiões homogêneas, e valores elevados nos pontos de contorno da imagem original.

1	1	1	1	1	1	-1	1	1	-1	-1	1
1	-2	1	-1	-2	1	-1	-2	1	-1	-2	1
-1	-1	-1	-1	-1	1	-1	1	1	1	1	1
N			NE			E			SE		
-1	-1	-1	1	-1	-1	1	1	-1	1	1	1
1	-2	1	1	-2	-1	1	-2	-1	1	-2	-1
1	1	1	1	1	1	1	1	-1	1	-1	-1
S			SW			W			NW		

Figura 3. 24 - Máscaras de convolução do Gradiente de Prewitt.

A aplicação dessas oito máscaras e a posterior superposição das imagens resultantes oferece o realce das bordas em todas as direções.

3.3.5.3 - Operador de Laplace

O Laplaciano de uma função 2D é uma derivada de segunda ordem [CGEW93], [JAIN89] expressa por:

$$\nabla^2 f = \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial y^2}$$

Uma das melhores características do Operador de Laplace é o fato de ser omnidirecional. A aplicação das máscaras de convolução mostradas na Figura 3. 25 resulta em contornos bem definidos, em todas as direções, com uma única varredura da imagem.

-1	-1	-1	0	-1	0
-1	8	-1	-1	4	-1
-1	-1	-1	0	-1	0
(a)			(b)		

Figura 3. 25 - Máscaras Laplacianas - Vizinhança oito-conectada (a) e vizinhança quatro-conectada (b).

A implementação mais comum é a da vizinhança quatro-conectada, que pode ser expressa na equação $\nabla^2 f = 4P1 - (P2 + P4 + P6 + P8)$. As posições dos *pixels* P1 a P8 estão mostradas na Figura 3. 19.

O Laplaciano, por ser uma derivada de segunda ordem, gera respostas acentuadas nos ruídos [CGEW93]. Para algumas aplicações, tal comportamento é inadequado exigindo um pré-processamento, filtragem, da imagem original.

3.3.5.4 - Operador de Sobel

O operador de Sobel é dado pelo cálculo de G_x e de G_y [CGEW93] representados pelas seguintes equações e máscaras de convolução:

$$G_x = (P7 + 2P6 + P5) - (P9 + 2P2 + P3)$$

$$G_y = (P3 + 2P4 + P5) - (P9 + 2P8 + P3)$$

-1	-2	-1	-1	0	1
0	0	0	-2	0	2
1	2	1	-1	0	1
(a)			(b)		

Figura 3. 26 - Máscaras de Sobel para cálculo de G_x (a) e G_y (b).

O Operador de Sobel possui uma resposta a ruídos menos acentuada do que o Operador de Laplace [CGEW93].

3.3.5.5 - Detecção de contornos no módulo de Importação

As características particulares do problema de importação de aspectos auxiliam na obtenção das bordas das componentes da imagem. O objetivo final é obter a **borda interna** de uma área com apenas um *pixel* de largura. Portanto o problema pode ser enunciado como a identificação dos pontos com níveis de cinza correspondentes a área desejada que possuem pelo menos um vizinho com nível de cinza diferente. Assim, a solução se torna simples e pode ser implementada com o uso do algoritmo a seguir, onde CA e CB são os níveis de cinza correspondentes à área desejada e à borda, respectivamente.

Início

Para cada Pixel (P1) Faça

Se ((I(P1) = CA) and (I(P2)≠ CA or I(P4) ≠ CA or I(P6) ≠ CA or I(P8) ≠ CA))

Então Pixel(P1) = CB;

Fim

Este algoritmo gera uma borda oito-conectada com um *pixel* de largura no nível de cinza CB. No caso de uma borda quatro-conectada o algoritmo deve testar os oito pontos da vizinhança, isto é:

Início

Para cada *Pixel* (P1) **Faça**

Se ((I(P1) = CA) **and** (I(P2) ≠ CA **or** I(P3) ≠ CA **or** I(P4) ≠ CA **or** I(P5) ≠ CA **or** I(P6) ≠ CA **or** I(P7) ≠ CA **or** I(P8) ≠ CA **or** I(P9) ≠ CA))

Então *Pixel*(x,y) = CB ;

Fim

As posições de P1 a P9 estão indicadas na Figura 3. 19.

Outros enfoques para a resolução deste problema podem ser vistos em [CANY86], [LEIT94], [NEBA80].

3.3.6 - Segmentação de caracteres alfanuméricos

Um grande número de informações presentes em uma carta náutica está no formato textual. Nomes de cidades, toponímia, valores de isolinhas e áreas são alguns exemplos. Embora de importância para o navegador, tais informações não são de fácil processamento na Importação [SFJH92], [ZBMS92]. Por isto, neste protótipo, a abordagem escolhida foi a eliminação manual dos caracteres representados na carta. Entretanto, um enfoque que pode apresentar resultados satisfatórios, dependendo da quantidade e variedade das fontes presentes na imagem, é apresentada a seguir [FLKA88].

O algoritmo descrito visa a identificação de componentes da imagem como caracteres alfanuméricos sem que, para isto, tenham de ser reconhecidos individualmente. Isto é, dado um aspecto da imagem queremos identificá-lo como sendo ou não um caracter e após essa identificação, os componentes que são tidos como caracteres devem ser eliminados para que não dêem origem a informações errôneas. O algoritmo descrito identifica componentes que formam palavras, números e frases que se desenvolvem segundo uma reta, não importando a sua inclinação. Isto se dá devido ao uso da Transformada de Hough na identificação de elementos colineares [DUHA72], [WPLJ92], [YAYH93].

O procedimento começa com um conjunto de componentes conexos. A seção 3.3.8 descreve uma maneira de se definir estes componentes representados por um conjunto de *pixels* com uma mesma característica de cor ou nível de cinza e conectados entre si segundo uma configuração de vizinhança qualquer (Figura 3. 27).

A partir desse conjunto de componentes, aplicamos uma série de filtros que diminui sensivelmente o número de candidatos a caractere [FLKA88]. O primeiro deles é a cor, seguido do comprimento total do conjunto de *pixels*.

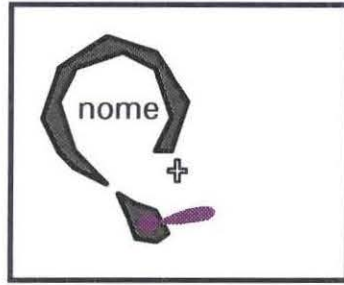


Figura 3. 27 - Exemplo de componentes conexos.

Componentes cujas cores não correspondem a informações textuais ou sejam maiores ou menores que uma faixa correspondente ao tamanho da fonte empregada, serão desqualificados nesta fase. A Figura 3. 28 (a) mostra o resultado deste processo sobre a Figura 3. 27.

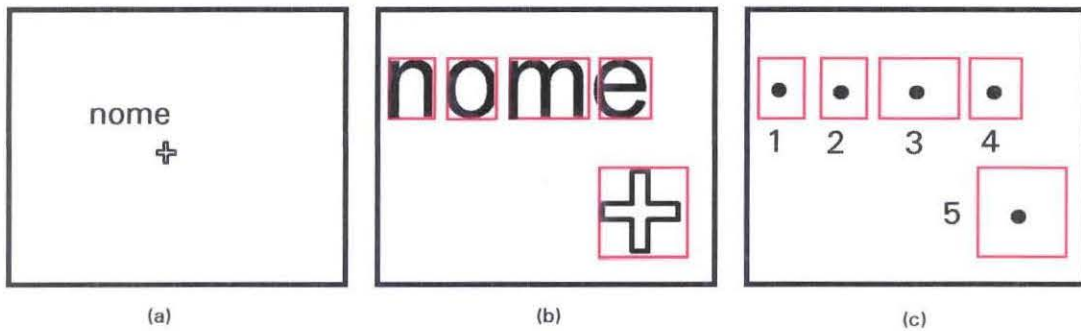


Figura 3. 28 - Filtragem e verificação de colinearidade de componentes conectados.

Após isso é determinado um envoltório retangular para cada componente conexo restante e calculado o centróide de cada um deles conforme mostrado na Figura 3. 28 (b) e (c) [FLKA88].

A razão área / perímetro, com base no envoltório e no comprimento, limita ainda mais o conjunto a ser processado. Esta razão varia conforme o tamanho e o tipo de fonte empregados na carta [FLKA88]. A partir deste estágio podemos usar a Transformada de Hough para identificar os centróides que se encontram sobre uma mesma reta.

No exemplo da Figura 3. 28 (c) são definidos cinco desses pontos. Estes são combinados dois a dois no cálculo dos coeficientes das equações das retas que passam por eles. Para cada par de coeficientes é aberto um contador que é incrementado de acordo com os valores obtidos. A Figura 3. 29 mostra as retas, os coeficientes calculados e os valores dos seus respectivos contadores.

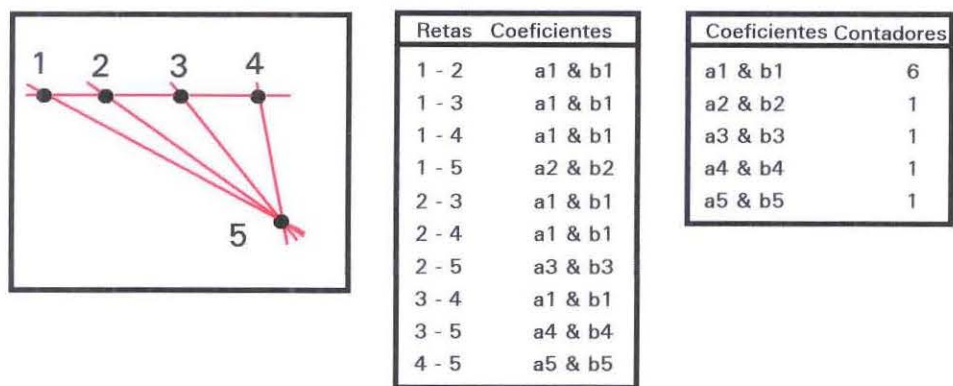


Figura 3. 29 - Exemplo de coeficientes de retas e contadores a partir da Transformada de Hough.

Na figura anterior, os coeficientes $a1$ e $b1$ são incrementados com maior frequência e, conseqüentemente, os pontos que deram origem a estes coeficientes são colineares. O próximo passo consiste em determinar se esses pontos são próximos o suficiente para formar palavras ou frases. Desta forma, os espaçamentos entre letras de uma palavra e palavras de uma frase devem ser previamente conhecidos para que possam ser verificados [FLKA88].

Na prática deve haver alguma tolerância na contabilização dos coeficientes. A ocorrência de variações entre letras maiúsculas e minúsculas, negritos e itálicos podem gerar centróides mais ou menos desalinhados. Um outro aspecto importante é a representação da reta. Ao invés da conhecida equação $y = ax + b$, que nos traz inconvenientes no tratamento de retas verticais, usamos $x \cos \theta + y \sin \theta = \rho$. Onde ρ é a distância perpendicular da reta à origem e θ é o ângulo que a reta suporte da distância faz com o eixo horizontal. A Figura 3. 30 nos mostra cada um dos parâmetros [DUHA72], [FLKA88].

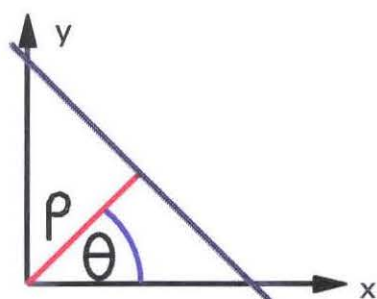


Figura 3. 30 - Espaço paramétrico usado na Transformada de Hough.

Os componentes conexos correspondentes aos centróides colineares, uma vez aprovados nesta última condição, devem ser eliminados da imagem. Esta tarefa pode ser realizada a partir de uma dilatação geodésica do fundo no interior dos envoltórios [SERR86], [SERR89]. Isto faz com que a unidade da imagem seja preservada e não sejam perdidas informações em áreas ocupadas por letras e números

3.3.7 - Reconhecimento de pontos e símbolos

O número de elementos pontuais de uma carta náutica que são representados por símbolos específicos é realmente considerável. Por isso, é necessária a adoção de um processo para reconhecimento dos vários tipos presentes. Entretanto, a complexidade deste problema fez com que, no protótipo, fosse deixado para o operador a tarefa de identificar cada ponto de interesse. Não obstante, para casos bem simples, é apresentado a seguir um algoritmo de identificação de símbolos com base no reconhecimento de assinaturas [AMKA87].

Inicialmente, os símbolos são tratados como uma área comum e seus contornos devem ser determinados com um único *pixel* de largura, conforme descrito em 3.3.5. O passo seguinte é transformar estes contornos em um componente conexo de acordo com a seção 3.3.8. Os *pixels* deste componente devem ser ordenados a partir do elemento mais alto e mais à esquerda, circularmente, no sentido horário. Aqueles que não apresentarem um contorno fechado e tiverem comprimentos maiores do que os especificados devem ser descartados.

Os círculos digitalizados, por exemplo, possuem a razão área/perímetro² sempre maior que 0.07, o que facilita a sua identificação. Os restantes devem ser examinados sob o aspecto descrito a seguir para que sejam identificados.

Seguindo a ordem circular dos *pixels* nos componentes conectados, determinamos a inclinação em cada um deles. Isto é feito tomando grupos de cinco *pixels* nos quais o *pixel* central é a base para o cálculo. A melhor reta que passa pelos cinco pontos deve ser determinada e a sua respectiva inclinação calculada.

O gráfico mostrado na Figura 3. 31 exibe as mudanças bruscas e os respectivos valores das inclinações calculadas. É necessário que releve as pequenas variações que certamente ocorrem devido ao processo de amostragem. Com base nestes valores, podemos distinguir formas tais como quadrados, cruzeiros e triângulos.

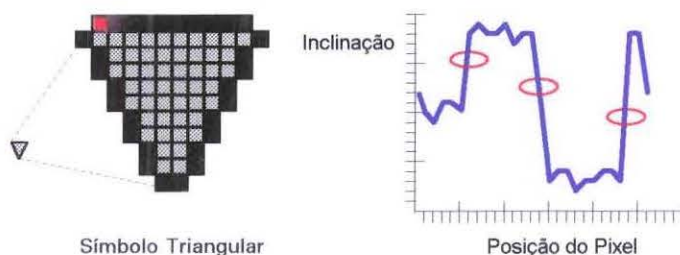


Figura 3. 31 - Símbolo triangular e respectivas inclinações do perímetro.

3.3.8 - Obtenção de Componentes Conexos

Como já vimos, a obtenção de componentes conexos é uma operação requerida por vários procedimentos da Importação. A sua aplicação ocorre, normalmente, após uma transformação radiométrica, afinamentos e deteções de contorno. Desta forma, as linhas, limites de áreas e símbolos estarão com um único *pixel* de largura e em cores bem definidas.

A finalidade desta operação é produzir uma estrutura de dados que represente os vários elementos de carácter linear com propriedades que auxiliem na sua classificação [MSRN88].

A estrutura de dados deve ser capaz de armazenar um número indeterminado de aspectos lineares que, por sua vez, poderão apresentar um número variável de pontos componentes. Os custos computacionais não podem ser elevados, tanto em uso de memória quanto na realização de operações tais como união entre aspectos.

A alocação dinâmica de memória, conforme a necessidade, é uma característica de uso de estruturas do tipo fila e lista [VSAF85]. No nosso caso, uma lista de listas duplamente encadeadas é suficiente. O armazenamento dos pontos de origem (*Head*) das listas secundárias é responsabilidade da lista primária, sendo que cada uma delas pode aumentar ou diminuir, dinamicamente, durante a execução do procedimento.

O princípio escolhido para a realização desta tarefa é a Varredura Planar [MAMB89], [PRSH88].

A varredura planar é um processo usado em algumas rotinas de processamento geométrico. Consiste em passar uma reta pela imagem, no nosso caso horizontal, parar em pontos denominados de pontos de evento, e nestes pontos realizar as operações requeridas à resolução do problema, ou seja, construir a estrutura desejada [SKTH87].

Ao final da varredura planar teremos uma lista de listas representando os vários elementos da imagem. Cada componente conexa, representada por uma lista secundária, será processada visando a sua identificação como um tipo de dado geográfico e posterior conversão de coordenadas.

Este algoritmo pode ser descrito considerando que os aspectos lineares apresentam valor 1 e o fundo da imagem valor 0. A varredura começa na primeira linha da imagem no canto superior esquerdo, movendo-se na horizontal, para a direita, até que a linha termine, quando então o processo recomeça na linha seguinte. Todo *pixel* que apresente valor 1 é um ponto de evento e, portanto, deve ser considerado para processamento. Como veremos nas seções seguintes, ele pode dar origem a uma ou duas listas secundárias, unir duas delas ou ainda ser adicionado ao final de uma já existente. A Figura 3. 32 ilustra estas possibilidades de forma genérica e a seção 3.3.8.4 apresenta um exemplo que envolve todas as fases descritas a seguir.



Figura 3. 32 - Exemplo de varredura.

3.3.8.1 - Originando listas secundárias

Um ponto de evento P1 numa vizinhança oito-conectada (Figura 3. 19), dá origem a listas secundárias sempre que os valores dos seus vizinhos P8, P9, P2 e P3 apresentarem valor 0. Como ilustrado na Figura 3. 33, esta origem pode ser simples ou dupla, dependendo do número de *pixels* com valor 1 nos vizinhos P4, P5, P6, P7, um ou dois, respectivamente.

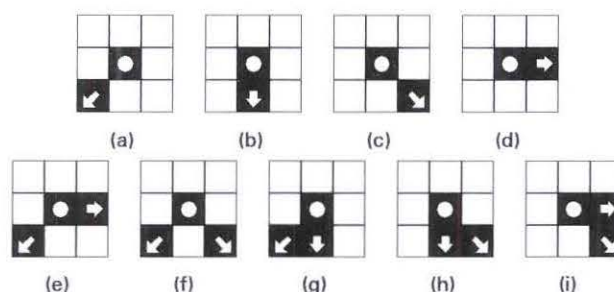


Figura 3. 33 - Origens Singelas (a,b,c,d) e Duplas (e,f,g,h,i)

A diferença básica entre os dois tipos de origem é que a simples possui apenas um filho na estrutura e a dupla, dois. Tal diferença será importante quando forem efetuadas uniões de listas secundárias e em outras ocasiões abordadas posteriormente.

Após a identificação dos respectivos tipos, os pontos de origem são alocados nas listas secundárias e um ponteiro para estes deve ser adicionado na lista principal. Além disso, uma outra estrutura auxiliar guarda a posição de cada ponto de crescimento (*Tail*) de cada uma das listas secundárias, bem como se o ponto corresponde momentaneamente a uma origem simples ou dupla.

3.3.8.2 - Adicionando pontos ao final de listas secundárias

A situação mais simples ocorre quando apenas um dos vizinhos P8, P9, P2 e P3 apresenta valor 1 e corresponde a um ponto de crescimento simples da lista secundária. Os casos possíveis são apresentados na Figura 3. 34. Nestas ocasiões o ponto P1 deve ser alocado na lista secundária correspondente ao *Tail*.

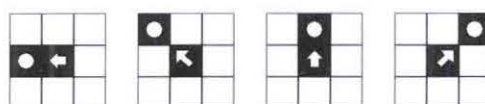


Figura 3. 34 - Adicionando pontos.

A estrutura que mantém os *Tails* deve ser atualizada para que reflita as alterações ocorridas. Neste caso o *Tail* corresponde a uma origem ou continuação simples, portanto, deve ser apagado da estrutura auxiliar e o novo ponto, correspondente a uma nova continuação simples, deve ser adicionado. Ao final deste processo, a lista secundária terá sido acrescida de um nó e a estrutura auxiliar terá um de seus elementos apagado e outro adicionado.

Circunstâncias mais específicas ocorrem quando o *Tail* corresponde a uma origem dupla sem possibilidades de outras ligações, como mostra a Figura 3. 33 (e) e (f). O procedimento aqui é quase idêntico ao anterior. O novo ponto P1 também é adicionado à lista secundária e à estrutura auxiliar com o status de continuação simples. Entretanto, o *Tail* duplo não é apagado, apenas tem o seu status mudado para simples na estrutura auxiliar. A partir deste instante a lista secundária passa a ter dois pontos simples de crescimento.

Quando há mais de uma possibilidade de conexão, significa que a situação pode ser ou uma união de listas secundárias ou o surgimento de um vértice agudo de uma feição geográfica qualquer. A união de listas será vista posteriormente.

A Figura 3. 35 mostra dois vértices agudos e ilustra o dilema de conexão de primeira ordem. Este acontece quando os pontos marcados em amarelo são testados, pois tanto a origem quanto os pontos vermelhos são candidatos a uma ligação. No nosso caso, se ambas as condições a seguir forem satisfeitas devemos efetuar a conexão com a origem.

- 1 - P2 corresponde a uma origem **or** P9 corresponde a uma origem
- 2 - P8 é ligado diretamente a esta origem **and** P8 é ponto de crescimento.

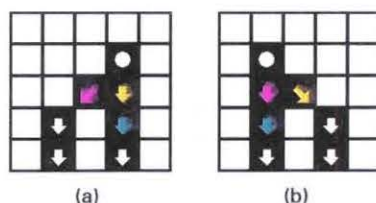


Figura 3. 35 - Exemplos de vértices agudos em aspectos geográficos.

É importante ressaltar que na condição 1 tanto P2 como P9 devem corresponder a uma origem de lista secundária e não, apenas, a um ponto de crescimento.

O dilema de segunda ordem acontece quando os pontos azuis, indicados na Figura 3. 35, são testados. A diferença em relação ao de primeira ordem é o fato de a origem não ser candidata à conexão. Neste caso, se as condições abaixo forem satisfeitas, o ponto testado deve ser ligado ao ponto de crescimento correspondente à sua vertical, isto é, de mesma coordenada x.

- 1 - P2 é ponto de crescimento **and** diretamente ligado à origem.
- 2 - (P9 é ponto de crescimento **and** diretamente ligado à origem) **or** (P3 é ponto de crescimento **and** diretamente ligado à origem).

As demais configurações caracterizando vértices agudos podem ser eficientemente tratadas adicionando pontos ao final de uma lista, Figura 3. 36 (a,b,c), ou unindo duas listas secundárias, Figura 3. 36 (d,e,f).

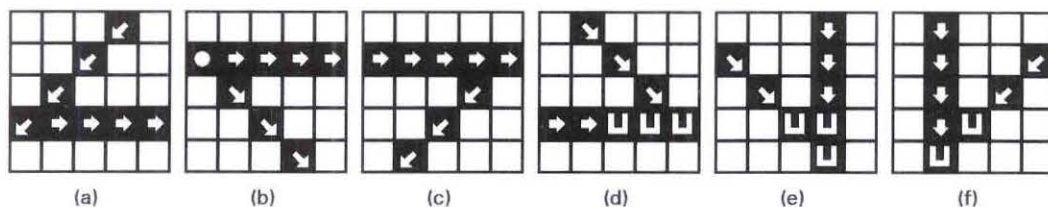


Figura 3. 36 - Outros casos de vértices agudos.

3.3.8.3 - Unindo listas secundárias

As peculiaridades inerentes aos aspectos geográficos geram componentes conexas irregulares que, muitas vezes, impedem a sua obtenção de forma contínua. De um modo geral os componentes resultam em várias listas secundárias que precisam ser ligadas entre si, em diversos momentos do processamento.

A união de listas secundárias pode ocorrer entre listas com origens diferentes, Figura 3. 37(a), ou entre os dois ramos de uma lista com origem dupla, Figura 3. 37(b). O tratamento dos dois casos é ligeiramente diferente.

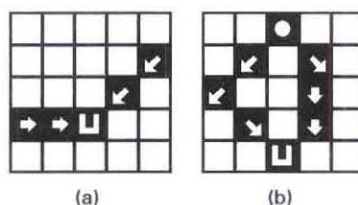


Figura 3. 37 - Exemplos de uniões de listas secundárias.

O primeiro sinal de que podemos estar em uma situação de união é a presença de um dilema de conexão. Os casos descritos em 3.3.8.2 devem ser tratados com prioridade e apenas os que não se enquadrarem nas condições já descritas devem ser tomados como pontos de união. Podemos dizer que, nesta etapa, buscamos apenas os dilemas de terceira ordem, onde os pontos candidatos não correspondem a uma origem nem possuem ligação direta com uma delas. Esta simplificação é possível, uma vez que garantimos que a imagem da carta náutica foi digitalizada utilizando uma resolução espacial compatível. Isto é, que a frequência utilizada é, no mínimo, igual à Frequência de Nyquist.

O que caracteriza um ponto como ponto de união é a presença de dois pontos de crescimento entre os vizinhos P8, P9, P2 e P3 sem que haja qualquer *pixel* com valor 1,

dentre os vizinhos P4, P5, P6 e P7. Se isso ocorrer as listas devem ser unidas e efetuadas algumas ações de manutenção.

Uma das listas é totalmente percorrida a partir do seu ponto de crescimento em direção à origem. A cada ponto visitado, este é apagado da lista percorrida e anexado ao final da outra.

No caso da origem atingida ser dupla e comum às duas listas, um ponto com as mesmas coordenadas desta deve ser anexado ao final da nova lista e o status da origem mudado para simples. Esta lista deve ser dada como encerrada e o seu ponto de crescimento retirado da estrutura auxiliar.

Se a origem alcançada for simples, passará a ser o ponto de crescimento da nova lista se estiver localizada na linha horizontal sendo varrida. Caso contrário, o ponto de crescimento da lista apagada também é retirado da estrutura auxiliar. Se a origem visitada for dupla e diferente da outra, o trajeto deve continuar até que o ponto de crescimento do outro braço da lista seja alcançado. Este, se ainda estiver ativo, passará a ser um ponto de crescimento da nova lista.

Caso ocorra a presença de vizinhos com valor 1 entre P4, P5, P6 e P7, a união deve ser adiada. Para isto, P1 deve ser anexado ao final da lista cujo ponto de crescimento esteja em oposição ao vizinho não varrido de valor 1. Os pontos opostos estão mostrados na Figura 3. 38. Nela podemos ver que há um oposto preferencial e dois reservas. Caso não exista oposto preferencial, um dos reservas deve ser escolhido. A continuação da varredura gera um outro dilema que deve ser tratado desta mesma forma até que não haja vizinhos não varridos com valor 1, e as listas possam ser unidas, conforme descrito acima.

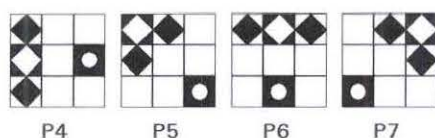


Figura 3. 38 - Pontos não varridos e seus opostos.

3.3.8.4 - Um exemplo de geração de componentes conexos

A Figura 3. 39, que será utilizada nesta descrição, mostra uma imagem contendo um componente acíclico e outro cíclico.

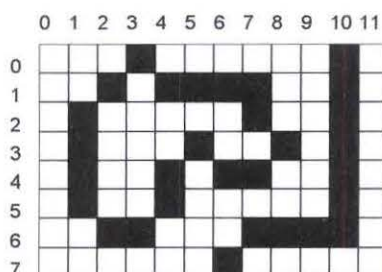


Figura 3. 39 - Imagem utilizada no exemplo.

As figuras à esquerda, a seguir, reproduzem a linha que está sendo varrida, enquanto que os símbolos à direita mostram a lista principal e as várias listas secundárias da forma como aparecem ao final da varredura da linha. A lista principal é representada por uma linha horizontal que tem as listas secundárias como conjuntos verticais de elipses. O número de terminadores nas elipses indicam se são pontos de crescimento simples ou duplos.

A varredura da primeira linha (Figura 3. 40) tem como resultado o surgimento de duas origens. A correspondente ao *pixel* (0,10) é uma origem simples, enquanto que o *pixel* (0,3) possui seus vizinhos P5 e P7 com valor 1, o que caracteriza uma origem dupla.

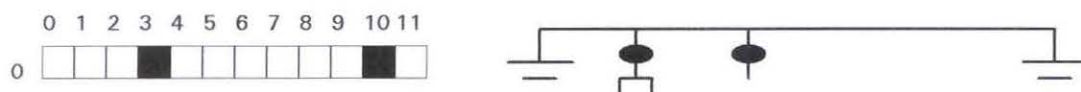


Figura 3. 40 - Varredura da primeira linha.

Na varredura da segunda linha, o ponto (1,2) tem o braço esquerdo da primeira origem como vizinho P3 e, portanto, é anexado. Continuando, vemos que os pontos (1,4) a (1,7) vão, também, sendo anexados ao braço direito da primeira origem, enquanto que o ponto (1,10) é alocado na segunda origem.

Na Figura 3. 41 esses pontos estão representados como elipses pretas e as origens, que já existiam na estrutura, aparecem como elipses de cor cinza.

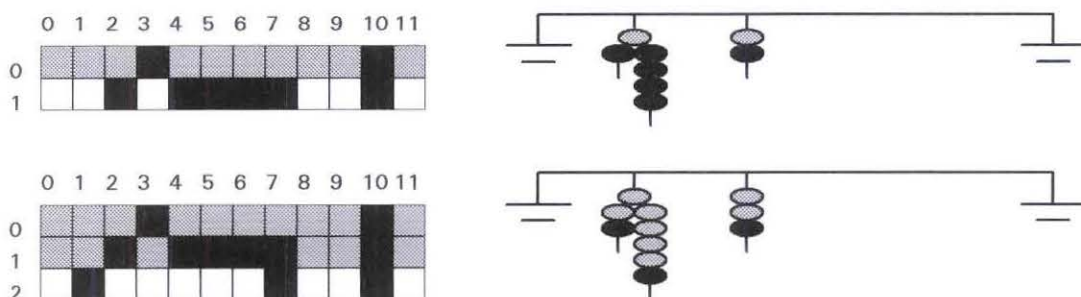


Figura 3. 41 - Varredura da segunda e terceira linhas.

De maneira semelhante, os pontos (2,1), (2,7) e (2,10) são tidos como continuação dos pontos de crescimento de suas listas, e são anexados como mostrado na figura anterior.

Na quarta varredura (Figura 3. 42) vemos que os pontos de crescimento existentes recebem novos nós. Entre os dois pontos de crescimento da origem dupla surge uma nova origem. Esta também é dupla e, conseqüentemente, é alocada no final da lista primária.

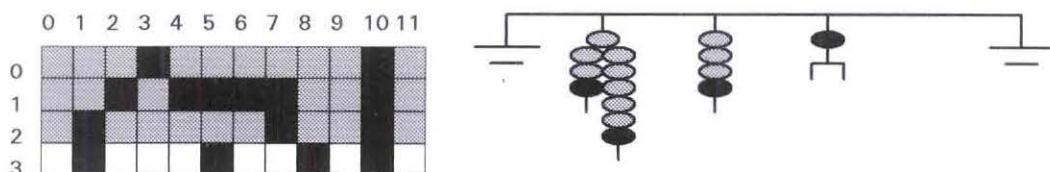


Figura 3. 42 - Varredura da quarta linha.

A Figura 3. 43 mostra a união de duas listas secundárias. O ponto (4,7) apresenta os seus vizinhos P8 e P3 como pontos de crescimento e como P4, P5, P6 e P7 não possuem valor 1, fica caracterizada a junção das listas. Neste caso, a lista a ser eliminada aparece na figura abaixo com seus contornos pontilhados e com suas novas elipses em cinza escuro. Vale a pena notar a ordem com que os pontos são alocados ao final do braço direito da origem dupla restante.

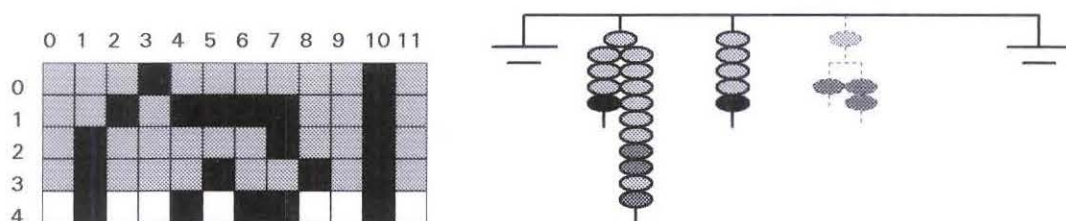


Figura 3. 43 - Varredura da quinta linha.

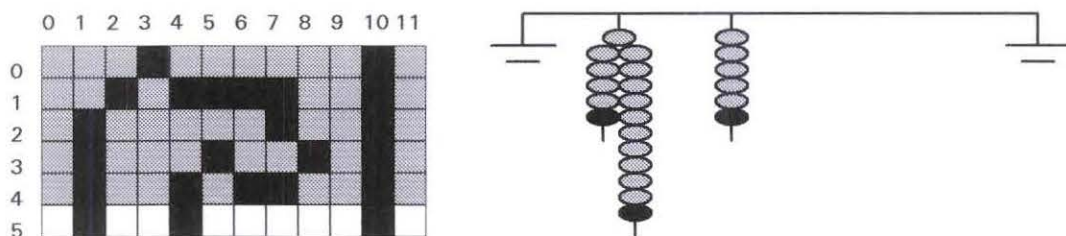


Figura 3. 44 - Sexta varredura apresentando apenas novos pontos anexados.

Na sétima varredura (Figura 3. 45) ocorrem dois casos bastante específicos. O ponto (6,3) possui seus dois vizinhos P3 e P8 como pontos de crescimento da mesma lista. Sendo assim, o procedimento de união dos dois braços de uma mesma origem deve ser executado. Na figura abaixo, vemos apenas a união entre os dois pontos de crescimento, enquanto que na Figura 3. 46 temos a estrutura resultante após as devidas ações de manutenção.

O ponto (6,7) dá origem a uma lista secundária dupla de vida efêmera. Os pontos que o seguem vão sendo anexados ao braço direito da lista até que o ponto (6,10) indique

uma junção com a lista simples já existente. Portanto, a lista recém criada tem seus pontos anexados ao final da lista simples e é eliminada da estrutura auxiliar.

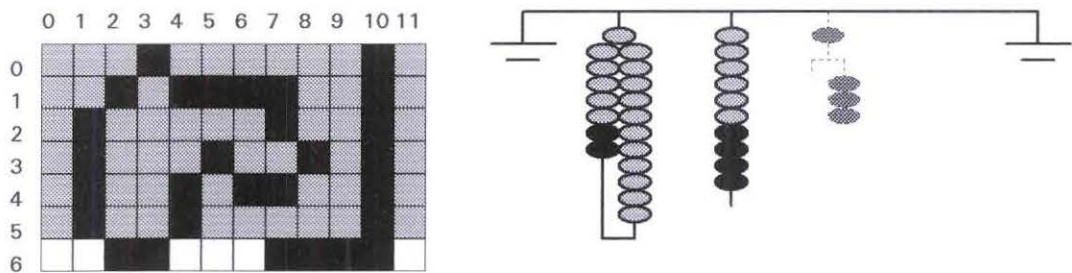


Figura 3. 45 - Varredura da sétima linha.

Na varredura da última linha obtemos a estrutura após o último ponto ser anexado. Podemos notar que a primeira lista possui um nó a mais do que na figura anterior, sem que novos pontos tenham sido anexados. Isto se dá em virtude da duplicação do primeiro nó a fim de indicar o ciclo, conforme requerido pelo modelo de dados.

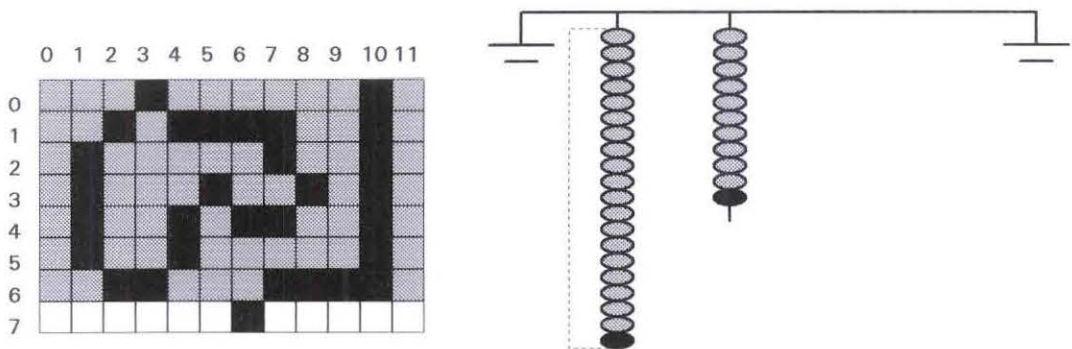


Figura 3. 46 - Varredura da última linha.

3.3.8.5 - Formatando a estrutura de acordo com o modelo

A última etapa deste processo corresponde ao tratamento dos componentes que ainda possuem uma origem dupla. O motivo principal é a modelagem de dados, já vista, a qual exige que os pontos sejam apresentados numa sequência de interligação.

O procedimento consiste em visitar todas as origens da lista principal e processar as que apresentam status duplo visando obter listas com origens singelas. Uma vez que uma origem dupla é alcançada, devemos percorrer um de seus braços invertendo os ponteiros da lista secundária duplamente encadeada. O último ponto deste braço passa a ser a nova origem simples da lista secundária.

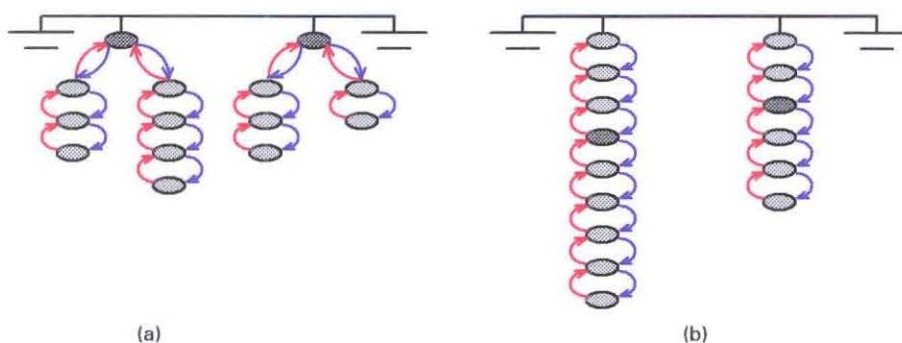


Figura 3. 47 - A estrutura inicial (a) e após a formatação (b).

Finalmente, a estrutura final estará coerente com o modelo de dados quando não houver mais origens duplas na lista principal.

3.3.9 - Conversão de coordenadas

Uma das últimas etapas do processamento é a conversão do sistema de coordenadas da imagem para o sistema de coordenadas geográficas em latitudes (φ) e longitudes (λ) (Figura 3. 48). Cada *pixel* terá o seu par (x,y) convertido de acordo com os limites geográficos correspondentes à área representada na imagem.

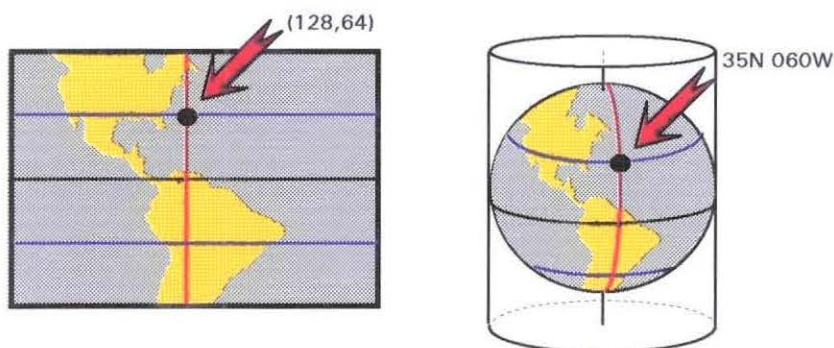


Figura 3. 48 - Correspondência entre sistemas de coordenadas.

Como já vimos, a projeção de Mercator é classificada como cilíndrica, equatorial e conforme [BAKK65]. A conformidade é obtida pelo fato das pequenas áreas não sofrerem deformações. Entretanto, quando atentamos para as regiões mais afastadas do equador vemos que estas se apresentam ocupando áreas na superfície projetada (plano) bem maiores do que na superfície de referência (elipsóide). A Figura 3. 49 mostra o globo

terrestre e uma projeção de Mercator nos quais podemos notar as deformações nas altas latitudes. O Alaska, Islândia, Escandinávia e Groenlândia são exemplos notáveis.

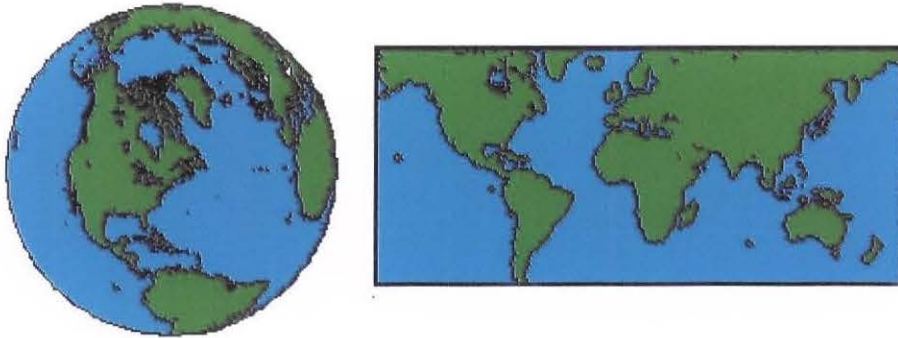


Figura 3. 49 - Vista parcial do globo terrestre e uma projeção de Mercator.

Uma das características importantes da projeção de Mercator é que meridianos, paralelos e loxodrômias são representados por linhas retas [BAKK75], onde os meridianos são sempre verticais e perpendiculares aos paralelos. Desta forma, as coordenadas x do plano da imagem são correspondentes aos meridianos e as coordenadas y , aos paralelos. A Figura 3. 48 nos mostra a associação entre pontos na superfície do elipsóide e no cilindro desenvolvido no plano.

Para obter as coordenadas (x,y) a partir das coordenadas geográficas, consideramos a lei da projeção de Mercator expressa por [DHN91], [BAKK65], [BAKK75]:

$$X = a.\lambda \quad \text{Eq 01}$$

$$Y = a. \ln \left\{ \operatorname{tg} \left[45^\circ + \frac{1}{2} \varphi \right] \times \left(\frac{1 - e \operatorname{sen} \varphi}{1 + e \operatorname{sen} \varphi} \right)^{\frac{e}{2}} \right\} = a.\psi \quad \text{Eq 02}$$

Onde:

- X e Y - coordenadas planas na superfície de representação.
- λ e φ - coordenadas geodésicas no elipsóide de referência.
- e - excentricidade do elipsóide = 0,08199189
- a - semi-eixo maior do elipsóide = 6.378.388m
- ψ - latitude crescida ou isométrica.

Vale resaltar que tanto X como Y são expressos na mesma unidade usada para representar o semi-eixo maior do elipsóide, com λ e ψ em radianos. Neste estudo a terá seu valor em metros.

Da expressão de X podemos obter λ diretamente, pois:

$$\lambda = \frac{X}{a},$$

Assim, se soubermos as longitudes limites da imagem, seremos capazes de obter aquela correspondente a um dado *pixel*, bastando relacionar, de forma linear, o intervalo de longitudes $[\lambda_i, \lambda_f]$ com as abscissas $[x_0, x_l, \dots, x_n]$ da imagem.

Para obtermos a latitude podemos iniciar o processo aplicando o mesmo raciocínio:

$$\psi = \frac{Y}{a}$$

Bastar-nos-ia obter a latitude geodésica φ correspondente à latitude isométrica ψ calculada. Porém, o problema não é tão simples assim, pois se desenvolvermos a expressão de ψ teremos [BAKK65], [BAKK75]:

$$\psi = \ln \operatorname{tg} \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right) + \frac{e}{2} \ln \frac{1 - e \sin \varphi}{1 + e \sin \varphi} \quad \text{Eq 03}$$

Não há possibilidades de colocarmos φ como função direta de ψ [DHN91].

Quando acontecem tais casos, costuma-se usar algum método numérico para que possamos obter o resultado desejado. A literatura aborda o processo de Newton-Raphson, descrito a seguir, como adequado às nossas necessidades [MIRS81].

De posse de uma função não linear $f(x) = 0$, devemos percorrer os seguintes passos para chegarmos a uma solução:

1. Estimar um valor inicial para a solução.
2. Calcular iterativamente a expressão abaixo até que $|x_n - x_{n-1}| < \varepsilon$.

$$x_n = x_{n-1} - \frac{f(x_{n-1})}{f'(x_{n-1})} \quad \text{Eq 04}$$

Onde:

$f(\varphi) = 0$ É a função que buscamos solucionar expressa por:

$$f(\varphi) = \frac{1}{2} [\ln(1 + \sin \varphi) - \ln(1 - \sin \varphi) + e \ln(1 + \sin \varphi) - e \ln(1 - \sin \varphi)] - \psi = 0$$

Eq 05

ε Estabelece a precisão desejada no processo.

Um dos fatores que influi no número de vezes que o processo necessita ser repetido é a estimativa inicial de φ_0 . Uma estimativa ruim pode levar a uma grande quantidade de repetições até que ε seja atingido. Neste caso, porém, podemos calcular φ_0 admitindo a terra esférica e, conseqüentemente, $e = 0$ [BAKK65], o que resulta em:

$$\psi = \ln \left[\tan \left(45^\circ + \frac{\varphi_0}{2} \right) \right]$$

Portanto:

$$\varphi_0 = 2 \tan^{-1}(e^\psi) - \frac{\pi}{2}$$

Eq 06

Na **Eq 06** e é a base dos logaritmos naturais e os valores subseqüentes são obtidos usando-se a expressão abaixo.

$$\varphi_n = \varphi_{n-1} - \frac{f(\varphi_{n-1})}{\dot{f}(\varphi_{n-1})}$$

Eq 07

Onde:

$$f(\varphi_{n-1}) = \frac{1}{2} [\ln(1 + \sin \varphi_{n-1}) - \ln(1 - \sin \varphi_{n-1}) + e \ln(1 + \sin \varphi_{n-1}) - e \ln(1 - \sin \varphi_{n-1})] - \psi$$

e

$$\dot{f}(\varphi_{n-1}) = \frac{(1 - e^2)}{(1 - e^2 \sin^2 \varphi_{n-1}) \times \cos \varphi_{n-1}}$$

Tomemos como exemplo uma imagem fictícia de cinco *pixels* de largura por cinco *pixels* de altura. Ela estará representando uma área limitada ao Norte e ao Sul pelos paralelos 30°S e 50°S e a Leste e Oeste pelos meridianos 040°W e 050°W. Podemos ver esta imagem na Figura 3. 50.

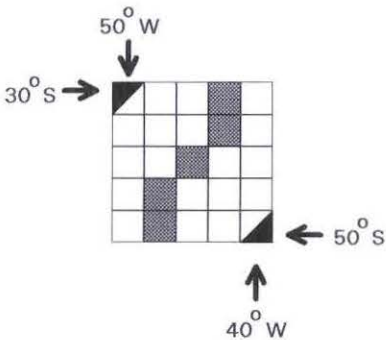


Figura 3. 50 - Exemplo de conversão de coordenadas.

O cálculo das longitudes é direto. Sabemos que a variação horizontal é linear e que a diferença entre os limites é de dez graus. Por isso, determinamos quantos intervalos devem ser cobertos para o cálculo do incremento. Os cinco *pixels* de largura da imagem delimitam quatro intervalos e, conseqüentemente, o incremento entre eles deve ser de 2°30'. Somando-se o incremento à menor das longitudes vamos obtendo os valores das longitudes de cada um dos *pixels*.

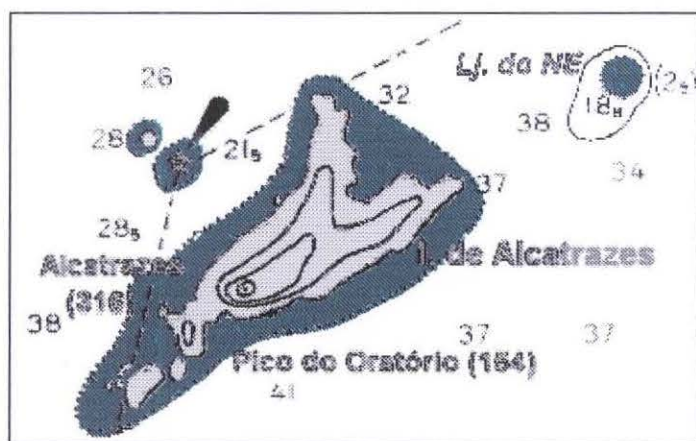
Para o cálculo das latitudes determinamos *Y* para cada linha aplicando a Eq 02. A primeira delas, de latitude 30°S, obtemos *Y* = 3482235.8m e para a última, com latitude 50°S, *Y* = 6413638.4m. A diferença entre os dois valores é de 2931402.6m, o que determina um incremento de 732850.65m. De posse deste incremento determinamos os outros valores de *Y* para as outras linhas e calculamos o valor das latitudes correspondentes a cada uma usando a metodologia de Newton-Raphson já descrita.

As tabelas a seguir mostram os valores obtidos no cálculo de Longitudes e Latitudes bem como as diferenças entre colunas e linhas respectivamente. Vale a pena notar que as diferenças entre as linhas, correspondentes às latitudes, não são constantes [DHN91].

Longitudes dos <i>Pixels</i>		
<i>Pixel</i> /Coluna	Longitude	Diferença
0	50° 00' 00''W	-
1	47° 30' 00''W	2° 30'
2	45° 00' 00''W	2° 30'
3	42° 30' 00''W	2° 30'
4	40° 00' 00''W	2° 30'

Latitudes dos <i>Pixels</i>			
<i>Pixel</i> /Linha	<i>Y</i> em metros	Latitude	Diferença
0	3482235.80	30° 00' 00''S	-
1	4215086.45	35° 33' 26''S	5° 33' 26''
2	4947937.10	40° 45' 05''S	5° 11' 41''
3	5680787.75	45° 34' 01''S	4° 48' 56''
4	6413638.40	50° 00' 00''S	4° 25' 59''

Capítulo IV



Um Exemplo de Aplicação

Capítulo IV - Um Exemplo de Aplicação

4.1 - Estudo de caso

Neste estudo usaremos os módulos de Apresentação e Importação da Carta Náutica Eletrônica com o intuito de planejar uma derrota com destino à ilha de Alcatrazes partindo do Rio de Janeiro.

Inicialmente, Alcatrazes não está representada no conjunto de dados disponível. Assim, o primeiro passo consiste em importar os dados relativos aos aspectos de interesse representados na carta náutica 1700.

4.1.1 - Ilha de Alcatrazes

A ilha de Alcatrazes situa-se no litoral do estado de São Paulo. O objetivo da importação é obter o conjunto de curvas de nível da ilha, algumas isobatimétricas e as linhas da costa. Para tanto, foi obtida uma imagem (Figura 4. 1) com uma resolução de 300 pontos por polegada, com dimensões de 1959 x 1381 *pixels* e coordenadas geográficas limites de 24°03'30"S, 045°47'48"W, 24°09'48"S e 045°38'W.

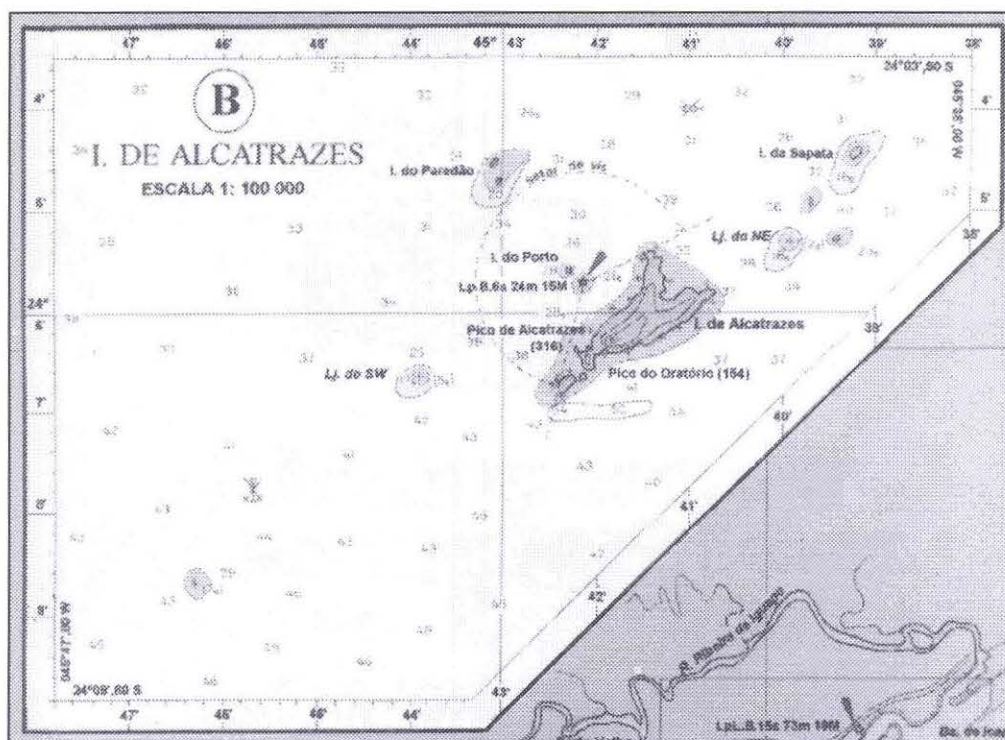


Figura 4. 1 - Ilha de Alcatrazes

4.2 - Importação de dados

4.2.1 - Linhas do litoral

As primeiras informações a serem obtidas são as linhas litorâneas das ilhas de Alcatrazes, Paredão, Porto e Sapata. Após a eliminação manual das sondagens, toponímia e outras feições indesejáveis, é feita uma transformação radiométrica visando obter uma imagem binária usada para estabelecer o contorno do litoral, conforme descrito na seção 3.3.3.



Figura 4. 2 - Parte da imagem inicial após a transformação radiométrica.

Algumas correções manuais foram feitas no contorno da pequena ilha a sudoeste de Alcatrazes. Na carta náutica impressa, o contorno se encontra parcialmente oculto sob uma das linhas indicadoras do setor de visibilidade do farol.

A Figura 4. 2 reproduz uma área da imagem inicial, após a transformação radiométrica, e o resultado da detecção de contornos é mostrado na Figura 4. 3.

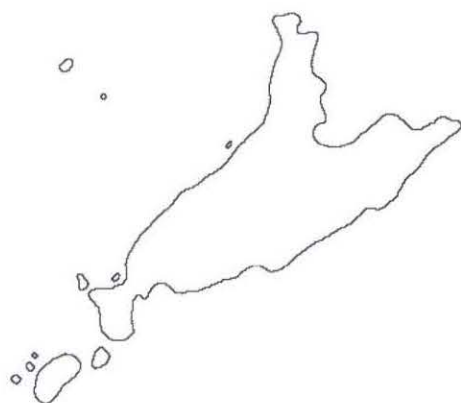


Figura 4. 3 - Detecção de contornos.

O passo seguinte é obter as coordenadas das componentes conexas, de acordo com o descrito na seção 3.3.8, e importar os dados obtidos no SGBD.

4.2.2 - Obtenção de isobatimétricas e curvas de nível

O procedimento para a obtenção de isobatimétricas e curvas de nível é semelhante. Uma transformação radiométrica é feita reduzindo-se o número de tons de cinza da imagem inicial (Figura 4. 4) e (Figura 4. 5).

Antes da realização do afinamento, Seção 3.3.4, foi necessária uma nova intervenção manual, separando as curvas de nível. Esta junção entre as feições está presente na carta impressa, não sendo, portanto, o resultado de uma resolução espacial inadequada.

Foi efetuado o afinamento (Figura 4. 6) de acordo com o algoritmo descrito na seção 3.3.4 e, logo após, foram eliminadas, diretamente na imagem, as linhas litorâneas presentes. O motivo da diferença de procedimentos entre o litoral e outras isolinhas está descrito na seção 3.3.3.

Novamente, os componentes conexas correspondentes às isolinhas foram obtidos e introduzidos na base de dados.

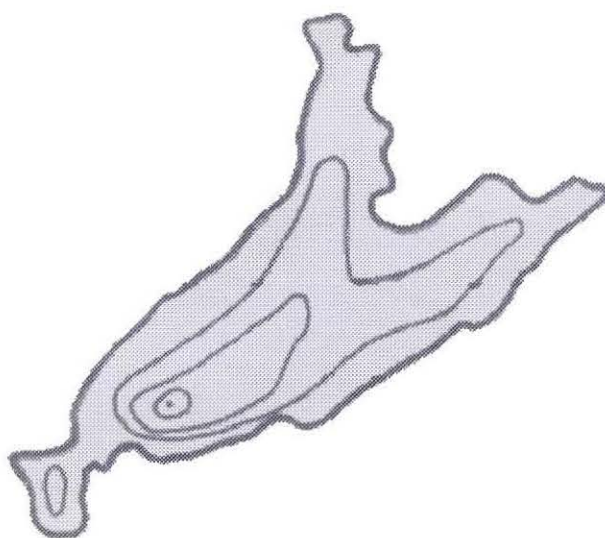


Figura 4. 4 - Parte da imagem inicial

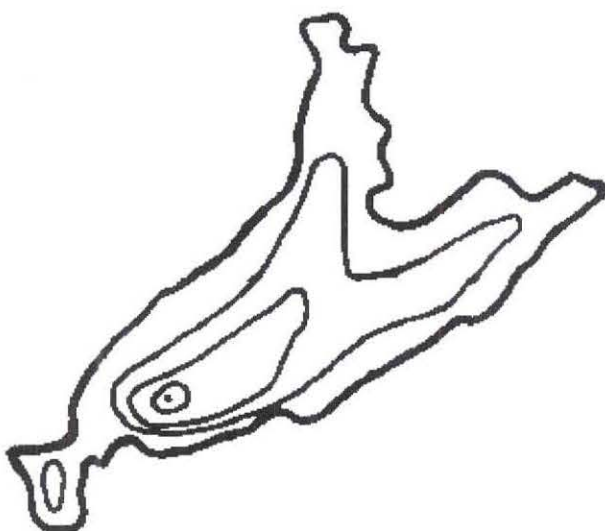


Figura 4. 5 - Imagem após a transformação radiométrica.

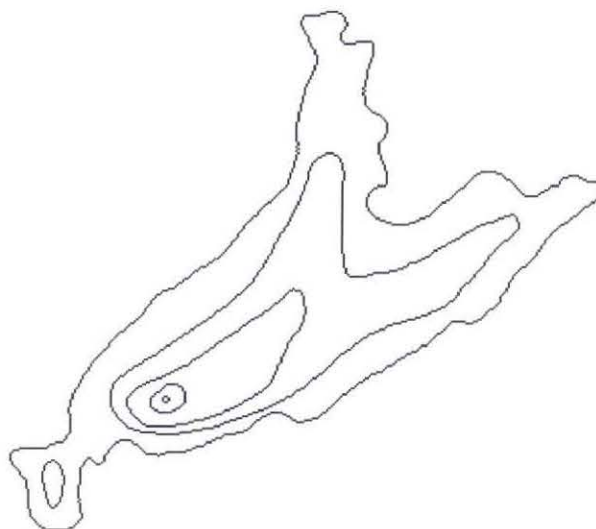


Figura 4. 6 - Imagem após o afinamento.

4.2.3 - Obtenção das coordenadas do farol

Uma das últimas fases desta importação é a obtenção das coordenadas do farol, indicado na Figura 4. 1. Este é um procedimento manual.

Como as dimensões da ilha onde se situa o farol são pequenas, a obtenção das coordenadas geográficas correspondentes é direta. Neste caso, basta deslocar o *mouse* para o local desejado para que as coordenadas sejam indicadas na barra de status.

O tipo de Ponto Fixo Faróis foi criado com as características mostradas abaixo (Figura 4. 7) e o Ponto Fixo Farol de Alcatrazes foi introduzido com as coordenadas indicadas na Figura 4. 8.

alca1.dat : Tipos de Pontos Fixos	
Far	Farois

Id: Nome:

Símbolo:

Cor:

Símbolo: Label:

Figura 4. 7 - Tela de Tipos de Pontos Fixos.

alca1.dat : Pontos Fixos

0001 Farol de Alcatraz

ID: 0001 Nome: Farol de Alcatraz

Tipo: Farol

Latitude: -86741 Longitude: -164527

Símbolo: Tipo Ponto Label: Tipo Ponto

Inserir Gravar Apagar

Figura 4. 8 - Tela de Pontos Fixos.

4.2.4 - Montagem do setor de visibilidade do farol

Assim como os Pontos Fixos, as Áreas Circulares Fixas necessitam de um tipo para determinar as suas características gráficas. Foi criado, então, o tipo Setores de Visibilidade com as características mostradas na Figura 4. 9.

alca1.dat : Tipos de Áreas Circulares Fixas

Set Setores de Visibilidade

Id: Set Nome: Setores de Visibilidade

Estilo: Normal Sólida Magenta Escuro

Padrão: Vazia Amarelo Claro

Símbolo: Visível Label: Visível

Inserir Gravar Apagar

Figura 4. 9 - Tela de Tipos de Áreas Circulares Fixas

alca1.dat : Áreas Circulares Fixas

0001 Setor de Alcatrazes

ID: 0001 Nome: Setor de Alcatrazes

Tipo: Setores de Visibilidade

Latitude: -86741 Longitude: -164527

Raio: 0 a 1.2 Azimute: 193 a 63

Símbolo: Tipo Circular Label: Tipo Circular

Inserir Gravar Apagar

Figura 4. 10 - Tela de Áreas Circulares Fixas

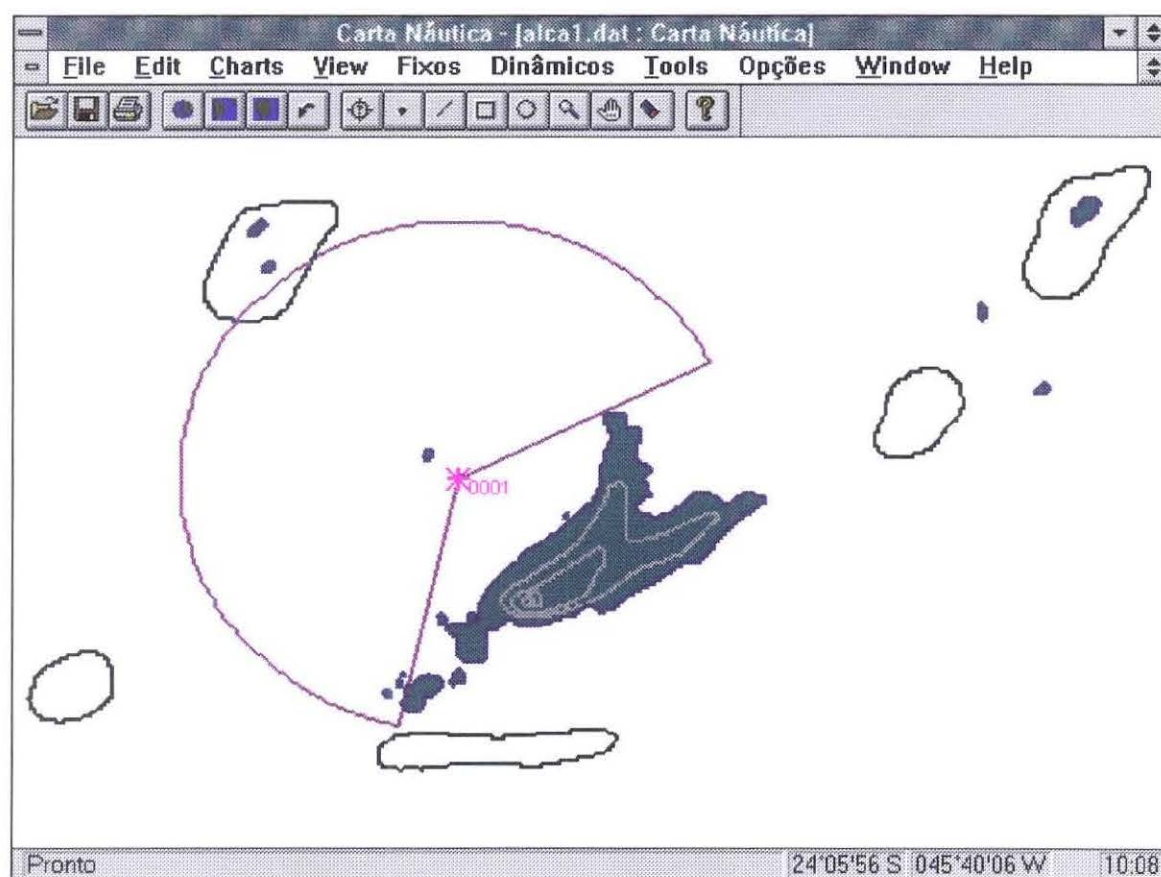


Figura 4. 11 - Plotagem final da área de Alcatrazes.

Para introduzir o setor desejado (Figura 4. 10), usamos as mesmas coordenadas geográficas do farol, especificando o seu centro, e determinamos os valores de raio e azimutes interativamente.

A aparência final da plotagem dos dados importados aparece na Figura 4. 11. Verificamos que o número de fatores catográficos exibidos na região de Alcatrazes é diferente quando usamos uma menor escala, Figura 4. 12.

4.3 - Operação da carta náutica

4.3.1 - Planejamento da derrota¹

Um planejamento inicial está mostrado na Figura 4. 12. A embarcação deve sair da baía de Guanabara, navegando no rumo 252 por 129 milhas, atravessando o Canal de São Sebastião e prosseguindo por mais 12 milhas no rumo 230 para, então, iniciar as manobras de fundeio em Alcatrazes.

Os valores de rumos e distâncias navegadas, citados acima, foram calculados através das operações descritas na Seção 2.3.1.

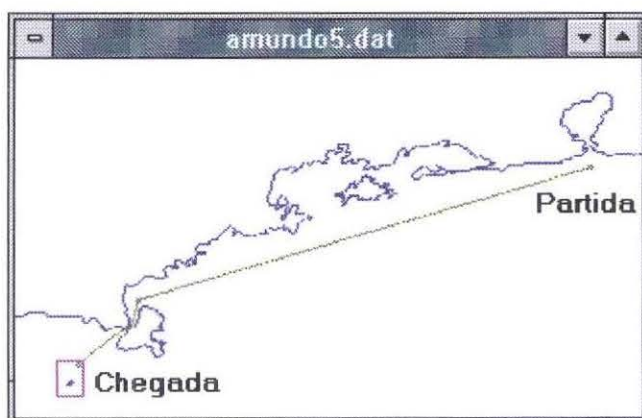


Figura 4. 12 - Planejamento inicial

Entretanto, obtemos a informação de que algumas áreas próximas da restinga da Marambaia estão interditadas para realização de exercícios de tiro no período da travessia.

A primeira providência é introduzir na carta os valores das áreas interditadas e verificar se apresentam perigo para nossa embarcação.

Com este fim, foi introduzido um tipo de área, Áreas Interditadas, com cor de enchimento vermelho claro e estilo de linha limítrofe contínuo em vermelho escuro. Uma

¹ Trajeto, percurso ou caminho de uma embarcação.

nova área, Área Interditada, é introduzida no sistema e a plotagem resultante aparece na Figura 4. 13.

Como podemos notar, a primeira parte da derrota passa por dentro da área em questão e um novo planejamento deve ser realizado.

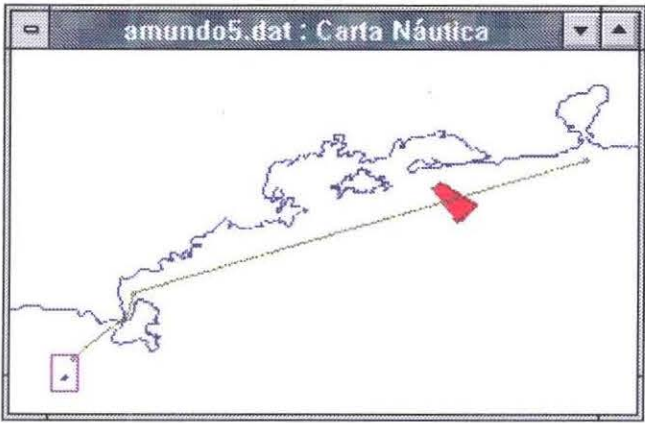


Figura 4. 13 - Plotagem da Área Interditada

Com o intuito de evitar a área proibida e facilitar a navegação, o comandante da embarcação determina que não devemos nos aproximar mais do que 30 milhas do litoral da Ilha Grande.

A operação de traçado de círculos de igual distância é usada para estabelecer novos limites, e é mostrada na figura abaixo.



Figura 4. 14 - Traçado do círculo de igual distância

Na parte inferior da Figura 4. 14, podemos notar o último campo da barra de status indicando 30,14 milhas.

Considerando os limites estabelecidos pelo comandante, a nova derrota elaborada aparece na Figura 4. 15.

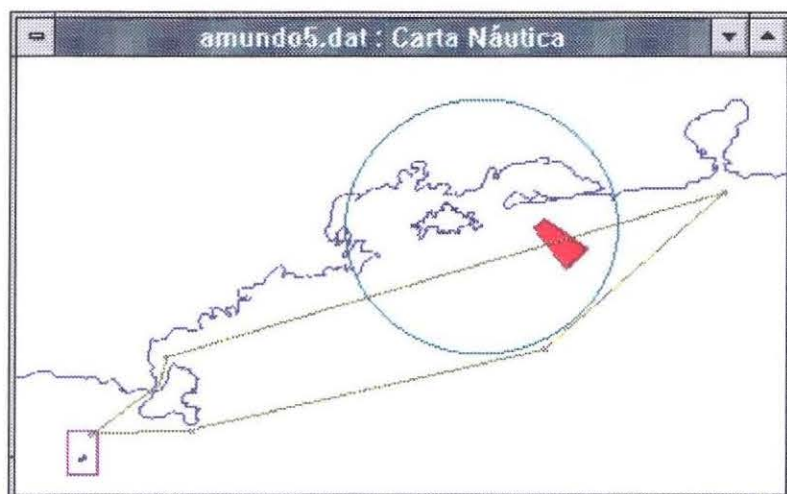


Figura 4. 15 - Nova derrota

Para seguir a nova derrota, o navio deve navegar no rumo 227 por 54 milhas, guinar² para 256 e seguir mais 80 milhas e, por fim, seguir o rumo 267 por mais 22 milhas, antes de manobrar para o fundeio.

4.3.2 - Fundeio

Uma operação de fundeio consiste em “soltar a âncora” do navio o mais próximo possível de um ponto previamente estabelecido. Para efetuar tal ação, é necessário um controle preciso da posição da embarcação, bem como do rumo e velocidade correntes.

No exato momento de soltar a âncora, a velocidade do barco deve ser zero e os motores devem estar em marcha à ré. Com isto desejamos arrastar a âncora até que ela fique presa no fundo e possa contribuir para que o navio não mais se desloque.

Este tipo de operação envolve os recursos mais usados na navegação em águas restritas: RADAR e determinação ótica de azimutes. Frequentemente, usamos um ponto de referência com azimuth constante, durante a aproximação do ponto de fundeio, e medidas de distância RADAR que nos indiquem a aproximação final.

Para evitar que problemas com os equipamentos do RADAR possam causar dificuldades durante a operação, costuma-se usar azimutes de outros pontos que, através de cruzamentos, possam indicar a distância atual do ponto de fundeio.

² Desviar, efetuar uma mudança de rumo.

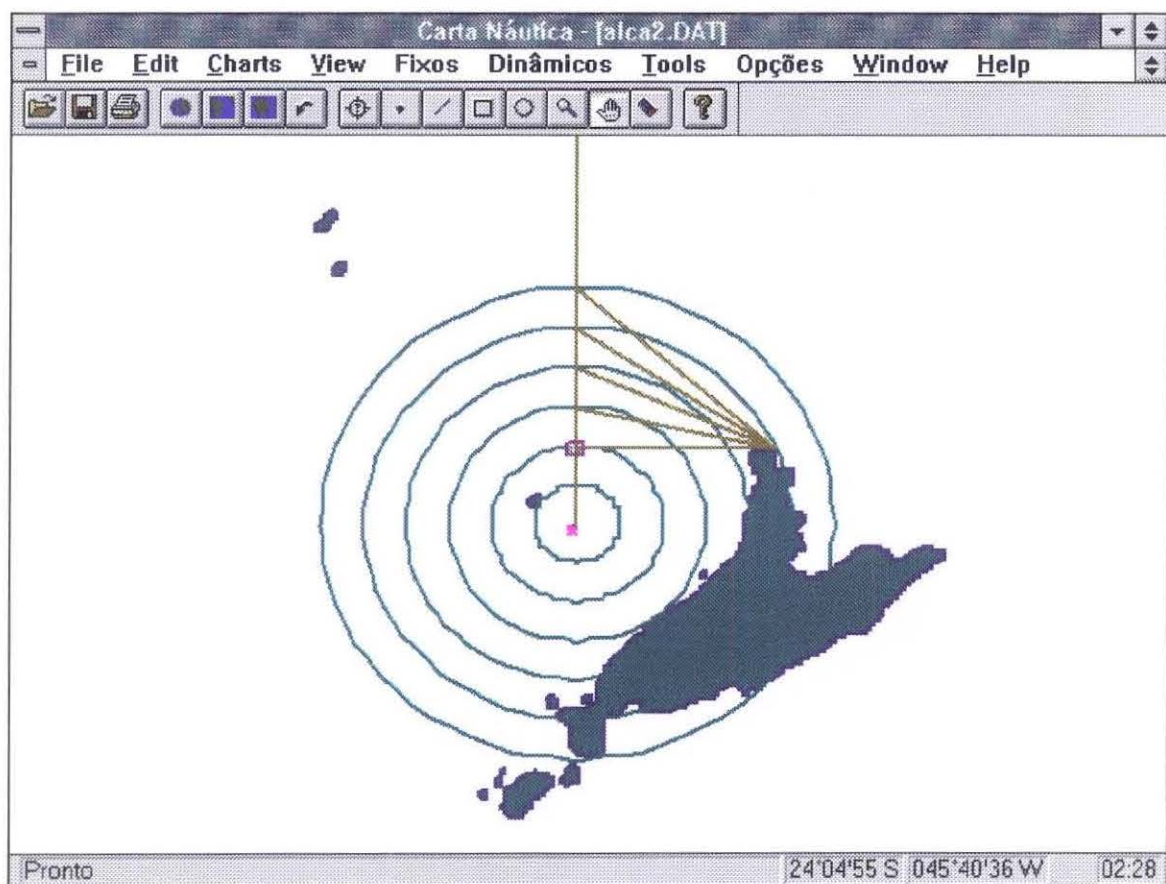
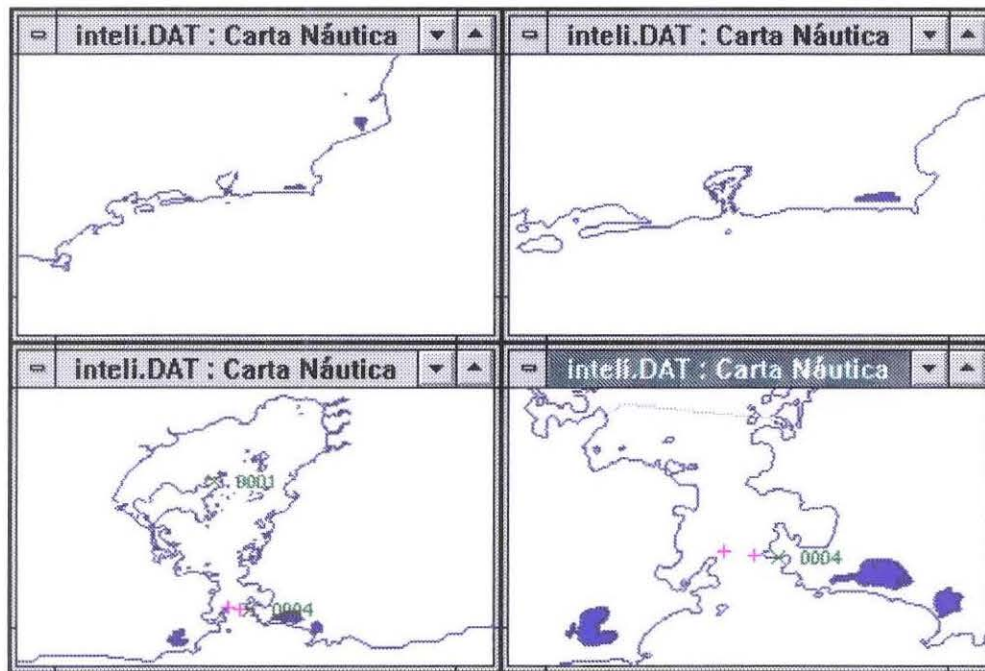


Figura 4. 16 - Planejamento do fundeio

A Figura 4. 16 ilustra o planejamento de fundeio adotado. O ponto de fundeio escolhido situa-se a 0,30 milhas ao norte do farol de Alcatrazes. Sendo assim, o próprio farol terá um azimuth constante, durante a aproximação. As distâncias de controle podem ser obtidas, do próprio farol, pelo RADAR. Entretanto, por motivos de segurança, escolhemos a parte norte da ilha para fornecer os azimuths indicadores de distância. Assim, o navio deverá se aproximar do farol pelo norte, navegando em 180. As distâncias do ponto de fundeio, fornecidas pelo sistema, são indicadas na tabela abaixo.

Distância do ponto de fundeio (em milhas)	Azimuth da ilha	Distância do farol
0,60	130	0,90
0,45	123	0,75
0,30	113	0,60
0,15	102	0,45
0,00	090	0,30

Capítulo V



Conclusões

Capítulo V - Conclusões

5.1 - Resumo

Este trabalho teve como objetivo final a implementação de uma carta náutica eletrônica. Assim, as operações e os tipos de dados mais comuns da carta foram apresentados no Capítulo II, juntamente com as descrições dos procedimentos empregados na sua manipulação.

Um banco de dados relacional é utilizado como substrato. Tal procedimento possibilitou uma maior rapidez e simplicidade na codificação das várias rotinas necessárias, sendo estes efeitos mais fortemente sentidos nas rotinas de manutenção da base de dados, onde as restrições de integridade e a integridade referencial são mantidas pelo SGBD.

O modelo de dados elaborado visa representar, de maneira bem simples, as três categorias de dados geográficos escolhidas como primitivas básicas: pontos, linhas e áreas. Ele pode ser expandido para que novos tipos de dados sejam adicionados e novas operações implementadas.

Em síntese, o módulo da carta náutica eletrônica cumpre o principal requisito estabelecido na Seção 2.1, é um sistema de uso geral facilmente adaptável a situações mais específicas.

O módulo de importação de dados, descrito no Capítulo III, tem como função prover o módulo da carta náutica eletrônica com os dados necessários ao seu funcionamento.

A importação trabalha com o processamento digital de imagens de cartas náuticas impressas, seguido da conversão das coordenadas da imagem para o sistema de coordenadas geográficas. Os algoritmos buscam reconhecer e separar as feições de interesse de acordo com o mesmo conjunto de primitivas básicas usado na carta eletrônica. Entretanto, neste protótipo, as rotinas de extração da toponímia e reconhecimento de símbolos, Seções 3.3.6 e 3.3.7 respectivamente, não foram implementadas. Tais elementos devem ser manualmente extraídos da imagem a ser processada por um operador qualificado.

A operação coordenada de ambos os módulos fornece ao navegador uma gama de opções normalmente maior do que as disponíveis em uma carta náutica tradicional. A carta eletrônica é, estruturalmente, mais interativa e precisa do que as cartas impressas, além de efetuar mudanças de escala sem que seja necessária qualquer transcrição de informações plotadas, pode ser integrada a outros sistemas fornecedores de informações. Enquanto isto, o módulo de importação garante a disponibilidade, quase imediata, de dados referentes a qualquer carta náutica impressa e elaborada com a projeção de Mercator.

Enquanto as agências oceanográficas não iniciarem a distribuição em massa de cartas eletrônicas, o módulo de importação de dados oferece uma alternativa economicamente atrativa para a obtenção de cartas no formato digital.

5.2 - Principais problemas encontrados

Durante o desenvolvimento da carta eletrônica surgiram algumas dificuldades que não haviam sido inicialmente previstas. A seguir, veremos quais os contratempos encontrados e como foram contornados.

5.2.1 - Cruzamentos e valores de isolinhas

O algoritmo de obtenção de componentes conexos, descrito na Seção 3.3.8, baseia-se no comportamento esperado das isolinhas. Na Seção 3.3.2, vimos que, em uma carta náutica, as isolinhas formam um ciclo totalmente visível ou, quando apenas parte dela está mostrada, seus extremos interceptam os limites da imagem. Entretanto, na prática, vemos que as diversas curvas costumam ser interrompidas para que os valores das propriedades representadas sejam mostrados. Por exemplo, as isobatimétricas podem ter os seus respectivos valores de profundidade indicados na carta interrompendo a linha propriamente dita.

Sabemos que isolinhas de um mesmo tipo não se interceptam. Entretanto, não podemos garantir que o mesmo ocorra quando estas pertencem a categorias distintas. É plenamente possível que uma isomagnética corte uma curva de nível, por exemplo, dando origem a uma representação na qual uma das duas linhas fique sobre a outra.

Estas dificuldades podem ser contornadas usando-se cartas nas quais os valores e os cruzamentos das isolinhas estejam representados fora da área de interesse ou atuando diretamente na imagem.

5.2.2 - Restrição da atuação de algoritmos de processamento de imagens

Durante a aplicação dos procedimentos de processamento digital de imagens, notamos que a área da imagem na qual cada um deles deve atuar é diferente. Por exemplo, o algoritmo de reconhecimento de contornos de áreas, Seção 3.3.5, deve agir somente nas regiões cujas fronteiras não estejam delimitadas por linhas. A execução deste algoritmo em toda a imagem produzirá resultados indevidos nas áreas que já tenham os seus limites representados na carta.

Portanto, mecanismos de limitação da área de ação dos vários algoritmos usados devem ser aplicados para que a imagem final apresente condições de uso.

5.2.3 - Importação de grandes áreas

Uma carta náutica é um documento de grandes proporções. Na maioria dos casos, não podemos obter, diretamente, uma única imagem que englobe toda a carta a ser importada. Assim, duas alternativas para o tratamento de grandes cartas podem ser usadas: a montagem de imagens completas, a partir de imagens menores obtidas por *scanners*, e a concatenação das informações contidas nas várias imagens componentes.

A primeira alternativa gera imagens que requerem um grande espaço disponível em memória para a sua manipulação, ao passo que, a segunda exige um cuidado adicional para que não haja solução de continuidade nas áreas limítrofes. Ambos os enfoques foram empregados com sucesso.

Quando foi possível montar imagens completas a partir de poucas imagens menores, a primeira abordagem revelou-se mais prática. Já a concatenação exigiu que pontos de referência fossem monitorados em imagens adjacentes para que não houvesse problemas nas respectivas junções.

Esta última abordagem é a alternativa para os casos em que a plataforma de *hardware* utilizada não ofereça memória suficiente para o processamento de imagens muito grandes.

5.3 - Comentários finais

5.3.1 - Qualidade e confiabilidade dos dados obtidos

O operador do sistema de importação de dados deve estar atento às possíveis falhas existentes nas cartas impressas e somente usar cartas de qualidade. Cartas desatualizadas ou em mal estado de conservação devem ser evitadas.

5.3.2 - Custos e tempo de processamento

Conforme visto na seção 1.4.4, a estimativa de custos da NOAA para a conversão dos dados de uma única carta impressa é de cerca de \$20.000,00. O tempo estimado para que as 880 cartas sejam processadas é de 10 anos. Um cálculo aproximado indica 4 dias de trabalho por carta, se considerarmos um ritmo contínuo de produção sem que erros humanos sejam cometidos.

O sistema aqui proposto é capaz de obter, em poucas horas, as principais feições de interesse em uma carta náutica a um **custo bem menor**, quando comparado com os métodos tradicionais. Além de requerer um conjunto de equipamentos mais barato, o processo automatiza boa parte do trabalho, acarretando uma menor quantidade de erros e, conseqüentemente, uma maior segurança e confiabilidade dos dados disponibilizados.

5.3.3 - Flexibilidade na obtenção dos dados

Qualquer carta construída usando a projeção de Mercator pode ser considerada como uma fonte de dados, independentemente da agência hidrográfica que a tenha elaborado. Tal fato, oferece aos utilizadores uma ampla variedade de dados que podem ser importados e usados em seus sistemas geográficos específicos. Além disso, sistemas de navegação já existentes na Marinha do Brasil podem utilizar dados, específicos ou não, de cartas náuticas não elaboradas pela Diretoria de Hidrografia e Navegação.

5.3.4 - Consolidação geográfica

A determinação automática dos componentes cartográficos de um mapa a serem exibidos, simplificados ou não apresentados, sempre foi tema de estudos. A carta náutica eletrônica aqui proposta não visa determinar, no momento da execução da plotagem, quais aspectos serão mostrados e o grau de detalhe, de cada um, a ser exibido. Tal trabalho **já foi feito** pelos cartógrafos que elaboraram as cartas impressas. O sistema proposto utiliza esta consolidação, já pronta, aproveitando o trabalho realizado anteriormente. Este procedimento permite que as rotinas de plotagem possam ser mais simples, diminuindo o tempo de resposta do sistema em operações tais como mudanças de escala e de pontos de vista.

5.3.5 - Integração da carta eletrônica com outros sistemas existentes

Dentre os vários sistemas eletrônicos de auxílio à navegação existentes, o RADAR e o GPS são os mais visados, no que se refere à integração.

O GPS pode fornecer, continuamente, a posição corrente do navio. Tal informação, juntamente com os valores indicados pela agulha giroscópica e odômetro, pode ser introduzida no sistema via *hardware* proprietário ou por interfaces já consagradas como, por exemplo, a RS-232, porta serial.

Da mesma forma, o RADAR tem a possibilidade de fornecer todas as informações constantes no seu vídeo para a carta náutica eletrônica. Cada eco RADAR pode ser encarado como uma área, e os contornos de cada um deles podem ser obtidos usando a metodologia apresentada na seção 3.3.5. Entretanto, a elevada velocidade com que estas informações passam a ser fornecidas torna atrativo o uso de arquiteturas paralelas, [LEIT94], e estruturas de dados auxiliares, como as citadas na seção 2.3.2, que não são limitadas pelo tempo de resposta de um SGBD.

No caso de uma simples superposição de imagens, cuidados devem ser tomados para que informações de segurança à navegação não sejam eliminadas do campo de visão do usuário.

5.4 - Possíveis extensões

Os procedimentos de reconhecimento de símbolos e eliminação da toponímia são de elevada complexidade, Seções 3.3.6 e 3.3.7. Neste estudo foram apresentadas linhas de ação que estão longe de representarem soluções finais. A obtenção de outros algoritmos, mais robustos, para tratamento dos símbolos e da toponímia pode acarretar num maior grau de automatização do processo de digitalização das cartas implementado neste protótipo.

Outros assuntos, mais específicos, deixaram de ser abordados neste trabalho. Embora não influenciem diretamente na correção dos resultados, podem melhorar a

eficiência no armazenamento de dados ou adicionar pormenores enriquecedores na plotagem final.

A implementação atual da obtenção de componentes conexos, seção 3.3.8, pode gerar um excesso de dados na representação de aspectos. Contornos e linhas, por exemplo, nem sempre necessitam de uma alta densidade de pontos vizinhos para que sejam reproduzidas com exatidão, [FIGU94]. Um segmento de uma linha reta não necessita de todos os seus pontos componentes para que possa ser bem definido, bastando, neste caso, o conhecimento dos seus extremos.

O uso de algoritmos mais otimizados, na determinação dos componentes conexos, pode levar a uma economia significativa no armazenamento de linhas e contornos. Sendo este benefício mais notável à medida em que as feições geográficas sejam mais suaves e não apresentem um grande número de mudanças bruscas.

A plotagem geográfica, no protótipo da carta náutica eletrônica, poderia apresentar um maior número de informações textuais. Embora a interrogação de fatores, seções 2.3.2, 2.3.3 e 2.3.4, possa trazer mais dados sobre determinado componente, este é um procedimento que depende da iniciativa do operador.

Outras entidades, referentes à toponímia de cada fator cartográfico, poderiam ser incluídas na modelagem dos Objetos Cartográficos, seção 2.2.11. Tais entidades seriam responsáveis pela plotagem dos textos identificadores usando o conceito de zoom inteligente ilustrado na Seção 1.4.8. Na prática, isto faria com que os diversos fatores pudessem ter diferentes complementos textuais adequados à cada escala.

Referências

- [AMKA87] Tushar J. Amin, Rangachar Kasturi *Map data processing: recognition of lines and symbols* - Optical Engineering 26(4), April 1987, pp. 354 - 358
- [BAGR85] Leo Bagrow *History of Cartographi* 1985
- [BAKK65] Mucio Piragibe Ribeiro de Bakker *Cartografia Noções Básicas* - Curso de Especialização de Hidrografia e Navegação 1965
- [BAKK75] Mucio Piragibe Ribeiro de Bakker *A Projeção de Mercator* - Diretoria de Hidrografia e Navegação 23-1, 1975
- [BAXE94] Gregory A. Baxes *Digital Image Processing, Principles and Applications* - John Wiley & Sons, Inc.
- [BCBZ92] F.Melcarne, M.Meucci, A.Morelli, M.Mosciatti, S.Scarci, M.Tucci, L.Boatto, V.Consorti, M.Del Buono, S.Di Zenzo, V.Eramo, A.Esposito - *An Interpretation System for Land Register Maps* - Computer, July 1992, pp. 25 - 32
- [BEBU87] B. Berking, M. Buck *Electronic Chart User Requirements in the Federal Republic of Germany* NAV 87 - Electronics in Navigation - 29 30 September 1 October 1987 London, pp. 1 - 8
- [BEHM88] G.Broadfoot, R.Everett, H.Halbesma, B.Mulder *ECDIS/ECDB Operational in the Netherlands* - Hydrographic Journal, October 1988, Volume 50, pp. 13 - 19
- [BERR87] Joseph K.Berry *Computer-Assisted Map Analysis: Potential and Pitfalls* - Photogrammetric Engineering and Remote Sensing Volume 53, Number 10, October 1987, pp. 1405 - 1410
- [BITT79] Renato T. Bittencourt. *Navegação*. Escola Naval, 1979.
- [CANY86] John Canny *A Computational Approach to Edge Detection* - IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence Volume PAMI 8, Number 6, November 1986, pp. 679 - 697
- [CART88] James R.Carter *Digital Representations of Topographic Surfaces* - Photogrammetric Engineering and Remote Sensing Volume 54, Number 11, November 1988, pp. 1577 - 1580

- [CGEW93] Rafael C.Gonzales, Richard E.Woods *Digital Image Processing* - Addison-Wesley September 1993
- [CHAN89] Shi-Kuo Chang *Principles of Pictorial Information Systems Design* - Prentice-Hall International Editions, Inc. 1989
- [CHAS85] The Canadian Hydrographers Association and The Hydrographic Society
The Electronic Chart - Proceedings April 19, 1985
- [COWE88] David J.Cowen *GIS versus CAD versus DBMS: What are the Differences?* - Photogrammetric Engineering and Remote Sensing Volume 54, Number 11, November 1988, pp. 1551 - 1555
- [CRUZ92] Emanuel Bras da Cruz *Módulo Carta Náutica de um SIG* - Instituto Militar de Engenharia Jan/1992
- [CSJE94] Eliseo Clementini, Jayant Sharma, Max J.Egenhofer *Modelling Topological Spatial Relations: Strategies for Query Processing* - Comput. & Graphics Volume 18, No. 6, 1994, pp. 815 - 822
- [DATE84] C.J.Date *Introdução a Sistemas de Bancos de Dados* - Editora Campus 1984
- [DEHE90] H.Deheinzelin *Carta Marítima Eletrônica* - Necessidades dos Usuários - Resumo - Navigation Number 151, 1990
- [DFFP85] Leila De Floriani, Bianca Falcidieno, Caterina Pienovi *Efficient Selection, Storage, and Retrieval of Irregularly Distributed Elevation Data* - Computers & Geosciences Volume 11, Number 6, pp. 667 - 673, 1985
- [DHN91] Diretoria de Hidrografia e Navegação - *Anais Hidrográficos Tomo XLVIII* 1991
- [DIACON] Júlio César Calazans Diácono *Meteorologia Básica* - Escola Naval
- [DOOL94] Dave Dooling *Navigating Close to Shore* - IEEE Spectrum, December 1994, pp. 24 - 31
- [DUHA72] Richard O. Duda and Peter E. Hart *Use of the Hough Transformation To Detect Lines and Curves in Pictures* - Communications of the ACM - January 1972, Volume 15, Number 1, pp. 11 - 15

- [EATO90] R.M.Eaton *GPS and the Electronic Chart wil go a Long Way towards Preventing Tanker Groundings* - Lighthouse Edition 41, Spring 1990, pp. 27 - 32

- [ENPC78] Navegação Astronômica - Escola Naval - Diretoria de Portos e Costas 1978

- [FAUS87] Nickolas L.Faust *Automated Data Capture for Geographic Information Systems: A Commentary* - Photogrammetric Engineering and Remote Sensing Volume 53, Number 10, October 1987, pp. 1359 - 1390

- [FIGU94] Luiz Henrique de Figueredo *Métodos Numéricos para Curvas e Superfícies* - Notas do mini-curso ministrado na UNICAMP durante o verão de 1994.

- [FILE94] Renato Fileto *Busca em Subespaços em Várias Dimensões* - Dissertação de Tese de Mestrado, Departamento de Ciência da Computação - UNICAMP, 1994

- [FLKA88] L.A.Fletcher, R Kasturi *A Robust Algorithm for Text String Separation from Mixed Text/Graphics Images* - IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Inteligence, Volume 10, Number 6, November 1988.

- [FRAN88] Andrew U.Frank *Requirements for a Database Management System for a GIS* - Photogrammetric Engineering and Remote Sensing Volume 54, Number 11, November 1988, pp. 1557 - 1564

- [FRTI94] Andrew U.Frank, Sabine Timpf *Multiple Representations for Cartographic Objects in a Multi-Scale Tree* - An Intelligent Graphical Zoom - Comput. & Graphics Volume 18, No. 6, 1994, pp. 823 - 829

- [FTMA87] Massola, Reginaldo Arakaki, Lúcia Vilela Leite Figueiras, Romero Tori, Antonio Marcos Aguirra *Fundamentos de Computação Gráfica* - Livros Técnicos e Científicos Editora SA 1987

- [GASA83] Chris Gane, Trish Sarson *Análise Estruturada de Sistemas* - Livros Técnicos e Científicos Editora LTDA 1983

- [GLMO86] Stephen J.Glavin, David Monahan *Cartographic Design Considerations for the Electronic Chart* - Lighthouse Edition Number 33, April 1986, pp. 10 - 13

- [GRYA86] Daniel H.Greene and F.Frances Yao *Finite-Resolution Computational Geometry* - Xerox Palo Alto Research Center, Palo Alto CA 94304, 1986, pp. 143 - 152

- [GSHM94] K.Ch.Graf, M.Suter, J.Hagger, E.Meier, P.Meuret, D.Nüesch *Perspective Terrain Visualization - A Fusion of Remote Sensing, Gis and Computer Graphics* - Comput. & Graphics Volume 18, No. 6, 1994, pp. 795 - 802

- [GULA86] Ângelo de Moura Guimarães, Newton Alberto de Castilho Lajes *Algoritmos e Estruturas de Dados* - Livros Técnicos e Científicos Editora SA 1986

- [IHO90] International Hydrographic Organization *Provisional Presentation Standards for ECDIS* - Appendix to IHO Special Publication Number 52 - Provisional Specifications for Chart Contents and Display - October 1990

- [JAIN89] Anil K. Jain *Fundamentals of Digital Image Processing* - Prentice-Hall International Editions, Inc.1989

- [JOHN87] Kevin M.Johnston *Natural Resource Modeling in the Geographic Information System Environment* - Photogrammetric Engineering and Remote Sensing Volume 53, Number 10, October 1987, pp. 1411 - 1415

- [JONE88] Meilir Page-Jones *Projeto Estruturado de Sistemas* - McGraw-Hill 1988

- [KAAL88] Rangashar Kasturi, Juan Alemani *Information Extration from Images of Paper-based Maps* - IEEE Transactions on Software Engineering, Volume 14, Number 5, May 1988, pp. 671 - 681

- [KOB80] Isamu Kobayashi *Cartographic Databases* - Pictorial Information Systems, 1980, pp. 322 - 350

- [KPIN87] Terrence Keating, William Philips, Kevin Ingram *An Integrated Topologic Database Design for Geographic Information Systems* - Photogrammetric Engineering and Remote Sensing Volume 53, Number 10, October 1987, pp. 1399 - 1402

- [LEIT94] Neucimar Jerônimo Leite, Marcelo A. Barros, *A Highly Reconfigurable Neighborhood Image Processor Based on Functional Programing* - IEEE Intern. Conference on Image Processing, Austing, Texas, USA, November 1994, pp. 659 - 663.

- [LOBR87] Thomas L.Logan, Nevin A.Bryant *Spatial Data Software Integration: Merging CAD/CAM/Mapping with GIS and Image Processing* - Photogrammetric Engineering and Remote Sensing Volume 53, Number 10, October 1987, pp. 1391 - 1395
- [LOGA87] Kevin P.Logan *Improvements in Advanced Electronic Navigation Systems* - IEEE AES September 1987, pp. 20 - 22
- [MAMB89] Udi Mamber *Introduction to Algorithms A Creative Aproach* - Addison-Wesley Publishing Company, Inc. 1989
- [MGEM89] G.Macdonald, S.Grant, R.M.Eaton, J.MacDougal, B.Beale, P.Leehouts *ECDIS Development in Canada* - Lighthouse Edition 39, Spring 1989, pp. 7 - 11
- [MIRS81] Victor Mirshawka *Cálculo Numérico* Editora Nobel 1981
- [MOCA86] G.Morse, IDC and M.Casey *The Canadian Hydrographic Service Experiment in Electronic Chart Distribution* - Marine Positioning, October 1987, pp. 279 -284
- [MSRN88] M.T.Musavi, M.V.Shirvaikar, E.Ramanathan, A.R.Nekovei *A Vision Based Method to Automated Map Processing* - Pattern Recognition Volume 21, Number 4, pp. 319 - 326, 1988
- [MULA88] Peter W. Mushkat, Cynthia Lamsom *Electronic Chart Display Information Systems: Operational, Policy and Legal Issues* - Oceans 88 - A Partnership of Marine Interests. Baltimore, October 31, 2nd Volume, 1988, pp. 1589 - 1593
- [NEBA80] Ramakant Nevatia, K.Ramesh Babu *Linear Feature Extration and Description* - Computer Science Department and Image Processing Institute, University of Southern California, 1980, pp. 81 - 93
- [OBPE87] Edward J.Obloy, John E.Peruzzi *Potential Legal Liabilities in the Era of The Electronic Chart* NAV 87 - Electronics in Navigation - 29 30 September 1 October 1987, London, pp. 31 - 37
- [OPSTAL] L.H. van Opstal - Hidrographer of the Royal Netherlands Navy *Standardization of Electronic Charts*, J. Navigation, Vol 41, pp. 288 - 294

- [PISP94] Caterina Pienovi, Michela Spagnuolo *Handling Discrete Surfaces by Analysis and Simulation* - Comput. & Graphics Volume 18, No. 6, 1994, pp. 785 - 793
- [PRSH88] Franco P. Preparata, Michael Ian Shamos *Computational Geometry An Introduction* - Springer-Verlag, Inc. 1988
- [RIUL87] William J. Ripple, Veit S. Ulshoefer *Expert Systems and Spatial Data Models for Efficient Geographic Data Handling* - Photogrammetric Engineering and Remote Sensing Volume 53, Number 10, October 1987, pp. 1431 - 1433
- [ROGO88] Mortimer Rogof *Electronic Chart* - At the heart of 21st century navigation - IEEE Plans 88 Position Location An Navigation Symposium Record 1988, pp. 88 - 94
- [ROKA82] Azriel Rosenfeld, Avinash C. Kak *Digital Picture Processing Volume I & II* - Academic Press, Inc. 1982
- [RUSS87] 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, December 1987, pp. 3 - 5
- [SAME90] Hanan Samet *The Design and Analysis of Spatial Data Structures* - Addison-Wesley Publishing Company, Inc. 1990
- [SAMT90] Hanan Samet *Applications of Spatial Data Structures. Computer Graphics, Image Processing, and GIS* - Addison-Wesley Publishing Company, Inc. 1990
- [SERR86] Jean Serra *Introduction to Mathematical Morphology* - Computer Vision, Graphics, and Image Processing 35, 1986, pp. 283 - 305
- [SERR89] Jean Serra *Image Analysis and Mathematical Morphology* - Academic Press, Inc. 1989
- [SFJH92] Paul Suetens, Pascal Fua, Andrew J. Hanson *Computational Strategies for Object Recognition* - ACM Computing Surveys Volume 24, Number 1, March 1992, pp. 7 - 61
- [SKTH87] Satoshi Suzuki, Makoto Kosugi, Toshio Hoshino *Automatic Line Drawing Recognition of Large Scale Maps* - Optical Engineering Volume 26, Number 7, July 1987, pp. 642 - 649

- [SUYA90] Satoshi Suzuki, Toyomichi Yamada *MARIS: Map Recognition Input System* - Image Recognition Volume 23, Number 8, 1990, pp. 919 - 933

- [VSAF85] Paulo Veloso, Clesio dos Santos, Paulo Azeredo, Antonio Furtado *Estruturas de Dados* - Editora Campus Terceira Edição 1985

- [WPLJ92] Derec C.W.Pao, Hon F.Li, R.Jayakumar *Shapes Recognition Using the Straight Line Hough Transform: Theory and Generalization* - IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Volume 14 Number 11, November 1992, pp. 1076 - 1089

- [YAYH93] Hiromitsu Yamada, Kazuhiko Yamamoto, Katsumi Hosokawa *Directional Mathematical Morphology and Reformalized Hough Transformation for the Analysis of Topografic Maps* - IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence - Vol 15, Number 4, April 1993, pp. 380 - 387

- [ZBMS92] S.Di Zenzo, M.Del Buono, M.Meucci, A.Spirito *Optical recognition of hand-printed characters of any size, position, and orientation* - IBM J. Res. Develop. Volume 36, Number 3, May 1992, pp. 487 - 501