



MANUAL DE SINALIZAÇÃO NÁUTICA

VOLUME I

FUNDAMENTOS DE SINALIZAÇÃO NÁUTICA VISUAL

Paulo Maurício Barros de Abreu Rego

DIRETORIA DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO

**CENTRO DE SINALIZAÇÃO NÁUTICA E REPAROS
ALMIRANTE MORAES REGO**

BRASIL

1^a EDIÇÃO

2005

ÍNDICE

PREFÁCIO

AGRADECIMENTOS

INTRODUÇÃO

CAPÍTULO 1	1-1
A NAVEGAÇÃO E OS AUXÍLIOS À NAVEGAÇÃO	1-1
1.1 CONCEITO DE NAVEGAÇÃO	1-1
1.2 TIPOS DE NAVEGAÇÃO MARÍTIMA	1-1
1.3 MÉTODOS DE NAVEGAÇÃO MARÍTIMA	1-2
1.4 AUXÍLIOS À NAVEGAÇÃO E SINAIS NÁUTICOS	1-3
1.5 CATEGORIAS DE UTILIZADORES DA SINALIZAÇÃO NÁUTICA	1-4
CAPÍTULO 2	2-1
A NECESSIDADE DA SINALIZAÇÃO NÁUTICA	2-1
2.1 CONJUNTO DE SISTEMAS DISPONÍVEIS PARA AUXÍLIO À NAVEGAÇÃO	2-1
2.2 DIVISÃO DOS SINAIS NÁUTICOS CONFORME SUAS FUNÇÕES BÁSICAS	2-2
2.3 FUNÇÕES DOS SINAIS NÁUTICOS VISUAIS E DE RADAR	2-2
2.4 FUNÇÕES DOS SINAIS NÁUTICOS RADIOELÉTRICOS	2-2
2.5 PRECISÃO DOS DIVERSOS TIPOS DE SINAIS NÁUTICOS	2-3
2.6 PRECISÃO X CARTAS NÁUTICAS	2-4
2.7 BASES PARA A ESCOLHA DA SINALIZAÇÃO NÁUTICA	2-4
2.8 PROCESSOS FUNDAMENTAIS DA SINALIZAÇÃO NÁUTICA	2-5
CAPÍTULO 3	3-1
SINALIZAÇÃO NÁUTICA LUMINOSA NOTURNA E DIURNA	3-1
3.1 EMISSÃO	3-1
3.2 INTENSIDADE DA FONTE EMISSORA	3-1
3.3 CONDIÇÕES DE PROPAGAÇÃO	3-3
3.4 CONCEITO DE TRANSPARÊNCIA ATMOSFÉRICA E A LEI DE ALLARD	3-5
3.5 CONDIÇÕES DE RECEPÇÃO - ILUMINAMENTO	3-6
3.6 LIMIAR DE PERCEPÇÃO E ILUMINAMENTO MÍNIMO	3-6
3.7 ILUMINAMENTO MÍNIMO DIURNO E NOTURNO	3-6
3.8 VALORES ALTERNATIVOS DE ILUMINAMENTO MÍNIMO NOTURNO	3-7
3.9 LUMINÂNCIA DE FUNDO	3-7
3.10 LUMINÂNCIA DE FUNDO PARA LUZES OBSERVADAS À NOITE	3-8
3.11 LUMINÂNCIA DE FUNDO PARA LUZES OBSERVADAS DE DIA	3-8
3.12 LIMIAR DE PERCEPÇÃO PARA VÁRIAS LUMINÂNCIAS DE FUNDO	3-9

3.13 ALCANCE LUMINOSO E INTENSIDADE LUMINOSA NECESSÁRIA.....	3-9
3.14 CÁLCULO DO ALCANCE DE UMA LUZ DE DETERMINADA INTENSIDADE LUMINOSA – MÉTODO COMPUTACIONAL	3-10
3.15 CÁLCULO DO ALCANCE DE UMA LUZ POR MÉTODO COMPARATIVO	3-10
3.16 VISIBILIDADE METEOROLÓGICA E TRANSPARÊNCIA ATMOSFÉRICA.....	3-11
3.17 DETERMINAÇÃO DA TRANSPARÊNCIA ATMOSFÉRICA MÉDIA	3-12
3.18 ALCANCE NOMINAL	3-14
3.19 ALCANCE GEOGRÁFICO	3-14
3.20 EQUIPAMENTOS LUMINOSOS - LANTERNAS.....	3-16
3.21 RITMO, COR E CARACTERÍSTICA LUMINOSA	3-16
3.22 INTENSIDADE LUMINOSA EFETIVA.....	3-16
3.23 MEDIÇÃO DA INTENSIDADE LUMINOSA.....	3-17
3.24 ESTIMATIVA DA INTENSIDADE LUMINOSA ESTACIONÁRIA DE GRANDES FARÓIS.....	3-18
3.25 INTENSIDADE LUMINOSA EFETIVA – PERDAS DEVIDAS ÀS CORES	3-18

CAPÍTULO 4 4-19

SINALIZAÇÃO NÁUTICA NÃO LUMINOSA DIURNA E NOTURNA.....	4-19
---	-------------

4.1 RAZÕES PARA A SINALIZAÇÃO DIURNA	4-19
4.2 OBSERVAÇÃO DE OBJETOS NÃO LUMINOSOS.....	4-20
4.3 CONTRASTE DE LUMINÂNCIA	4-21
4.4 VISIBILIDADE DIURNA E DEDUÇÃO DA LEI DE ALLARD	4-22
4.5 ALCANCE VISUAL DIURNO DE OBJETOS NÃO LUMINOSOS.....	4-23
4.6 CONTRASTES INTRÍNSECOS PARA UM PAINEL BRANCO	4-24
4.7 RELAÇÃO X/V PARA DIVERSAS CORES	4-27
4.8 A PERCEPÇÃO DO OBSERVADOR E A FORMA DO SINAL	4-29
4.9 LIMITAÇÕES DO ALCANCE VISUAL DE FORMAS ALONGADAS (FARÓIS)	4-31
4.10 DISTÂNCIA LIMITE PARA IDENTIFICAÇÃO DE FORMAS COMPACTAS.....	4-33
4.11 CONSIDERAÇÕES SOBRE IDENTIFICAÇÃO DE CORES E FORMAS	4-34
4.12 CONSIDERAÇÕES ÚTEIS NO PROJETO DE SINAIS DIURNOS	4-40
4.13 OBSERVAÇÃO NOTURNA DE SINAIS NÃO LUMINOSOS	4-47
4.14 LIMITAÇÕES AO USO DE SINAIS DIURNOS E SOLUÇÕES POSSÍVEIS.....	4-52

CAPÍTULO 5 5-55

PROJETO DE SINAIS DE ATERRAGEM	5-55
---	-------------

5.1 ATERRAGEM TRADICIONAL.....	5-55
5.2 SINALIZAÇÃO DE ATERRAGEM – CONCEITO DOS “PORTÕES DE ACESSO”	5-55
5.3 ATERRAGEM A UMA BARCA-FAROL.....	5-56
5.4 ATERRAGEM A UM PERIGO ISOLADO.....	5-57
5.5 MARGEM DE SEGURANÇA	5-57
5.6 ULTRAPASSAGEM DO PERIGO ISOLADO.....	5-58
5.7 NECESSIDADE DE SINALIZAÇÃO PARA OS NAVIOS DOTADOS DE RADAR.....	5-59
5.8 ATERRAGEM A SINAIS COSTEIROS	5-60
5.9 ATERRAGEM EM RUMO PARALELO À COSTA	5-60
5.10 ATERRAGEM EM RUMO PERPENDICULAR À COSTA.....	5-61
5.11 ATERRAGEM EM RUMO OBLÍQUO À COSTA	5-62
5.12 APLICAÇÃO DAS EQUAÇÕES DE ATERRAGEM.....	5-63
5.13 FUNDAMENTOS DO PROJETO DE SINAIS DE ATERRAGEM.....	5-63

5.14 ERRO PROVÁVEL OU INCERTEZA DE POSIÇÃO NA ATERRAGEM (R)	5-63
5.15 MARGEM DE SEGURANÇA (S)	5-64
5.16 LIMITAÇÕES DO ALCANCE DE PERCEPÇÃO (P).....	5-65
5.17 CONSIDERAÇÕES SOBRE A CONSTRUÇÃO DE ESTRUTURAS	5-65
5.18 SINALIZAÇÃO COMPLEMENTAR PARA PREVENÇÃO DE FALHAS	5-66
5.19 SINAIS MÚLTIPLOS PARA ATERRAGEM	5-67
5.20 SETORES LUMINOSOS COLORIDOS EM SINAIS DE ATERRAGEM	5-67
5.21 CONSIDERAÇÕES SOBRE O ÂNGULO DE INCERTEZA DE SETORES DE COR	5-67
5.22 ESCOLHA ENTRE BARCAS-FAROL E SINAIS FIXOS <i>OFFSHORE</i>	5-69
5.23 ALCANCE NOTURNO – ESTUDO DE UM CASO	5-70
5.24 ALCANCE DIURNO – ESTUDO DE UM CASO	5-73

CAPÍTULO 6 6-74

PROJETO DE SINAIS DE CABOTAGEM.....	6-74
--	-------------

6.1 CABOTAGEM OU NAVEGAÇÃO COSTEIRA	6-74
6.2 OS SINAIS COSTEIROS E A “ATERRAGEM SECUNDÁRIA”	6-74
6.3 ERROS TÍPICOS DE NAVEGAÇÃO COSTEIRA	6-74
6.4 DETERMINAÇÃO DE POSIÇÃO POR MARCAÇÕES VISUAIS	6-76
6.5 PARÂMETROS DE PROJETO DE SINAIS COSTEIROS.....	6-77
6.6 DETERMINAÇÃO DO DESEMPENHO DE UM SINAL COSTEIRO.....	6-77
6.7 DETERMINAÇÃO DO ESPAÇAMENTO MÁXIMO ENTRE SINAIS COSTEIROS.....	6-78
6.8 INFLUÊNCIA DOS ERROS DE NAVEGAÇÃO NO PROJETO.....	6-79
6.9 DEFINIÇÃO DA VISIBILIDADE METEOROLÓGICA DE PROJETO	6-80
6.10 REDUÇÃO DA MARGEM DE SEGURANÇA E AUMENTO DA DISPONIBILIDADE DA SINALIZAÇÃO NÁUTICA.....	6-81
6.11 BÓIAS LUMINOSAS PARA A NAVEGAÇÃO COSTEIRA	6-82
6.12 BÓIAS CEGAS PARA A NAVEGAÇÃO COSTEIRA.....	6-83
6.13 SETORES COLORIDOS EM SINAIS LUMINOSOS COSTEIROS	6-84
6.14 CANAL DE SÃO ROQUE - ESTUDO UM DE CASO.....	6-85

CAPÍTULO 7 7-1

SINALIZAÇÃO NÁUTICA EM ÁGUAS INTERIORES.....	7-1
---	------------

7.1 CONCEITO DE “ÁGUAS INTERIORES”	7-1
7.2 CONSIDERAÇÕES SOBRE A NAVEGAÇÃO EM ÁGUAS INTERIORES	7-1
7.3 FATORES CAUSADORES DOS DESVIOS DE RUMO	7-2
7.4 AVALIAÇÃO VISUAL DOS DESVIOS DE RUMO	7-3
7.5 LARGURA DE PASSAGEM DE UM NAVIO EM UM CANAL RETO.....	7-5
7.6 SENSIBILIDADE LATERAL.....	7-8
7.7 SENSIBILIDADE RELATIVA.....	7-8
7.8 MARGEM NÁUTICA.....	7-9
7.9 ESPAÇO OCUPADO POR UM NAVIO EM UM CANAL	7-9
7.10 EIXOS DE CANAL E ALINHAMENTOS.....	7-10
7.11 DISTÂNCIA ENTRE A QUILHA E O FUNDO – FATORES DETERMINANTES	7-10
7.12 DISTÂNCIA ENTRE A QUILHA E O FUNDO COMO PARÂMETRO DE PROJETO.....	7-12
7.13 ESCOLHA DE UM CANAL – MÉTODO DAS TANGENTES.....	7-13
7.14 CANAIS PRINCIPAIS E SECUNDÁRIOS	7-15
7.15 CONSIDERAÇÕES SOBRE TRÁFEGO.....	7-16

7.16 SINALIZAÇÃO NÁUTICA VISUAL PARA ÁGUAS INTERIORES	7-16
7.17 SINAIS FLUTUANTES VERSUS SINAIS FIXOS	7-17
7.18 CRITÉRIOS DE ESCOLHA DE SINAIS FIXOS OU FLUTUANTES	7-18
7.19 IDENTIFICAÇÃO DOS SINAIS NÁUTICOS	7-19
7.20 DISPOSITIVOS RETRO-REFLETORES	7-21
7.21 BALIZAMENTO DE UM CANAL COM PARES DE BÓIAS	7-21
7.22 ESCOLHA DAS DISTÂNCIAS ENTRE OS PARES DE BÓIAS	7-22
7.23 DISTÂNCIAS ENTRE PARES DE BÓIAS – CRITÉRIO DOS ALCANCES	7-23
7.24 CANAL RETO – PRINCÍPIO DO ALINHAMENTO COM “PORTÃO DUPLO”	7-23
7.25 BALIZAMENTO DE UM CANAL COM BÓIAS ISOLADAS	7-25
7.26 BALIZAMENTO DE UM CANAL COM BÓIAS LUMINOSAS E BÓIAS CEGAS	7-27
7.27 A POSIÇÃO LATERAL DOS SINAIS FLUTUANTES EM UM CANAL	7-28
7.28 OS SINAIS FIXOS E O "ALINHAMENTO COM PORTÃO DUPLO"	7-29
7.29 ALINHAMENTO COM PORTÃO DUPLO – REDUÇÃO DO N° DE SINAIS	7-32
7.30 LUZES DE SETOR	7-33
7.31 INDICAÇÃO DE CANAL COM LUZ DE SETOR	7-33
7.32 LUZ DE SETOR COM FRONTEIRA OSCILANTE	7-34

APÊNDICES

BIBLIOGRAFIA

AGRADECIMENTO

O lançamento do Manual de Sinalização Náutica da Marinha do Brasil representa a concretização do sonho daqueles que, por questões de trabalho, tiveram de buscar conhecimento nas publicações estrangeiras, para resolver os problemas de sinalização visual. Não se trata apenas de poder ler em um idioma mais amigável mas, principalmente, de concentrar em um único volume a maior parte dos temas referentes à sinalização visual.

Portanto, é um dever de justiça neste momento tão especial agradecer a todos aqueles que de alguma forma contribuíram para que este sonho se tornasse realidade.

Primeiro gostaria de citar todos os diversos autores cujos trabalhos serviram de bibliografia para o Manual, pelo conhecimento transmitido, que permitiu formar uma base de conhecimento sólida, sobre a qual o presente manual foi construído. Seus nomes e suas obras constam das Referências Bibliográficas ao final deste livro.

Depois, agradeço ao CMG (RM1) Ronaldo Rômulo Rocha Lages como grande impulsionador do processo, pois, sem sua persistência não teríamos chegado ao final da tarefa.

Agradeço, também, ao CMG (Ref) Hamilton O'Dwyer que, com paciência e precisão, revisou o texto e os conceitos, dando-lhe agilidade e concisão.

Por fim, devo fazer um agradecimento especial, ao Engenheiro Paulo Maurício Barros de Abreu Rego que, como autor do Manual de Sinalização Náutica do CAMR, ultrapassou os limites do trabalho profissional, encampando-o como se fosse um projeto próprio e colocou todo o seu esforço, pertinácia, abnegação e iniciativa, para que ele ficasse pronto.

Deixo claro, porém, ao leitor, que não acredito que o trabalho tenha acabado; acho que, na verdade, o Manual, ao ser lançado cria vida própria e passa a conviver com todos aqueles que têm interesse na Sinalização Náutica e que, individualmente, podem passar a atualizá-lo e corrigi-lo para que esteja sempre enriquecido de exemplos e atualizado.

MIGUEL AUGUSTO BRUM MAGALDI
Capitão-de-Mar-e-Guerra
Diretor

INTRODUÇÃO

Este manual tem o propósito de atender ao projetista de sinalização náutica, definindo e exemplificando os fundamentos e conceitos que envolvem o desempenho dos diferentes sinais visuais, em suas configurações mais básicas.

O primeiro capítulo conceitua navegação e auxílios à navegação, estabelecendo o papel da sinalização náutica nesse cenário. O segundo capítulo é um resumo dos sistemas disponíveis para auxílio à navegação, no qual se apresenta o seu desempenho esperado e os processos fundamentais da sinalização náutica que servirão para nortear o entendimento dos capítulos subseqüentes.

Os capítulos 3 e 4 apresentam a conceituação e os cálculos necessários à determinação do alcance visual dos sinais náuticos, tanto à noite quanto durante o dia, considerando todos os casos possíveis.

Nesses dois capítulos o projetista encontrará a descrição das grandezas envolvidas nos cálculos, seus processos de medição e as tolerâncias esperadas para cada uma delas.

De posse dessas informações, será possível estimar o desempenho de um sinal náutico projetado ou existente em face das condições ambientais locais e seus percentuais de ocorrência, estabelecendo parâmetros seguros para a avaliação da visibilidade de uma estrutura, forma ou letreiro qualquer, para visualização diurna, bem como a determinação das características desejáveis dos equipamentos luminosos para um dado alcance.

Para complementar as informações contidas nesses dois capítulos, existem quatro Apêndices, que trazem desenvolvimentos matemáticos, dados estatísticos e métodos auxiliares de cálculo importantes para a aplicação prática dos conceitos desenvolvidos no texto principal.

Os capítulos 5, 6 e 7 encerram o principal propósito deste manual, que compreende a definição dos parâmetros de projeto de sinais sob o ponto de vista de sua utilização pelo navegante. Esses capítulos apresentam, respectivamente, todos os conceitos necessários para o projeto de Sinais de Aterragem, Sinais Costeiros e Sinais para Águas Interiores.

Para aplicação dos conceitos enunciados nos capítulos 3 e 4 aos diferentes casos, os capítulos 5 e 6 apresentam estudos de casos, demonstrando e comentando a validade das fórmulas empregadas.

No capítulo 7, optou-se por não apresentar um estudo de caso em virtude da multiplicidade de variáveis a considerar. No entanto, as diversas configurações possíveis de sinais para águas interiores são apresentadas de forma bastante simples, permitindo ao projetista avaliá-las e escolher aquela que melhor se adapta às suas necessidades.

Algumas unidades de medida empregadas neste manual não seguem o Sistema Internacional (SI). Todavia, as conversões necessárias foram apresentadas e, sempre que possível, deu-se preferência ao SI para notação das unidades empregadas.

As recomendações contidas neste manual têm o propósito de auxiliar no desenvolvimento de projetos de sinalização náutica e, não, de estabelecer regras e regulamentos para sua execução. Neste espírito, o projetista não deverá considerá-lo como um texto definitivo e normativo, mas como um guia, passível de interpretação.

CAPÍTULO 1

A NAVEGAÇÃO E OS AUXÍLIOS À NAVEGAÇÃO

1.1 CONCEITO DE NAVEGAÇÃO

A navegação é normalmente descrita como o processo de direcionar o movimento de um veículo, de modo diligente e seguro, de um ponto a outro.

De modo geral, a navegação pode ser classificada como:

- Navegação Marítima: navegação de um veículo sobre ou sob a superfície da água;
- Navegação Aérea: navegação de um veículo no ar;
- Navegação Terrestre: navegação de veículos sobre terra ou gelo; e
- Navegação Espacial: navegação realizada por um artefato dotado de propulsão, no espaço sideral.

O objetivo deste Manual será tratar de assuntos inerentes à Navegação Marítima e, portanto, adotará como definição de navegação a seguinte:

“Navegação é a Ciência e a Arte de conduzir, com segurança, um navio ou embarcação de um ponto a outro na superfície da Terra.”

A tarefa do navegador de um navio é, à vista deste conceito, a de determinar a posição do navio com freqüência e exatidão suficientes para evitar perigos, permitindo que a viagem transcorra de modo seguro e no menor tempo possível.

Para garantir a segurança da navegação, as embarcações devem atender a regulamentos internacionais e locais, além de contar com ampla gama de Auxílios à Navegação.

1.2 TIPOS DE NAVEGAÇÃO MARÍTIMA

Embora existam várias outras classificações, algumas até mesmo muito sofisticadas, é tradicionalmente reconhecido que a navegação apresenta três tipos principais, ou categorias primárias, de acordo com a distância que se navega da costa ou do perigo mais próximo:

NAVEGAÇÃO OCEÂNICA: é a navegação ao largo, em alto-mar, normalmente praticada a mais de 50 milhas da costa.

NAVEGAÇÃO COSTEIRA: como o próprio nome indica, é a navegação praticada já mais próximo da costa, em distâncias que, normalmente, variam entre 50 e 3 milhas da costa (ou do perigo mais próximo). Pode, também, ser definida como a navegação feita à vista de terra, na qual o navegante utiliza acidentes naturais ou artificiais (pontas, cabos, ilhas, faróis, torres, edificações, etc.) para determinar a posição do navio no mar.

NAVEGAÇÃO EM ÁGUAS RESTRITAS: é a navegação que se pratica em portos ou suas proximidades, em barras, baías, canais, rios, lagos, proximidades de perigos ou quaisquer outras situações em que a manobra do navio é limitada pela estrita configuração da costa ou da topografia submarina. É este, também, o tipo de navegação utilizado quando se navega a distância da costa (ou do perigo mais próximo) menores que 3 milhas. É o tipo de navegação que maior precisão exige.

O tipo de navegação praticado condiciona a precisão requerida para as posições e o intervalo de tempo entre posições determinadas. Embora não haja limites rígidos, os valores apresentados na Figura 1.1 dão uma idéia dos requisitos de precisão e da freqüência mínima de determinação de posições para as três categorias básicas de navegação.

1.3 MÉTODOS DE NAVEGAÇÃO MARÍTIMA

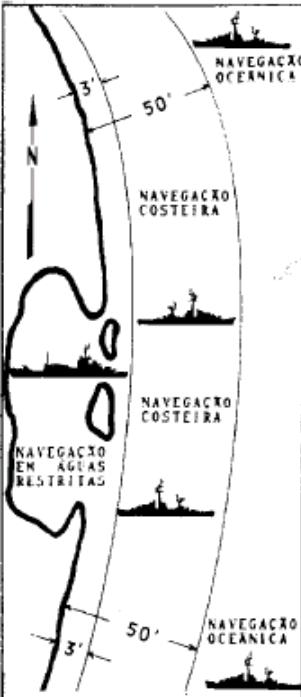
Para conduzir qualquer um dos tipos de navegação, o navegante utiliza-se de um ou mais métodos para determinar a posição do navio e dirigir seus movimentos. Os principais MÉTODOS DE NAVEGAÇÃO são:

NAVEGAÇÃO ASTRONÔMICA: em que o navegante determina sua posição através de observações dos astros.

NAVEGAÇÃO VISUAL: em que o navegante determina sua posição através de observações visuais (marcações, alinhamentos, ângulos horizontais ou verticais, etc.) de pontos de terra corretamente identificados e/ou de auxílios à navegação de posições determinadas (condição essencial: os pontos de apoio e os auxílios à navegação visados devem estar representados na Carta Náutica da região).

NAVEGAÇÃO ELETRÔNICA: em que o navegante determina sua posição através de informações eletrônicas (obtidas de Radar, Radiogoniômetro, Omega, Decca, Loran, Satélite etc.).

NAVEGAÇÃO ESTIMADA: método aproximado de navegação, através do qual o navegante executa a previsão da posição futura do navio (ou embarcação), partindo de uma posição conhecida e obtendo a nova posição utilizando o rumo, a velocidade e o intervalo de tempo entre as posições.



Requisito	Tipo de Navegação		
	Em águas restritas	Navegação costeira	Navegação oceânica
Distância à costa ou ao perigo mais próximo	Menor que 3 milhas	De 3 a 50 milhas	Maior que 50 milhas
Profundidade média	20 metros (e menores)	De 20 a 200 metros	Superior a 200 metros
Precisão requerida para as posições	Máxima (melhor que 0,05 da milha ou 100 jardas)	Da ordem de 0,1 da milha ou 200 jardas	1 a 2 milhas, em média
Freqüência de determinação da posição	Cada 3 minutos, em média	10 a 30 minutos	3 vezes ao dia, no mínimo
Observação: Os valores típicos apresentados poderão variar de acordo com cada situação. As Organizações Internacionais que tratam da segurança da navegação, tal como a IMO (Organização Marítima Internacional) e a IALA (Organização Internacional de Sinalização Náutica) recomendam, por exemplo, que os sistemas eletrônicos de posicionamento para navegação de aproximação de portos e em águas restritas tenham uma precisão da ordem de 8 a 20 metros (95% de probabilidade).			

Figura 1.1 – Tipos de Navegação e Seus Requisitos típicos de Precisão

1.4 AUXÍLIOS À NAVEGAÇÃO E SINAIS NÁUTICOS

Os dois termos não podem ser considerados sinônimos e suas definições são apresentadas a seguir, de forma condensada, a fim de que se possa compreender a diferença.

AUXÍLIO À NAVEGAÇÃO é o recurso visual, sonoro ou radioelétrico disponível, isoladamente ou como parte de um conjunto, para utilização do navegante, com o propósito de possibilitar o reconhecimento de sua posição em qualquer ponto da superfície da Terra.

Exemplos: radar, navegador GPS, cartas náuticas, roteiros, carta eletrônica, agulha giroscópica ou magnética, incluindo-se também nesta categoria as estruturas notáveis estabelecidas em terra com propósitos variados, como torres, chaminés, etc., que podem ser úteis ao navegante.

SINAL NÁUTICO é o auxílio à navegação externo à embarcação, estabelecido especificamente para transmitir informações ao navegante, de forma a possibilitar-lhe um posicionamento seguro da sua embarcação. O Sinal Náutico destina-se, portanto, a indicar uma posição geográfica e transmitir uma informação específica ao navegante. Pode ser uma estrutura fixa ou flutuante, com formas e cores legalmente definidas¹, dotada ou não de equipamento luminoso, sonoro ou radioelétrico; ou artefatos visuais, estes, por sua vez, com características definidas.

Em resumo, o conceito de auxílio à navegação engloba os dispositivos instalados dentro da embarcação, as estruturas notáveis externas, úteis aos navegantes e os sinais náuticos, ou seja,

¹ Um exemplo disto é o Decreto nº 92.267/86, que aprovou o Sistema de Balizamento, Região “B” da Associação Internacional de Sinalização Marítima (International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities – AISM - IALA) para utilização no balizamento marítimo e das águas interiores do Brasil.

aqueles dispositivos externos à embarcação de emprego específico, como bóias, faróis, faroletes, placas de visibilidade, respondedores-radar, radiofaróis, etc.

É importante ressaltar essa distinção porque, em outros idiomas, ela inexiste. Os termos “sinal náutico” e “sinalização náutica” são de uso consagrado no Brasil para indicar todas as categorias de “auxílios à navegação” (visuais, sonoros ou radioelétricos) externos à embarcação e providos por uma entidade responsável pela sinalização náutica de uma determinada região, área ou porto. Assim sendo, os termos “sinal náutico” ou “sinalização náutica” serão sempre adotados nesse manual, onde aplicável, em substituição a “auxílios à navegação”.

1.5 CATEGORIAS DE UTILIZADORES DA SINALIZAÇÃO NÁUTICA

É importante identificar o tipo de utilizador e atender às necessidades das várias categorias que utilizam a sinalização náutica em determinada região. Há várias classificações possíveis e, neste Manual, adotaremos aquela que se segue e que está de acordo com a IALA².

Há muitos tipos de utilizadores de sinas náuticos, desde os Super Cargueiros (Very Large Carriers - VLC) até as pequenas embarcações, como os veleiros, por exemplo. Entretanto, os utilizadores podem ser agrupados em quatro categorias principais: *comercial, pesca, recreio e especializado*.

COMERCIAL: o utilizador comercial está envolvido no transporte de carga e passageiros, normalmente ao longo de rotas bem-definidas e reconhecidas. O tamanho da embarcação nesta categoria varia grandemente, bem como os tipos e o padrão dos auxílios à navegação instalados a bordo. Eles necessitam de auxílios à navegação que garantam uma viagem segura e expedita de porto a porto. Seus requisitos por exatidão³ também são variados, dependendo das restrições de manobra experimentadas, que podem ser tanto naturais, como profundidades reduzidas em relação ao calado da embarcação, quanto artificiais, como um esquema de separação de tráfego.

PESCA: os requisitos dos pescadores, embora de certo modo sejam os mesmos que os da categoria comercial, diferem no fato de que os barcos de pesca normalmente são pequenos e, assim, sofrem menos restrições à passagem. No entanto, requerem um alto nível de exatidão repetível⁴ para localizar sítios de pesca e evitar obstruções que possam danificar seu equipamento de pesca.

RECREIO: as embarcações de recreio são, geralmente, bem menos equipadas com instrumentos de bordo e, consequentemente, mais dependentes dos auxílios tradicionais à navegação.

ESPECIALIZADO: os utilizadores desta categoria são os navios de guerra, hidrográficos e de sinalização náutica, além dos barcos engajados em dragagem, deposição de cabos submarinos, pesquisa e na indústria de exploração offshore. Esses utilizadores necessitam de um alto nível de exatidão mesmo que, em muitos casos, as embarcações envolvidas sejam pequenas e não sofram restrições apreciáveis à sua navegação.

² Uma classificação alternativa, mas facilmente comparável com a apresentada aqui, pode ser encontrada no Art. 3º, Cap. 2, do Decreto nº 2596, de 18/MAI/1998, que regulamentou a Lei nº 9537/97, Lei de Segurança do Tráfego Aquaviário (LESTA).

³ Neste manual, emprega-se o termo *exatidão* como sinônimo de *acurácia*, ou seja, o grau de aproximação de uma medição ao seu valor real, resultante da combinação da *precisão* (que é um dado instrumental e inerente ao processo empregado) com a *interpretação humana dos resultados*. Para aprofundar esses conhecimentos, sugerimos um estudo do Apêndice ao Capítulo 4 – “Erros da Posição Observada”, do livro “Navegação: A Ciência e a Arte” – Volume I, Miguens, A. P., DHN, 1996.

⁴ Refere-se à capacidade de retornar a um ponto de coordenadas conhecidas, após haver-se determinado a própria posição, naquele ponto.

CAPÍTULO 2

A NECESSIDADE DA SINALIZAÇÃO NÁUTICA

A Organização Marítima Internacional (IMO) estabeleceu recomendações na Convenção para a Salvaguarda da Vida Humana no Mar (SOLAS), que detalham os equipamentos de navegação que os navios de diferentes tamanhos devem carregar.

A SOLAS também requer que os navios possuam cartas náuticas atualizadas e outros documentos náuticos. Esses regulamentos, nos termos da própria Convenção, não restringem as Autoridades de Sinalização Náutica no estabelecimento de sistemas de auxílios à navegação que atendam a requisitos específicos, em determinadas áreas. Em outras palavras, essa “não restrição” pode ser compreendida como o reconhecimento pela IMO do papel preponderante dos sinais náuticos na segurança da navegação, informando aos países signatários da Convenção SOLAS que eles não devem se considerar desobrigados de prover sinalização náutica com base na premissa de que os auxílios à navegação obrigatórios, a bordo das embarcações, são suficientes para uma passagem segura.

A Sinalização Náutica não é uma atividade que seja objeto de regulamentos internacionais, como outras atividades envolvendo a navegação marítima; porém, a expansão do tráfego marítimo internacional motivou a criação, em 1957, de uma Associação Internacional de Sinalização Náutica – a IALA, que rapidamente expandiu seu quadro de países membros, congregando os maiores especialistas no assunto em seu quadro técnico. Esse pessoal pioneiro lançou-se ao estudo de todos os aspectos envolvidos nessa atividade. Essa Associação pioneira, décadas antes da popularização do conceito de Organização Não-governamental como hoje conhecemos, vem sendo muito bem sucedida em fazer valer sua opinião nos assuntos de sua alcada, no cenário internacional, sendo, atualmente, admitida como organização consultora da própria IMO.

Apesar de não terem inicialmente força de lei, suas Recomendações, Convenções e Sistemas de Balizamento têm sido adotados e, quando é o caso, mesmo convertidos em leis e normas pelos países membros. O exemplo mais notório desse fato é o Sistema de Balizamento Marítimo que integrou as dezenas de esquemas empregados pelos diversos países costeiros do planeta em dois grandes Sistemas⁵.

Hoje em dia, a IALA expandiu tanto seus horizontes que a sinalização náutica convencional é apenas um dos assuntos que a Associação estuda regularmente.

2.1 CONJUNTO DE SISTEMAS DISPONÍVEIS PARA AUXÍLIO À NAVEGAÇÃO

O conjunto de sistemas listado a seguir destina-se a apoiar os diversos tipos de navegação marítima, relacionados no Capítulo 1. É um conjunto genérico que compreende a totalidade dos auxílios à disposição do navegante, seja através de recursos totalmente contidos a bordo, seja através da total dependência de um sistema externo complexo. Os sistemas que podem ser providos por uma Autoridade de Sinalização Náutica estão sublinhados.

⁵ Os Sistemas de Balizamento Marítimo da Iala estão descritos na NORMAM-17/DHN.

- *Determinação de posição astronômica*
- *Sistemas de radionavegação (Sinais Náuticos Radioelétricos)*
- *Auxílios radar à navegação (Sinais Náuticos Radioelétricos)*
- *Auxílios visuais à navegação (Sinais Náuticos Visuais)*
- *Auxílios sonoros à navegação (Sinais Náuticos Sonoros)*
- *Praticagem*
- *VTS – Sistema de Controle de Tráfego Marítimo*
- *Cartas e outros documentos náuticos*

Dependendo do equipamento instalado a bordo, das condições de tempo e do que é oferecido pelos países costeiros, o navegante utilizará um ou mais sistemas dentre os mencionados acima, para a sua segurança no mar. Qual sistema ele escolherá dependerá das circunstâncias individuais. É bastante provável que um navegante venha a utilizar auxílios visuais e/ou auxílios radar quando está próximo à costa. Se, entretanto, a visibilidade estiver reduzida ele, provavelmente, preferirá auxílios radar, com a possibilidade de buscar a confirmação de sua posição através de um sistema de radionavegação.

O VTS é um sistema complexo de controle de tráfego marítimo que integra operações de praticagem, controle de movimentação de embarcações pelo radar e por meio de transmissores automáticos instalados a bordo para identificação dos navios, tudo gerenciado por uma central similar à torre de controle de um grande aeroporto. A sinalização náutica convencional, visual ou radioelétrica costuma ser parte integrante de um VTS.

2.2 DIVISÃO DOS SINAIS NÁUTICOS CONFORME SUAS FUNÇÕES BÁSICAS

Os sinais náuticos podem ser visuais, sonoros e radioelétricos. Os sinais sonoros não são utilizados no Brasil e a categoria dos sinais radioelétricos compreende várias subdivisões, como a dos auxílios de radar e a de radionavegação por satélite.

2.3 FUNÇÕES DOS SINAIS NÁUTICOS VISUAIS E DE RADAR

As funções dos sinais visuais e de radar podem ser divididas em quatro categorias e esses sinais, normalmente, desempenham mais de uma das funções mencionadas:

- *Determinação de posição*
- *Aviso de perigo*
- *Confirmação*
- *Indicação de esquemas de tráfego.*

Em relação à última categoria, os esquemas de tráfego são descritos na IMO ROUTEING SYSTEM PUBLICATION (Publicação sobre Sistemas de Tráfego da OMI) e nas leis nacionais ou locais, bem como em seus regimentos e requisitos. Esses esquemas têm como objetivo principal a segurança da navegação e a prevenção de poluição. Os exemplos são: Esquemas de Separação de Tráfego, Rotas em Águas Profundas e Rotas para navios transportando cargas perigosas.

2.4 FUNÇÕES DOS SINAIS NÁUTICOS RADIOELÉTRICOS

Os sinais náuticos radioelétricos, também denominados *auxílios-rádio*, têm apenas duas funções:

- *Determinação de posição*
- *Confirmação*

A confirmação pode ser:

- *A capacidade do auxílio-rádio permitir ao navegante seguir um sistema de coordenadas relativas; ou seja, o navegante utiliza o auxílio para confirmar sua derrota. Um sistema assim é, principalmente, baseado nas distâncias e marcações obtidas a partir do navio, em relação a perigos, pontos de guinada, etc.*
- *A capacidade do auxílio-rádio confirmar uma posição que foi obtida através de outro sistema.*

2.5 PRECISÃO DOS DIVERSOS TIPOS DE SINAIS NÁUTICOS

Na tabela a seguir, encontra-se um resumo das precisões possíveis de se obter em diversas fases de uma navegação, considerando-se também os diversos tipos de sinais náuticos disponíveis. Supõe-se que as marcações visuais e de radar têm uma precisão de 0,5 grau e as marcações rádio, de 2 graus. A precisão de 0,5° é baseada em condições excelentes de radar.

Distância da costa em milhas náuticas	Precisão possível		
	> 500 m	100 a 500 m	< 100 m
Ilimitada	Posição Astronômica		GPS ou Glonass
150 a 180	Posição Astronômica	Loran-C	GPS ou Glonass
30 a 150	Posição Astronômica Radiofaróis		GPS ou Glonass Loran-C Sistemas de Precisão
6 a 30	Posição Astronômica Radiofaróis Marcações Visuais Marcações por Rádio	Marcações por Radar	GPS ou Glonass Loran-C Sistemas de Precisão
Menor ou igual a 6		Radiofaróis Marcações Visuais Marcações por Rádio	GPS ou Glonass Loran-C Sistemas de Precisão

Observa-se que a precisão inferior a 100 metros somente pode ser obtida com GPS ou outros sistemas de radionavegação de precisão. O GLONASS, que é o equivalente russo do GPS americano não apresenta um bom histórico de confiabilidade devido a problemas de manutenção e o Loran-C não está disponível no Brasil. Assim sendo, para precisão inferior a 100 metros, não se dispõe de sistema autônomo em nosso país, dependendo-se exclusivamente do GPS.

Na prática, os valores exibidos na tabela são muito conservadores. Depois da retirada da distorção proposital na posição, que outrora era inserida pelo governo americano, pode-se contar, hoje em dia, com precisão da ordem de 20 metros no GPS, em 95% dos casos. O Brasil possui estações de correção diferencial para o GPS (Estações de Referência DGPS) que melhoraram essa precisão posicional para algo em torno de 10 metros.

O gráfico a seguir representa o acompanhamento dos erros de posição propositais, inseridos no Sistema de Posicionamento Padrão (SPS), de uso civil, tanto na horizontal (linha azul) quanto na vertical (linha encarnada). Está registrado o momento exato da retirada da distorção proposital, cuja sigla em inglês é *SA*. Observa-se o dramático aumento de precisão que, inclusive, em termos instantâneos, é bastante melhor que os 20 metros que o sistema garante. Esse diagrama foi gerado por uma das Estações de Controle do GPS, nos EUA e divulgado pela U.S. Coast Guard.



SA Transition -- 2 May 2000

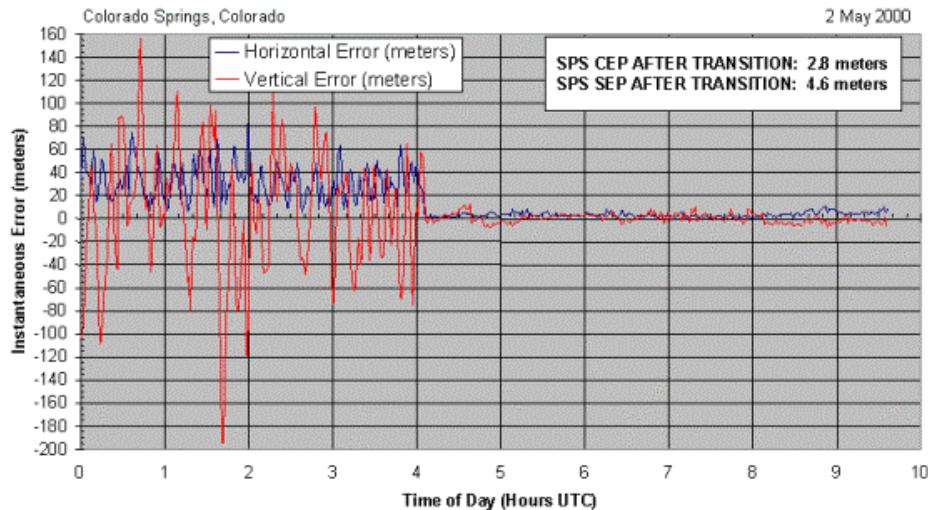


Figura 2.1 – Melhoria da Precisão Horizontal e Vertical do Serviço Padrão de Posicionamento do GPS com a retirada da Disponibilidade Seletiva pelo Governo dos EUA

2.6 PRECISÃO X CARTAS NÁUTICAS

Os valores de precisão possíveis de se obter devem sempre ser considerados em conjunto com as cartas náuticas.

Nas distâncias iguais ou maiores que 500 milhas náuticas, as cartas, geralmente, têm escalas da ordem de 1:1.000.000 ou menores. Por isso, a precisão de uma linha de posição jamais será melhor do que 500 metros, na hipótese de que a largura da linha seja de 0,5 milímetros. Em geral, a escala aumenta para a representação de áreas menores. Nas áreas costeiras, a escala varia de 1:100.000 a 1:20.000, com precisão variável entre 50 e 10 metros. Nos planos que representam áreas portuárias, costuma-se usar escalas ainda maiores.

2.7 BASES PARA A ESCOLHA DA SINALIZAÇÃO NÁUTICA

A escolha da sinalização náutica mais adequada para uma determinada situação deve ser avaliada levando-se em conta duas perspectivas complementares:

- *Do ponto de vista do utilizador, devem ser determinados e informados os índices de desempenho das funções dos sinais, para cada segmento de uma rota.*
- *Do ponto de vista do provedor, deve ser determinada a contribuição de cada sinal ou configuração de auxílios-rádio para as funções do conjunto.*

Os vários tipos de sinais náuticos possuem vantagens e desvantagens, tanto para o utilizador quanto para o provedor, as quais estão indicadas na tabela seguinte.

Tipo de Auxílio à Navegação	Utilizadores		Provedores	
	Vantagens	Desvantagens	Vantagens	Desvantagens
Sinalização Náutica Visual	<ul style="list-style-type: none"> - Pode ser usado para posicionamento - Fornece informação imediata - Pode ser usado sem auxílio de carta, se o utilizador conhece bem o local 	<ul style="list-style-type: none"> - O alcance depende do local, altura, cor e cenário de fundo. - É limitado pela visibilidade - A posição do sinal nem sempre é suficientemente exata 	<ul style="list-style-type: none"> - Serve como aviso de perigo, regulamentação de tráfego, orientação ao navegante, etc. - É de instalação flexível. - Sua manutenção requer pouco treinamento. 	<ul style="list-style-type: none"> - O custo de manutenção é elevado. - O planejamento da manutenção depende de condições climáticas. - É necessário um sistema logístico. - O pessoal de manutenção requer algum treinamento.
Auxílios de Radar	<ul style="list-style-type: none"> - A identificação com auxílio de racon é possível em condições de baixa visibilidade. - O racon permite identificação de linha costeira inconsípua. - Somente um auxílio é necessário. - A instalação é rápida. 	<ul style="list-style-type: none"> - É necessário equipamento de recepção a bordo. - O racon pode causar interferências. - O sinal equipado com refletor-radar pode ser de difícil identificação, caso não esteja disposto numa configuração adequada. 	<ul style="list-style-type: none"> - Pode substituir sinais visuais. - Serve como sinal de aviso de perigo (Novos Perigos) 	<ul style="list-style-type: none"> - O refletor-radar é um item necessário. - Algumas embarcações não possuem radar. - O investimento em racon é elevado. - Há necessidade de treinamento para manutenção de racon.
Auxílios-Rádio	<ul style="list-style-type: none"> - Cobertura em larga escala. - Disponível em qualquer condição climática. - Navegação automática. - É possível uma precisão elevada. 	<ul style="list-style-type: none"> - É necessária a instalação de equipamentos a bordo. 	<ul style="list-style-type: none"> - Alta confiabilidade, com reduzida necessidade de manutenção. - Monitoramento automático. - Possibilita a redução dos sinais visuais. 	<ul style="list-style-type: none"> - Pode não estar sob controle da Autoridade de Sinalização Náutica. - É necessário o monitoramento. - É necessário treinamento para manutenção. - O investimento é elevado.

2.8 PROCESSOS FUNDAMENTAIS DA SINALIZAÇÃO NÁUTICA

Todos os processos fundamentais sobre os quais se desenvolve a sinalização náutica devem atender às necessidades de transmissão de informações ao utilizador, conforme foi visto em 2.3 e 2.4. O processo de transmissão das informações ocorre na seguinte ordem:

- *Emissão da informação.*
- *Propagação da informação emitida.*
- *Recepção da informação.*
- *Interpretação da informação recebida.*

As fases do processo de transmissão, discriminadas acima, serão discutidas em detalhe nos dois capítulos seguintes, com respeito à **transmissão de informações visuais**, mas os princípios podem ser adaptados, por exemplo, às transmissões em radiofrequência.

CAPÍTULO 3

SINALIZAÇÃO NÁUTICA LUMINOSA NOTURNA E DIURNA

Este capítulo dá início à discussão das informações técnicas envolvidas nos projetos de sinalização náutica visual, objeto do presente manual. Os conceitos serão apresentados segundo a seqüência que descreve a transmissão de informações, definida em 2.8:

- *Emissão da informação.*
- *Propagação da informação emitida.*
- *Recepção da informação.*
- *Interpretação da informação recebida.*

3.1 EMISSÃO

A palavra *emissão* implica no emprego de alguma forma de energia que seja originária de uma fonte e que possa se propagar através de um meio qualquer. Em sinalização náutica emprega-se, principalmente, energia eletromagnética, ou, mais especificamente, luz e ondas de rádio, sendo que o meio de propagação por excelência será sempre a atmosfera.

A emissão é o único fator do processo sobre o qual se pode ter controle total. É a origem da informação a ser transmitida e é governada por dois fatores principais:

- *Potência ou intensidade*
- *Formato ou codificação da informação.*

A potência ou intensidade da fonte emissora será o parâmetro físico, que sempre poderá ser tratado por meio de cálculos na busca dos resultados desejados. O formato ou codificação, por sua vez, geralmente será objeto de uma norma ou convenção.

O formato ou codificação corresponde à parte que cabe ao provedor do serviço no cumprimento do propósito da sinalização, ou seja, é o fator que governará a escolha dos parâmetros físicos, como, no caso, a intensidade ou potência da fonte emissora.

Na prática, entretanto, o provedor do serviço estará sujeito às limitações tecnológicas inerentes às fontes emissoras, resultando que as normas ou convenções sempre terão que se adaptar à tecnologia disponível e, consequentemente, deverão estar sujeitas a revisões periódicas.

3.2 INTENSIDADE DA FONTE EMISSORA

Neste capítulo, serão tratadas somente as fontes luminosas e, para tanto, definiremos a seguir as grandezas aplicáveis ao conceito de intensidade da fonte luminosa.

FLUXO LUMINOSO (ϕ)

É a grandeza que expressa a capacidade de uma emissão radiante de luz produzir sensação luminosa, avaliada de acordo com valores de *eficiência luminosa espectral*. A unidade de fluxo luminoso é o *lúmen* (lm). As fontes de luz comerciais (lâmpadas elétricas) geralmente são

especificadas em termos do seu *fluxo luminoso total*, medido em lumens, para caracterizar sua capacidade de emissão de luz.

EFICIENCIA LUMINOSA ESPECTRAL

É a razão entre os fluxos luminosos emitidos por fontes de luz monocromáticas, de comprimentos de ondas distintos (cores distintas), capazes de produzir a mesma sensação luminosa. É uma grandeza comparativa, cujo valor máximo é 1. No caso de lâmpadas incandescentes, esse valor é atribuído à luz branca.

Modernamente, outras fontes luminosas como os *diodos emissores de luz* (LED) têm sido empregadas em sinalização náutica. Essas fontes apresentam eficiência luminosa espectral diferente daquela das lâmpadas incandescentes, ou seja, algumas cores apresentam maior sensação luminosa que a luz branca.

INTENSIDADE LUMINOSA (I)

É a grandeza que expressa a potência de uma fonte de luz, definida como a razão entre o *fluxo luminoso* que emana da fonte e um elemento de ângulo sólido (Ω). A unidade de energia luminosa fundamental é a *candela*, cuja abreviatura é *cd*. Em outras palavras, intensidade é o fluxo de radiação em uma direção específica. Em geral, é função da direção, localização, tempo e comprimento de onda (como se depreende da definição de *eficiência luminosa espectral*, acima).

Aproveitando a definição acima, pode-se obter a intensidade luminosa total emitida por uma fonte luminosa, dividindo-se seu fluxo luminoso total pelo valor do ângulo sólido correspondente à esfera completa, que é igual a 4π , o que é muito útil, por exemplo, para obter a intensidade luminosa emitida por uma lâmpada. Assim, ter-se-á:

$$I = \phi/4\pi$$

Em termos numéricos, uma determinada lâmpada que apresenta fluxo $\phi = 5000 \text{ lm}$ emitirá luz com uma intensidade luminosa $= 5000/ 4\pi = 397,9 \text{ cd}$. Esses dados correspondem a uma lâmpada halógena de 120V/250W, conforme pode-se constatar da tabela abaixo, extraída do catálogo on-line da General Electric.

Subcategory	Quartzline® Halogen
Volts	120
Watts	250
Average Life in Hours	2000
Lumens	5000
Color Temperature (K)	2950

3.3 CONDIÇÕES DE PROPAGAÇÃO

A *propagação* é uma parte do processo que está totalmente fora do controle do provedor do serviço. Entretanto, para garantir que o utilizador possa receber a informação transmitida, é necessário considerar o modo como as condições de propagação afetam a energia que sai da fonte emissora.

Basicamente, esse efeito se dá de duas maneiras:

- *Atenuação por dispersão*
- *Atenuação por absorção*

ATENUAÇÃO POR DISPERSÃO: este efeito é inerente ao processo de propagação e é causado pelo “espalhamento” da energia emitida no meio circundante. Este efeito aumentará na razão direta da distância percorrida entre a fonte emissora e o utilizador.

A ilustração abaixo pretende fornecer uma noção qualitativa desse efeito. Imagine-se que a fonte luminosa *A* emite vários raios luminosos discretos, atingindo o olho do observador em *B*. A representação geométrica demonstra o fato real de que a intensidade da luz, percebida pelo observador será proporcional à quantidade de raios que o olho recebe. Assim sendo, o mesmo observador situado em *C* receberá uma quantidade menor de raios, porque esses raios são em número finito e estão se dispersando. O resultado será que, à medida que se afasta de *B* para *C*, o observador perceberá a fonte luminosa *A* cada vez mais fraca.

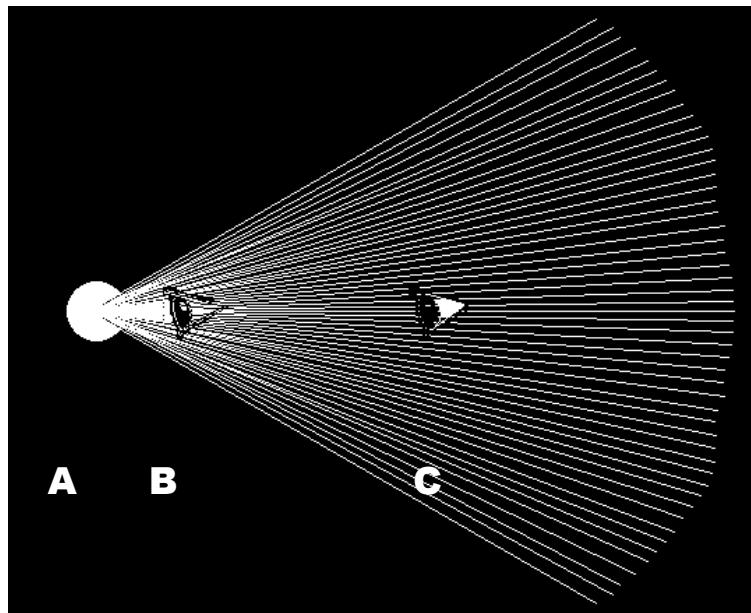


Figura 3.1 – Atenuação de uma Fonte Luminosa por Dispersão.

Pode-se provar matematicamente (o que não será feito aqui) que a intensidade luminosa que atinge o olho do observador será *inversamente proporcional ao quadrado da distância* entre o observador e a fonte luminosa. A ilustração a seguir demonstra isso, acompanhada de um gráfico da variação da intensidade luminosa com a distância. O símbolo “I” representa a intensidade luminosa da fonte e “E” a intensidade luminosa que chega aos olhos do observador. Mais adiante, essas grandezas serão melhor explicadas.

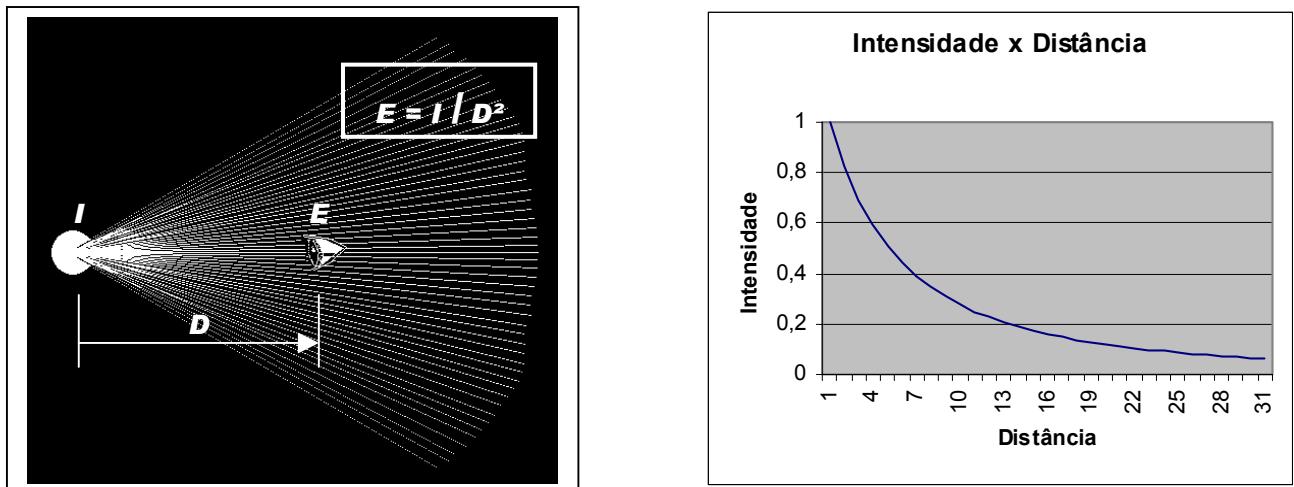


Figura 3.2 – Fórmula e gráfico representativo da Atenuação por Dispersão
(o gráfico foi ajustado para melhorar a visualização. A curva real é muito mais abrupta)

ATENUAÇÃO POR ABSORÇÃO: este efeito também é inerente ao processo, mas é dependente do meio que a emissão atravessa ao se propagar. Na figura 3.2 acima, considere-se a distância D como unitária (1 metro, 1 quilômetro ou 1 milha náutica, por exemplo).

A absorção que os raios luminosos experimentarão será fruto de fenômenos como absorção propriamente dita, reflexão e refração desses raios nas partículas em suspensão na atmosfera, tais como poeira e vapor d'água

Então, o resultado prático será que a intensidade luminosa que atingirá o olho do observador será menor do que se não ocorresse o fenômeno da *absorção*. A figura seguinte demonstra este fato.

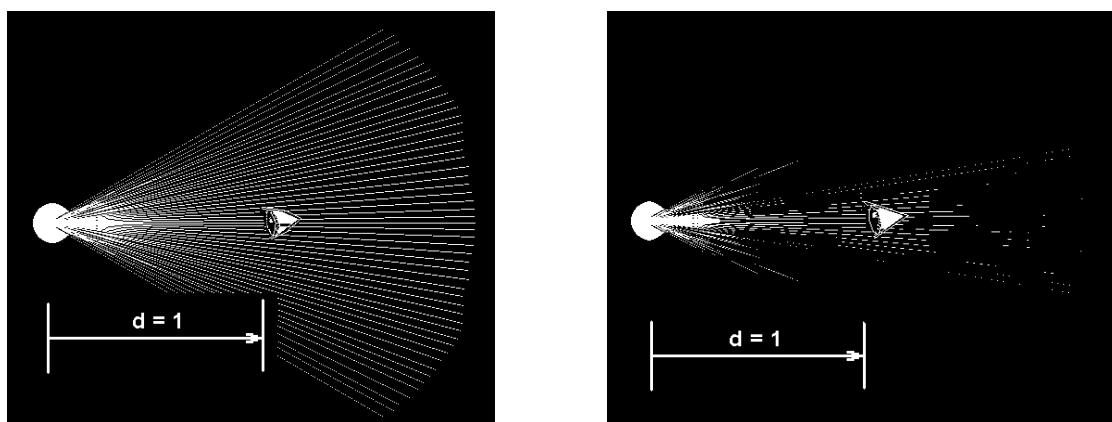


Figura 3.3 – Efeito da Absorção do Meio

MEIO HOMOGÊNEO: para tornar possível o cálculo da intensidade com que a energia da fonte emissora chega ao observador, é preciso que o fenômeno de absorção provocado pelo meio seja tratado como um “efeito acumulativo”, com base na suposição de que o meio é homogêneo, ou seja, que a taxa de absorção observada será uniforme em qualquer direção.

ABSORÇÃO POR UNIDADE DE DISTÂNCIA: Embora a hipótese do meio homogêneo não corresponda à realidade, a prática tem revelado que ela é uma aproximação aceitável. Assim sendo, com base nesta suposição, pode-se definir uma absorção padrão ou média por unidade de distância.

Então, na figura 3.3, à direita, diga-se que o efeito prático da absorção produzida pela atmosfera existente entre a fonte e o observador seja tal que 15% dos raios luminosos deixem de atingir o olho do observador.

Isto equivale a dizer que chega ao observador apenas 85% da intensidade luminosa que o atingiria caso a fonte não sofresse absorção e somente fosse atenuada em função da *dispersão*.

Nesse caso, a fórmula da figura 3.2 à esquerda, seria:

$$E = (0,85 \times I) / D^2$$

O fator 0,85 leva em conta a redução observada na distância $D = 1$, da figura 3.3. Nesse caso, a fórmula de 3.2 pode ser ainda mais simplificada:

$$E = (0,85 \times I) / (1)^2 = 0,85 \times I$$

3.4 CONCEITO DE TRANSPARÊNCIA ATMOSFÉRICA E A LEI DE ALLARD

A fórmula simplificada mostra que a atmosfera (na distância unitária considerada), deixou passar somente 85% da intensidade (I) da fonte para o observador (E). Então, pode-se dizer que a transparência da atmosfera (no trecho considerado) é de 85% ou $T = 0,85$. Agora, o que aconteceria se a distância aumentasse, por exemplo, para o dobro ($D = 2$)?

Lembre-se que se considerou *homogênea* a atmosfera (e, consequentemente, sua capacidade de absorção). Assim sendo, no exemplo numérico acima, os raios luminosos que atravessam a distância unitária D , emergem da mesma com apenas 85% de sua intensidade original.

Pode-se dividir a distância $D = 2$ em dois trechos unitários e, também, supor, acertadamente, que a luz que emerge do primeiro trecho, ao atravessar o segundo trecho unitário, *sofrerá nova absorção, emergindo com 85% da intensidade que apresentava ao final do primeiro trecho*, ou seja:

$$I_2 = 0,85 \times I_1 = 0,85 \times 0,85 \times I = 0,85^2 \times I$$

O fator $0,85^2$ representa a característica acumulativa da absorção. É fácil perceber que, para distâncias maiores, o valor do expoente será sempre igual à distância D . Montando a equação literal completa, com o valor numérico 0,85 substituído por “ T ” (transparência), ter-se-á o que se denomina a *Lei de Allard*.

$$E = I \cdot T^D / D^2$$

3.5 CONDIÇÕES DE RECEPÇÃO - ILUMINAMENTO

Como está representado na figura 3.2, a variável E é a grandeza que representa a quantidade de energia que chega ao olho do observador. Ela recebe o nome de Iluminamento⁶. Considerando as unidades envolvidas na Lei de Allard: $E = I \cdot T^D / D^2$, ter-se-á para E a unidade de medida cd/m^2 (candelas por metro quadrado), também denominada *lux* (consideramos D em metros e T^D como adimensional).

3.6 LIMIAR DE PERCEPÇÃO E ILUMINAMENTO MÍNIMO

Um dos fatores fundamentais para a sinalização náutica é a distância máxima na qual a informação ainda será útil para o observador. No caso da informação transmitida pela via luminosa, essa distância máxima ou *alcance*, será função da sensibilidade visual ou *limiar de percepção* do olho humano, grandeza que também pode ser definida como o *iluminamento mínimo* que produzirá sensação visual no olho do observador.

Então, em princípio, podem ser considerados sinônimos os termos: *sensibilidade visual*, *limiar de percepção* e *iluminamento mínimo*. Mais adiante, no item 3.9, será estabelecida uma separação entre essas duas definições, considerando:

Iluminamento Mínimo: o menor limiar de percepção possível.

Limiar de Percepção: valor superior ao do Iluminamento Mínimo que limita a percepção visual de uma luz, em presença de variados cenários de fundo.

3.7 ILUMINAMENTO MÍNIMO DIURNO E NOTURNO

A determinação do iluminamento mínimo foi realizada de forma empírica, através de experimentos controlados com vários observadores jovens, com visão normal. O valor mínimo de iluminamento que produzia sensação visual noturna, determinado pelos experimentos foi $E = 0,2 \times 10^{-6} \text{ cd/m}^2$ e sua adoção é recomendada pela Associação Internacional de Sinalização Marítima - IALA⁷ - da qual o Brasil é membro.

ATENÇÃO: Para observações diurnas, a IALA⁸ recomenda o valor: $E = 0,242 \times 10^{-6} \text{ cd/m}^2$

No mar, entretanto, a medida de distância empregada não é o metro, mas a *milha náutica* (1 MN = 1852 metros). Então, ajustando as unidades do iluminamento mínimo para a nova medida de distância, teremos:

$$E = 0,2 \times 10^{-6} \times 1852^2 = 0,6859808 = \mathbf{0,686 \text{ cd/MN}^2}$$

Aplicando o mesmo conceito para o iluminamento mínimo diurno acima, ter-se-á:

$$E = 0,242 \times 10^{-6} \times 1852^2 = 0,6859808 = \mathbf{0,830 \text{ cd/MN}^2}$$

⁶ Em publicações de língua inglesa, esta grandeza se chama *Illuminance*, traduzida por semelhança para o português como *Iluminância*. Adotou-se o termo “iluminamento” neste manual para não confundir com *Luminância*, outra grandeza, descrita no item 3.9 deste manual.

⁷ Recommendation for the notation of luminous intensity and range of lights - Nov/1966.

⁸ Recommendation for a definition of the Nominal Daytime Range of Maritime Signal Lights intended for the guidance of shipping by day – Abr/1974.

3.8 VALORES ALTERNATIVOS DE ILUMINAMENTO MÍNIMO NOTURNO

É comum os manuais de fabricantes de lanternas de sinalização náutica apresentarem o valor do iluminamento mínimo para observações noturnas como: $E = 0,67 \text{ cd/MN}^2$, equivalente a $0,195 \times 10^{-6} \text{ cd/m}^2$.

Para efeito de determinação do desempenho de uma luz, considerar um limiar menor equivale a supervalorizar a eficiência do equipamento, porque se estará trabalhando com uma sensibilidade do olho do observador maior do que o normal, ou seja: ela será tanto maior quanto menor for o valor de E.

Na prática, a diferença é desprezível para alcances luminosos de até 10 MN, mas aumenta apreciavelmente à medida que cresce o alcance luminoso.

Pode-se considerar, para efeito de estimativa de alcance, as tabelas de alcances x intensidades luminosas dos fabricantes construídas com $E = 0,67$. Todavia, em um cálculo preciso, recomenda-se usar o valor 0,686 como padrão, sob pena de superestimar o desempenho do equipamento, com prejuízos para o navegante.

3.9 LUMINÂNCIA DE FUNDO

O limiar de percepção do observador foi determinado para condições de escuridão total circundante, conforme descrito no item 3.7. Em situações reais, nem sempre essas condições são satisfeitas. Os sinais náuticos visuais, na sua maioria, estão localizados próximos aos portos, cidades, etc., cujas luzes interferem na habilidade do observador para distinguir adequadamente um sinal náutico em meio a outras luzes interferentes. Além deste fato, algumas vezes é necessário enxergar a luz durante o dia, de modo que, em ambos os casos (noite e dia) a luminosidade ambiente deverá ser levada em conta.

Para quantificar esse efeito, utiliza-se a grandeza física denominada *luminância*. É empregada principalmente para caracterizar a sensação visual de brilho produzida por *fontes luminosas extensas*, como uma tela de televisão, por exemplo, ou a luz refletida por uma superfície, como a estrutura de um farol. Sua unidade de medida também é *candelas por metro quadrado (cd/m²)* e seu símbolo é “L”⁹.

Em termos de sinalização náutica, a *luminância de fundo* quantifica a sensação visual produzida pelo conjunto de luzes interferentes: o “cenário” onde está localizado um determinado sinal náutico.

A fórmula completa de iluminamento no olho do observador, indicada a seguir, incorpora a luminância de fundo e fornecerá valores de *limiar de percepção* distintos daquele que se observaria em condições de escuridão total ($L = 0$), nas quais “E” assume seu valor mínimo. Por esta razão, estabeleceu-se no item 3.6 a diferença entre iluminamento mínimo e limiar de percepção.

$$E = 0,2 \times 10^{-6} (1 + (0,4 L)^{1/2})^2$$

⁹ Em algumas publicações, a unidade de medida de luminância é *lumens por metro quadrado (lm/m²)*.

3.10 LUMINÂNCIA DE FUNDO PARA LUZES OBSERVADAS À NOITE

Podemos nos valer novamente dos manuais de fabricantes, que apresentam três valores típicos de limiar de percepção, a fim de determinarmos valores de luminância de fundo típicos para observações noturnas. Os valores de E encontrados nesses manuais são os seguintes:

E = 0,67 para ausência total de luzes de fundo (fundo escuro) = iluminamento mínimo.

E = 6,7 para média intensidade de luzes de fundo (uma pequena vila, um cais, etc.)

E = 67 para elevada intensidade de luzes de fundo (um grande porto ou uma cidade).

No item 3.8 discutiu-se a adequabilidade do valor prático E = 0,67 empregado pelos fabricantes de equipamentos de sinalização náutica. Na determinação da luminância de fundo o uso de 0,67 ou 0,686 não fará diferença, pois o que se faz é *elevar o limiar de percepção em 10 ou 100 vezes para quantificar o efeito da luminância de fundo* produzida pelas fontes luminosas circundantes ao sinal náutico.

Podemos estimar o valor dessa luminância de fundo através da fórmula

$$E = 0,2 \times 10^{-6} (1+(0,4 L)^{1/2})^2$$

Se o valor de “E” deve ser multiplicado por 10, por exemplo, isto equivale a fazer o termo $(1+(0,4 L)^{1/2})^2 = 10$ obtendo-se, como resultado, **L = 12 cd/m²** como valor típico de luminância de fundo de uma pequena vila ou cais.

Do mesmo modo, considerar $(1+(0,4 L)^{1/2})^2 = 100$, resultará em **L = 203 cd/m²**, que é a luminância de fundo típica para um grande porto ou cidade.

3.11 LUMINÂNCIA DE FUNDO PARA LUZES OBSERVADAS DE DIA

A IALA padronizou o valor de luminância de fundo **L = 10.000 cd/m²** para determinação do alcance luminoso diurno padrão, a ser declarado em documentos náuticos. Esse padrão foi estabelecido na mesma Recomendação que define o Iluminamento Mínimo¹⁰ para observações diurnas. O cenário de fundo correspondente denomina-se *Nuvem brilhante ou céu claro com o Sol visível*.

Do livro Aids To Marine Navigation¹¹, obtém-se outros valores típicos, listados na tabela a seguir (em destaque, o padrão da IALA), que cobrem praticamente todas as situações mais comuns.

Céu nublado muito escuro de dia	100 cd/m ²
Céu nublado escuro de dia	200 cd/m ²
Céu nublado médio de dia	1.000 cd/m ²
Céu nublado brilhante ou céu claro - direção oposta ao Sol.	5.000 cd/m ²
Nuvem brilhante ou céu claro com o Sol visível.	10.000 cd/m²
Nuvem muito brilhante	20.000 cd/m ²
Nuvem ofuscante	50.000 cd/m ²

¹⁰ Referida na nota de rodapé nº 7, neste Capítulo

¹¹ Aids to Marine Navigation – R. Adm. Drijfhout Van Hoof – Holanda – 1980.

3.12 LIMIAR DE PERCEPÇÃO PARA VÁRIAS LUMINÂNCIAS DE FUNDO

Com base nos valores de luminância de fundo constantes dos itens 3.10 e 3.11, pode-se calcular os valores de Limiar de Percepção a serem empregados na fórmula de Allard, para a maioria dos cenários de fundo encontráveis em situações típicas.

São apresentadas a seguir duas tabelas separadas, levando em conta que o limiar de percepção para observações diurnas é diferente daquele para observações noturnas.

Limiar de Percepção para Observações Noturnas

Cenário de Fundo (observações noturnas) Iluminamento mínimo: $E = 0,2 \times 10^{-6} \text{ cd/m}^2$	Luminância de fundo (L)	Limiar de Percepção (E)	Limiar de Percepção (E)
Escuridão total	0 cd/m ²	$0,2 \times 10^{-6} \text{ cd/m}^2$	$0,686 \text{ cd/MN}^2$
Pequena vila ou cais à noite	12 cd/m ²	$2,0 \times 10^{-6} \text{ cd/m}^2$	$6,860 \text{ cd/MN}^2$
Grande porto ou cidade à noite	203 cd/m ²	$20,0 \times 10^{-6} \text{ cd/m}^2$	$68,598 \text{ cd/MN}^2$

Limiar de Percepção para Observações Diurnas

Cenário de Fundo (observações diurnas) Iluminamento mínimo: $E = 0,242 \times 10^{-6} \text{ cd/m}^2$	Luminância de fundo (L)	Limiar de Percepção (E)	Limiar de Percepção (E)
Céu nublado muito escuro de dia	100 cd/m ²	$13,0 \times 10^{-6} \text{ cd/m}^2$	$44,589 \text{ cd/MN}^2$
Céu nublado escuro de dia	200 cd/m ²	$23,9 \times 10^{-6} \text{ cd/m}^2$	$81,975 \text{ cd/MN}^2$
Céu nublado médio de dia	1.000 cd/m ²	$106,7 \times 10^{-6} \text{ cd/m}^2$	$365,971 \text{ cd/MN}^2$
Céu nublado brilhante ou céu claro - direção oposta ao Sol.	5.000 cd/m ²	$0,5 \times 10^{-3} \text{ cd/m}^2$	$1714,952 \text{ cd/MN}^2$
Nuvem brilhante ou céu claro com o Sol visível.	10.000 cd/m²	$1,0 \times 10^{-3} \text{ cd/m}^2$	$3429,904 \text{ cd/MN}^2$
Nuvem muito brilhante	20.000 cd/m ²	0,002 cd/m ²	$6859,808 \text{ cd/MN}^2$
Nuvem ofuscante	50.000 cd/m ²	0,005 cd/m ²	$17149,520 \text{ cd/MN}^2$

3.13 ALCANCE LUMINOSO E INTENSIDADE LUMINOSA NECESSÁRIA

Como foi dito antes, o valor escolhido para o limiar de percepção será empregado para se determinar o desempenho da luz. Esse desempenho é definido em termos do *alcance da luz* no mar, ou seja, a *máxima distância que ela será vista em determinadas condições de transparência atmosférica e de cenário de fundo*.

Analizando um caso prático: que intensidade luminosa deverá ter uma fonte de luz que alcance 10 milhas náuticas, em condições de total escuridão, com transparência atmosférica $T = 0,85$?

Tem-se:

$$E = I \cdot T^D / D^2$$

O valor desconhecido é “I”, de modo que a solução do problema será:

$$I = E D^2 / T^D = 0,686 \times 100 / 0,85^{10} = 348,5 \text{ cd}$$

Quando o *fluxo luminoso* e a *intensidade luminosa*, foram definidos no item 3.2, empregou-se como exemplo de cálculo uma lâmpada de $\phi = 5000 \text{ lm}$. Seria esta lâmpada visível à distância de 10 milhas náuticas, nas condições acima?

A resposta é afirmativa, considerando-se que a lâmpada possui intensidade luminosa de 397,9 cd (mais do que suficiente, portanto).

3.14 CÁLCULO DO ALCANCE DE UMA LUZ DE DETERMINADA INTENSIDADE LUMINOSA – MÉTODO COMPUTACIONAL

Surge, então, a questão: quanto alcançaria a mais, a lâmpada de 397,9 cd se, para chegar a 10 milhas náuticas, seriam suficientes 348,5 cd?

A formula acima não dá uma solução direta, porque a incógnita é D , uma grandeza que figura também no expoente do termo T . Não há solução analítica que separe a incógnita D de um lado do sinal de igualdade, com todos os termos conhecidos do outro lado da fórmula.

Uma solução possível é o emprego de um *método iterativo*, ou seja, uma solução *por aproximações sucessivas*. O método comumente utilizado para esse caso é denominado *Método de Newton-Raphson*.

No **Apêndice 1** a este Manual, encontra-se o desenvolvimento deste método para os valores numéricos discutidos neste item, ou seja: $I = 397,9$ cd; $T = 0,85$ e $E = 0,686$. A seguir está o valor obtido após duas aproximações sucessivas, com erro absoluto igual a 0,02 MN:

$$D = 10,37 \text{ MN}$$

Veja, no Apêndice 1, a aplicação do método, que é um tanto complexo. Por esta razão, emprega-se o método comparativo descrito a seguir, que é bem mais simples e apresenta resultados satisfatórios, conforme será visto.

3.15 CÁLCULO DO ALCANCE DE UMA LUZ POR MÉTODO COMPARATIVO

No item anterior, apresentou-se a solução matemática para determinação do alcance de uma luz com intensidade luminosa conhecida. No Apêndice 1, a precisão estabelecida para o cálculo foi de 0,1 MN e chegou-se a um resultado com precisão absoluta de 0,02 MN. Outra forma, bem mais simples seria calcular a intensidade luminosa para diversos alcances e determinar qual valor se aproximaria mais da intensidade luminosa da fonte disponível; no caso, as 397,9 cd da lâmpada em questão.

Sabe-se que, para um alcance de 10 MN (nas condições definidas anteriormente) a intensidade luminosa necessária é de 348,5 cd. Para manter a precisão exigida no método computacional, *pode-se calcular a intensidade luminosa em passos de 0,1 MN*. Chegar-se-ia à tabela:

Alcances (MN)	Intensidades (cd)	Alcances (MN)	Intensidades (cd)
10,0	348,5	10,6	431,6
10,1	361,3	10,7	447,0
10,2	374,5	10,8	462,9
10,3	388,1	10,9	479,2
10,4	402,2	11,0	496,0
10,5	416,7	11,1	513,4

Observe os valores em negrito. Eles definem a faixa de alcances possíveis para a intensidade luminosa $I = 397,9$ cd, ou seja, a lâmpada alcançaria algo entre **10,3** e **10,4** MN, o que concorda inteiramente com o valor determinado anteriormente, de 10,37 MN, aproximando-se mais do valor 10,4 MN, o que é coerente, visto que a intensidade luminosa em questão, de 397,9 cd, está mais próxima de 402,2 cd do que de 388,1 cd.

Na prática, o que se apresenta nos documentos náuticos é o alcance aproximado à milha náutica imediatamente inferior. Assim sendo, nas condições consideradas, 348,5 cd é a intensidade suficiente para alcançar 10 MN, mas a publicação náutica indicaria que a luz de 397,9 cd tem o alcance de 10 MN.

Nessa linha de raciocínio, somente seriam declaradas como luzes de 11 MN, por exemplo, aquelas cuja intensidade luminosa igualasse ou excedesse 496 cd (ver as últimas duas células à direita da tabela acima).

Nunca é demais lembrar que todos esses alcances foram determinados para $T = 0,85$. A seguir, será visto como esse valor pode estar distante da realidade, embora seja adotado atualmente como o padrão brasileiro.

3.16 VISIBILIDADE METEOROLÓGICA E TRANSPARÊNCIA ATMOSFÉRICA

Para o navegante, a informação sobre alcance luminoso é fundamental, pois representa sua expectativa de visualização da informação transmitida pelo sinal. Ao mesmo tempo, do ponto de vista do provedor do serviço, representa, principalmente, o compromisso com o navegante. Já foi discutido como o alcance luminoso de uma luz de determinada intensidade luminosa depende da transparência atmosférica. Por esta razão, o verdadeiro valor de T deve ser conhecido. Esta quantidade não pode ser facilmente medida de forma direta, mas sabe-se que ela guarda uma relação matemática com a Visibilidade Meteorológica. Então, é necessário, primeiramente, especificar exatamente o que representa essa nova grandeza.

VISIBILIDADE METEOROLÓGICA:

O termo é definido, por convenção internacional, como “*a maior distância em que um objeto escuro de dimensões razoáveis pode ser visto e reconhecido de dia contra o céu do horizonte, ou, no caso de observações noturnas, poderia ser visto e reconhecido se a iluminação geral fosse aumentada para o nível normal da luz do dia*”. Pode expressar a visibilidade em uma única direção ou a visibilidade predominante em todas as direções. O símbolo é V e a unidade o quilômetro (km) ou a milha náutica (MN). A determinação da visibilidade meteorológica é feita por meio de observações e registros, definidos pela Organização Meteorologia Mundial (OMM). A publicação *Manual do Observador Meteorológico* – DHN – 2^a edição, 2003, apresenta, à página 128, o Código OMM 4377, aqui reproduzido:

VV – Visibilidade Horizontal à Superfície:	Valores Médios de “V”
90 – menos de 50 m.	(0,027 MN).
91 – 50 m a 200 m.	(0,027 a 0,108 MN).
92 – 200 m a 500 m.	(0,108 a 0,270 MN).
93 – 500 m a 1 km.	(0,270 a 0,540 MN).
94 – 1 km a 2 km.	(0,540 a 1,080 MN).
95 – 2 km a 4 km.	(1,080 a 2,160 MN).
96 – 4 km a 10 km.	(2,160 a 5,400 MN).
97 – 10 km a 20 km.	(5,400 a 10,800 MN).
98 – 20 km a 50 km.	(10,800 a 27,000 MN).
99 – 50 km ou mais.	(> 27 MN).

Durante as observações, sempre que ocorrem distâncias extremas, utiliza-se o código maior. Ex: para uma visibilidade = 10 km, usa-se VV = 97.

No Item 4.4, do Capítulo 4, encontra-se o desenvolvimento matemático necessário para se chegar à relação matemática entre Transparência Atmosférica e Visibilidade Meteorológica, que é a seguinte:

$$T = (0,05)^{I/V}$$

Sendo assim, é possível estabelecer uma relação entre os limites de visibilidade meteorológica (em milhas náuticas) da OMM e a transparência atmosférica:

V	T
0,027 MN	$6,5 \times 10^{-49} \approx 0$
0,108 MN	$9,0 \times 10^{-13} \approx 0$
0,270 MN	$1,5 \times 10^{-5}$
0,540 MN	0,004
1,080 MN	0,02
2,160 MN	0,16
5,400 MN	0,45
8,100 MN	0,69
10,000 MN	0,74
18,900 MN	0,85
27,000 MN	0,89

Observe-se que os valores de transparência atmosférica somente se tornam significativos quando a visibilidade atinge cerca de 0,5 milha náutica. O valor em negrito não tem correspondência com o código de visibilidade meteorológica da OMM, mas corresponde ao valor de transparência atmosférica $V = 10$ MN, significativo para a sinalização náutica, conforme será visto adiante, no item 3.18.

Para determinar a transparência atmosférica de um local, uma boa aproximação será obter um histórico de visibilidades meteorológicas da região e determinar a transparência atmosférica mais significativa para aquele local. O Banco Nacional de Dados Oceanográficos (BNDO), da DHN contém as informações necessárias, conforme será visto no item seguinte.

3.17 DETERMINAÇÃO DA TRANSPARÊNCIA ATMOSFÉRICA MÉDIA

Como foi dito em 3.1, *a emissão é o único fator do processo sobre o qual se pode ter controle total*. O provedor do serviço, no entanto, precisa ter uma estimativa realista das condições ambientais para declarar um alcance luminoso ao navegante. Esta estimativa deve levar em conta um valor de transparência atmosférica que prevaleça em dada região (ou na costa brasileira como um todo) em digamos, 80% do tempo. Esse valor “típico” de transparência atmosférica permite o cálculo de um alcance padronizado ou “nominal”, para ser lançado em documentos náuticos.

Em 1978, foi definido como padrão para a costa brasileira a Transparência Atmosférica Média $T = 0,85$, com base em 219 observações realizadas em faróis durante um período de 7 anos, cujo processamento terminou em 1976. Desde então, esse valor tem sido oficialmente adotado para definir o desempenho luminoso, ou seja, o alcance de todos os sinais náuticos instalados no país.

O Banco Nacional de Dados Oceanográficos (BNDO) vem coletando dados de visibilidade meteorológica desde longa data e, com base no conjunto de dados coletados em vinte e duas estações climatológicas, a maioria das quais convenientemente instaladas em faróis, foi elaborado

um estudo estatístico da Transparência Atmosférica Média Nacional. A amostragem, colhida no período de 40 anos, de jan/1956 a dez/1995 foi considerada representativa da realidade nacional, devido ao longo período de observação. O resultado está na tabela da figura seguinte, acompanhada de gráfico correspondente.

Os valores de visibilidade meteorológica média, em milhas náuticas, constantes da segunda coluna da tabela foram usados para calcular a transparência atmosférica média, com base na fórmula $T = (0,05)^{1/V}$. O total de observações e a porcentagem de ocorrência de cada valor médio estão indicados a seguir e foram empregados na construção do gráfico.

Transparência Atmosférica Média Nacional

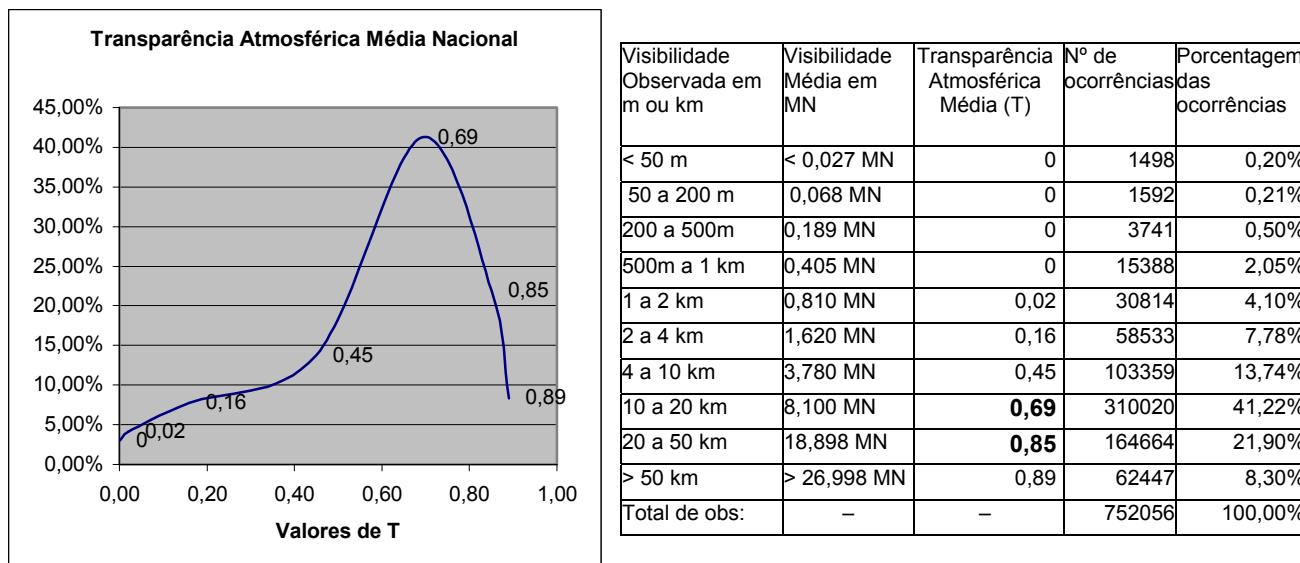


Figura 3.4 – Transparência Atmosférica Média Nacional – Gráfico e Tabela

Chega-se assim à conclusão que o valor médio da transparência atmosférica no país é $T = 0,69$.

Observando a tabela à direita do gráfico, ver-se-á que, em termos nacionais médios, a ocorrência de valores de T maiores ou iguais a 0,69 totaliza 71,42% do tempo (41,22% + 21,90% + 8,30%). Esta seria a porcentagem de tempo em que um sinal náutico projetado para $T = 0,69$ seria visível no limite de alcance, o que equivale a dizer que qualquer sinal projetado com base nesse valor de T não será visível no seu limite de alcance durante 28,58% do tempo, uma vez que a transparência atmosférica será inferior à média. Na mesma linha de raciocínio, se for escolhido $T = 0,85$, o sinal seria visível no limite de alcance estabelecido somente durante 30,2% do tempo.

Justificando essa apreciável diferença entre o padrão adotado e a média calculada, pode-se especular que, em 1976, embora os dados de visibilidade meteorológica já estivessem disponíveis por cerca de 20 anos (datam de 1956), os métodos computacionais não estavam tão avançados a ponto de processar as mais de 750 000 observações disponíveis (ou um pouco menos da metade disso, pois está-se falando de quase 30 anos atrás). Por esta razão, o pequeno universo de amostragem (pouco mais de 200 observações) conduziu a uma estimativa muito acima da média. Certamente essa conclusão muito otimista foi induzida pelo sentimento de que as condições de visibilidade na região tropical são bem melhores que as da Europa (por exemplo), ainda mais que a

IALA recomendou a adoção de um $T = 0,74$, como uma espécie de “média mundial”. O item seguinte discutirá esse valor.

Para projetar sinais náuticos, recomenda-se o exame das condições de transparência atmosférica da estação climatológica mais próxima do local de instalação do sinal. Os dados completos, obtidos em todas as estações climatológicas empregadas no presente estudo, constam do **Apêndice 2** a este Manual e estão organizados de forma similar à apresentação gráfica acima.

A razão para recomendar-se esse exame é que há regiões em que é expressiva, em termos percentuais, a ocorrência de visibilidades inferiores à média nacional $T = 0,69$, indicando que talvez seja necessário empregar valores ainda menores de transparência atmosférica no projeto dos sinais, a fim de obter o alcance luminoso desejado.

As consequências para a configuração final do projeto de sinalização náutica serão melhor compreendidas e resolvidas nos capítulos subseqüentes deste Manual.

3.18 ALCANCE NOMINAL

Pode-se compreender o “valor nominal” de uma grandeza como um número aproximado que define essa grandeza. Por exemplo, refere-se a uma bateria de automóvel como “bateria de 12 Volts”, mas a tensão de saída da mesma pode assumir vários valores, de 11,9 a 13,2 Volts, por exemplo, com uma média em torno de 12,5 Volts. Nesse caso, “12 Volts” é o “valor nominal” da tensão da bateria automotiva em questão.

No que diz respeito ao Alcance Luminoso de Sinais Náuticos, a IALA¹² fixou um “valor nominal” de transparência atmosférica, correspondente à visibilidade meteorológica de 10 milhas náuticas como padrão mundial para cálculos de alcance luminoso, com o propósito de apresentar esses valores em documentos náuticos. O alcance assim determinado denomina-se *alcance nominal*. Esta transparência atmosférica é $T = 0,74$. Esse valor foi destacado na lista de visibilidades x transparências, no item 3.16.

A própria IALA considerou as variações de Visibilidade Meteorológica na sua Recomendação, provendo um ábaco para o navegante poder estimar o alcance de um determinado sinal náutico cujo alcance nominal fosse conhecido, em diferentes condições de Visibilidade.

No Brasil, não se adota o Alcance Nominal nos documentos náuticos, preferindo-se indicar o Alcance Luminoso para $T = 0,85$, em função de se haver definido esse valor como “média nacional”. Poder-se-ia, inclusive dizer que os alcances assim calculados também são “nominais”.

Esse assunto está em estudo atualmente e é possível que, em futuro próximo, haja mudanças significativas nas notações de alcance dos documentos náuticos e, mesmo, substanciais revisões de projetos dos sinais náuticos existentes, para adequar suas luzes aos alcances luminosos pretendidos.

3.19 ALCANCE GEOGRÁFICO

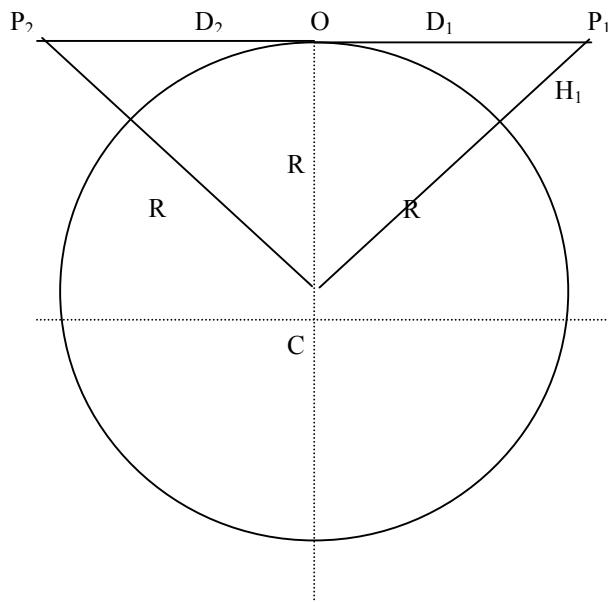
Define-se alcance geográfico como *a maior distância na qual um sinal náutico qualquer pode ser avistado, levando-se em conta a altitude do foco da luz que exibe, a altura do olho do observador em relação ao nível do mar, a curvatura da Terra e a refração atmosférica*.

¹² “Recomendação para a Notação da Intensidade Luminosa e Alcance de Luzes,” de 16 de novembro de 1966.

Três aproximações serão feitas para que se possa calcular o alcance geográfico. A primeira delas é supor a Terra como uma esfera perfeita; a segunda é que a altura do objeto cujo alcance geográfico se quer determinar é, em geral, desprezível em relação ao raio da Terra; e a terceira é considerar a propagação dos raios luminosos em linha reta, como será visto mais adiante.

O problema básico, representado na figura 3.5, consiste em encontrar o valor do segmento OP_1 , que é a distância “ D_1 ” entre o horizonte e o objeto de altura H_1 , situado em um ponto qualquer da superfície esférica de raio R .

Resolvendo-se o segmento OP_1 , pode-se determinar OP_2 do mesmo modo, chegando-se a uma distância total $D = D_1 + D_2$ entre dois objetos de alturas H_1 e H_2 ,



Resolvendo para H_1 : o triângulo retângulo OP_1C permite escrever:

$$(R + H_1)^2 = D_1^2 + R^2$$

$$R^2 + 2RH_1 + H_1^2 - R^2 = D_1^2$$

$$D_1^2 = 2RH_1 + H_1^2$$

Considerando $R \gg H_1$, faz-se:

$$D_1 = \sqrt{2R} \times \sqrt{H_1}$$

O raio médio da Terra tem o valor $R = 6.367.648$ m, então:

$$D_1 = 3568,655 \sqrt{H_1} \text{ (em metros)}$$

Para obter D_1 em milhas náuticas, basta dividir o segundo termo por 1852:

$$D_1 = 1,927 \sqrt{H_1}$$

Considerando a distância total de P_1 a P_2 :

$$D = D_1 + D_2 = 1,927 \sqrt{H_1} + 1,927 \sqrt{H_2}$$

$$\boxed{D = 1,927 (\sqrt{H_1} + \sqrt{H_2})}$$

Figura 3.5 – Determinação do Alcance Geográfico.

A fórmula em negrito calcula o *Alcance Geográfico* entre dois objetos de alturas definidas em metros, fornecendo o resultado diretamente em milhas náuticas. Para aplicações de sinalização náutica, uma das alturas será sempre a do sinal cujo alcance está sendo avaliado e a outra altura, a do olho do observador.

A terceira aproximação que confere validade a esta fórmula é a propagação reta dos raios luminosos. Na prática, a luz sofre refração ao atravessar a atmosfera, devido às mesmas razões pelas quais sofre absorção (ver os itens 3.2 e 3.3, neste Capítulo). De fato, a *refração*, ou seja, o desvio dos raios luminosos contribui para o efeito global da *absorção* discutida nos itens citados.

Estudos demonstram que a refração, em geral, contribui ligeiramente para o aumento do alcance e, como consequência, a fórmula acima, com propagação reta, ofereceria valores mínimos, os quais seriam sempre uma estimativa conservadora do alcance geográfico. Por esta razão, atualmente se emprega a fórmula acima para determinar o alcance geográfico nos documentos náuticos, em especial, na Lista de Faróis, onde há uma tabela de alcances geográficos para várias alturas.

Recomenda-se uma leitura da parte introdutória da Lista de Faróis e também uma consulta ao livro “Sinalização Náutica Visual” – CF Ney Dantas – 2^a Edição, 1998 – páginas 299 a 305, onde há uma discussão detalhada sobre alcance geográfico em presença de refração atmosférica.

3.20 EQUIPAMENTOS LUMINOSOS - LANTERNAS

Os equipamentos luminosos instalados nos sinais náuticos são os dispositivos responsáveis pela emissão da informação que, como foi dito em 3.1, é a única parte do processo sobre a qual se pode exercer controle. Esse controle é possível por meio da determinação do desempenho desses equipamentos, em termos de:

- *intensidade luminosa*;
- *cor da luz e*
- *ritmo da luz*.

A escolha do primeiro parâmetro será feita após a definição do alcance do sinal, que será objeto dos Capítulos 5, 6 e 7 deste Manual. Os dois últimos parâmetros dizem respeito à codificação e não serão abordados em detalhe neste Manual, por serem objeto de normas específicas¹³. No entanto, serão considerados em seu papel de fatores limitadores da intensidade luminosa do equipamento.

Em sinalização náutica, os diversos equipamentos luminosos são chamados, genericamente, de “Lanternas”. Este termo deriva do dispositivo primitivo construído para abrigar as fontes luminosas produzidas por chamas de velas, bicos de gás, etc., como os populares lampiões de gás que iluminavam as ruas das grandes cidades no passado, antes da popularização da iluminação elétrica. Essa denominação foi adotada para as cúpulas envidraçadas dos grandes faróis do Século 19, por sua função de proteger o conjunto de lentes instalado em seu interior, denominado “Aparelho Lenticular.”

Hoje em dia, o termo também se aplica, por tradição, às modernas luminárias automáticas, equipadas com lâmpadas incandescentes ou diodos emissores de luz (LEDs).

3.21 RITMO, COR E CARACTERÍSTICA LUMINOSA

Para que os sinais luminosos sejam corretamente identificados pelo navegante, principalmente se houver vários sinais a serem observados simultaneamente, suas luzes devem exibir cores e ritmos diferentes entre si, ou seja, não se emprega somente luz branca em sinais náuticos e, exceto em condições excepcionais, não se empregam luzes fixas. A combinação de ritmo e cor é denominada “*característica luminosa*” nos documentos normativos.

O termo pode causar alguma confusão, pois a intensidade também poderia ser uma “*característica luminosa*” que particulariza uma determinada luz. Entretanto, o termo foi consagrado pelo uso e é empregado para definir exclusivamente, a combinação entre luz e cor. Neste manual, será usado o termo “ritmo” exclusivamente para definir as seqüências características de exibição de luz que identificam cada sinal náutico.

3.22 INTENSIDADE LUMINOSA EFETIVA

Como foi mencionado acima, a cor e o ritmo são fatores limitadores da intensidade luminosa de uma *lanterna*. Além desses fatores, nos grandes faróis, os vidros protetores das lanternas também

¹³ Atualmente, a codificação dos sinais náuticos está definida na NORMAM-17/DHN.

absorvem parte da energia emitida pelo conjunto lenticular interno. Então, um importante elemento de projeto de um sinal náutico é a determinação da *intensidade luminosa efetiva* do equipamento instalado ou a ser implantado, descontados todos os fatores limitadores acima.

O **Apêndice 3** a este Manual detalha os princípios e procedimentos necessários à determinação da intensidade luminosa efetiva de qualquer fonte de luz empregada em sinalização náutica

3.23 MEDIÇÃO DA INTENSIDADE LUMINOSA

O melhor meio de se determinar a intensidade luminosa de uma luz é a *medição fotométrica*, um processo laboratorial especializado. Este procedimento de laboratório é bastante adequado para lanternas de pequenas dimensões, podendo ser adaptado a equipamentos de dimensões razoáveis, mas é de aplicação praticamente impossível nos grandes faróis.

Alguns países desenvolveram *fotômetros* especialmente projetados para fazer medições em campo de grandes faróis, mas as condições de observação são críticas, uma vez que é necessária uma grande distância para que a fonte luminosa observada seja *pontual*, ou seja, para garantir que toda a energia emitida seja captada pelo sensor do aparelho de medição. Além disso, um nivelamento topográfico acurado é necessário, entre o sensor e o plano focal da fonte luminosa distante.

Uma desvantagem adicional desse método é que para o mesmo dar resultados precisos é necessária uma estimativa muito precisa da transparência atmosférica no momento da medição. Alternativamente, se a fonte luminosa tiver sua intensidade luminosa aferida por outro processo, como o de laboratório, por exemplo, a medição de campo fornecerá indiretamente a transparência atmosférica local.

Ironicamente, o método de medição de campo é o que tem mais chance de trabalhar com uma fonte pontual, que é uma condição fundamental para que a medida se realize. Em laboratório, empregam-se espelhos concentradores, de qualidade ótica equiparável àqueles utilizados em telescópios astronômicos, para simular a condição de “fonte pontual” em um ambiente de dimensões limitadas. A figura 3.6 mostra o princípio e foi retirada de um folheto descritivo do processo, disponível na página www.vega.co.nz¹⁴. As perdas devidas ao espelho são compensadas durante a calibração.

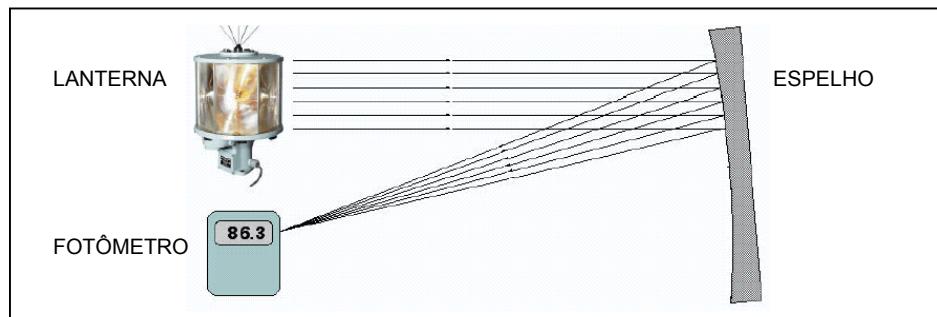


Figura 3.6 – Dispositivo para Medições Fotométricas em Laboratório

As principais vantagens desse procedimento são:

- *medidas precisas e isentas de interferências atmosféricas*: as distâncias são da ordem de 10 metros, ou seja, a luz viaja não mais que 20 metros e

¹⁴ Página da empresa VEGA INDUSTRIES LTD. da Nova Zelândia.

- a posição da fonte luminosa pode ser alterada a fim de se avaliar a uniformidade da emissão no plano horizontal e os ângulos de divergência, resultantes do efeito concentrador das lentes.

Adicionalmente, alguns fotômetros modernos são capazes de fornecer a intensidade luminosa da luz rítmica, ou seja, são capazes de medir lampejos. No entanto, procedimento normal é medir a intensidade luminosa estacionária, ou seja, em regime de emissão luminosa constante.

O cálculo da influência decorrente dos diversos ritmos luminosos possíveis na intensidade luminosa de um sinal náutico é feito empregando-se fatores de redução, que diferem conforme o processo empregado na produção do ritmo, como, por exemplo, o giro de um aparelho lenticular como a lanterna da ilustração acima, ou o acendimento intermitente de uma lâmpada incandescente, como aquela descrita no item 3.2, para a qual se calculou a intensidade luminosa estacionária.

O **Apêndice 3** a este Manual descreve esse fator de redução, denominado *Fator de Schmidt-Clausen*, e também o fator que lhe deu origem, o *Fator de Blondel-Rey*, relacionando todos os métodos possíveis de criação de ritmo luminoso e os valores correspondentes de redução a serem aplicados.

3.24 ESTIMATIVA DA INTENSIDADE LUMINOSA ESTACIONÁRIA DE GRANDES FARÓIS

Como foi visto no final do item anterior, será necessário aplicar um fator de redução devido ao ritmo das luzes, à determinação da intensidade luminosa efetiva de uma fonte, mesmo que o valor da intensidade luminosa estacionária tenha sido determinado por um processo de medição fotométrica.

Voltando ao caso dos grandes faróis, já se viu que é praticamente impossível realizar medições fotométricas nos mesmos, mas a necessidade de estimar sua intensidade luminosa persiste, uma vez que pode ser necessário, por exemplo, mudar o tipo de lâmpada instalado em seu interior. Nesse caso, emprega-se uma aproximação baseada na área ou altura do aparelho lenticular e curvas de correção para estimar a intensidade luminosa do conjunto lente + lâmpada, tendo-se a intensidade luminosa estacionária da lâmpada empregada, bem como as dimensões da fonte luminosa, que poderá ser o filamento da lâmpada ou a camisa de um lampião de gás, por exemplo.

O **Apêndice 3** a este Manual também descreve o método empregado nessa determinação estimada da intensidade luminosa estacionária, pelo processo aproximado citado acima.

Finalmente, as lanternas automáticas atuais não sofrerão perdas devidas à absorção nos vidros das lanternas protetoras como as dos grandes faróis, a menos que sejam instaladas em uma lanterna deste tipo. Entretanto, no cálculo estimado da intensidade luminosa desses grandes faróis, deve-se levar em conta o fator de absorção referido acima.

3.25 INTENSIDADE LUMINOSA EFETIVA – PERDAS DEVIDAS ÀS CORES

As cores somente são fatores limitadores quando se estiver empregando filtros destinados a obter determinada cor a partir de uma luz branca. Isto se deve à *eficiência luminosa espectral* discutida no item 3.2. O **Apêndice 3** a este Manual apresenta valores típicos para esse tipo de redução, a serem empregados quando não se dispuser de um dado confiável informado pelo próprio fabricante do material.

CAPÍTULO 4

SINALIZAÇÃO NÁUTICA NÃO LUMINOSA DIURNA E NOTURNA

4.1 RAZÕES PARA A SINALIZAÇÃO DIURNA

O estudo da visibilidade diurna não tem sido objeto de tantas investigações quanto a visibilidade noturna, porque os sinais diurnos não têm sido considerados tão importantes quanto as luzes à noite, em vista da multiplicidade de marcos naturais disponíveis para o navegante, durante o dia.

Contrariando essa noção, tem-se os sinais fixos e flutuantes que constituem o Sistema de Balizamento Marítimo da IALA como exemplos de estruturas cuja forma e cor são importantes para o navegante. Além deles, os alinhamentos e mesmo alguns faróis isolados, localizados na costa, constituem importantes marcos diurnos. Para estabelecer seu alcance visual diurno, a conspicuidade dessas estruturas precisa ser avaliada numericamente, seja para determinar suas condições de uso, para padronizar suas dimensões ou ainda analisá-las em função de um alcance destinado a atender a condições específicas de algum projeto.

O problema da visibilidade de sinais diurnos é muito mais complexo do que o da visibilidade de luzes à noite e, por conta disso, imagina-se que tenha desencorajado os investigadores. Na pesquisa conduzida para escrever este capítulo, foram localizados somente dois estudos sobre o assunto no acervo da IALA:

- The Theory of Visual Range of Aids to Navigation – Hydrographic Service of the Navy –USSR (apresentado na Conferência da IALA em Washington, 1960) e

- Daymarks as Aids to Marine Navigation

Por M. P. Blaise , Engenheiro Chefe de Ponts et Chausées, Service des Phares et Balises, Paris
Publicado no Boletim da IALA nº 47, de abril de 1971

O primeiro estudo tenta apresentar uma solução analítica geral, capaz de resolver a questão do alcance de sinais náuticos sob quaisquer circunstâncias. No entanto, a solução final deixa a desejar, uma vez que apresenta diversos coeficientes indicados e não deduzidos, impedindo sua extração para situações do dia-a-dia.

O segundo estudo é muito mais completo, voltado para situações reais e serviu de base ao presente capítulo. Ele possui o mérito de demonstrar que é possível definir parâmetros capazes de projetar um sinal náutico diurno, mesmo com base em um número limitado de observações de campo.

Os dados apresentados no estudo foram processados e constituem o conjunto de tabelas e gráficos do **Apêndice 4** a este Manual, cuja utilização será indicada no presente capítulo.

Devido à carência de dados de campo disponíveis, certas aproximações devem ser usadas com cautela. Espera-se, no entanto, que os princípios aqui contidos permitam aos estudiosos do assunto expandir essa base de dados no futuro.

4.2 OBSERVAÇÃO DE OBJETOS NÃO LUMINOSOS

As leis de transmissão da luz pela atmosfera discutidas no capítulo anterior aplicam-se às observações diurnas e noturnas, tanto para fontes de luz quanto para objetos não luminosos. A principal diferença está no modo como o observador vê um objeto não luminoso à luz do dia, conforme será visto a seguir.

A figura 4.1 esquematiza as principais diferenças entre a observação de uma fonte luminosa e a de um objeto não luminoso¹⁵. Nessa figura, estão representados os dois casos extremos, ou seja, uma observação noturna de fonte de luz e uma observação diurna de objeto não luminoso. Dentre os dois outros casos possíveis, a observação diurna de luzes foi considerada no Capítulo 3 e a observação noturna de sinais não luminosos será considerada mais adiante, no item 4.13 deste capítulo.

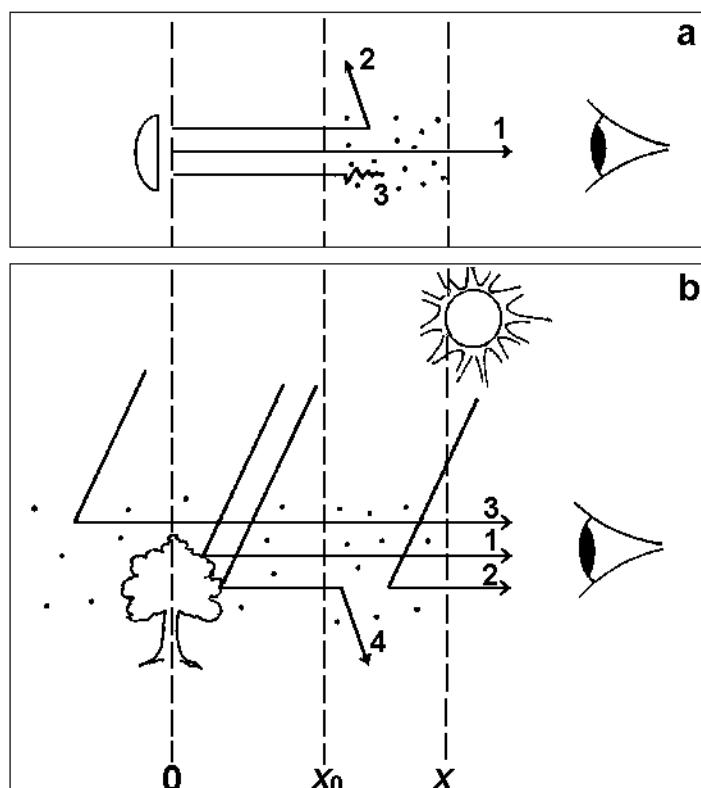


Figura 4.1 – Transmissão de luz pela atmosfera.

(a) fonte luminosa (b) objeto iluminado pelo Sol

O observador, na figura 4.1(a), detecta a fonte luminosa por meio do raio luminoso (1), enquanto que os demais raios luminosos deixam de atingi-lo por causa da reflexão (2) ou absorção (3) na atmosfera. Esta é a situação que levou, no item 3.4, à dedução do coeficiente de transparência atmosférica. Observando agora a figura 4.1(b), tem-se uma esquematização da observação diurna. Os raios que atingem o olho do observador são:

- (1) O raio de luz solar refletido no objeto;
- (2) o raio de luz solar refletido na direção do observador, pela atmosfera próxima; e
- (3) o raio de luz solar refletido no horizonte, responsável pela *luminância de fundo*.

¹⁵ Adaptada de: <http://capita.wustl.edu/CAPITA/CapitaReports/AerosolCourse/RadiativeTransfer.html>

O raio (4) foi refletido pelo objeto observado, mas não chega ao olho do observador, desviado por reflexão na atmosfera. No que diz respeito a atingir ou não o observador, o raio (4) poderia também ter sido absorvido, como o raio (3) da figura 4.1(a), com as mesmas consequências.

Esses quatro estímulos são percebidos do seguinte modo:

A curta distância, o observador vê o objeto e o cenário de fundo, por causa da luminância de ambos. O objeto será tão mais brilhante quanto maior for a sua *eficiência luminosa espectral* (ver o item 3.2), ou seja, depende da quantidade de luz do Sol que o objeto possa refletir na direção do observador.

Contraste de luminância é o nome atribuído ao efeito combinado do objeto e do fundo. Existem outros tipos de contraste, ou seja, combinações de cores capazes de facilitar a visualização de objetos, mas esses só podem ser percebidos a curta distância e, para o nosso propósito, que é determinar o alcance de objetos não luminosos, eles não se aplicam.

À medida que o observador se afasta do objeto, passa a sofrer a influência da **luminância da atmosfera próxima**, resultante da reflexão dos raios solares na atmosfera próxima ao observador. Esse efeito é o que permite observar a claridade do dia e que explica o fato do céu diurno parecer azul: a composição média da atmosfera absorve outros comprimentos de onda da luz visível e reflete o azul. Num corpo celeste sem atmosfera, como a Lua, não há esse efeito e é possível enxergar, por exemplo, o céu estrelado à luz do “dia” e, ao mesmo tempo, a sombra de um objeto iluminado pelo Sol estará na mais completa escuridão, muito diferente da penumbra que se observa, em condições similares, nos dias terrestres.

Quando o afastamento for suficiente, a luminância do objeto desaparecerá em presença da luminância da atmosfera próxima ao observador. A quantificação desse efeito, bem como o limite de alcance visual de um objeto em função das condições atmosféricas é o que se convencionou chamar de *visibilidade meteorológica*, que será deduzida mais adiante.

4.3 CONTRASTE DE LUMINÂNCIA

Durante o dia, o objeto será tão mais visível quanto maior for o *contraste de luminância* entre ele e o cenário de fundo. Essa grandeza pode ser definida como:

- a) A determinação subjetiva da diferença de luminância entre um objeto e o cenário de fundo; e
- b) o resultado da diferença de luminância entre o objeto e o fundo, dividida pela luminância de fundo.

A segunda definição permite equacionar o *contraste de luminância* (C).

$$C = (L_2 - L_1) / L_1$$

A uma curta distância, x_0 (ver a figura 4.1. b), somente os raios refletidos no objeto e aqueles provenientes do cenário de fundo terão influência apreciável no processo. Nessas condições, o contraste de luminância poderá ser obtido medindo-se as luminâncias do objeto e do fundo. O contraste de luminância obtido através dessa medição e da fórmula acima é geralmente denominado “contraste intrínseco” (C_0).

Interessa, no entanto, determinar o contraste a uma distância apreciável (x) do objeto (C_x). Nessas condições o observador receberá influência da luminância da atmosfera próxima, representada pelo

raio luminoso (2) da figura 4.1(b) e também será influenciado pelas perdas, representadas pelo raio luminoso (4), da mesma figura.

Em outras palavras, para determinar o contraste de luminância à distância x , deve-se considerar os efeitos da atmosfera. O fluxo luminoso (ϕ) que emana de um objeto, diminui ao atravessar a atmosfera, por causa da difusão e da absorção. Em relação a uma distância infinitesimal (dx) a redução de fluxo será:

$$d\phi = -k \phi d x$$

Onde k é um fator de redução qualquer.

Conforme foi definido no item 3.3, suponha-se a atmosfera homogênea e integre-se a equação acima no intervalo $x_0 - x$, obtendo:

$$\phi(x) = \phi(x_0) e^{-k(x-x_0)}$$

Finalmente, quando x for muito maior do que x_0 , a equação acima se tornará:

$$\phi(x) = \phi e^{-kx}$$

que equivale a dizer que o fluxo luminoso inicial é reduzido de um fator e^{-kx} , ou seja, decresce de forma exponencial ao se afastar da fonte.

4.4 VISIBILIDADE DIURNA E DEDUÇÃO DA LEI DE ALLARD

Considere-se, agora, que um objeto escuro esteja colocado em frente a um cenário de fundo correspondente ao céu. Se o objeto não estivesse presente, o observador perceberia em seu lugar a luminância do céu, L_C . No entanto, por causa da presença do objeto, o mesmo obscurece a luminância L_C , produzindo à distância x um fluxo luminoso reduzido proporcionalmente por e^{-kx} , conforme a dedução efetuada no item anterior.

Pode-se, então, considerar a luminância percebida pelo observador como sendo a luminância do céu diminuída de uma quantidade $L_C e^{-kx}$, ou seja: a luminância percebida pelo observador será igual a $L_C (1 - e^{-kx})$.

Agora, recorra-se à definição de contraste $C = (L_2 - L_1) / L_1$ para determinar o contraste percebido pelo observador, à distância x , do objeto considerado, contra o céu, denominado *contraste aparente*:

$$C_x = \frac{L_C (1 - e^{-kx}) - L_C}{L_C} = \frac{L_C (1 - e^{-kx} - 1)}{L_C} = e^{-kx}$$

Nesta equação, fica claro que o contraste aparente entre um objeto escuro e o céu depende da distância e das condições atmosféricas, representadas, respectivamente, por x e k , no expoente do segundo membro, ou seja, não depende da luminância do céu.

A OMM¹⁶, define a visibilidade meteorológica como a distância requerida para que a atmosfera reduza o contraste de um objeto negro contra o seu cenário de fundo a 5% do seu contraste original (leia-se *contraste intrínseco*) à distância nula.

¹⁶ Organização Mundial de Meteorologia (ver também o item 3.16 deste Manual).

Desta definição, pode-se concluir, em primeiro lugar, que o contraste de luminância intrínseco, ou seja, à distância zero, de um objeto negro, será sempre igual a 1, qualquer que seja o fundo, porque o corpo negro teria, por definição, luminância zero e a equação $C = (L_2 - L_1) / L_1$ se reduziria a $C = L_1 / L_1 = 1$ (em módulo).

Mas, o mais importante é que ela permite relacionar a visibilidade meteorológica com a transparência atmosférica e deduzir a Lei de Allard. Recorde-se que V , ou seja, a visibilidade meteorológica, é uma distância, que substituirá o termo “ x ” na equação de C_x deduzida acima. Ter-se-á:

$$C_V = 5\% = 0,05 = e^{-kV}$$

$$e^{-k} = (0,05)^{1/V}$$

Substituindo e^{-k} na fórmula $\phi_{(x)} = \phi e^{-kx}$, ficará

$$\phi_{(x)} = \phi (0,05)^{x/V}$$

Para avaliar o efeito no olho do observador, o fluxo $\phi_{(x)}$ pode ser substituído pelo iluminamento E , expresso em intensidade luminosa por unidade de área. Veja a relação entre ϕ e E , nos itens 3.2 a 3.5.

Sabendo que $I = \phi/4\pi$ (item 3.2) e considerando a relação entre o iluminamento no olho do observador e a intensidade luminosa, que é $E = I / D^2$ (item 3.3), ou, para ser coerente com a variável de distância x usada aqui, $E = I / x^2$, pode-se, por substituição, obter:

$$E = \frac{I (0,05)^{x/V}}{x^2}$$

Que é outra maneira de escrever a Lei de Allard.

No item 3.4, foi apresentada a Lei de Allard escrita na forma $E = I T^x / x^2$. Em uma comparação com a equação acima, fica claro que o termo $(0,05)^{x/V}$ corresponde a T^x . Então, fica demonstrada a igualdade $T = (0,05)^{1/V}$ postulada no item 3.16 deste Manual.

Com essa dedução, obtida para condições diurnas de observação, comprova-se o que foi dito no início deste capítulo, que *as leis de transmissão da luz pela atmosfera discutidas no capítulo anterior aplicam-se às observações diurnas e noturnas, tanto para fontes de luz quanto para objetos não luminosos.*

4.5 ALCANCE VISUAL DIURNO DE OBJETOS NÃO LUMINOSOS

Agora, fica-se em posição de determinar fórmulas para o cálculo de alcance diurno. Como foi visto no item anterior, à curta distância, o contraste intrínseco do objeto contra o céu é dado pela fórmula:

$$C_0 = (L_O - L_C) / L_C$$

Onde L_O = luminância do objeto e L_C = luminância do céu

Considerando que $C_x = e^{-kx}$ e que $e^{-k} = (0,05)^{1/V}$ (ver o item anterior) pode-se dizer que

$$C_x = C_0 (0,05)^{x/V}$$

Segundo a definição de visibilidade meteorológica, no alcance máximo de um objeto, o contraste C_x estaria reduzido a 0,05. Sendo assim, a fórmula acima poderia ser reescrita como:

$$0,05 = C_0 (0,05)^{x/V}$$

Então, separando a variável x , para calcular o alcance, ter-se-á:

$$x = V \left(1 - \frac{\log C_0}{\log 0,05} \right)$$

ou

$$x = V \left(1 + \frac{\log C_0}{1,3} \right)$$

que fornece o alcance diurno de um objeto em função do seu contraste e da visibilidade meteorológica. A unidade de distância de x deverá ser a mesma do valor de V empregado no cálculo.

Se o objeto não estiver sendo observado contra o céu, mas contra um outro cenário de fundo, o contraste intrínseco deverá ser substituído por um novo contraste, definido por:

$$C_0' = (L_O - L_F) / L_C$$

Onde:

L_O = luminância do objeto

L_F = luminância do cenário de fundo

L_C = luminância do céu

As fórmulas de alcance acima podem, então, ser empregadas com C_0' no lugar de C_0 :

$$x = V \left(1 - \frac{\log C_0'}{\log 0,05} \right)$$

ou

$$x = V \left(1 + \frac{\log C_0'}{1,3} \right)$$

4.6 CONTRASTES INTRÍNSECOS PARA UM PAINEL BRANCO

A grande dificuldade de aplicação da fórmula do alcance visual descrita no item anterior é a determinação do contraste intrínseco dos diferentes objetos em presença de variados cenários de fundo.

A luminância causada pela luz natural, ou luz diurna, varia com a estação do ano, a hora do dia e a cobertura de nuvens. Os diversos componentes do cenário, além da atmosfera, também refletem luz sobre o objeto que se deseja observar – no caso, o sinal náutico – e todas essas variáveis complexas demais para serem modeladas, requerem alguma simplificação.

Selecionando-se algumas condições típicas, pode-se alcançar a simplificação desejada. Visto que a percepção do objeto é baseada no contraste de luminância, a relação entre a luminância de uma superfície branca e a luminância do céu perto do horizonte, parece ser um parâmetro útil. A tabela a seguir fornece resultados de testes destinados a encontrar essa relação, usando um painel branco vertical e avaliando sua luminância em condições diferentes de iluminação natural e, também, com tipos diferentes de cenários.

O trabalho citado no início deste capítulo, apresentado por M. P. Blaise, publicado no Boletim nº 47 da IALA, foi o mais completo até agora encontrado sobre o comportamento de um painel branco com várias condições de iluminação natural. Alguns resultados foram destacados pelo autor, por sua especial importância:

- *No céu uniformemente nublado e contra um fundo negro, um painel branco vertical tem praticamente a mesma luminância e a mesma cor do céu próximo ao horizonte. Se o solo for perfeitamente branco (coberto de neve, por exemplo), a luminância do painel tem o seu valor dobrado (devido à luz refletida do solo incidir sobre o painel).*
- *No céu sem nuvens, um painel branco vertical iluminado diretamente pelo Sol apresenta uma luminância média quatro vezes superior à do céu próximo ao horizonte, para um observador colocado em uma linha normal ao painel, e a sua luminância é praticamente independente da altura do Sol.*

O cenário de observação, reproduzido na figura 4.2, consistiu de um observador posicionado a leste do painel, observando-o sob diversos ângulos de iluminação do Sol. Nesta mesma figura, os ângulos são medidos em relação ao zênite e os valores negativos indicam situações de iluminação contrária, com o Sol incidindo sobre o observador e iluminando o painel por trás.

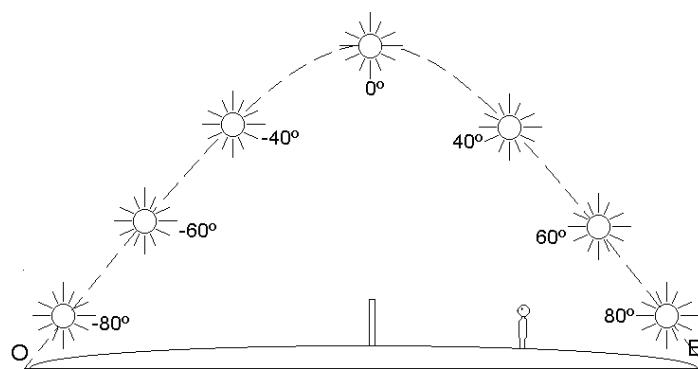


Figura 4.2 – Observação Experimental de um Painel Branco.

Efeito da Cor do Solo: o solo à frente do painel influencia na medida em que parte da luz solar incidente reflete-se dele para o painel e contribui para o aumento da luminância deste último, na direção do observador. Na figura 4.3, serão vistos dois gráficos que demonstram a luminância do painel branco em relação à luminância do céu no horizonte, obtidos a partir dos dados de campo do estudo citado. O gráfico da esquerda foi obtido com o painel posicionado sobre um solo escuro (fator de luminância¹⁷ = 0,03) e o gráfico da direita mostra a situação extrema oposta, com o painel posicionado sobre um solo branco (fator de luminância = 1,00).

¹⁷ Ver o item 4.7 deste Capítulo.

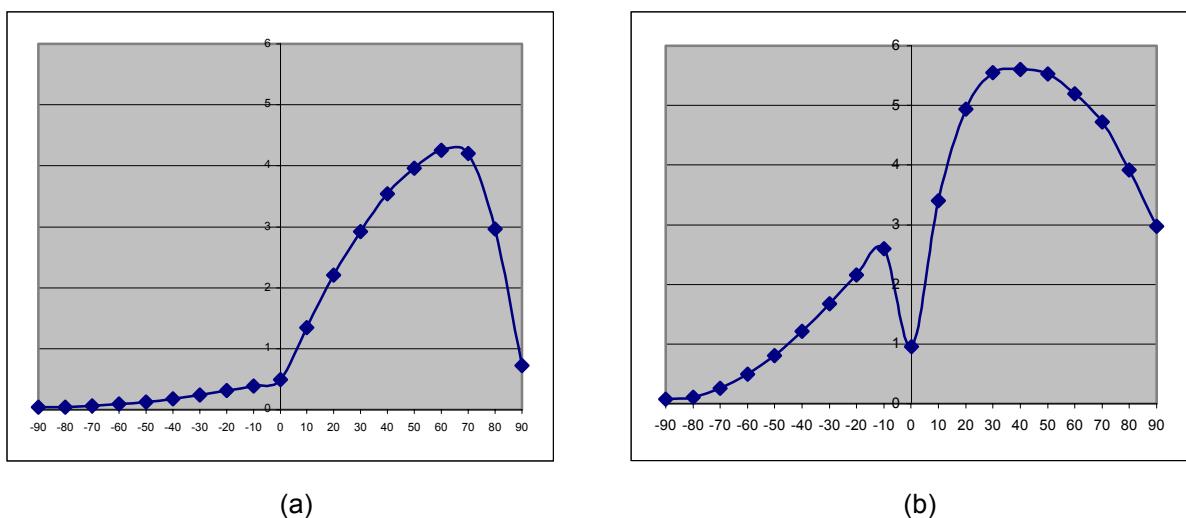


Figura 4.3 – Luminância sobre um Painel Branco em Diversas Posições do Sol.

(a) painel sobre um solo escuro

(b) painel sobre um solo branco

Na figura da esquerda, a luminância do painel é exclusivamente devida à luz direta do Sol e se observa um pico, com o Sol entre 70 e 60 graus em relação ao zênite (30 a 40 graus em relação ao horizonte). Estes seriam os ângulos mais favoráveis para observação, ou seja, os momentos em que o painel seria visível a distâncias maiores. Após a linha central, que representa a luminância com o Sol no zênite, a mesma decresce rapidamente a zero. Na figura da direita, a contribuição da luz refletida no solo se faz sentir, tanto no aumento geral do nível de luminância quanto no achatamento do pico, entre 30 e 50 graus em relação ao zênite, ou seja, com um máximo observado com o Sol em torno dos 40 a 45 graus. Observa-se também um segundo pico após o zênite, resultante da reflexão dos raios solares no solo à frente do painel, com o Sol por detrás do mesmo e com um ângulo ainda próximo do zênite (80 graus).

Os valores obtidos para diversas condições e os gráficos correspondentes constam do **Apêndice 4** a este Manual. Sob iluminação direta e em condições favoráveis (o Sol iluminando o painel, por detrás do observador), pode ser suficiente trabalhar com valores médios. No caso das condições desfavoráveis de iluminação direta (o Sol por detrás do painel, ofuscando o observador), escolhe-se dois ângulos para caracterizar o comportamento do painel: 80° e 10°. Os gráficos da figura 4.3 justificam essa escolha, pois esses ângulos representam pontos significativos do desempenho do painel.

Os valores de luminância média ou correspondentes aos ângulos considerados acima foram retirados do estudo de M. P. Blaise e podem ser encontrados em detalhe no **Apêndice 4** a este Manual.

Consideradas todas as variáveis envolvidas na medição, quais sejam: as luminâncias do objeto, do céu e do fundo, pode-se assumir que os valores médios apresentados na tabela correspondem aos **contrastes intrínsecos** (C_0') para o painel branco em questão, em cada uma das condições de observação. Sendo assim, pode-se usar a fórmula deduzida no item 4.5, modificada para se obter a relação x/V:

$$x/V = 1 + \frac{\log C_0'}{1,3}$$

A modificação na fórmula visa calcular a relação entre o alcance do painel branco e a visibilidade meteorológica, conduzindo a resultados bastante interessantes, conforme pode ser visto na tabela seguinte.

Relação entre alcance e visibilidade meteorológica (x/V) de uma Superfície Branca Vertical

Incidência da Luz	Solo à Frente da Superfície Branca Observada	Contraste Intrínseco C_O'	Relação entre Alcance e Visibilidade Meteorológica $x/V = 1 + (\log C_O'/1,3)$
Luz direta - lum. média (condições favoráveis)	Claro (1,00)	4,28	1,49
	Escuro (0,03)	2,66	1,33
De todas as direções (céu encoberto)	Claro (1,00)	2,00	1,23
	Escuro (0,03)	1,00	1,00
Luz direta - Sol a -80° (condições desfavoráveis)	Claro (1,00)	2,60	1,32
	Escuro (0,03)	0,39	0,69
Luz direta -Sol a -10° (condições desfavoráveis)	Claro (1,00)	0,11	0,26
	Escuro (0,03)	0,04	0,00(*)

(*) os valores negativos foram igualados a zero, indicando impossibilidade total de visualização do painel.

A última coluna mostra que é possível observar o painel branco em questão, a distâncias até maiores que a visibilidade meteorológica ($x/V > 1$), sob condições favoráveis. A pior situação é observar o painel contra a luz, com o Sol a 10°, contra um fundo escuro: o número indica que é praticamente impossível observar o painel contra a luz do Sol, posicionado próximo ao horizonte, diante do observador, ofuscando a sua visão.

As condições de contraste intrínseco para o céu encoberto são a expressão numérica das conclusões de M. P. Blaise, enunciadas no 4º parágrafo deste item (destacadas em *italico*).

4.7 RELAÇÃO X/V PARA DIVERSAS CORES

Para concluir, seria conveniente estabelecer uma avaliação da razão x/V para as diversas cores utilizáveis em sinalização náutica. A IALA, em sua Recomendação E-108, de 2004¹⁸, estabelece o **fator de luminância f_L** de todas as cores, comuns ou fluorescentes, utilizáveis em sinalização náutica.

O referido fator de luminância é definido na publicação como “uma medição da luminosidade da cor em relação a uma superfície branca com reflexão puramente difusa sob a mesma iluminação.”

Mais adiante, no item 4.12, será discutido o que se entende por “reflexão puramente difusa”¹⁹, mas por ora, basta saber que se pode recorrer às tabelas de fator de luminância da IALA para comparar o desempenho do painel branco em questão, se fosse pintado nas diversas cores empregadas em sinalização náutica.

Fica claro que o fator de luminância citado multiplicará o contraste intrínseco, produzindo uma redução em seu valor, ou seja: $C_O'(\text{cor}) = f_L \times C_O'(\text{branco})$.

Para dar um exemplo numérico, considere-se um painel encarnado, cujo fator de luminância mínimo é 0,07. A tabela x/V para os novos contrastes intrínsecos, referentes à cor encarnada, será aquela apresentada a seguir.

¹⁸ Recommendation E-108 – Surface colours used as visual signals on aids to navigation, May 1998 - Rev. May 2004.

¹⁹ Ver o subitem 4.12.6

Contraste Íntrinseco e Relação x/V de uma Superfície Encarnada Vertical

Incidência da Luz	Solo à Frente da Superfície Branca Observada	Contraste Intrínseco $C_O'(v) = 0,07$ $C_O'(b)$	Relação entre Alcance e Visibilidade Meteorológica	
			$x/V = 1 + (\log C_O' / 1,3)$	
Luz direta - lum. média (condições favoráveis)	Claro (1,00)	0,3	0,60	
	Escuro (0,03)	0,18	0,43	
De todas as direções (céu encoberto)	Claro (1,00)	0,14	0,34	
	Escuro (0,03)	0,07	0,11	
Luz direta - Sol a - 80° (condições desfavoráveis)	Claro (1,00)	0,18	0,43	
	Escuro (0,03)	0,03	0,00	
Luz direta - Sol a - 10° (condições desfavoráveis)	Claro (1,00)	0,11	0,00	
	Escuro (0,03)	0,04	0,00	

A tabela acima mostra a redução drástica do alcance visual quando são empregadas cores em sinais náuticos. Mesmo nas condições mais favoráveis, a cor vermelha especificada não pode ser vista no limite de visibilidade meteorológica, ou seja, esse painel encarnado seria encoberto pela luminância da atmosfera próxima (ver o item 4.2), a partir de uma distância igual a 60% da visibilidade meteorológica local.

Pode-se, agora, estender o processo para todas as cores cujos fatores de luminância foram definidos pela IALA, obtendo a relação x/V para cada cor, nas condições médias e para cada um dos cenários limites considerados. O resultado está nas duas tabelas seguintes: uma para cores comuns e outra para cores fluorescentes:

 Luminância Diurna e Contraste Íntrinseco de uma Superfície Vertical
 Cores comuns especificadas pela IALA

Incidência da Luz	Solo à Frente da Superfície Colorida Observada	Relação x/V					
		Encarnado ($f_L = 0,07$)	Laranja ($f_L = 0,20$)	Amarelo ($f_L = 0,50$)	Verde ($f_L = 0,10$)	Azul ($f_L = 0,07$)	Preto ($f_L = 0,03$)
Luz direta (lum. média)	Claro (1,00)	0,60	0,95	1,25	0,72	0,60	0,31
	Escuro (0,03)	0,44	0,79	1,10	0,56	0,44	0,16
Todas as direções (céu encoberto)	Claro (1,00)	0,34	0,69	1,00	0,46	0,34	0,06
	Escuro (0,03)	0,11	0,46	0,77	0,23	0,11	0,00
Luz direta Sol a - 80°	Claro (1,00)	0,43	0,78	1,09	0,55	0,43	0,15
	Escuro (0,03)	0,00	0,15	0,45	0,00	0,00	0,00
Luz direta Sol a - 10°	Claro (1,00)	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00
	Escuro (0,03)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

 Luminância Diurna e Contraste Íntrinseco de uma Superfície Vertical
 Cores fluorescentes especificadas pela IALA

Incidência da Luz	Solo à Frente da Superfície Colorida Observada	Relação x/V			
		Encarnado ($f_L = 0,25$)	Laranja ($f_L = 0,40$)	Amarelo ($f_L = 0,60$)	Verde ($f_L = 0,25$)
Luz direta (lum. média)	Claro (1,00)	1,02	1,18	1,32	1,02
	Escuro (0,03)	0,86	1,02	1,16	0,86
Todas as direções (céu encoberto)	Claro (1,00)	0,77	0,93	1,06	0,77
	Escuro (0,03)	0,54	0,69	0,83	0,54
Luz direta Sol a - 80°	Claro (1,00)	0,86	1,01	1,15	0,86
	Escuro (0,03)	0,22	0,38	0,51	0,22
Luz direta Sol a - 10°	Claro (1,00)	0,00	0,00	0,09	0,00
	Escuro (0,03)	0,00	0,00	0,00	0,00

Com base na tabela de relação x/V para o painel branco, constante do item 4.6 e as tabelas acima, correspondentes às diferentes cores recomendadas pela IALA, pode-se definir o alcance diurno para observação de uma cor, considerando uma dada visibilidade meteorológica e uma determinada condição típica de iluminação ambiente.

4.8 A PERCEPÇÃO DO OBSERVADOR E A FORMA DO SINAL

Os sinais diurnos precisam ser percebidos e reconhecidos. A percepção requer um bom contraste de luminância e de cor contra o cenário de fundo e dimensões adequadas. A identificação é provida por meio de várias caracterísitcas, como forma, cor e posição em relação à costa.

Até o momento, estudou-se a questão da luminância e da cor, contra o cenário de fundo. Recomenda-se a leitura completa do **Apêndice 4** a este Manual, onde os vários parâmetros referentes a cenários de fundo estão tabelados, servindo de apoio para os projetos de sinais.

Os fisiologistas que estudam a visão devotaram muitos estudos ao problema da percepção, mas voltados principalmente para a identificação do mecanismo da visão ou das patologias do olho humano. O campo de investigação que mais interessa é o que envolve o caso simples de um objeto pequeno de cor uniforme, normalmente preta, observado contra um fundo de dimensões muito maiores, também de cor uniforme, normalmente branca. No caso de objetos desprovidos de cor, as condições de luminância são suficientemente caracterizadas pelo contraste definido acima.

As observações de campo conduziram à conclusão de que a visibilidade diurna, sob condições limites, é bastante dependente do **diâmetro aparente** do objeto observado.

Três condições prevalecem:

1. *Para objetos cujo diâmetro aparente é apreciável (> 1mrad), dentro dos limites aplicáveis aos sinais diurnos, pode-se assumir, como primeira aproximação, que o contraste dos mesmos permite que sejam distinguidos, independentemente do seu diâmetro aparente; ou seja, somente as condições de contraste e visibilidade limitam o seu alcance visual.*
2. *Para objetos de diâmetro aparente, menor que 1 miliradiano ou aproximadamente 3 minutos de arco, a visibilidade é uma função do contraste e do ângulo sólido subtendido pelo objeto, com vértice no observador.*
3. *Para objetos de diâmetro aparente menor que 0,3 mrad, ou 1 minuto de arco, que constitui o limite de acuidade visual do olho humano (ver o item 4.9, a seguir), um objeto só será avistado em condições muito favoráveis de iluminação e contraste contra o fundo, funcionando de forma similar a uma fonte de luz pontual.*

Pode-se assumir, como se faz na meteorologia, que o contraste mínimo contra o céu é igual a 0,05. Esta suposição leva imediatamente à equação que fornece o alcance visual x de um objeto visto contra o céu, para uma dada visibilidade V e que possui um contraste intrínseco Co:

$$0,05^{x/V} C_O = 0,05$$

ou

$$x = V (1 + (\log C_O / 1,3))$$

Esta equação, já estudada no item 4.5 e aplicada nos itens 4.6 e 4.7, atende ao cálculo dos alcances de objetos que satisfazem à condição (1) acima e, sob condições muito favoráveis, daqueles que satisfazem à condição (3).

Para satisfazer à condição (2), de dependência do alcance com o diâmetro aparente, desenvolveu-se uma equação para calcular o alcance de objetos cujo diâmetro aparente é pequeno. Considerando-se que os mesmos não sejam muito alongados, ou seja, que guardem uma relação máxima entre altura e largura de 7:1, é possível descrever suas dimensões com base no “lado médio”, ou seja, o lado de um quadrado que possua a mesma área projetada do objeto no plano perpendicular à direção de observação. Se d é o lado médio em metros e x a distância de observação em quilômetros, o ângulo sólido subtendido pelo objeto é cerca de 10^{-6} (d^2/x^2) esterorradianos. O alcance visual de um objeto será fornecido pela equação

$$0,05^{x/V} C_0(d^2/x^2) = K$$

Usando um fator de segurança similar àquele definido pela meteorologia, escolheu-se o valor $K = 0,038$, trabalhando com V e x em quilômetros e d em metros.

Para trabalhar com V e x em milhas náuticas e d em metros, deve-se usar $K = 0,021$.

Essa equação é similar à Lei de Allard e apresenta o mesmo problema que essa lei, em termos de solução analítica, pois o termo x não pode ser separado em um dos lados da igualdade. Pode-se empregar o mesmo método iterativo do **Apêndice 1** a este Manual para determinar a incógnita x , em função de um dado objeto de dimensões conhecidas, exibindo um determinado contraste intrínseco com o fundo e sob determinadas condições de visibilidade meteorológica.

No entanto, como no caso do alcance noturno, pode-se tabelar valores de d^2 , ou seja, da área do objeto observado, para valores de x de 1 em 1 milha, para diversas condições de visibilidade meteorológica, como no exemplo abaixo. A tabela abaixo dá o produto $d^2 = K x^2 / C_0 0,05^{x/V}$ para diversos valores de x e V , fazendo $C_0 = 1$ (painel branco sobre fundo escuro):

Área de um painel branco para diversos alcances visuais diurnos.

x (MN)	d ² (m ²)						
	V = 0,76 MN (T = 0,02)	V = 1,6 MN (T = 0,16)	V = 3,8 MN (T = 0,45)	V = 8,07 MN (T = 0,69)	V = 10 MN (T = 0,74)	V = 18,4 MN (T = 0,85)	V = 25,7 MN (T = 0,89)
1	1,05	0,13	0,05	0,03	0,03	0,02	0,02
2	209,52	3,28	0,41	0,18	0,15	0,12	0,11
3	—	46,10	2,07	0,58	0,46	0,31	0,27
4	—	—	8,19	1,48	1,11	0,64	0,54
5	—	—	28,44	3,36	2,35	1,18	0,94
6	—	—	91,00	7,01	4,56	2,00	1,52
7	—	—	275,24	13,83	8,38	3,21	2,33
8	—	—	—	26,19	14,76	4,93	3,41
9	—	—	—	48,05	25,21	7,34	4,86
10	—	—	—	85,98	42,00	10,67	6,73
11	—	—	—	150,80	68,57	15,18	9,16
12	—	—	—	260,14	110,11	21,26	12,24
13	—	—	—	—	174,36	29,35	16,14
14	—	—	—	—	272,85	40,05	21,04
15	—	—	—	—	—	54,09	27,14
16	—	—	—	—	—	72,40	34,69

x (MN)	d ² (m ²)						
	V = 0,76 MN (T = 0,02)	V = 1,6 MN (T = 0,16)	V = 3,8 MN (T = 0,45)	V = 8,07 MN (T = 0,69)	V = 10 MN (T = 0,74)	V = 18,4 MN (T = 0,85)	V = 25,7 MN (T = 0,89)
17	—	—	—	—	—	96,16	44,00
18	—	—	—	—	—	126,83	55,43
19	—	—	—	—	—	166,26	69,39
20	—	—	—	—	—	216,73	86,39
21	—	—	—	—	—	281,11	107,02
22	—	—	—	—	—	—	131,97
23	—	—	—	—	—	—	162,07
24	—	—	—	—	—	—	198,28
25	—	—	—	—	—	—	241,74

Na tabela acima, os valores de visibilidade meteorológica são os correspondentes às transparências atmosféricas do gráfico da figura 3.4 – Transparência Atmosférica Média Nacional, acrescidos do valor $V = 10$ MN, correspondente a $T = 0,74$ e recomendado pela IALA como coeficiente padrão para notação de alcance luminoso nos documentos náuticos.

Observe que os valores da tabela foram interrompidos em um valor de $d^2 \approx 250$ m², considerado um limite prático para alcance diurno, tendo sido estabelecido com base em um farol cilíndrico com 42 m de altura por 6 m de diâmetro, pintado de branco e avistado contra um fundo perfeitamente negro ($C_o = 1$). As dimensões dessa estrutura estão no limite 7:1 de utilização da fórmula. A área desse farol será de 252 m².

No caso de $V = 1,6$ MN, a tabela se interrompe em $d^2 = 46,10$ m² que seria a área do painel branco necessário para se alcançar 3 MN, porque para alcançar 4 MN – o valor seguinte da tabela – seriam necessários cerca de 600 m².

Para qualquer outra cor que não a branca, o valor de d^2 deverá ser recalculado considerando o contraste intrínseco do objeto contra o fundo.

Por exemplo, para um sinal encarnado luminescente, no qual $C_o = 0,25$, a estrutura de 250 m² alcançaria, para $T = 0,69$ (média nacional), um máximo de 9 MN.

Para obter a tabela da página anterior e o cálculo acima, construiu-se uma planilha Excel, que permite alterar as variáveis K , T e C_o , determinando V e as áreas d^2 para chegar a um alcance x , variando de 1 a 25 MN. Sugere-se que o projetista desenvolva essa ferramenta de trabalho para obter essas informações e simular diversas situações, alterando os parâmetros de projeto.

4.9 LIMITAÇÕES DO ALCANCE VISUAL DE FORMAS ALONGADAS (FARÓIS)

Os cálculos apresentados acima permitem prever o alcance de percepção dos sinais náuticos. Esta percepção está relacionada com o diâmetro aparente do objeto nas condições limites definidas pela condição citada no item anterior: *Para objetos de reduzido diâmetro aparente, menor que 1 miliradiano ou aproximadamente 3 minutos de arco, a visibilidade é uma função do contraste e do ângulo sólido subtendido pelo objeto, com vértice no observador.*

Esse “diâmetro aparente menor que 1 miliradiano” tem um limite prático de 1 minuto de arco ou 0,3 mrad, que é considerado como a resolução ou “acuidade visual” vertical do olho de um observador jovem com visão normal, ou seja, este seria o menor diâmetro aparente observável de um objeto.

Essa medida é válida para observações a curta distância, permitindo definir o limite para observação de objetos (normalmente negros contra um fundo branco), mas, na observação de sinais náuticos, fornecerá uma estimativa muito elevada do alcance visual. Para comprovar isto, basta estimar o alcance da torre de 42 metros de altura do item anterior, segundo esse critério. A situação seria aquela representada na figura 4.4:

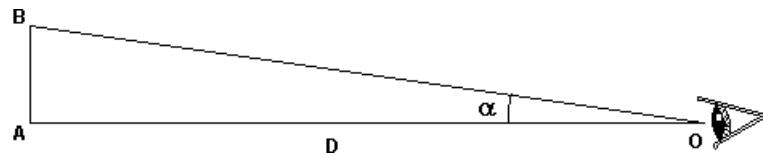


Figura 4.4 – Acuidade Visual.

A distância D é medida desde o observador “O” até a base do objeto em “A” e relaciona-se com a dimensão AB (ou separação entre os pontos A e B) do objeto em questão, através da fórmula:

$$AB = AO \cdot \operatorname{tg} \alpha \quad \text{ou}$$

$$AO = D = AB \cdot \operatorname{cotg} \alpha$$

Para separação vertical (ou altura de objeto), a dimensão AB será chamada de “H” (altura).

Fazendo $\alpha = 1'$ e $\operatorname{cotg} \alpha = 3437,74667 \approx 3438$, a distância para separação vertical D_v será:

$$D_v = 3438H$$

Para uma altura $H = 42$ metros, o alcance será 144.396 metros ou aproximadamente 78 MN o que, obviamente, é superestimado. Por esta razão, o alcance visual para a percepção de objetos não luminosos durante o dia deve ser calculado conforme o item 4.8 e limitado a objetos alongados na vertical que guardem a proporção 7:1 entre esta dimensão e a dimensão horizontal.

Isto equivale a dizer que, com base nas observações práticas, uma estrutura de farol que guarde a proporção indicada seria o objeto visível à maior distância possível. Nesse caso, um farol de 40 metros de altura por 3 metros de base não seria visível no limite de alcance que sua altura permitiria, por causa da reduzida dimensão horizontal. Para estar dentro dos limites da proporção 7:1, o mais correto seria considerar os 21 metros superiores do sinal como a porção vertical observável (por guardar a proporção adequada com a dimensão horizontal de 3 metros).

Assim sendo, uma estrutura de farol na cor branca, nessas condições teria uma área $d^2 = 63 \text{ m}^2$ e um alcance visual igual a cerca de 9 MN, sob condições de Transparência Atmosférica $T = 0,69$ (média nacional). Essa seria a máxima distância que o sinal poderia ser percebido, considerando-se condições favoráveis de iluminação do Sol (ver o item 4.6).

Os 19 metros restantes, na parte inferior da estrutura do sinal contribuiriam apenas para o Alcance Geográfico, ou seja, “elevariam em 19 m o painel de 21 m considerado para determinação do limite de alcance visual diurno”.

Para fornecer números capazes de avaliar esta situação, suponha-se que o farol de 40 x 3 m tenha sido construído ao nível do mar. Nesse caso, poderemos calcular o “alcance geográfico diurno” para uma estrutura de 19 m e um observador, digamos a 5m. Usando a equação deduzida no item 3.20, tem-se:

$$D = 1,927 (\sqrt{H_1} + \sqrt{H_2})$$

$$D = 1,927(\sqrt{19} + \sqrt{5}) = 12,7 \text{ MN}$$

Isto indica que o sinal, durante o dia, poderia ser avistado a até 12,7 MN por um observador a 5m acima do nível do mar. Recorrendo à tabela do item 4.6, vê-se que isto só será possível para valores de transparência atmosférica superiores a $T = 0,74$, para a área observável de 63 m^2 . Valores de T iguais ou inferiores a 0,74 limitariam essa distância máxima de percepção ou alcance visual.

4.10 DISTÂNCIA LIMITE PARA IDENTIFICAÇÃO DE FORMAS COMPACTAS

A identificação de uma forma é um processo ainda mais complicado que a simples percepção; está condicionado aos dados disponíveis para o observador e, em particular, à variedade de opções oferecidas a ele, que precisa distinguir o meio ambiente, a forma, a cor ou cores e outras características distintas, como sinais ou inscrições. Aqui, depara-se com uma multiplicidade de aspectos difíceis de separar, os quais raramente têm sido objeto de estudos sistemáticos.

Pode-se destacar que, dentre uma seleção de formas simples: círculo, quadrado, triângulo equilátero, todos pintados na cor preta, sobre um fundo branco, é possível reconhecer o triângulo quando seu lado subtende um ângulo de 0,9 mrad (altura = $0,9 \text{ sen}60 \approx 0,8$) e o quadrado ou o círculo, quando seu lado ou diâmetro subtende um ângulo de 1,2 mrad. Letras maiúsculas pretas sobre um fundo branco, com linhas verticais da espessura de um quinto da altura, podem ser distinguidas quando sua altura subtende um ângulo de 2 mrad. A seguir, aparecem esses valores tabulados na figura 4.5.

FIGURAS GEOMÉTRICAS	Distância de Identificação
	$D_{ID} = 1250 h$
	$D_{ID} = 833 L$
	$D_{ID} = 833 d$
	$D_{ID} = 500 h$

Figura 4.5 - Distância para Identificação de Figuras Geométricas Simples

4.11 CONSIDERAÇÕES SOBRE IDENTIFICAÇÃO DE CORES E FORMAS

O uso de cores e os efeitos das mesmas no reconhecimento das formas têm especial importância na sinalização náutica e experimentos sistemáticos sobre esse aspecto têm sido realizados. É necessário reduzir o problema a termos muito simples. Só cores particularmente brilhantes são adotadas, escolhidas após longas investigações e que constituem as especificações contidas na Recomendação da IALA.

O artigo de M. P. Blaise, que tem servido de base a este capítulo, relata um experimento em que as cores escolhidas foram aplicadas a quadrados de 5 cm de lado e os testes de reconhecimento de formas consistiram em identificar uma de duas posições, com lados na vertical ou horizontal ou com “diagonais verticais ou horizontais”. Os testes foram efetuados ao ar livre sobre uma linha de base de 250 m de comprimento, posicionada na direção Leste – Oeste, aproximadamente. Durante o dia, pôde-se considerar cada variação possível de luz ambiente. O fundo foi o céu ou uma tela negra. 124 conjuntos de observações foram feitos por 39 observadores diferentes.

Embora não tenha ficado claro o que ele quis dizer com “diagonais verticais ou horizontais”, pois esta distinção não tem sentido em um quadrado, os resultados das observações, traduzidos em gráficos, servem para compreender, na prática, a aplicação dos conceitos de visibilidade que estudados até aqui. Os gráficos demonstram a freqüência de reconhecimento de cores e formas como função da distância de observação e levam em conta as condições de iluminamento ambiente, direto ou contra a luz, com fundo de céu ou fundo de tela preta.

Reconhecimento de Formas

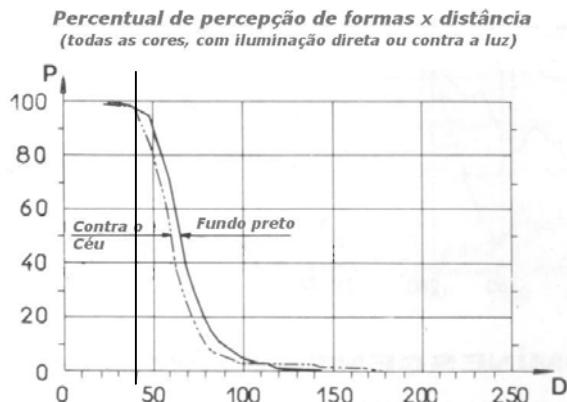


Figura 4.6 – Percentual de Percepção de Formas x Distância

O gráfico da figura 4.6 demonstra que a percepção de formas não é afetada pela cor do quadrado observado nem pela iluminação favorável ou desfavorável. A única influência mensurável foi a observação contra ou céu ou contra um fundo escuro, demonstrando que esta última melhora ligeiramente a percepção do objeto. Se for usada a relação $D_{ID} = 833 L$, que permite calcular a distância de percepção do quadrado, ter-se-á, no caso em que $L = 0,05\text{m}$ (5 cm), a distância $D_{ID} = 41,65\text{ m}$ que é praticamente o valor no eixo das abscissas, correspondente ao “joelho” da curva da figura 4.6 – ponto em que o percentual de identificação começa a se tornar inferior a 100 %.

O que o gráfico permite concluir é que o principal fator de influência no reconhecimento das formas é a acuidade visual. As condições de iluminação e contraste têm efeito moderado.

Para verificar se a distância máxima escolhida corresponderia ainda a uma possibilidade de avistamento de uma forma alongada, por exemplo (limite mínimo de 1 minuto de arco), recorre-se à representação da figura 4.4 e calcula-se o ângulo subtendido pelo quadrado de 5 cm de lado, usado no experimento.

$$D = 250 \text{ m}$$

$$h = 0,05 \text{ m (5 cm)}$$

$$\alpha = \tan^{-1} (h/D)$$

Calculando α , vê-se que esse ângulo é 0,7 minuto de arco (cerca de 0,2 mrad), ou seja, inferior ao limite mínimo de 1 minuto de arco, estabelecido como a acuidade visual máxima de um observador. De maneira inversa, para observar a figura em questão em seu limite de visibilidade de 1 minuto de arco o alcance seria $D = 0,05 \times \cotg 1' \approx 170$ metros. O gráfico da figura 4.4 também confirma este limite.

Esta informação será útil ao analisar o comportamento dos observadores no tocante ao reconhecimento de cores.

Vermelho

M. P. Blaise concluiu que essa cor é, apesar de tudo, a mais satisfatória tanto pelos alcances obtidos quanto pela pouca probabilidade de confusão com outras cores. A curva de freqüência cumulativa para os vermelhos luminescentes nem sequer foi desenhada porque a distância de 250m revelou-se insuficiente para isto; a esta distância, a probabilidade de reconhecimento permaneceu acima de 90%, em alguns casos.

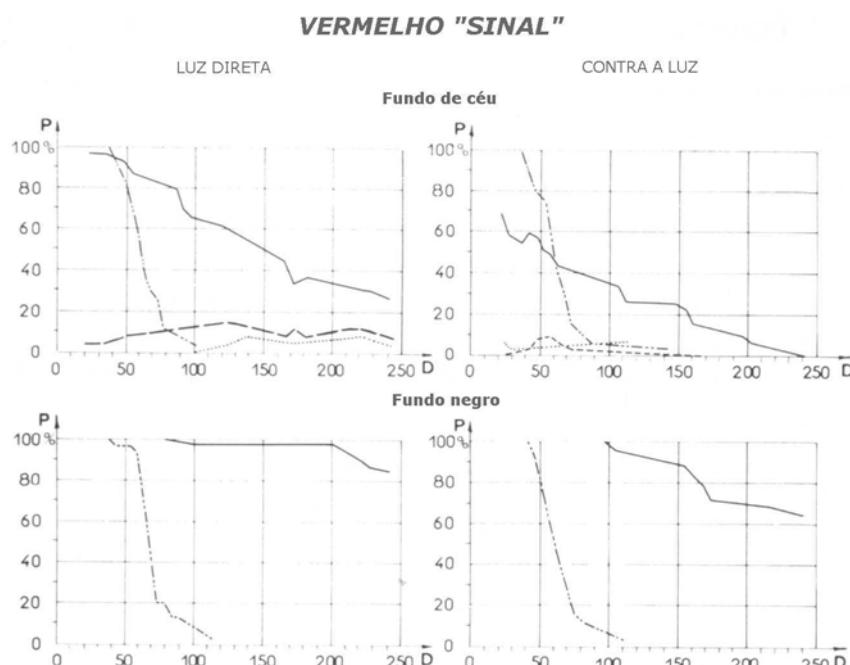


Figura 4.7 – Percentuais de Avistamento de Cor – Vermelho “Sinal” (Fator de Luminância = 0,13)

visão da forma (quadrado): _____ avistado como azul: _____

visão da cor exata: _____ avistado como verde: _____

avistado como preto: _____

Uma conclusão interessante é que o fundo negro praticamente eliminou a confusão do vermelho com outras cores, o que ocorreu, ainda que de forma residual, nas observações contra o céu.

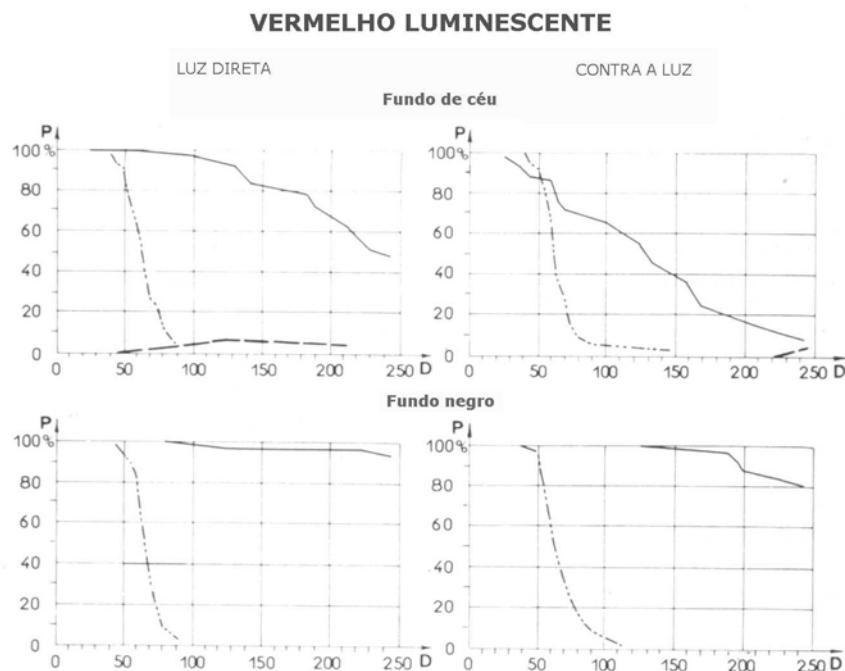


Figura 4.8 – Percentuais de Avistamento de Cor – Vermelho Luminescente (F. Lum. = 0,25)

visão da forma (quadrado):

visão da cor exata:

avistado como preto:

M. P. Blaise declarou que não foi capaz de traçar a “curva de freqüência cumulativa para o vermelho luminescente”, porque os 250 m foram insuficientes para isto.

Verifica-se que o limite de acuidade visual ficaria em torno de 170 m (para o lado do quadrado de 0,05 m subtender 1 minuto de arco). Logo, deve-se concluir que a observação da cor pode ter um alcance maior do que a observação da forma.

Aplicando agora a fórmula $0,05^{x/V} C_0(d^2/x^2) = 0,038$ para alcances em quilômetros, e fazendo as conversões de unidade adequadas (recorda-se que esta fórmula também leva em consideração a forma do objeto), será obtido, para o quadrado de 5 cm de lado, um alcance em torno de 126 metros, variando ± 1 m dentro da faixa de valores de Visibilidade Meterorológica considerada. A pequena variação é previsível devido à distância de observação relativamente curta para que a visibilidade interfira apreciavelmente. O alcance obtido demonstra mais uma vez que a acuidade visual é um valor limite para observação de forma, raramente atingido. O alcance máximo de 126 m, encontrado, coincide com a máxima distância de reconhecimento de forma obtida nos experimentos, que corresponde aos mínimos percentuais, nas curvas de visão da forma em todos os gráficos acima (e também nos subsequentes).

Disto se pode concluir que, pelo menos para esta cor, a percepção é superior à identificação da forma. Recorra-se, agora, à fórmula que permite o cálculo do alcance de percepção independente da forma: $x/V = 1 + (\log C_0'/1,3)$. Considere-se que, contra um fundo negro, por exemplo, o fator de luminância do vermelho luminescente corresponda ao contraste intrínseco, uma vez que aquele fator representa a quantidade de luz refletida pela cor, comparada a um refletor branco padrão sob mesma iluminação e que o fundo negro não reflete luz alguma, de modo que toda a luminosidade será devida à cor.

Pode-se calcular a relação $x/V = 0,54$, donde podemos concluir que $V = 1,86x$ para essa cor, que dará a visibilidade mínima para a cor ser avistada à distância x .

Então, para $x = 250$ m, a visibilidade seria $0,47$ km ou $0,25$ MN. Isso quer dizer que a cor vermelha luminescente seria avistada na distância considerada, mesmo que a visibilidade meteorológica fosse inferior até mesmo ao limite de observação ($V = 0,76$ MN) abaixo do qual a Transparência Atmosférica praticamente se anula. Como a observação não deve ter sido feita sob neblina, isto explica porque a cor vermelha luminescente teve cerca de 100% de avistamento contra um fundo escuro, recebendo luz direta do Sol.

Observe-se também, no gráfico da figura 4.8, como o desempenho é pior quando o fundo é o céu. Contra esse cenário, o reconhecimento do vermelho luminescente sob luz direta, praticamente acompanhou a limitação de reconhecimento de forma, declinando a partir da faixa dos 125 metros.

Branco

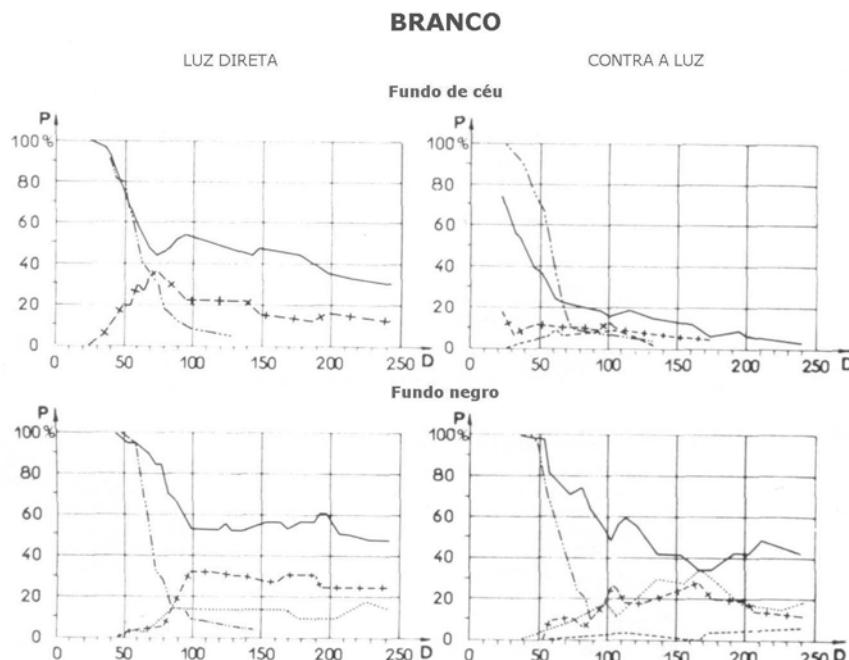


Figura 4.9 – Percentuais de Avistamento de Cor – Branco

Figura 1.3 - Presente
visão da forma (quadrado): _____
visão da cor exata: _____
avistado como amarelo: + - + - + - + - +

Avistamento de 33. Brancos
avistado como azul: -----
avistado como verde:

M. P. Blaise concluiu que além da distância na qual a forma é reconhecida, o branco provoca bastante confusão, que pode ser explicada pelo contraste com o céu azul, proporcionando grande incidência de identificações falsas com o amarelo e, por outro lado, pelas propriedades de trivariância do olho, especialmente contra a luz. Neste caso, as respostas dos observadores apresentavam hesitações entre branco, amarelo, verde e azul, os quais, sob iluminação fraca, excitam, em condições similares, somente os elementos receptores da retina de comprimentos de onda intermediários.

Preto

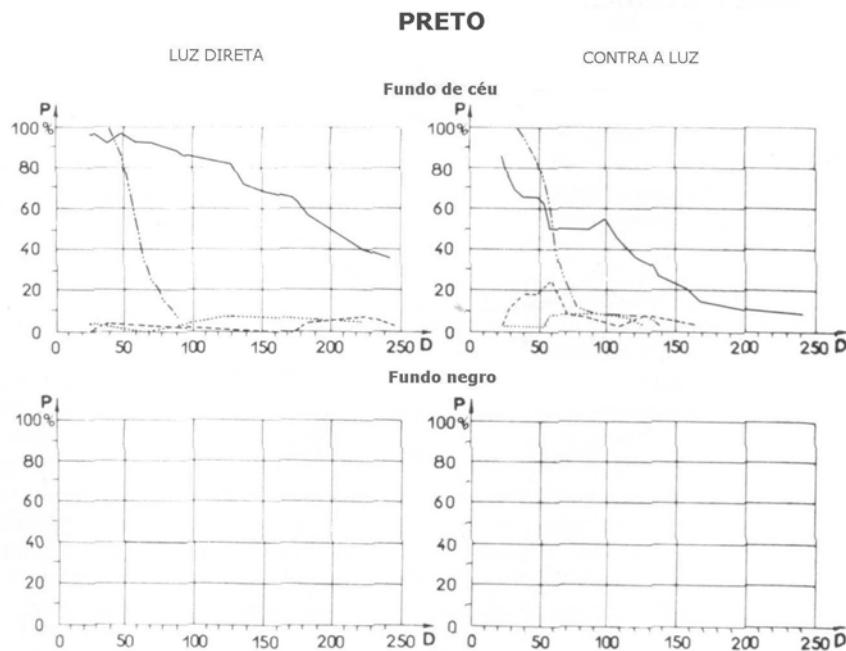


Figura 4.10 – Percentuais de Avistamento de Cor – Preto

visão da forma (quadrado): —········— avistado como azul: - - - - -
visão da cor exata: —————— avistado como verde:

O gráfico da figura 4.10 demonstra que o preto tem a desvantagem de desaparecer completamente quando o fundo é escuro, mas, de outra maneira, é bastante fácil de reconhecer.

Contra a luz e com o fundo de céu, outras cores também parecerão negras, especialmente os vermelhos, se não forem muito brilhantes.

Azul e Verde

Normalmente são de reconhecimento fácil, mas somente a curtas distâncias, muito inferiores àquelas em que a forma é reconhecida; além desse ponto, as duas cores são quase que totalmente confundidas. Isto se explica pelo dicromatismo do centro da fóvea; dentro de um ângulo de 30 minutos de arco, o elemento receptor para comprimentos de onda curtos está ausente.

A figura 4.11 apresenta os resultados encontrados para a observação do verde luminescente e para o azul (desconhece-se o fator de luminância).

VERDE LUMINESCENTE

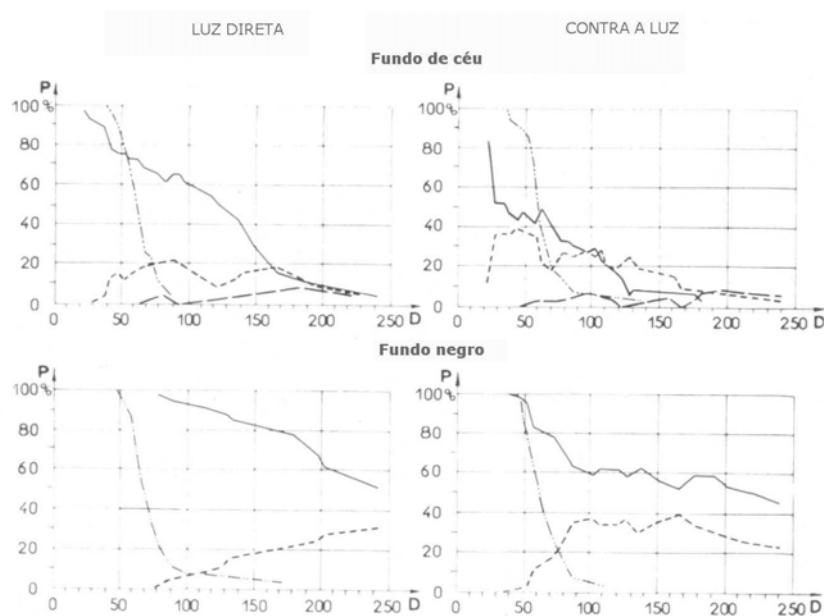


Figura 4.11.a – Percentuais de Avistamento de Cor – Verde Luminescente
 visão da forma (quadrado):
 visão da cor exata:
 visão da cor exata avistado como preto:
 visão da cor exata avistado como azul:

AZUL

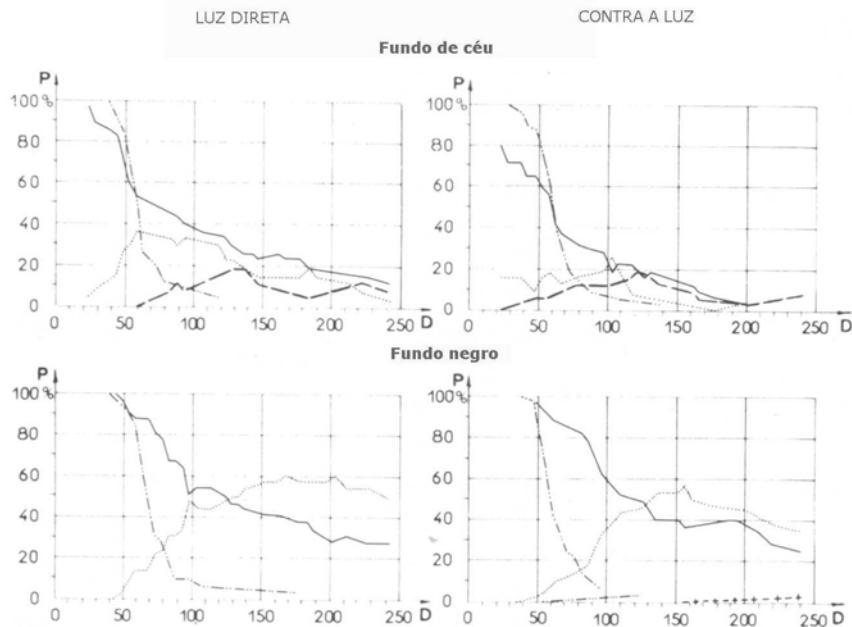


Figura 4.11. b – Percentuais de Avistamento de Cor – Azul
 visão da forma (quadrado):
 visão da cor exata:
 visão da cor exata avistado como preto:
 visão da cor exata avistado como verde:
 visão da cor exata avistado como amarelo:
 + - + - + - +

Amarelo

É particularmente sensível à observação contra a luz e é bastante confundido com o branco. Aparentemente, funciona melhor quando é envolvido por uma borda preta ou visto contra um fundo preto, caso se deseje exceder a distância de reconhecimento da forma. O amarelo luminescente eleva a probabilidade de confusão com o branco, exceto a distâncias muito curtas. Não há dúvida de que deve ser rejeitado como cor a ser distinguida do branco. Seu comportamento contra a luz, no experimento, foi ligeiramente melhor do que o branco.

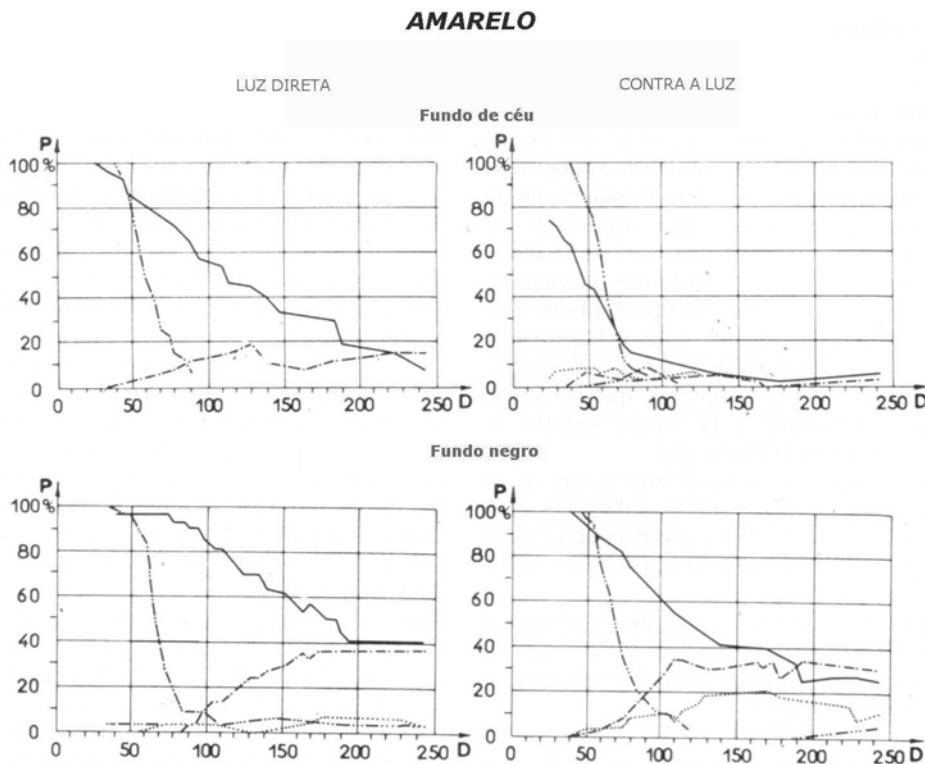


Figura 4.12 – Percentuais de Avistamento de Cor – Amarelo
 visão da forma (quadrado): $\cdots\cdots\cdots$ avistado como branco: $\cdots\cdots\cdots\cdots$
 visão da cor exata: — avistado como verde: $\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots$
 avistado como vermelho $\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots$

4.12 CONSIDERAÇÕES ÚTEIS NO PROJETO DE SINAIS DIURNOS

O projeto de qualquer sinal náutico, diurno ou noturno, depende principalmente do papel desse sinal como auxílio à navegação. Essas considerações serão objeto dos capítulos subseqüentes deste Manual.

Os parâmetros discutidos neste capítulo e no anterior são os requisitos a serem manipulados pelo projetista para alcançar os resultados pretendidos pelo sinal, a fim de que o mesmo seja eficiente para o navegante.

Esses resultados consistirão de condições restritivas, até certo ponto, com respeito à localização e ao regime de visibilidade, com possíveis padronizações referentes à forma e à cor. Outras limitações ocorrerão, se o sinal precisar ser avistado em conjunto com outros, como, por exemplo, em sistemas de alinhamento ou quando funcionam como suporte de luzes para navegação noturna, casos em que o aspecto de marca diurna do sinal pode ser secundário ou auxiliar.

Neste item, subdividido para facilitar a consulta, foram incluídas algumas considerações úteis contidas no artigo de M. P. Blaise, a fim de orientar o projetista.

4.12.1 – Localização

Embora as condições de navegação sejam as principais determinantes da localização de um sinal, a escolha do local envolve, às vezes, um estudo complicado, para garantir que nenhum obstáculo possa impedir a visualização do sinal em qualquer direção, dentro da zona de utilização. A porção útil do sinal deve estar livre de obstruções, tais como vegetação, construções ou curvatura da Terra. Em certos casos, torna-se necessário estabelecer regulamentações a esse respeito²⁰.

Um sinal avistado contra o céu é especialmente desejável, uma vez que a detecção e o reconhecimento podem ser adequadamente previstos quando o sinal é avistado contra esse cenário de fundo. Outros cenários pedem avaliação cuidadosa.

Essas considerações não devem, entretanto, resultar em um posicionamento do sinal muito afastado da zona de utilização. O sinal também não deve ser ineficaz por um período proporcionalmente grande de tempo como consequência da distância de utilização ser muito grande para as condições de visibilidade que prevalecem na região.

4.12.2 – Alcance Diurno

Sendo o assunto mais desenvolvido neste capítulo, há base suficiente para desenvolvimento de projeto, nesse aspecto. Como orientação resumida, pode-se considerar o seguinte:

- a) Para determinar o Contraste Intrínseco, sugere-se considerar as condições de iluminação diurna como vinda de todas as direções (céu encoberto). Nessas condições, o contraste aproxima-se do limite de visibilidade meteorológica. O cenário de fundo e a contribuição do solo próximo para a luminância do sinal também deverão ser considerados. Os subitens seguintes apresentam considerações adicionais sobre brilho e cores, que complementam a presente sugestão.
- b) Como consequência da sugestão anterior, não se deve considerar condições extremas de iluminação diurna, que permitem alcances muito superiores, até à limitação de alcance da forma, provida pela acuidade visual. É suficiente saber que essas condições extremamente favoráveis podem ocorrer e que o sinal projetado poderá ser avistado muito além do alcance para o qual foi construído.
- c) O limite de alcance diurno calculado para as condições acima deverá ser aquele definido pela acuidade visual, para as proporções máximas estabelecidas.

4.12.3 – Ângulo de Observação

Deve-se fazer uma distinção entre o caso em que o sinal diurno precisa ser avistado em um grande ângulo de visão e aquele em que o sinal só precisa ser avistado nas vizinhanças de uma determinada marcação angular. No primeiro caso, o sinal deve exibir praticamente o mesmo aspecto em todas as direções e, portanto, sua forma deve ser simétrica em relação a um eixo vertical central, ou precisa apresentar a forma de um polígono regular no plano horizontal. No segundo caso, essa necessidade não se aplica, mas outras condições podem ser necessárias, como, por exemplo, no caso de alinhamentos.

²⁰ No que diz respeito aos faróis faroletes e demais sinais visuais de auxílio à navegação, isto é objeto de legislação, no Brasil. Ver NORMAM-17/DHN.

4.12.4 – Forma

A experiência aponta para a escolha, em geral, de formatos esbeltos, altos e estreitos, especialmente para os sinais que devem ser observados de diversas direções, num ângulo de visão bem aberto.

- O principal requisito é chegar ao alcance geográfico requerido com o mínimo custo de construção. É vantajoso construir o topo da estrutura relativamente mais largo que o resto da mesma, pois para uma mesma altura mínima de alcance geográfico, um farol dotado de uma galeria no topo será mais facilmente avistado que um campanário pontiagudo.
- A altura do sinal também permite que seja avistado acima do nível do terreno, de modo a fazê-lo visível contra o céu, o que melhora a visibilidade, especialmente contra a luz.
- Outra razão para construir sinais com forma esbelta é facilitar que sejam distinguidos dos objetos próximos.
- As formas esbeltas têm a vantagem adicional de serem mais facilmente avistadas no processo de medições angulares e essas medidas, que precisam de elevada exatidão, podem ser facilitadas pelo acréscimo de algum objeto especial no topo do sinal, como uma esfera, um captor de pára-raios, etc.

A forma do sinal é percebida, geralmente, por seu contorno aparente, como, por exemplo, nas observações contra a luz e contra o fundo de céu, razão pela qual essa forma deve, sempre que possível, apresentar alguma característica distintiva.

As formas dos sinais podem também ser selecionadas de modo a causar contrastes de luz e sombra favoráveis à sua visibilidade em céu claro, como é o caso do branco ou das cores claras. Esse efeito é bastante eficiente em termos gerais, nas torres brancas cilíndricas, não sendo possíveis nas torres de cor preta e naquelas que exibem uma face plana ao observador.

Deve-se mencionar também que a forma pode ser determinada por regras de balizamento, como no caso de sinalização de canais ou perigos isolados.

4.12.5 – Cor (Luminosidade ou Brilho)

Um sinal pintado com cor muito clara, praticamente branca, pode oferecer melhor alcance visual em tempo claro, mas só quando a iluminação é favorável, isto é, frontal ou, no máximo, lateral. Esse sinal será melhor avistado contra um cenário de fundo predominantemente escuro e pode ser de difícil visualização em tempo nublado, contra o céu ou mar, próximo ao horizonte. Em situações de iluminação contrária, ele se apresentará escuro em contraste com a luz do céu, e isso resulta na desvantagem do sinal alterar seu aspecto consideravelmente, além do risco de não ser avistado contra a costa escura. Um sinal pintado de preto ou cor escura ou, ainda, construído de material naturalmente escuro (pedra) sempre é bem avistado contra o céu, mas nem sempre é visível a uma distância tão grande quanto um sinal claro, bem iluminado pelo Sol. O sinal não muda de aspecto com a variação de iluminação, mas sua visibilidade será duvidosa se for avistado contra a linha da costa que, geralmente, exibe cores escuras, e isto será mais evidente contra a luz.

Uma coloração intermediária, entre o muito claro e o muito escuro, somente se justificará se for necessária uma tonalidade especial.

4.12.6 – Cor (Propriedades de Reflexão de Superfícies)

A reflexão da luz em uma superfície pode ser especular, difusa ou mista. A "Reflexão Especular" ou a "Reflexão Regular" é uma "reflexão sem difusão, de acordo com as leis da reflexão ótica, como em um espelho". Isto não é obviamente o tipo de reflexão desejada para a superfície de um sinal náutico não luminoso.

A "Reflexão Difusa" é uma "difusão por reflexão na qual, na escala macroscópica, não há reflexão especular".

A reflexão difusa ocorre em uma superfície que é áspera, ou é composta de cristais minúsculos ou partículas de pigmento. Para uma reflexão perfeitamente difusa a aspereza da superfície deverá ser microscópica, o que equivale a considerar que as partículas superficiais sejam menores do que o comprimento de onda da luz, algo que é raramente conseguido na prática.

A distribuição da luz refletida na reflexão difusa é independente do ângulo de incidência da luz sobre a superfície. A luminância da superfície é uniforme em todo um hemisfério. A intensidade luminosa, portanto, segue uma distribuição de co-seno com ângulo em perpendicular: a intensidade máxima da luz refletida é perpendicular à superfície.

A reflexão difusa é ideal para as superfícies de auxílios visuais não luminosos que são iluminadas pela luz natural. Pinturas sem brilho e outros acabamentos foscos e materiais, como o reboco e o calcário, dão praticamente uma reflexão difusa uniforme em todos os ângulos.

Superfícies com aspereza quase microscópica acumulam sujeira e são difíceis de limpar; a manutenção de superfícies polidas é mais fácil, mas estas apresentam reflexão especular, que não é desejável. As superfícies com um acabamento polido e transparente sobre uma base fosca ou o uso de tintas semibrilhantes causa tanto uma reflexão difusa como especular, conhecida como "Reflexão Mista".

Embora este tipo de reflexão seja menos desejável para auxílios à navegação, porque o componente especular da energia luminosa refletida subtrai energia da reflexão difusa, é freqüentemente empregado como um meio-termo aceitável.

Quando um sinal não luminoso é iluminado por uma fonte de luz específica (por exemplo, um holofote) pode-se fazer uso da "Retro-Reflexão" ou da "Reflexão-Reflexa", definidas como "a reflexão em que a luz é devolvida em direções próximas à direção de onde ela veio, esta propriedade sendo mantida em relação a largas variações da direção da luz incidente".

Para se obter este tipo de reflexão, materiais refletores especiais são empregados. Veja o item 4.13.

A figura 4.13 mostra diagramas representativos dos vários tipos de reflexão, abordados nos parágrafos precedentes.

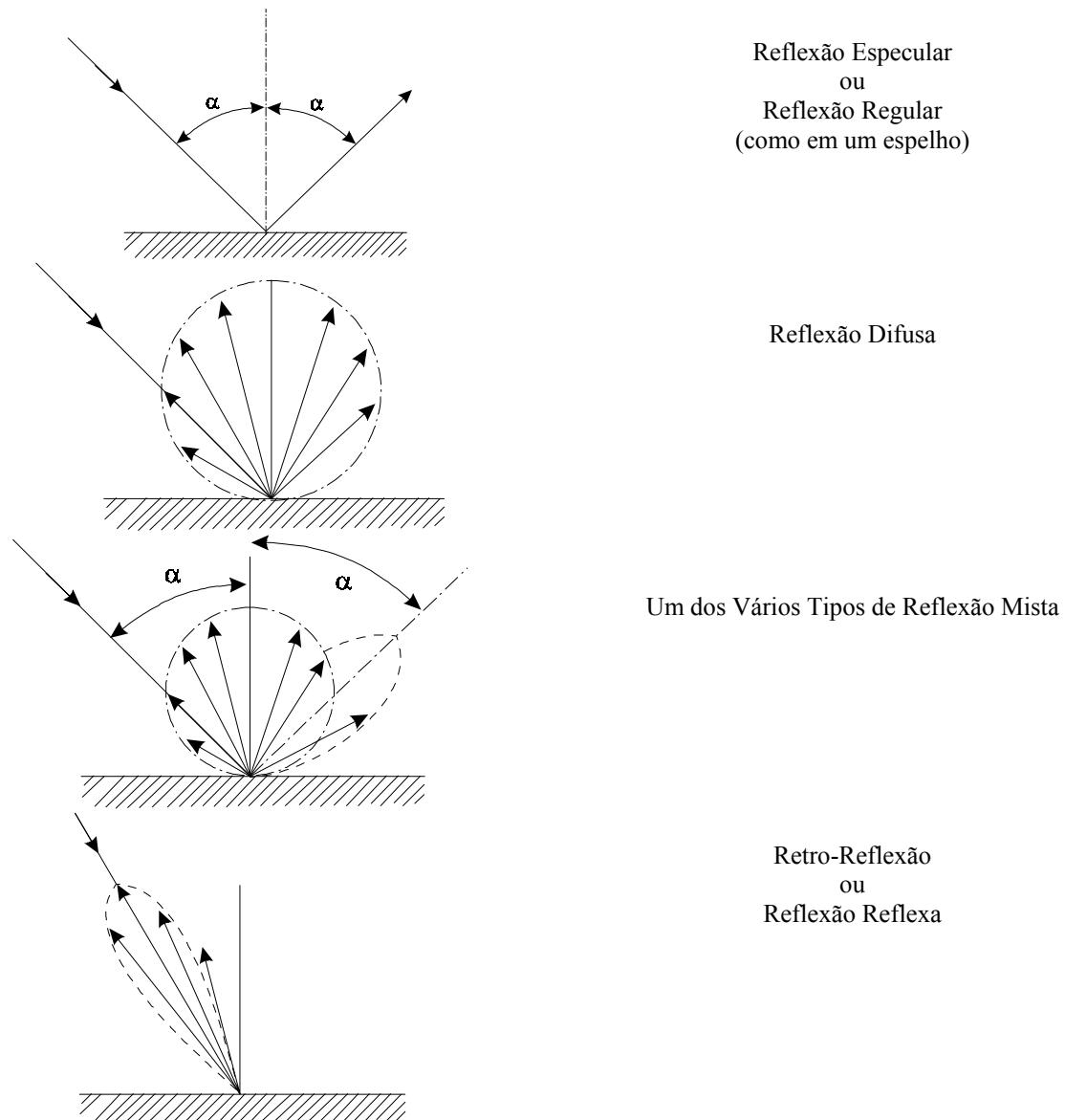


Figura 4.13 – Tipos de Reflexão

4.12.7 – Cor (Tonalidade)

Esta é uma característica valiosa para identificação, mas só pode ser usada em sinalização náutica de forma limitada, porque o reconhecimento da tonalidade requer uma boa iluminação. É preciso restringir seu uso a uma gama pequena e bem definida de tonalidades, com um compromisso ótimo entre saturação e brilho.

Na prática, somente o *vermelho* é usado de forma extensa para sinalização náutica, porque pode ser identificado a uma distância maior que qualquer outra cor; é comparativamente raro na natureza e tintas de excelente qualidade podem ser obtidas no mercado. O reconhecimento do vermelho é drasticamente reduzido contra a luz, por causa da carência de comprimentos de onda mais longos nas sombras. Com um fator de luminância variando entre 0,07 e 0,09, que é aquele das tintas vermelhas ordinárias, há uma confusão freqüente com o preto em condições de iluminação contrária e, para sinais náuticos, é melhor adotar um fator de luminância de 0,13 a 0,14 (calculado sob Iluminante C ou D₆₅, da CIE) para tintas de tipo tradicional. Os melhores resultados são obtidos com coberturas luminescentes, que convertem as radiações de comprimentos mais curtos para o

espectro visível, na faixa do vermelho, e essas radiações estão presentes em boa medida nas áreas sombreadas. O fator de luminância aparente dessas tintas varia de 0,35 a 0,50.

Verde, amarelo, azul e púrpura também podem ser utilizados, mas apenas excepcionalmente. O verde tem a desvantagem de ser a tonalidade da vegetação e o azul assemelha-se ao mar ou ao céu claro. Em situações de visão próxima da pontual, o verde e o azul não podem ser distinguidos entre si. A indústria fornece tintas azuis de grande saturação mas o mesmo não acontece com o verde; somente os verdes luminescentes parecem ser satisfatórios para sinalização diurna, embora padeçam de pouca durabilidade. O amarelo somente pode ser reconhecido quando se emprega um contorno preto e os amarelos luminescentes não devem ser utilizados pelo risco de serem confundidos com o branco. A cor púrpura possui bom contraste mas não é luminosa, e muda de aspecto conforme a temperatura de cor da iluminação, apresentando risco de ser confundida com o vermelho ou com o azul.

4.12.8 – Sinais de uma única cor

O *preto* só pode ser usado quando grande parte do sinal é sempre avistada contra o céu ou o mar.

Sinais completamente *brancos* são claramente visíveis quando a maior parte dos mesmos é avistada contra uma costa escura, em todas as circunstâncias, e quando as condições de observação contra a luz não são extremas.

O *vermelho*, usado como cor única, é adequado para sinais *offshore* isolados, mas não é recomendado para aqueles situados em terra, a menos que se use vermelho luminescente.

Verde, azul e amarelo não devem ser usados isoladamente; bóias pintadas totalmente de verde são bastante difíceis de avistar, embora seja uma das cores padronizadas pela IALA.

4.12.9 – Sinais de duas cores

O uso de duas cores em sinais náuticos permite combinar vantajosamente o efeito complementar dessas cores, principalmente em combinações de branco com vermelho ou com preto, que dão os contrastes mais fortes tanto de luminância quanto de cor; pode-se considerar também uma combinação de preto com vermelho luminescente.

A desvantagem do uso de duas cores é que o ângulo sólido subtendido por cada parte colorida é só uma fração do ângulo do sinal como um todo. Deve-se evitar combinações de cores muito complicadas, como xadrez de figuras pequenas, linhas paralelas ou diagonais numerosas, pois embora sejam de fácil identificação, não podem ser vistas senão a curta distância.

Sinais de duas cores são essenciais, se os mesmos precisarem ser avistados alternadamente, contra fundos claros e escuros, conforme o ângulo em que são avistados e conforme as condições de altura de observação, maré, etc. Deve-se garantir que o sinal seja identificado, qualquer que seja a cor que apresente risco de confusão com o fundo. Contra um fundo claro, a porção escura pode ser a superior ou usada como contorno. Contra um fundo escuro, a porção branca pode formar uma moldura para a porção escura.

4.12.10 – Casos especiais de Sinais de Alinhamento

O projeto completo de sinais de alinhamento será abordado no Volume II deste Manual. As considerações a seguir fornecem apenas uma visão geral.

A visibilidade de sinais de alinhamento obedece ao mesmo critério aplicado aos sinais diurnos comuns, mas são necessárias considerações especiais, devido ao fato desses sinais serem observados em conjunto (normalmente aos pares e, ocasionalmente, em grupos de três). Outros aspectos que demandam atenção especial são que esses sinais são visíveis somente nas vizinhanças de uma dada direção e devem ser alinhados com um determinado grau de exatidão.

No que diz respeito à observação em conjunto, é essencial que o sinal anterior jamais obscureça a porção útil do sinal posterior, qualquer que seja a posição do navegante dentro do segmento de utilização ou da região de aquisição, em qualquer estado de maré ou altura de observação, sob condições normais de uso. Isto não exclui, entretanto, a possibilidade de que uma seção inferior do sinal posterior seja ocultada pelo sinal anterior, garantindo-se que uma porção suficientemente grande do sinal posterior continue visível. Freqüentemente se aceita que haja um obscurecimento quase total, quando o alinhamento estiver sendo observado no ponto mais próximo, dentro do segmento útil e durante a maré baixa.

Para que o alinhamento tenha uma boa exatidão, é necessário, por outro lado, que o ângulo vertical entre os sinais seja o menor possível para qualquer posição do observador, dentro dos limites descritos no parágrafo anterior.

Entretanto, quando o “lado médio” dos sinais subtende um ângulo menor que um miliradiano, haverá uma melhoria na exatidão do alinhamento se ambos não forem confundidos em uma única imagem. Por esta razão, é vantajoso prover uma separação entre eles, que será especificada mais adiante, quando estiver sendo analisada a sensibilidade do alinhamento.

É necessário garantir que, quando observados ao longo do eixo do alinhamento, os dois sinais não aparentem fundir-se em um único sinal; neste caso, o navegante poderá não identificar se está dentro dos limites do alinhamento ou se está tão afastado que não é capaz de enxergar um dos sinais.

Para sinais cuja utilização como alinhamento é incidental, não é necessário o requisito de similaridade na sua aparência. Ao contrário, nas situações em que esses sinais foram projetados especificamente para servir como alinhamento, devem apresentar formas e cores similares ou complementares, para indicarem claramente ao navegante quais sinais associar para determinar a linha a seguir.

4.12.11– Sensibilidade de Alinhamento

Considere-se o caso de sinais exibindo formas compactas, avistados a distâncias superiores àquelas em que as formas podem ser reconhecidas. É lógico supor que a forma não terá influência apreciável no alinhamento.

Neste caso, se a visibilidade for suficientemente boa e considerando-se uma relação x/d (x em quilômetros e d em metros) que exceda 1,3, a diferença de posicionamento angular que está no limiar de percepção pelo observador torna-se uma função exclusiva do ângulo vertical. Descobriu-se que a diferença RMS entre marcações angulares, denominada θ e medida em miliradianos, quando o observador se considera dentro da linha central de um canal servido por alinhamento, pode ser expressa como uma função do ângulo vertical δ , em miliradianos, por:

$$\theta = 0,06 + 0,02\delta \quad , \quad \text{para } 1 \leq \delta \leq 10 \text{ mrad}$$

Quando a razão x/d é menor que 1,3, a diferença angular RMS é melhorada e não deve exceder

$$\theta = 0,04 + 0,0125\delta \quad , \quad \text{para } 1 \leq \delta \leq 15 \text{ mrad}$$

Essas fórmulas sugerem que é necessário reduzir o ângulo vertical de maneira a melhorar a sensibilidade do alinhamento. Este é, de fato, o caso, quando $x < 1,3d$. Ao contrário, sempre que $x > 1,3d$, o olho tende a mesclar as imagens dos dois objetos observados em uma só, caso eles estejam muito juntos; haverá, nesse caso, uma vantagem em afastar mais os dois sinais. Nos casos estudados – círculo ou retângulo com largura igual à metade da altura – a maior sensibilidade foi obtida para uma separação igual à altura do objeto.

Para objetos muito alongados na vertical, pode-se ter alguma vantagem em decorrência da “acuidade de alinhamento” descrita pelos fisiologistas. Para objetos retangulares de altura aparente igual a 5 mrad, uma diferença angular RMS de cerca de 0,03 mrad foi constatada, no momento em que os dois sinais apareciam tocar-se.

Observa-se aqui que, pelo menos para luzes de alinhamento, os navegantes consideram satisfatório um alinhamento para o qual a exatidão é tal que evite perigos dentro de uma região cuja largura seja cinco vezes a diferença angular RMS.

4.13 OBSERVAÇÃO NOTURNA DE SINAIS NÃO LUMINOSOS

À noite, é necessário empregar uma fonte de luz externa, como um holofote, para observar sinais náuticos não luminosos. Para melhorar a condição de observação noturna desses sinais, pode-se fazer uso de materiais retro-reflexivos, que possuem a propriedade de devolver a maior proporção possível da luz incidente na direção do observador que ilumina o sinal.

Há dois tipos básicos de dispositivos retro-reflexivos: "O Retro-Refletor de Lente Esférica" e o "Retro-Refletor Cúbico".

Os dispositivos retro-refletores de lente esférica usados como auxílios à navegação, como as películas adesivas retro-refletivas, consistem de uma única camada de minúsculas esferas de vidro (ou plástico), assentadas sobre um material adequado. Cada esfera age como uma lente esférica com uma superfície refletora em seu foco. O material em que as esferas estão assentadas pode ser ou não colorido e apresentar ou não propriedades refletoras.

Há vários tipos de retro-refletores de lente esférica; um dos quais é mostrado na figura 4.14, que ilustra a situação em que os raios luminosos incidentes são focalizados em uma superfície refletora na parte de trás da lente e retornam na direção da fonte de luz. Para se obter este efeito, a lente deve apresentar um índice de refração considerado ótimo. Neste caso, as esferas são assentadas em um material com propriedades refletoras e a frente das esferas é exposta ao ar.

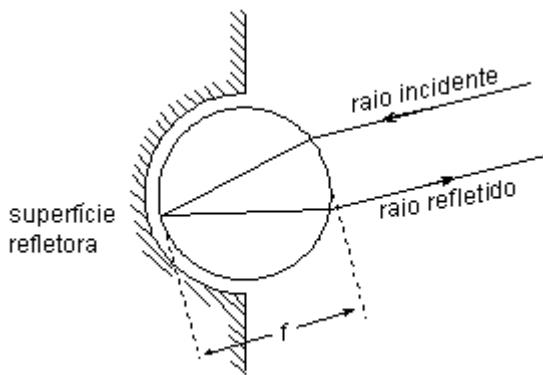


Figura 4.14 - Retro-Refletor de Lente Esférica com Esferas de Refração Ótima

Como pode ser visto na figura, a reflexão é independente do ângulo de incidência da luz na esfera e as propriedades retro-reflexivas da camada são mantidas para um largo ângulo de incidência, limitada somente pela espessura do material no qual as esferas estão assentadas.

Quando as esferas são feitas de material com um índice de refração mais baixo, o foco da lente estará situado fora das esferas e torna-se necessário posicionar a superfície reflectora, a uma distância adequada atrás das esferas. Para ser igualmente efetiva para a luz incidente de várias direções, a superfície reflectora atrás de cada esfera deveria também ser esférica, mas, sendo plana, a eficiência deste tipo de retro-refletor diminui com o crescimento do ângulo de entrada (desvio do normal). A figura 4.15 mostra esta situação.

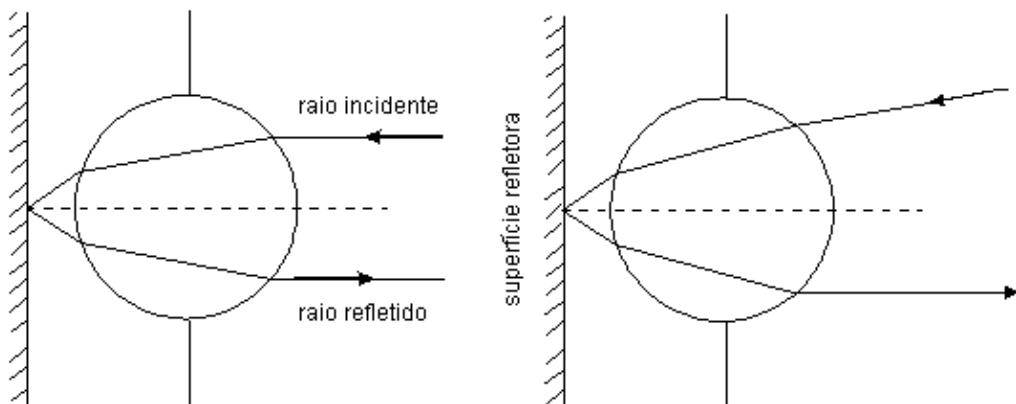


Figura 4.15 - Retro-Refletor de Lente Esférica com Uma Lente de Baixo Índice de Refração

Os sistemas que acabamos de descrever têm elementos expostos. Quando cobertos por uma película de água, o índice de refração efetiva de cada lente esférica sofrerá redução, de modo que a luz que entra será focalizada em um ponto além da superfície de reflexão. A eficiência do retro-refletor é, assim, prejudicada quando o painel estiver úmido e isto torna os retro-refletores de elementos expostos inadequados para sinalização náutica.

Esta desvantagem pode ser superada, incluindo-se os elementos da lente dentro de um meio cujo índice de refração seja relativamente baixo, com uma superfície frontal plana ou, alternativamente, posicionando os elementos expostos atrás de uma fina camada protetora (veja a figura 4.16).

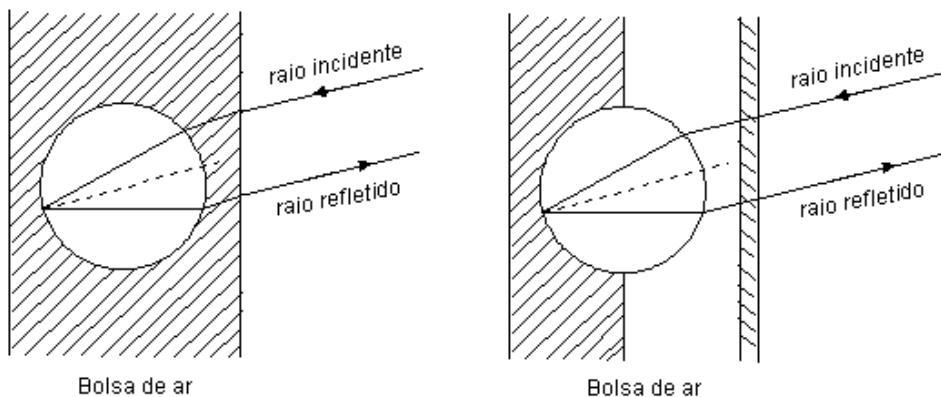


Figura 4-16 – Lentes Esféricas Protegidas

Esquerda: Unidade Ótica Retro-Reflexiva com Lente Esférica Inclusa

Direita: Unidade Ótica Retro-Reflexiva com Lente Esférica Encapsulada

O retro-refletor cúbico (ou retro-refletor triédrico) possui uma superfície interna composta de três superfícies espelhadas, dispostas mutuamente em ângulos retos, como se fossem uma seção do interior de um cubo que contivesse um dos vértices. Esse conjunto forma um sistema tal que qualquer raio de luz que foi sucessivamente refletido pelas três superfícies, será refletido de volta para a fonte. Isto é ilustrado na figura 4.17. Normalmente, um agregado de um grande número de pequenos refletores em cubo é usado para formar uma unidade retro-reflexiva; a luz incidente é refletida através de uma superfície refratária frontal (veja a figura 4.18).

O grau em que um retro-refletor cúbico aproxima do comportamento de um cubo perfeito determina a dispersão angular do feixe de retorno. As superfícies de reflexão devem ser planas e apresentarem irregularidades de dimensões inferiores a um comprimento de onda da luz. Sua disposição em ângulos retos deve apresentar exatidão de até um segundo de arco.

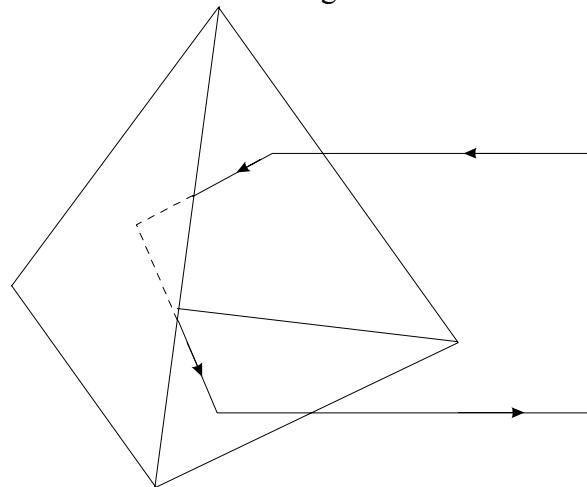


Figura 4.17 – Triedro ou Retro-Refletor Cúbico. Trajetória dos Raios de Luz.

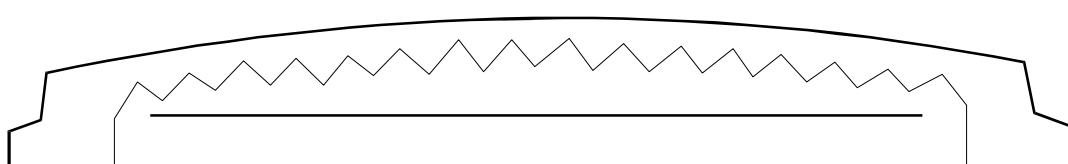


Figura 4.18 – Unidade do Retro-Refletor Cúbico.

A eficiência de um retro-refletor é expressa pelo seu “coeficiente de intensidade luminosa reflexa”, definida como “o quociente entre a intensidade luminosa refletida na direção considerada e a luminância do retro-refletor, para determinados ângulos de entrada, de observação e de rotação”. Na fotometria dos retro-refletores, este coeficiente é designado pela abreviação “C.I.L.”

O valor do coeficiente é derivado de medidas de campo e deve ser uma informação exigida do fabricante ou fornecedor.

O **ângulo de observação** (α) é o ângulo determinado pela linha que une a fonte de luz ao refletor e pela linha do refletor ao observador. Em aplicações marítimas, este ângulo é muito pequeno, talvez $1/10^\circ$ a $1/5^\circ$, porque a fonte de luz (o holofote) e o observador estão muito próximos, enquanto que os alcances são relativamente grandes.

Deve-se compreender que o "C.I.L." diminui rapidamente quando ângulos de observação maiores são usados, dependendo do tipo de retro-refletor. A figura 4.19 mostra uma curva típica de "C.I.L." como função do ângulo de observação (α).

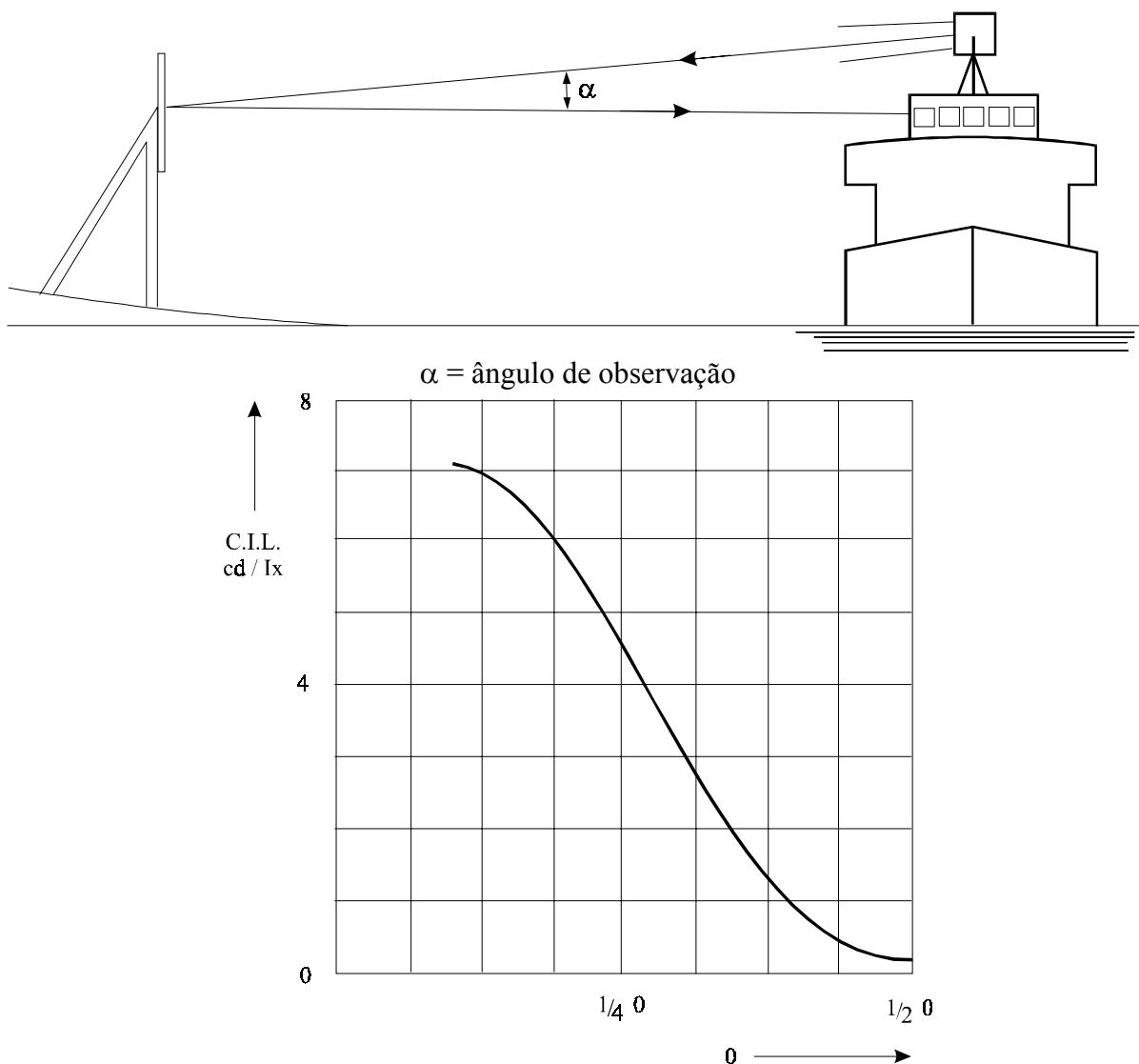


Figura 4.19 – Coeficiente de Intensidade Luminosa Reflexa como Função do Ângulo de Observação (α)
(para um determinado material retro-reflexivo)

O **ângulo incidente horizontal** (β) é o ângulo determinado por uma linha entre a fonte de luz e o refletor e a linha perpendicular à superfície refletora. Em ângulos de incidência de até 10° , o CIL não é normalmente muito diferente do seu valor máximo.

Para ângulos superiores à faixa de 40° a 50° , os materiais de retro-reflexão perdem toda a eficiência. A figura 4.20 mostra um típico gráfico do "C.I.L", como função do ângulo de incidência horizontal (β) para um dado ângulo de observação (α).

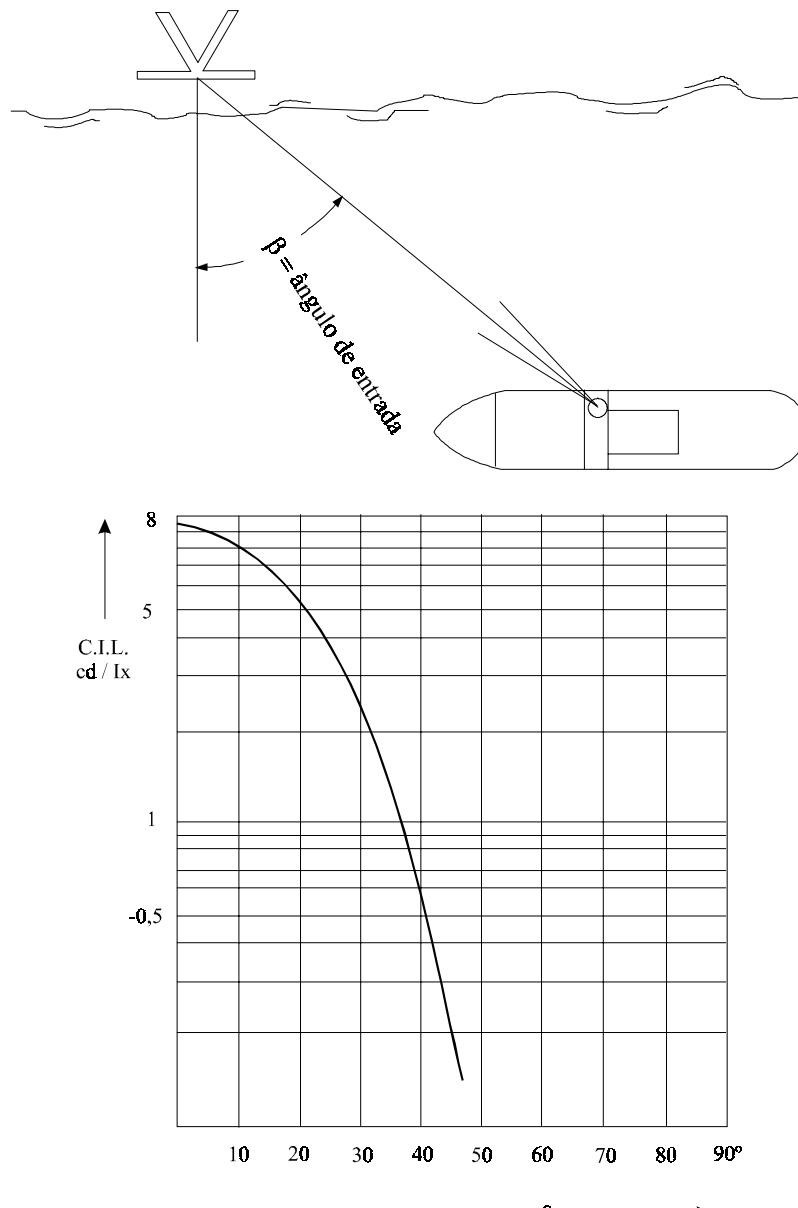


Figura 4.20 – Coeficiente de Intensidade Luminosa Reflexa de um Determinado Material Retro-Reflexivo como uma Função do Ângulo de Entrada (β). Ângulo de Observação $\alpha = 0,2^\circ$

O "C.I.L.", como definido acima, pertence a um dispositivo retro-refletor. Quando se emprega uma cobertura retro-refletora cujas dimensões podem variar, é mais conveniente usar-se o "Coeficiente Específico de Intensidade Luminosa Reflexa", que é o "C.I.L." por unidade de área.

4.14 LIMITAÇÕES AO USO DE SINAIS DIURNOS E SOLUÇÕES POSSÍVEIS

Como todo auxílio à navegação, os sinais diurnos não oferecem completa segurança. Sob muitos tipos de iluminação ou a uma grande distância, a percepção pode, entretanto, ser melhorada com o uso de binóculos.

4.14.1 – Uso de Binóculos

O tipo de binóculo recomendado para uso diurno é o 10 x 50, que possui poder de ampliação de 10 vezes o tamanho do objeto observado e objetiva de 50 mm de diâmetro. Magnificações maiores não são recomendáveis, por causa da redução do campo visual e da dificuldade de uso provocada pelo movimento da embarcação. Em embarcações miúdas, nas quais esse efeito é mais pronunciado, pode ser melhor utilizar binóculos 7 x 50, ou seja, aqueles recomendados para uso noturno.

A imagem vista pelos binóculos possui um aumento aparente nas dimensões do objeto, que é proporcional à magnificação.

Existe, por outro lado, a desvantagem causada pela perda de luminosidade do objeto observado, que ocorre quando a “pupila resultante²¹” dos binóculos é igual ou inferior em dimensão à pupila do olho, porque a luminância da imagem sofre uma atenuação proporcional ao coeficiente de transparência do instrumento e, ao mesmo tempo, ocorre a sobreposição de uma luminância parasita, equivalente a uma fração considerável do produto da luminância média que entra nos binóculos pelo complemento em relação à unidade do coeficiente de transparência do instrumento.

O coeficiente de transparência de binóculos prismáticos é da ordem de 0,5 para superfícies óticas que não receberam tratamento anti-reflexo e, para as superfícies assim tratadas, atinge e até excede o valor 0,8.

Com binóculos 10 x 50 a igualdade entre as pupilas do olho e do binóculo é praticamente alcançada e, nesse caso, o diâmetro comum é da ordem de 5 mm (ver nota 21, no final desta página). Nos binóculos 7 x 50, que possuem pupilas da ordem de 7 mm, a pupila do olho atinge esse diâmetro, aproximadamente, durante a noite e, durante o dia, fica em torno dos 5 mm (razão pela qual recomenda-se o uso diurno ou noturno desses binóculos, conforme o caso). Isto significa uma perda de luminosidade da imagem um pouco inferior a 50%.

Os binóculos são especialmente úteis em dias de céu claro, para observação de objetos que exibam bom contraste com o fundo, mas que possam ser avistados dentro de um ângulo bastante reduzido, como um objeto escuro de dimensões reduzidas, contra o céu ou a observação de inscrições bem iluminadas. Nesses casos, a percepção ou o reconhecimento têm suas distâncias multiplicadas por um fator aproximadamente igual à magnificação do instrumento.

Ao contrário, quando a dificuldade de perceber um objeto, em vez de ser devida às suas reduzidas dimensões, ocorre por causa da perda de contraste com o fundo, o uso de binóculos será de pouca ajuda; a percepção pode até ser pior do que sem binóculos. O mesmo pode acontecer em presença de neblina, no limite da visibilidade. Um caso bastante desfavorável é aquele do objeto avistado contra a luz e abaixo do contorno aparente da costa. A luminância difusa, devida ao céu brilhante, pode exceder consideravelmente a luminância do objeto, embora isto possa ser compensado até

²¹ Pupila Resultante ou Pupila de Saída é o diâmetro do feixe de luz que sai da lente ocular de um instrumento ótico (a lente mais próxima ao observador) e viaja até a pupila do olho do observador. Esse diâmetro é o quociente entre o diâmetro da objetiva do instrumento (a lente mais distante do observador) e a sua magnificação. Por exemplo, a pupila de saída de um binóculo 10 x 50 mm é o resultado da divisão $50/10 = 5$ mm.

certo ponto pela magnificação devida aos binóculos, que produz um efeito aparente de afastar a fonte de ofuscamento do céu, uma vez que seu reduzido campo de visão minimiza o efeito daquela fonte de luz difusa.

Nessas circunstâncias, a utilidade do instrumento dependerá principalmente da qualidade do tratamento antifuscante aplicado, e este aspecto deve ser levado em conta com atenção quando da aquisição de binóculos. A limpeza das superfícies óticas deve ser cuidadosa, pois qualquer partícula de sujeira, respingo, etc. contribui para reduzir o coeficiente de transparência dos vidros.

A turbulência atmosférica é responsável pelo piscar das estrelas e de outras fontes pontuais, durante a noite; durante o dia, embora esse efeito possa ser perceptível, não costuma causar grande dificuldade às observações a olho nu. Por outro lado, pode afetar negativamente a visão em um grau considerável, quando se utiliza instrumentos óticos de magnificação da imagem.

4.14.2 – Observações sob Neblina

O fenômeno da neblina é descrito pela visibilidade meteorológica padronizada pela OMM. Em primeiro lugar, e como uma aproximação grosseira, objetos a uma distância maior que a visibilidade meteorológica perdem-se na neblina, mas são percebidos a qualquer distância igual ou inferior a esse limite. Para ser mais exato, a neblina afeta a visibilidade dos objetos de duas maneiras: de um lado, enfraquece o fluxo luminoso que emana do objeto situado à distância x do observador, por um fator: $0,05^{x/V}$; além deste efeito, a neblina sobrepõe à luminância residual do objeto que se propaga na direção do observador uma luminância praticamente igual à do céu na mesma direção, reduzida de um fator $(1 - 0,05^{x/V})$. Esses efeitos foram estudados no início deste capítulo. A luminância e a cor de um objeto, portanto, aproximam-se da luminância e da cor do céu, à medida que a distância aumenta.

Apesar das vantagens descritas acima, os binóculos não podem reduzir o efeito da neblina a longa distância. Quando um sinal estiver envolvido em nevoeiro durante muito tempo, não restará mais nada a fazer do que aproximar-se o mais possível do canal ou obstáculo com o auxílio de outros sinais que, embora possam ser mais difíceis de observar, estejam mais próximos e, consequentemente, mais visíveis.

Deve-se observar que, às vezes, a presença de neblina pode melhorar a visibilidade de um objeto: um objeto escuro observado contra uma costa escura, pode deixar de ser avistado devido à falta de contraste; por outro lado, se o objeto estiver suficientemente distante da costa, a ocorrência de neblina entre o referido objeto e o cenário de fundo pode ocultar a costa e destacar o objeto escuro, melhorando o contraste.

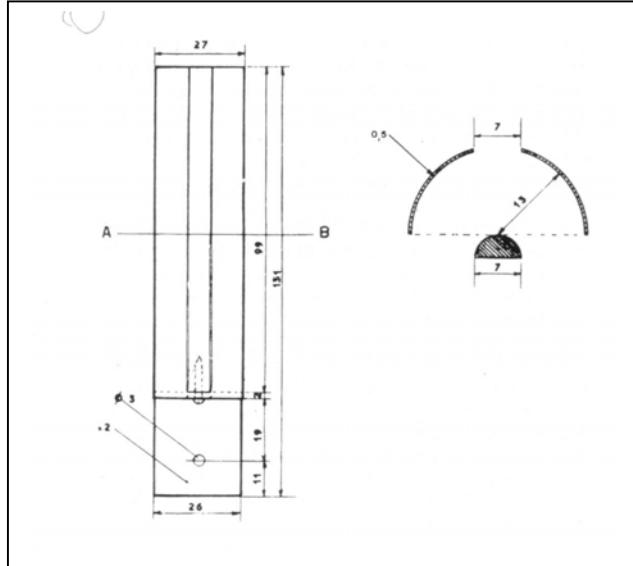
Por exemplo, para um objeto a meio caminho entre o observador e a costa, o máximo efeito é produzido para uma visibilidade meteorológica igual a duas vezes a distância à costa. O contraste do objeto escuro em relação ao céu, observado contra a costa encoberta pela neblina, pode alcançar o valor 0,25.

4.14.3 – Dispositivos Diurnos Dotados de Iluminação Indireta

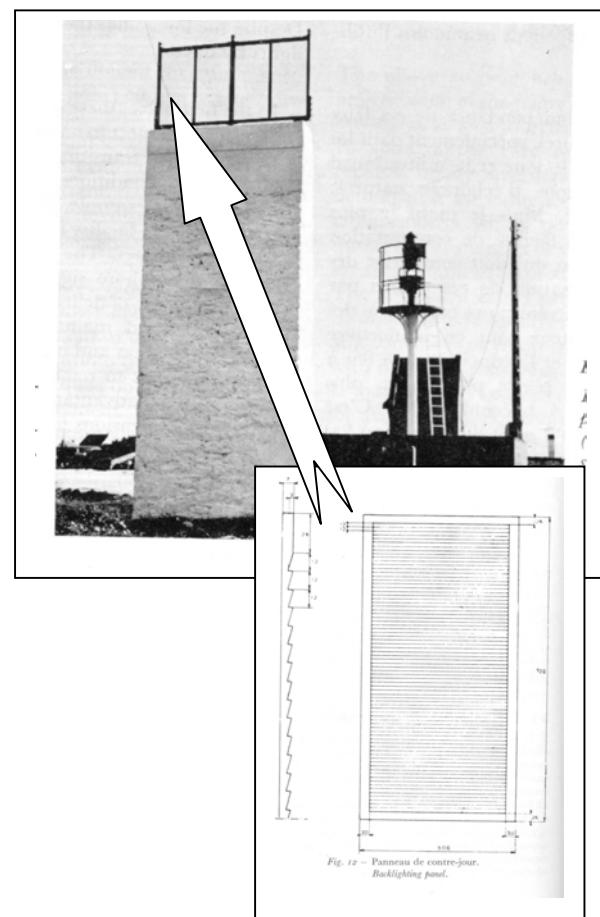
Embora não haja possibilidade de se evitar que um sinal diurno seja obscurecido pela neblina, não é impossível, em princípio, empregar artifícios para melhorar a visibilidade de sinais avistados contra a luz, desde que se possa contar com a iluminação indireta em vários ângulos, ou seja, que o cenário de fundo do sinal seja o céu.

A luz que o sinal recebe em sua face iluminada pode, na verdade, ser utilizada de várias maneiras, para iluminar a face que se apresenta sombreada. Esse efeito pode ser obtido por dispositivos refletores ou refratores. Foi realizado um teste em escala real com um dispositivo de reflexão difusa, na costa do Mediterrâneo. Veja a figura 4.21(a). Nesse dispositivo, adotou-se o princípio de uma barra central iluminada por refletores laterais. O efeito de iluminação é excelente, se a direção do Sol não for muito próxima da direção de observação do sinal. Se o Sol for observado muito próximo, a luminância do fundo será muito maior do que aquela que se pode direcionar para o sinal.

Para direções de observação que apresentem desvios angulares reduzidos em relação à direção do Sol, a solução é recorrer à reflexão espelhada ou à refração, de modo que a superfície do sinal avistada contra a luz exiba uma luminância derivada de uma região próxima do céu situada imediatamente acima. Se esta região estiver exibindo bastante luminosidade, a luminância do sinal aumentará proporcionalmente e sua visibilidade em relação às regiões adjacentes será mantida no mesmo valor relativo. Há muitos dispositivos que podem produzir esse efeito. Um dos mais simples, e certamente o mais efetivo, é um sinal com persianas dotadas de faces refletoras inclinadas cerca de 45° com a horizontal, com aberturas de alguns graus entre as faces opostas, a fim de desviarem para cima os raios de luz. O dispositivo refrator equivalente é o painel de iluminação indireta, dotado de muitos prismas de pequeno ângulo de inclinação, com arestas horizontais inferiores. O primeiro destes dispositivos foi instalado em Portsal (Finisterre), no sinal anterior do alinhamento de Croix-Reun. Resta considerar a eficiência, a resistência mecânica e a durabilidade desses dispositivos, à vista das condições ambientes.



(a) Barra central com refletores contra-luz



(b) Painel refrator contra-luz (e aplicação)

Figura 4.21 – Dispositivos de Iluminação Diurna Indireta

CAPÍTULO 5

PROJETO DE SINAIS DE ATERRAGEM

5.1 ATERRAGEM TRADICIONAL

A aterragem é uma das fases mais importantes da navegação oceânica e consiste na aproximação da embarcação de terra, conduzida por um navegante que usa observações astronômicas ou eletrônicas para determinar a posição de seu navio na fase oceânica e na própria aproximação de terra. A posição relativa à costa é visualmente determinada quando se avista um sinal náutico de desempenho apropriado.

Uma das características notáveis dessa fase da navegação é a transição do quadro de referência geográfico ou geodésico, para topográfico, com várias implicações, como, por exemplo:

- Há uma transição meteorológica, representada pela influência sofrida pelas condições de visibilidade devidas à proximidade da costa. Isto implica na maior freqüência de condições adversas, resultando em auxílios visuais à navegação obscurecidos por nevoeiro, chuva ou neve, por exemplo.
- Fluxos relativos à maré e às correntes marítimas são normalmente mais fortes quando próximos à terra que em mar aberto. Isto tem uma influência negativa na precisão da posição estimada durante a aproximação.
- Uma transição adicional é a mudança de profundidade do mar, que pode, inclusive, ser utilizada de forma vantajosa pelo navegante, como indicação de posição, nos casos em que o relevo submarino é favorável ou, pelo menos, como confirmação da aproximação de terra.

5.2 SINALIZAÇÃO DE ATERRAGEM – CONCEITO DOS “PORTÕES DE ACESSO²²”

A aterragem é essencialmente o processo de ater-se a um quadro topográfico de referência de terra, no qual a precisão da posição do navio é o fator dominante, particularmente quando a aterragem é noturna e feita com a ajuda de um sinal luminoso costeiro.

Um sinal com este propósito específico é chamado de "sinal de aterragem", definido como "*a primeira luz a ser vista por um observador que se aproxima da costa vindo de mar aberto*". Sua localização, seu alcance luminoso e seu alcance geográfico são tais que permitem sua identificação a grande distância. Durante a aproximação para aterragem, um navio estabelece um rumo para a posição cartografada do sinal de aterragem ou para alguma outra posição, dentro do círculo de visibilidade daquele sinal.

Por causa das incertezas inerentes à navegação, o navio geralmente não estará no rumo pretendido, apresentando algum desvio para um lado ou outro. Se este erro lateral for muito grande, haverá uma possibilidade que o navio passe pelo sinal a uma distância maior que seu alcance geográfico ou luminoso. Nessa situação o sinal não será avistado, a aterragem falhou e o navio pode estar rumando em direção a um perigo.

Um sinal de grande alcance pode acomodar erros grandes de posição, como se o navio pudesse atravessar um tipo de "portão" em busca de seu novo quadro de referência. Quanto mais largo esse portão, maiores serão os erros permissíveis.

²² Este conceito foi enunciado no livro *Aids to Marine Navigation*, do Almirante Drijfhout Van Hoof (Holanda – 1980) e serve de base para o desenvolvimento matemático das equações genéricas de desempenho de sinais náuticos em geral.

A largura do portão apresentada aos navios que se aproximam não depende somente do alcance geográfico e luminoso do sinal. Essa largura também é influenciada pela direção de aproximação em relação aos perigos à navegação existentes nas redondezas do sinal.

O erro lateral ou transversal na posição do navio pode ser para borte ou para bombordo em relação ao rumo pretendido. Assim, a região do mar que contém o rumo real tem uma largura igual a duas vezes este erro. Pode-se, então estabelecer que a condição para uma aterragem bem feita seja que a largura do portão apresentado pelo sinal seja igual ou maior que duas vezes o erro transversal de navegação.

As inexatidões de navegação normalmente dão lugar a erros transversais e longitudinais na derrota do navio e esses erros têm, ambos, grande importância na aterragem. Sendo assim, é aconselhável expressar a precisão de navegação através de *erro radial*²³.

Quando a embarcação se aproxima para uma aterragem, o erro longitudinal é um fator que determina se o sinal é avistado na hora ou não. Se o sinal demora a surgir, a causa pode ser que o navio esteja atrás de sua posição estimada ou que o erro transversal seja muito grande. Também pode ser que um nevoeiro local tenha encoberto o sinal, que a intensidade luminosa esteja reduzida ou que a luz esteja apagada. Os navegantes aprendem a nunca confiar implicitamente que os sinais operam sem irregularidades. Se um sinal não é avistado no horário previsto, um navio que está se aproximando terá que navegar com maior precaução e o erro longitudinal provável é o parâmetro usado para indicar tal contingência.

Se o raio do círculo de erro é R e a largura do portão apresentado pelo sinal de aterragem é W , a condição geral para uma aterragem bem sucedida pode ser expressa por:

$$2R \leq W$$

5.3 ATERRAGEM A UMA BARCA-FAROL

Uma barca-farol ou outro sinal de aterragem flutuante que possa ser ultrapassado com segurança por todos lados e que permita bastante aproximação representa, para navios vindos de qualquer direção, um portão de uma largura igual a duas vezes o alcance de percepção do sinal. Esse alcance varia com a visibilidade e tem um limite superior igual ao alcance geográfico, sendo indicado pelo símbolo P . Considerando a fórmula acima, a aterragem a uma barca-farol pode ter êxito quando duas vezes o raio do círculo de erro (R) do navio é igual ou menor que $2P$, ou:

$$R \leq P$$

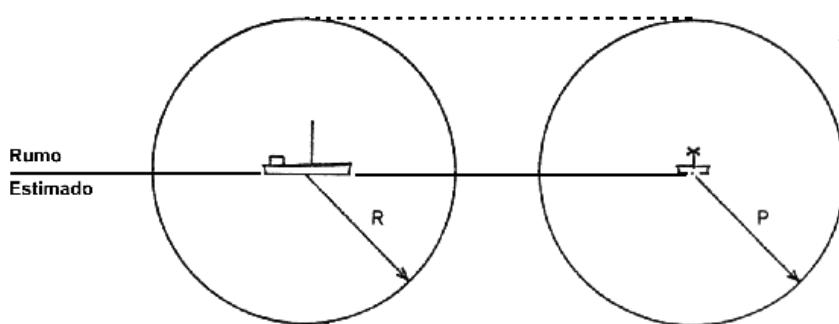


Figura 5.1 – Aterragem a Barca-Farol.

²³ Ver o Apêndice ao Capítulo 4 do livro “Navegação: a Ciência e a Arte – Vol. I” (DHN, 1996).

Existe a possibilidade de que o sinal esteja apagado ou que a barca-farol esteja fora de posição. Tais contingências não têm nenhuma influência na validade da fórmula. Naturalmente, nestas condições a aterragem é impossível ($P = 0$).

A inexatidão no posicionamento da barca-farol e seu raio oscilante (digamos, 0,1 MN) têm o efeito de aumentar P em uma direção e diminuí-lo na direção oposta, relativa à posição cartografada. Isto poderia ser levado em conta, como fator de segurança de projeto, reduzindo P , mas essa inexatidão é pequena em relação aos erros esperados para os outros parâmetros e pode ser desconsiderada.

5.4 ATERRAGEM A UM PERIGO ISOLADO

Quando um sinal de aterragem está situado em um baixio, será normalmente cercado por uma certa área de perigo de raio d . Supondo-se que o rumo estabelecido segue diretamente para a posição cartografada do sinal, então este deveria ser avistado quando a posição estimada do navio alcançar o ponto X , conforme a figura 5.2, a uma distância P do sinal. Se, naquele momento, o sinal não estiver visível e se o círculo de erro tem um raio R igual a P , então há duas possibilidades:

- 1) O sinal está operando corretamente e o navio está na parte sombreada do círculo de erro; ou
- 2) O sinal está apagado e a embarcação pode estar em qualquer lugar dentro do círculo de erro e pode ter, até mesmo, entrado na área de perigo!

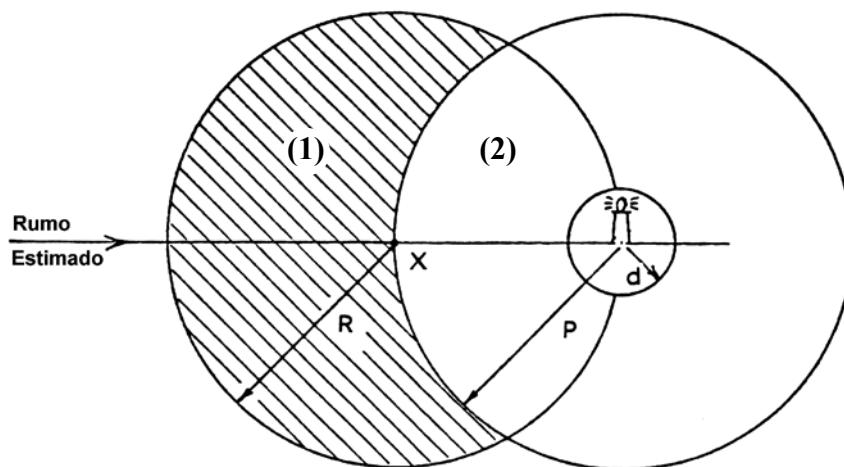


Figura 5.2 – Aterragem a Perigo Isolado

5.5 MARGEM DE SEGURANÇA

Caso inexista qualquer outra indicação da proximidade da área de perigo, como a obtida por meio de sondagens, bóias luminosas ou radar, a aproximação não é segura. Seria mais seguro se o raio do círculo de erro (R) fosse tão menor que $P - d$ que o navegante tivesse tempo suficiente para reagir quando percebesse que o sinal não entrou no campo de visão no momento calculado. Isto importa em somar uma margem de segurança de s milhas náuticas à distância d, o que conduz à seguinte equação para aterragem bem sucedida em um perigo isolado:

$$R \leq P - (d + s)$$

A figura 5.3 demonstra esse esquema.

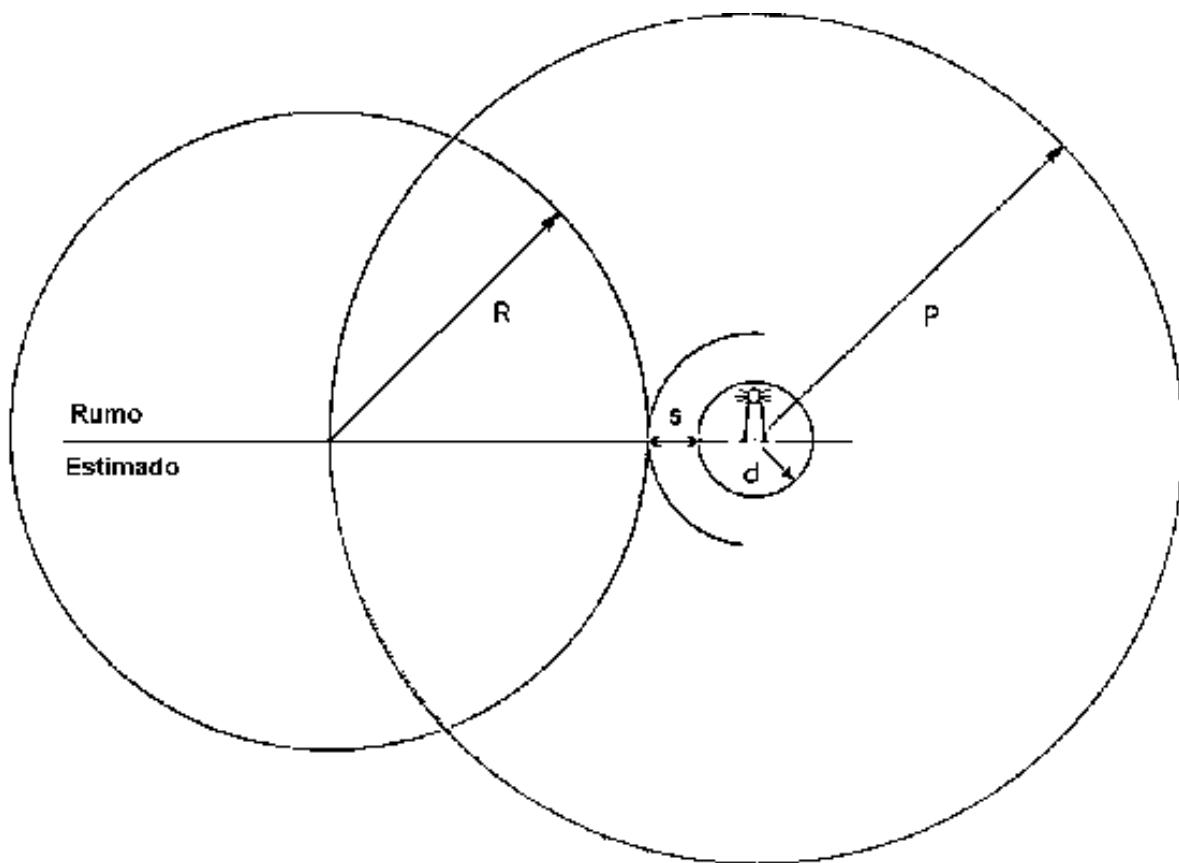


Figura 5.3 – Aterragem a Perigo Isolado com Margem de Segurança.

5.6 ULTRAPASSAGEM DO PERIGO ISOLADO

Para ultrapassar o sinal de aterragem situado sobre o perigo isolado, o navio pode rumar para um ponto Y, situado a uma distância $d + s$ de um dos lados do sinal, como ilustrado na figura 5.4. A mesma equação de aterragem a um perigo isolado vale para este rumo de aproximação. Uma vez que o navio terá de ultrapassar o sinal de qualquer maneira, por um lado qualquer, para alcançar seu destino, essa é uma estratégia de aproximação muito usada.

A largura do portão, neste caso, é igual a $2[P - (d + s)]$ e deve-se observar que essa largura pode ser melhorada aumentando o alcance de percepção P e minimizando d e s. O raio da área de perigo pode ser tornado tão pequeno quanto possível, construindo o sinal perto da extremidade do baixio, naquele lado do perigo onde é mais provável que a embarcação venha a passar. Pode-se dar um valor pequeno à margem de segurança, ou pode-se até eliminá-la, marcando a extremidade da área de perigo com bóias luminosas. Sempre há um risco que uma bóia luminosa apague ou esteja deslocada de sua posição, mas a probabilidade que ambos o sinal de aterragem e a bóia luminosa estejam fora de atividade ao mesmo tempo é bem pequena.

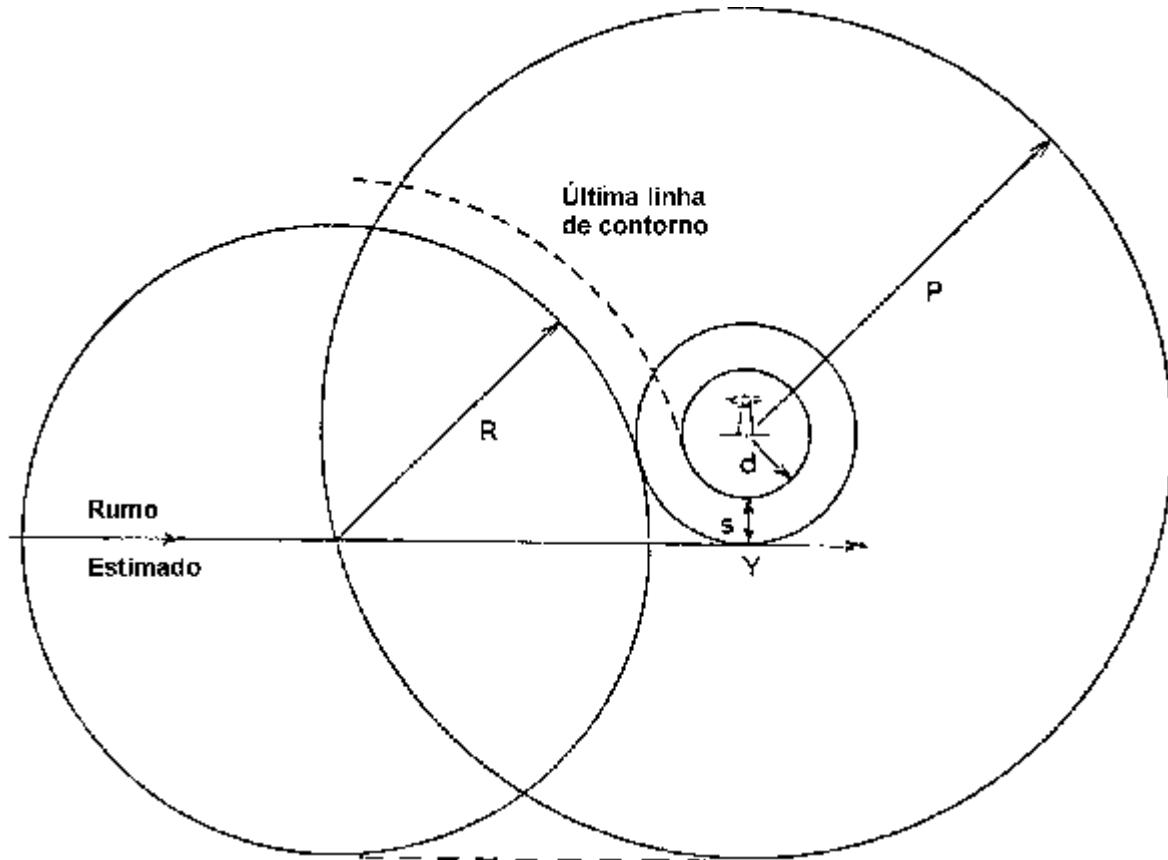


Figura 5.4 – Ultrapassagem de um Perigo Isolado

5.7 NECESSIDADE DE SINALIZAÇÃO PARA OS NAVIOS DOTADOS DE RADAR

Pode-se argumentar que um navio cujo radar esteja operacional não precisa correr o risco de encalhar na área de perigo. Ao mesmo tempo, pode-se considerar que a aterragem terá êxito quando o valor de R for igual ou menor do que o alcance máximo de detecção, pelo radar, da torre do sinal ou de seus arredores. Esse alcance não é, necessariamente, maior que o alcance luminoso do sinal, mas é praticamente independente da visibilidade.

Para um navio equipado com radar a chance de uma aterragem segura e bem sucedida é, então, melhor que a de um navio sem esse equipamento. Porém, quando se projeta um sinal de aterragem, deve-se levar em consideração os navios sem radar e aqueles nos quais o radar possa não estar operando adequadamente.

O Regulamento SOLAS²⁴, na Regra 12 do Capítulo V especifica os equipamentos de navegação de bordo, dentre os quais, figuram os radares de navegação (alíneas “g” e “h”). Entretanto, a alínea “o” da mesma Regra 12 estabelece que “o mau desempenho desse equipamento (aquele estabelecido nas alíneas anteriores) não deverá ser considerado como justificativa para considerar o navio sem condições de se fazer ao mar ou para retardar sua saída de portos onde não haja pronta disponibilidade de serem efetuados reparos”.

Portanto, no contexto da aterragem tradicional, o efeito do radar não será levado em conta.

²⁴ Referenciado à Edição Consolidada de 1998. Considera-se, entretanto, que o conceito permanecerá válido em quaisquer revisões posteriores uma vez que trata da impossibilidade de se manter todos os equipamentos eletrônicos de bordo em bom estado, o tempo todo.

5.8 ATERRAGEM A SINAIS COSTEIROS

Quando um sinal de aterragem não é estabelecido em um baixio isolado, mas em uma parte da costa, o contorno da área de perigo em relação à direção de aproximação deve ser considerado.

Para um navio que se aproxima de um sinal de aterragem em um perigo isolado, seguindo o rumo definido na figura 5.4, não faria diferença se atrás da linha pontilhada representada nessa figura houvesse uma área perigosa ou uma extensão de costa. Então, pode-se considerar que essa linha pontilhada é a última linha de contorno de perigo onde a equação para aterragem a um perigo isolado ainda é válida. A linha em questão lembra a forma de uma ponta de terra ou cabo, o que confirma a tendência de que sinais de aterragem sejam construídos, preferencialmente, em tais acidentes geográficos.

Se houver perigos ao largo, aquém dessa última linha de contorno, o lugar pode não ser o mais apropriado para um sinal de aterragem, mas as condições locais podem não oferecer uma alternativa melhor. Em tal caso, é requerido um novo cálculo da largura do portão. Como há uma variedade infinita de linhas costeiras, será estudada a seguir uma simplificação, considerando-se uma costa reta. Um sinal costeiro pode ser aproximado de várias direções, desde aquelas paralelas à costa até os vários ângulos possíveis para cada situação em particular.

5.9 ATERRAGEM EM RUMO PARALELO À COSTA

Na aterragem paralela, a largura do portão será igual a $P - (d + s)$, como pode ser visto facilmente na figura 5.5. Para uma aterragem bem sucedida, pode-se aplicar a seguinte equação:

$$R \leq [P - (d + s)]/2$$

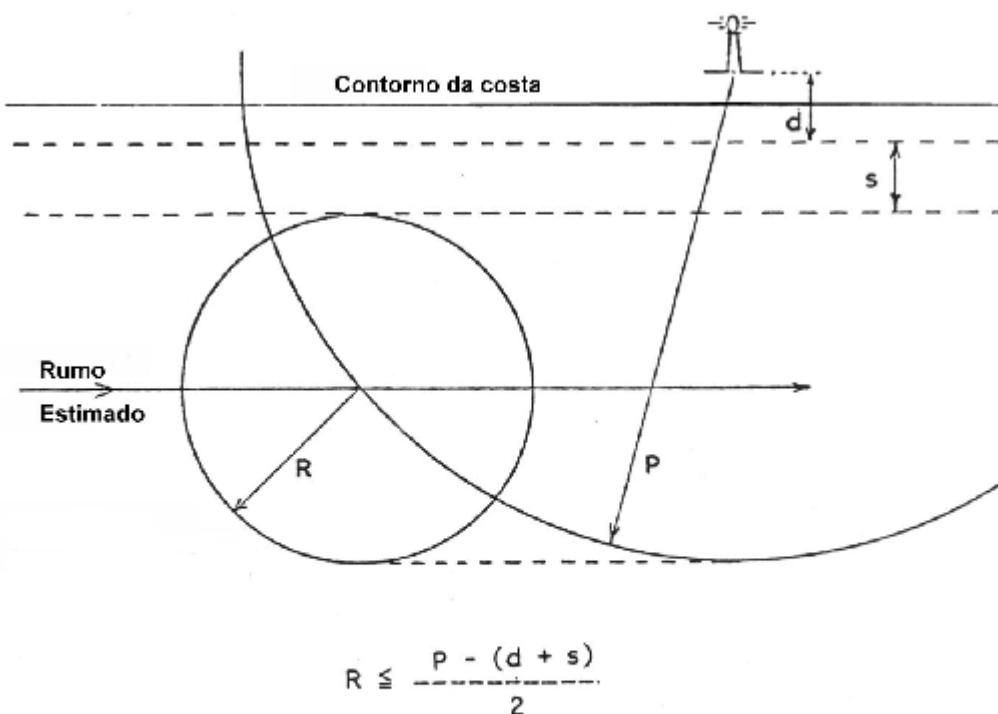


Figura 5.5 – Aterragem Paralela a Sinal Costeiro

5.10 ATERRAGEM EM RUMO PERPENDICULAR À COSTA

A aproximação em rumo perpendicular à costa é ilustrada na figura 5.6. Rumar diretamente para a posição cartografada do sinal não apresenta nenhuma diferença, em princípio, em relação à aproximação a um sinal em um perigo isolado. O portão é duas vezes mais largo que o da aproximação paralela e a aterragem pode ter êxito se:

$$R \leq P - (d + s)$$

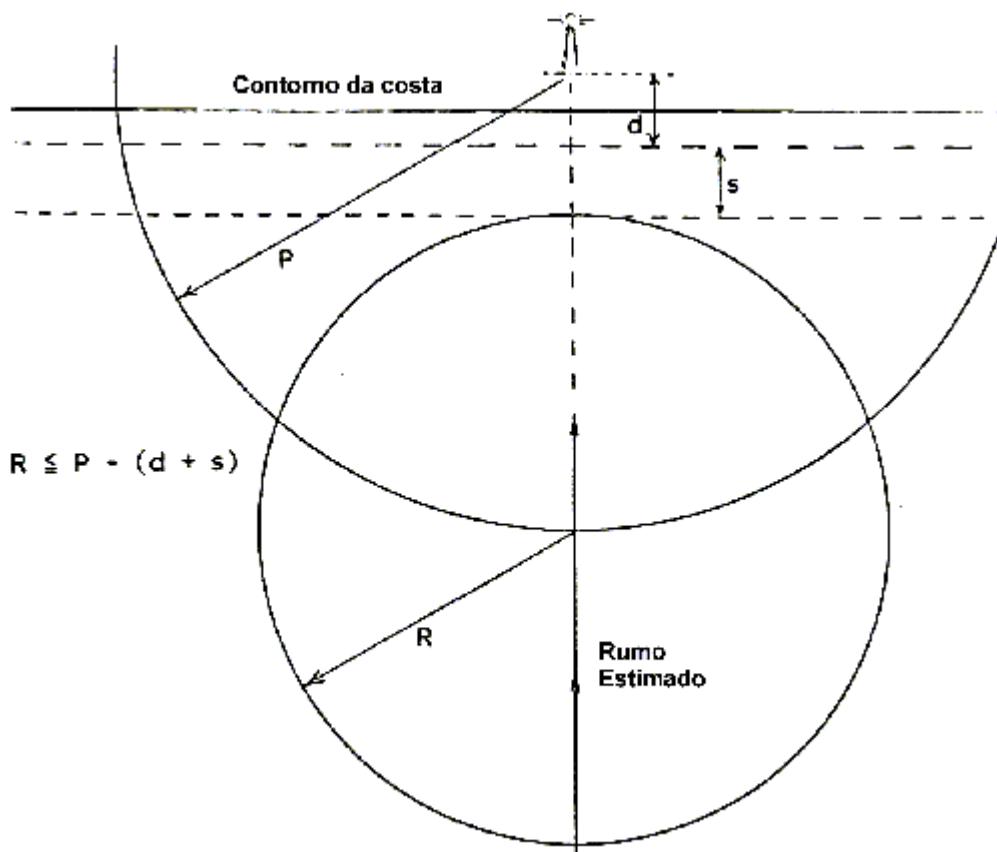


Figura 5.6 – Aterragem Perpendicular a um Sinal Costeiro

O navegante, entretanto, não gosta de se aproximar da costa seguindo um rumo perpendicular, porque estará conduzindo sua embarcação diretamente para o perigo. Será preferível um ângulo oblíquo, mesmo que a largura do portão seja menor. As razões são as seguintes:

- 3) É exigida uma alteração menor de rumo para evitar um perigo, quando se estiver chegando muito próximo às águas costeiras.
- 4) Sempre é evidente para qual direção guinar, em busca de segurança.

5.11 ATERRAGEM EM RUMO OBLÍQUO À COSTA

Quando o navio se aproxima da costa seguindo um ângulo oblíquo, a largura do portão tem um valor entre o da aproximação paralela e o da aproximação perpendicular. A fórmula que determina uma aterragem bem sucedida será:

$$R \leq K [P - (d + s)]$$

onde K é uma função de R , P e $(d + s)$ e seu valor está limitado entre $1/2$ e 1 . Essa função é de uma natureza matemática bastante complicada e a solução é mais facilmente compreendida através de uma construção geométrica simples na carta náutica. A figura 5.7 mostra uma aterragem feita seguindo de um ângulo de 30° com a costa e, para os valores particulares de R , P e $(d + s)$ representados aqui, K tem um valor de aproximadamente $3/4$. Observe-se, também, que a melhor condição para a aterragem é obtida quando o rumo do navio é fixado para um ponto um pouco além do sinal.

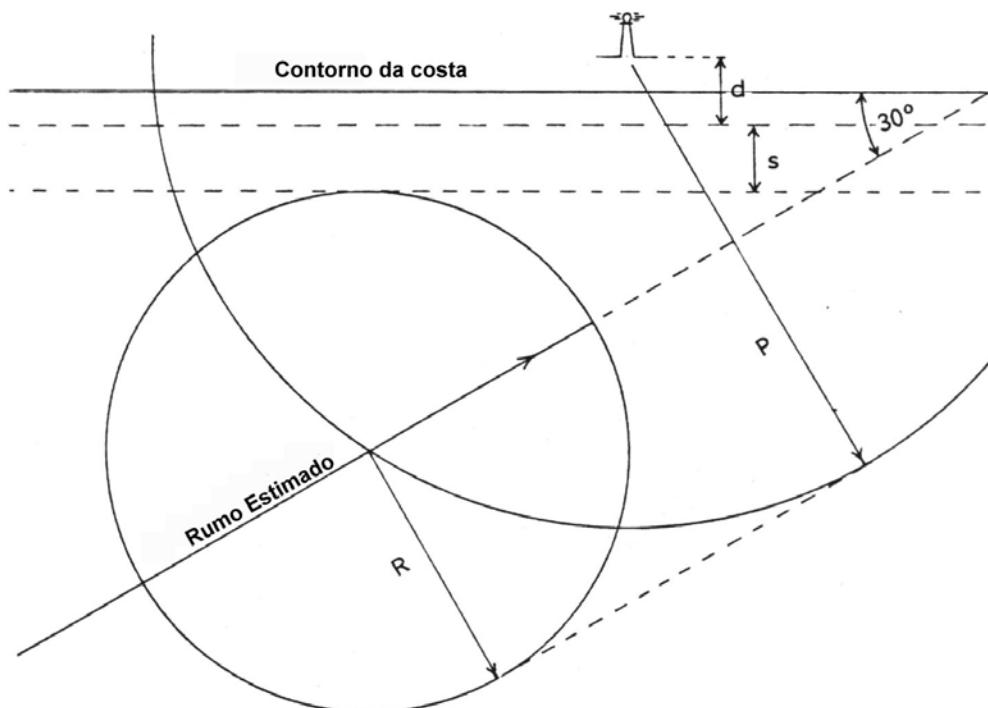


Figura 5.7 – Aterragem Oblíqua em Relação a um Sinal Costeiro

5.12 APLICAÇÃO DAS EQUAÇÕES DE ATERRAGEM

Das "equações de aterragem" apresentadas nos itens 5.3 a 5.11, pode-se extrair as seguintes conclusões gerais:

- 1) A localização mais eficiente para um sinal de aterragem é uma barca-farol que possa ser ultrapassada seguramente por todos os lados; assim, pode ser admitido um erro de navegação igual ao alcance no qual a luz pode ser percebida. Porém, a baixa elevação do equipamento luminoso das barcas-farol limita bastante esse alcance. Uma estrutura fixa, erguida no lugar de uma barca-farol, tem a mesma eficiência para aterragem que esta e, uma vez que a altitude da luz pode ser muito maior que a de uma barca-farol, a estrutura fixa, nessas condições, pode permitir um erro de navegação maior.
- 2) Um sinal luminoso costeiro, em um trecho paralelo da costa, é o sinal de aterragem menos eficiente, pois a partir dele somente se pode admitir um erro de navegação inferior à metade de seu alcance de percepção.
- 3) O local mais eficiente para um sinal de aterragem localizado em terra está em um perigo isolado ou na extremidade de um cabo. É importante que a área de perigo que cerca o sinal seja estreita e que o sinal seja construído tão próximo quanto possível da extremidade da zona de perigo, no lado onde é mais provável que os navios passem.
- 4) A adição de bóias luminosas ou sinais secundários para marcar o contorno de um perigo aumenta a eficiência do sinal, pois reduz ou elimina a margem de segurança que os navegantes teriam que observar, de forma que se pode admitir um erro de navegação maior.

5.13 FUNDAMENTOS DO PROJETO DE SINAIS DE ATERRAGEM

Uma vez escolhido o local para o sinal de aterragem, a tarefa seguinte no projeto do sinal será definir o seu desempenho, isto é, seus alcances geográfico e luminoso. Esses alcances são dependentes da elevação e da intensidade da luz e seus valores desejáveis podem ser derivados do fator P , que é o alcance de percepção nas fórmulas de aterragem.

As equações de aterragem nos permitem determinar P quando R , d e s são conhecidos. Deste modo, o desempenho do sinal é equiparado ao erro provável (R) dos navios que deverão se aproximar daquele ponto da costa. O fator d é geograficamente fixado pela seleção do local; o fator s será visto no item 5.15. A primeira etapa é obter uma aproximação para a incerteza (R).

5.14 ERRO PROVÁVEL OU INCERTEZA DE POSIÇÃO NA ATERRAGEM (R)

O primeiro fator que influencia o erro é a precisão da posição astronômica. É praxe assumir que o erro radial em 95% das determinações de posições astronômicas, pode ser considerado igual a 2,5 milhas náuticas.

O segundo fator é o erro da navegação estimada. Considera-se, em uma probabilidade de 95%, que este erro cresça a uma taxa de 0,66 MN por hora de navegação estimada.

O terceiro fator é o número de horas (h) decorrido desde a última posição astronômica até o momento em que o sinal deveria ser avistado. Para uma aterragem noturna, pode-se supor que a luz deverá ser avistada até 1 hora antes do alvorecer. Se a última posição astronômica foi obtida no crepúsculo da noite anterior, podemos concluir que h , no máximo, será igual ao tempo entre o crepúsculo e o alvorecer, subtraído de uma hora.

O erro de navegação (R) no momento em que o sinal deveria ser avistado é a combinação do erro da última posição astronômica, supostamente feita no crepúsculo, com o aumento horário típico do erro da navegação estimada, multiplicado por h :

$$R_{95} = \sqrt{(2.5)^2 + (0.66h)^2}$$

Quando as condições do tempo permitem uma observação no crepúsculo anterior à aterragem, h pode variar entre um mínimo de 6 horas (no verão) e um máximo de 14 horas (no inverno)²⁵. No último caso, R_{95} é igual a 10 milhas náuticas.

Em regiões tropicais, onde observações astronômicas raramente são impedidas pelo mau tempo (exceto em algumas regiões notórias por longos períodos de tempo nublado) o valor h será, no máximo igual a, aproximadamente, 10 horas durante todo o ano. O erro de navegação em 95%, de acordo com fórmula acima, pode chegar a um valor de 7,4 milhas náuticas.

É uma questão política escolher qual o erro de navegação que pode ser adotado no projeto de um sinal de aterragem, devido à despesa envolvida na construção e na manutenção de sinais de grande luminosidade e grande alcance geográfico. Mas é considerado prudente basear o projeto não em erros de 95%, mas, preferivelmente, em uma percentagem de erro maior, como 99%. Se for considerado que o erro de 99% é, aproximadamente, 1½ vezes o erro de 95%, podemos concluir que:

- 1) Em regiões temperadas, nas piores condições (aterragem no inverno, uma hora antes do alvorecer) o erro de 99% pode chegar a 15 milhas náuticas, contanto que uma determinação astronômica tenha sido possível durante o crepúsculo anterior;
- 2) Em regiões tropicais, nas piores condições (aterragem uma hora antes do alvorecer) o erro de 99% pode ter um valor de cerca de 10 milhas náuticas durante todo o ano, contanto que uma posição astronômica seja possível durante o crepúsculo anterior.
- 3) Recomenda-se, em princípio, adotar para o Brasil o valor **$R_{99} = 10$ MN**. Considera-se que, na pior das hipóteses, esse valor corresponderá ao R_{95} das regiões temperadas, situação que deverá ser mais comum na Região Sul do país.

As condições climáticas, particularmente nas regiões temperadas, nem sempre permitem fazer observações astronômicas durante o crepúsculo anterior à aterragem. De fato, pode ter sido impossível realizar observações durante dias a fio. Mas é inútil especular sobre a magnitude do círculo de erro em tais ocasiões. Obviamente, é impossível projetar um sinal de aterragem com tal alcance de percepção que possa acomodar erros ilimitados. Felizmente, os erros de navegação estimada não crescem indefinidamente à mesma taxa, pois alguns erros tendem a cancelar um ao outro. Além disso, o navegante pode, freqüentemente, melhorar a sua navegação estimada, através de sondagens. Finalmente, se o navegante tem muitas dúvidas sobre sua posição, ele pode ajustar sua estratégia e aterrizar durante o dia.

5.15 MARGEM DE SEGURANÇA (S)

Cada comandante terá sua própria avaliação da margem de segurança (s) a ser aplicada ao seu navio, e esta avaliação pode variar conforme as circunstâncias. Para o propósito deste Manual, que é procurar o desempenho ótimo de um sinal de aterragem, é feita a seguinte premissa: a margem de segurança é necessária para dar tempo para uma reação quando um sinal não é avistado na hora certa. Uma premissa razoável é que 15 minutos devem bastar.

²⁵ Esses valores máximos e mínimos de h são relativos ao Atlântico Norte. Mais adiante, no texto, são apresentadas considerações aplicáveis ao Brasil.

Portanto, a margem de segurança considerada nos projetos será igual à distância que o navio percorre em 15 minutos. Em um navio a 12 nós, essa distância será de 3 milhas náuticas; se o navio reduz a velocidade para 8 nós, $s = 2$ milhas náuticas, e assim por diante.

5.16 LIMITAÇÕES DO ALCANCE DE PERCEPÇÃO (P)

O valor real do Alcance de Percepção de um sinal, denominado “P” nas equações de aterragem, não é constante. Sua variação compreende um limite superior, determinado pela elevação do sinal e pela altura do olho do observador – o Alcance Geográfico – e um limite inferior, determinado pela intensidade luminosa do sinal e a visibilidade no momento da observação – o Alcance Luminoso.

O primeiro parâmetro a ser considerado no projeto de um sinal de aterragem é que a elevação seja suficiente para se obter um alcance geográfico igual ou maior que o valor de P calculado pela equação.

Exemplo:

Considerem-se as seguintes condições:

$R = 10$ MN (maior erro de navegação possível em 99% do tempo)

$d = 3$ MN (raio da área de perigo em torno do sinal)

$s = 3$ MN (margem de segurança para reação do navio)

Se, para o local, é válida a equação de aterragem de sinal em perigo isolado: $R \leq P - (d + s)$, pode-se dizer que: $P \geq R + d + s$

Então: $P \geq 10 + 3 + 3$, donde: $P \geq 16$ MN.

Conclusão: o Alcance de Percepção para essas condições deve ser maior ou igual a 16 MN.

Supondo a altura do olho do observador igual a 5 metros e aplicando a fórmula de Alcance Geográfico (Capítulo 3, item 19), conclui-se que a altitude do foco da lanterna do sinal deverá ser igual a, aproximadamente, 37 metros.

5.17 CONSIDERAÇÕES SOBRE A CONSTRUÇÃO DE ESTRUTURAS

Construir uma torre de grande altura é um empreendimento caro, mas será a única solução se o local estiver ao nível do mar ou a baixa altitude. Quando o terreno disponível possui elevação suficiente, a construção de um sinal é muito mais fácil. No exemplo acima, caso o perigo isolado fosse uma ilha com, por exemplo, 30 metros de altura acima do nível do mar, bastaria estabelecer uma pequena torre de 7 metros para se obter o alcance noturno desejado, no limite geográfico (observador a 5 metros de altitude).

Deve-se destacar que, com base na experiência, observa-se que elevações de mais de 100 m não são satisfatórias, pois o sinal pode ser encoberto por nuvens baixas sem que o navegante saiba sequer que sua visibilidade está prejudicada. Além disso, construir o sinal em local de grande elevação geralmente significará que esse local estará a uma distância apreciável da extremidade da zona de perigo, terra adentro.

Um costão, por outro lado, pode parecer praticamente perpendicular, visto de certa distância, mas a erosão contínua dos penhascos certamente depositou e continuará a depositar sedimentos na sua base, criando, assim, uma porção de água rasa estendendo-se para dentro do mar (aumentando a área de perigo). Por esta razão, esses sítios devem ser escolhidos com bastante cautela.

Na prática, as elevações do foco da maioria dos grandes faróis do mundo estão entre 40 e 70 metros.

NOTA: De fato, é um problema comum para o responsável pela sinalização náutica o acompanhamento da erosão do terreno próximo aos faróis, qualquer que seja a sua natureza, por representar um grave risco, de consequências imprevisíveis, caso não seja detectado a tempo.

Pode-se questionar também que uma altura de observação igual a 5m sobre o nível do mar é um valor baixo. Em navios transoceânicos pequenos, uma altura de observação de 10 m no passadiço, não é nada excepcional e algumas Autoridades em Sinalização Náutica baseiam a elevação dos sinais de aterragem nessa altura. Isto aumenta o alcance geográfico em 2 milhas náuticas.

No Brasil, entretanto, adota-se a altura padrão de 5 metros para o cálculo do Alcance Geográfico.

5.18 SINALIZAÇÃO COMPLEMENTAR PARA PREVENÇÃO DE FALHAS

Até aqui, assumiu-se que P e R eram conhecidos, embora de valores variáveis. Na verdade, porém, esses valores são estimados. Um navegante cauteloso estimará seu erro de navegação para cima e o alcance luminoso para baixo. Mas pode acontecer do erro ser ainda maior que o calculado pelo navegante e/ou do alcance luminoso do sinal ser menor que o previsto.

Se o erro transversal for maior que o estimado, é possível que o navio esteja muito longe e perca o sinal completamente ou esteja posicionado muito perto da orla e rume para o perigo sem ao menos ver o sinal. Por causa da última possibilidade, um sinal de advertência na praia ou uma bóia luminosa no contorno do perigo não são incomuns. A figura 5.8, a seguir, mostra a bóia luminosa “a” ou o sinal fixo “A” que cumprem essa função.

Se o erro longitudinal for maior que o estimado e o navio está à frente do seu círculo de erro, há uma possibilidade dele entrar na área de perigo, no caso da luz de aterragem estar apagada inadvertidamente, porque, de acordo com a navegação estimada, o sinal não estaria ainda no campo de visão. Para maior segurança, uma bóia luminosa para marcar a zona de perigo é uma boa precaução, como a bóia luminosa “b” representada na figura 5.8.

A estimativa do navegante de que o alcance luminoso do sinal é alto demais tem, em princípio, o mesmo efeito de se menosprezar o erro de navegação. Mas é menos perigoso, pois o navegante notará que o sinal não foi avistado na hora certa e esta advertência o levará a tomar precauções como fazer sondagens, reduzir a velocidade, manter uma vigilância melhor, mudar de rumo, etc.

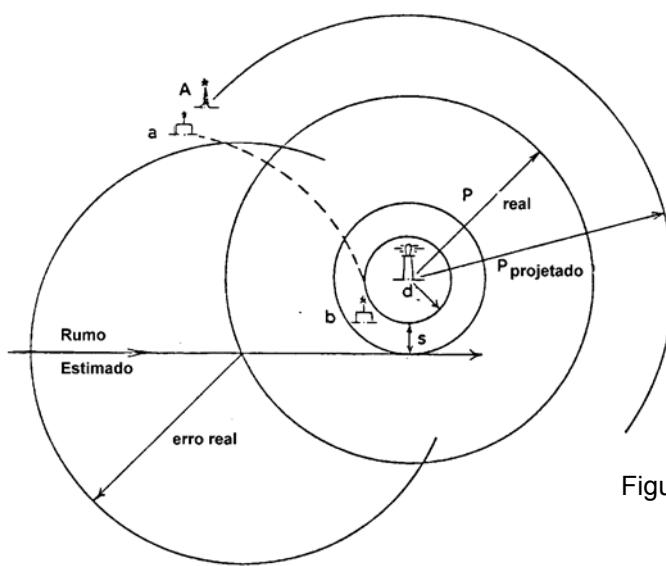


Figura 5.8 – Sinais Adicionais para Prevenir Acidentes Devidos a Erros de Navegação e Excessivos.

5.19 SINAIS MÚLTIPLOS PARA ATERRAGEM

As circunstâncias particulares de um local podem ser tais que não possam ser cumpridas as condições para uma aterragem bem sucedida durante uma grande parte do tempo. Pode ser que a visibilidade seja, geralmente, muito baixa ou que, na prática, os erros de navegação resultantes da aproximação de navios ultrapassem, com muita freqüência, aqueles que podem ser acomodados por um único sinal de elevação alta e grande alcance luminoso.

É lógico que onde um só sinal não pode trazer resultados adequados, mais de um deveria ser empregado e, freqüentemente, é necessário recorrer a este método. A consequência pode, infelizmente, ser um elevado número de naufrágios e de navios encalhados ao longo da costa.

O efeito de sinais múltiplos é que eles possibilitam um portão mais largo do que um único sinal. Na configuração da figura 5.8, o sinal A (ou a bóia luminosa *a*) já alarga o portão até certo ponto e isto poderia ser aumentado localizando-o mais longe do sinal principal e aumentando sua intensidade luminosa e elevação.

Na aproximação oblíqua de uma linha costeira reta, como descrita na figura 5.7, a largura do portão pode ser aproximadamente dobrada, adicionando-se um segundo sinal de aterragem, idêntico ao primeiro, a uma distância de cerca de 2 a 3 vezes o Alcance de Percepção (P) do primeiro sinal. Esse segundo sinal também poderá servir à navegação costeira, que será discutida em detalhes no capítulo seguinte.

Quando são empregados sinais múltiplos, pode-se estabelecer um número pequeno de sinais principais, um sinal principal combinado com alguns secundários ou, ainda, empregar-se um número grande de sinais secundários. A última solução pode ter certas vantagens econômicas, em locais onde a mesma seja aceitável para a navegação.

5.20 SETORES LUMINOSOS COLORIDOS EM SINAIS DE ATERRAGEM

Os sinais de aterragem são, normalmente, colocados tão próximos quanto possível da extremidade da zona de perigo, mas, às vezes há perigos submersos estendendo-se a uma distância apreciável além da posição do sinal. Os navios podem, então, ser advertidos por meio de um setor luminoso colorido que cobre a área de perigo, para não se aproximarem do sinal ao longo de um rumo que conduza para essa área. Sinais de aterragem quase sempre exibem uma luz branca e o navegante espera ver um setor colorido para chamar a atenção para um perigo.

Porém, os setores luminosos coloridos são raramente usados em sinais de aterragem principais pois o navegante pode evitar o perigo trazendo seu navio para o lado correto por meio de uma "marcação de segurança" do sinal, imediatamente depois que este for avistado. Essa marcação permite passar pelo perigo a uma distância segura.

Como setor luminoso colorido em um sinal principal, pode ser empregada uma segunda fonte de luz. O alcance luminoso do setor colorido é menor que aquele da luz principal.

5.21 CONSIDERAÇÕES SOBRE O ÂNGULO DE INCERTEZA DE SETORES DE COR

Por causa da dimensão horizontal da fonte de luz, o limite entre dois setores adjacentes coloridos não será nítido e isto acarreta um "Ângulo de Incerteza", definido como o ângulo horizontal de cor indefinida perto do limite de um setor luminoso de farol. Tradicionalmente, o valor do ângulo de incerteza é expresso por:

$$\alpha = d / D \text{ (radianos)} = 57 d / D \text{ (graus)}$$

onde:

α = ângulo de incerteza

d = dimensão horizontal da fonte de luz

D = distância da borda do filtro à fonte de luz.

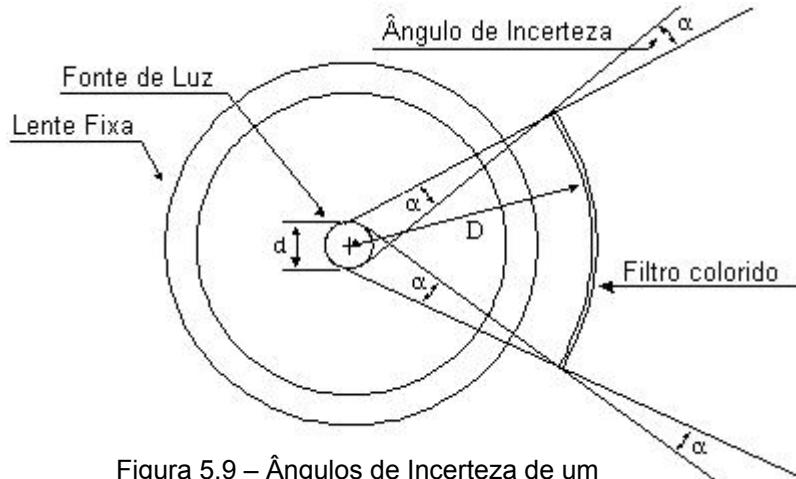


Figura 5.9 – Ângulos de Incerteza de um Setor Colorido.

A fórmula é considerada um tanto pessimista porque, perto das bordas do setor de incerteza uma das duas cores é normalmente tão predominante que não causa confusão. O gráfico da figura 5.10 mostra a distribuição das intensidades luminosas para as cores vermelha e branca dentro de um setor de largura $\alpha = d / D$, considerando uma fonte luminosa ideal, de intensidade luminosa igualmente distribuída. Para o filtro vermelho, assumiu-se uma eficiência 20% (ou fator de transmissão igual a 0,2).

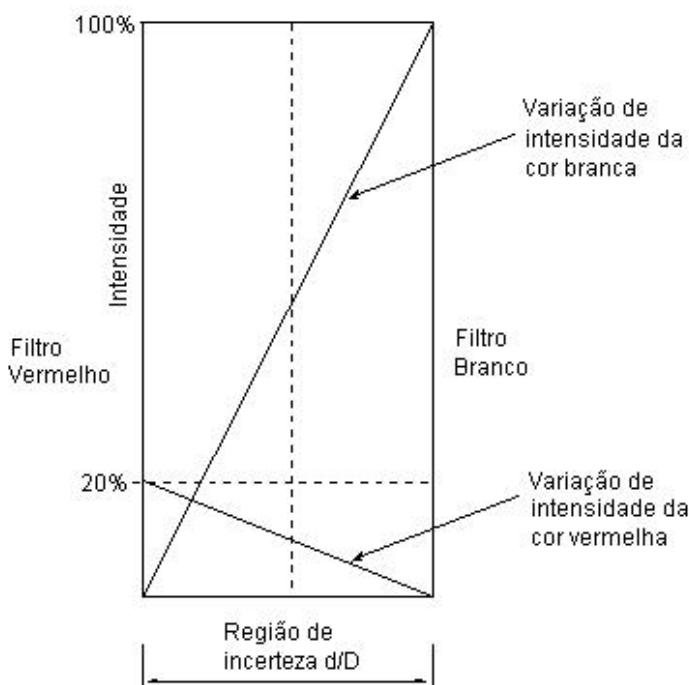


Figura 5.10 – Variação de Intensidade Luminosa na Região de Incerteza.

Esse gráfico demonstra que o branco é completamente dominante na metade do setor de incerteza que é adjacente ao setor branco e que, consequentemente, o setor de incerteza, quando observado do mar é muito menor do que d/D . Pode ser visto adicionalmente que o setor angular observado é deslocado em direção ao lado da intensidade luminosa mais baixa, mas ainda permanece dentro do ângulo calculado de incerteza.

A aplicação de setores luminosos coloridos em faróis de feixe luminoso estreito e giratório não é fácil de se conseguir. A superfície inteira do painel ótico funciona como uma fonte de luz virtual e, por causa de sua grande dimensão horizontal, o filtro teria de ser colocado a uma distância inaceitavelmente grande do aparelho ótico, a fim de produzir uma linha limite adequadamente definida. Se um setor colorido for necessário em um farol maior, dotado de um feixe giratório, recorre-se, normalmente, à instalação de um farol subsidiário, usando uma lente fixa com filtro colorido. Caso contrário, o farol maior poderia ser dotado de uma lente fixa de grande distância focal e de um filtro colorido. Qualquer arranjo dentre os, propostos acima, não produziria, no setor colorido, a mesma intensidade luminosa alta do feixe estreito.

5.22 ESCOLHA ENTRE BARCAS-FAROL E SINAIS FIXOS OFFSHORE

As barcas-farol são, tradicionalmente, posicionadas para marcar um perigo no lado pelo qual os navios normalmente passam. Por ser um sinal caro, só se justifica empregá-lo quando serve não somente como um sinal de advertência, mas, também, como um auxílio para determinação de posição.

As barcas-farol são eficientes para a aterragem, contanto que possam ser seguramente ultrapassadas por ambos os lados. Uma barca-farol não é posicionada exatamente em um perigo à navegação, mas um pouco à distância do mesmo. Deste modo, a navegação será conduzida para longe do perigo e a barca servirá muito bem como um sinal de aterragem. Para esse último propósito, o sinal deveria ser situado tão longe do perigo que um navio que venha de alto-mar com um erro de navegação grande, possa marcar seu rumo para a posição cartografada da barca-farol sem se arriscar a chegar perto demais do perigo. Desta maneira, o círculo de visibilidade da barca-farol é completamente utilizado.

Os portos são situados, principalmente, perto dos estuários de rios e, em decorrência desse fato, pode-se encontrar águas rasas fora do estuário, a distâncias apreciáveis da terra. Um sinal de aterragem na orla estaria, então, longe das águas navegáveis e seria ineficaz. A solução habitual é colocar-se uma barca-farol a uma distância conveniente ao largo da bóia de entrada do canal que conduz ao porto. Os navios podem fazer uma aterragem na barca-farol com erro de navegação muito maior do que seria possível com um sinal de aterragem estabelecido em terra. Além disso, com visibilidade reduzida, o sinal de terra talvez não pudesse ser visto além da primeira bóia, enquanto que a barca-farol ainda poderia ser usada para aterragem.

Pode-se substituir as barcas-farol por faróis fixos construídos sobre o fundo no mar. Tais estruturas têm grandes vantagens econômicas em relação a uma barca-farol e oferecem, ao mesmo tempo, um ambiente melhor para os equipamentos necessários à operação confiável do sinal.

Uma estrutura fixa não está sujeita a sair de posição como uma barca-farol, cuja âncora pode ser arrastada por uma corrente ou um vento forte, e isto aumenta a confiabilidade da estrutura fixa como luz de aterragem. A imobilidade da estrutura, porém, é também uma desvantagem, pois, quando as condições locais mudam (bancos de areia que se movem, padrões de tráfego variáveis, etc.) a posição de uma barca-farol pode ser ajustada, mas a de uma estrutura permanece fixa para sempre. Há, também, grande possibilidade de colisão com a estrutura fixa porque o navegante, aproximando-se à noite, tem certa dificuldade de avaliar distâncias. Raramente uma estrutura fixa pode ser construída tão forte que resista ao impacto de uma colisão com um navio de tamanho médio. Por todas as razões acima, uma análise completa é requerida antes que seja tomada a decisão de se substituir uma barca-farol por uma estrutura fixa.

5.23 ALCANCE NOTURNO – ESTUDO DE UM CASO

Serão empregados aqui os conhecimentos obtidos no Capítulo 3 e neste Capítulo 5, para avaliar o desempenho noturno de um farol existente.

O navegante desejaria, naturalmente, que a intensidade luminosa do sinal de aterragem fosse tal que o alcance desejado pudesse ser obtido sob qualquer condição de visibilidade. Mas isto é manifestamente impossível: a luz não penetra em nevoeiro denso. Ele terá de contentar-se com o alcance desejado sendo obtido somente em uma certa porcentagem das ocasiões.

Esta porcentagem é aquela representada pelos percentuais de transparência atmosférica discutidos no item 3.18 e detalhados no **Apêndice 2** a este Manual.

Sabe-se que os alcances luminosos calculados e declarados para todos os sinais brasileiros foram determinados para uma transparência atmosférica padrão $T = 0,85$. No item 3.17, demonstrou-se, porém, que no Brasil a transparência atmosférica média nacional tem o valor $T = 0,69$.

O presente estudo consiste em avaliar o desempenho de um farol existente sob as condições predominantes de transparência atmosférica na localidade em que está instalado e verificar se o alcance, nessas condições, ainda atende ao navegante, garantindo a visualização do sinal a uma distância suficiente para evitar os perigos da costa.

O sinal escolhido foi o farol Calcanhar, por reunir muitas características interessantes para o propósito em vista. No item seguinte deste capítulo, será avaliado o desempenho diurno do mesmo sinal.

Dados do Farol Calcanhar:

Nº de Ordem: 1100

Cartas Náuticas: 803 e 800.

Intensidade luminosa: 477.000 candelas

Altitude de foco: 74 metros

A primeira providência será obter uma estimativa do Alcance Geográfico deste sinal, com base na sua elevação, para várias alturas de observador:

H (obs)	Alc. Geog.
5m	20,9 MN
10 m	22,7 MN
15 m	24,0 MN
20 m	25,2 MN

Em seguida, será analisado o alcance para as condições atuais de intensidade luminosa. Na página 5 do **Apêndice 2**, tem-se as informações correspondentes à visibilidade meteorológica do farol Calcanhar. Veja a tabela a seguir, obtida das observações da Estação Climatológica do Calcanhar: $\varphi = 05^{\circ}10' S$; $\lambda = 035^{\circ}29' W$.

Visibilidade Observada	Nº de Ocorrências	Transparência Atmosférica Média (T)	Porcentagem das Ocorrências
< 50 m	9	0	0,03%
50 a 200 m	4	0	0,02%
200 a 500m	15	0	0,06%
500m a 1 km	129	0	0,49%
Soma ocorrências T = 0		0	0,60%
1 a 2 km	672	0,02	2,57%
2 a 4 km	1233	0,16	4,72%
4 a 10 km	1351	0,45	5,17%
10 a 20 km	14885	0,69	56,96%
20 a 50 km	7021	0,85	26,87%
> 50 km	813	0,89	3,11%
Total de obs:	26132	–	100,00%

Observa-se que o percentual de percepção ou avistamento da luz desse farol para $T \geq 0,69$ será de 86,94%, que pode ser considerado razoável. Com a intensidade luminosa indicada, pode-se estimar o alcance nas diversas transparências atmosféricas e seus percentuais (acumulados) de percepção.

T	Percentuais de T	Alcance em MN	% de Percepção
0	0,60%	0,0	
0,02	2,57%	2,8	99,40%
0,16	4,72%	5,5	96,83%
0,45	5,17%	10,8	92,11%
0,69	56,96%	20,1	86,94%
0,85	26,87%	37,7	29,98%
0,89	3,11%	48,7	3,11%

Percebe-se, então, que a intensidade luminosa está adequada, provendo um alcance luminoso igual ao geográfico, se for considerado o “observador padrão” a 5 metros de altura e a transparência $T = 0,69$. Para outras alturas de observação, talvez fosse interessante melhorar a intensidade luminosa para alcançar, digamos 23 MN (atendendo a um observador a 10 metros de altura, no seu limite de alcance geográfico. Para $T = 0,69$, esse alcance seria obtido com 1 846 081 candelas (aplicação direta da Lei de Allard). Essa intensidade, em uma primeira avaliação, deverá ser difícil de obter com as lentes instaladas. A lâmpada atualmente instalada é de vapor multimetalíco, de 70W, que fornece, em média 5 000 lúmens. Convertidos em candelas, resultarão 379,9 cd (ver item 3.2).

Com essa intensidade, pode-se estimar o fator de amplificação da lente instalada, bastando dividir $477\,000 / 379,0 = 1\,256$.

A lâmpada necessária para se obter o alcance de 23 MN em $T = 0,69$ deveria ter uma intensidade luminosa igual a $1\,846\,081 \text{ cd} \div 1\,256 = 1\,469,81 \text{ cd}$ ou 18 000 lumens, aproximadamente. Esse fluxo médio deve ser possível com uma lâmpada de vapor multimetalíco de 250 Watts, o que é bastante razoável.

Pode-se argumentar se seria possível alcançar 25 MN em $T = 0,69$, que seria compatível com uma altura de observação de 20 metros. Com as lâmpadas disponíveis no comércio atualmente, esse alcance poderia até ser excedido em $T = 0,69$, pois para essa transparência, as 25 MN seriam alcançadas com 4 581 175 cd. Nessa lente, isto seria alcançado com uma lâmpada que fornecesse

um fluxo de 46 000 lúmens. A lâmpada de vapor multimetalico mais potente, de 1 000 W, fornece um fluxo inicial de 110 000 lúmens, que seria mais do que suficiente (forneceria cerca de 10 milhões de candelas!)

Essas estimativas são ainda grosseiras. Seria necessário refinar os resultados, realizando-se medições precisas nos painéis lenticulares instalados no farol, obtendo-se os dados completos das lâmpadas e, de posse desses dados, determinando-se mais corretamente a intensidade luminosa final, com o auxílio das orientações contidas no Apêndice 3 a este Manual.

Analise-se agora a carta 800. Dentro do arco correspondente ao alcance luminoso do farol Calcanhar, há vários perigos, na forma de altos-fundos, à profundidade média de 7 a 8 m, um dos quais é a risca do Zumbi, atualmente sinalizada por uma bóia luminosa. Observa-se, inclusive, que há um casco soçobrado ao sul da risca do Zumbi, seguindo a isóbata indicada em azul. Trace-se em torno de cada um dos altos-fundos um círculo de 5 MN de raio, correspondente à margem de segurança S . Analise-se, para começar, o que poderá ocorrer com uma aterragem perpendicular, para evitar esses perigos.

Tem-se a relação $R \leq P - (d+S)$ e deseja-se determinar P .

$R = 10$ MN (ver item 5.16), e pode-se considerar $d+S = 5$ MN (d é o diâmetro do perigo, que é pequeno e está contido dentro da área delimitada pelo raio S , sugerido)

Então, $P \geq r + d + S \geq 15$ MN

Porém, o farol Calcanhar não está localizado sobre cada um desses perigos, mas, sim, em terra, a uma distância apreciável. Observando a carta 800, vê-se que a distância média aos vários altos fundos circundantes é de cerca de 20 milhas, o que exigiria um alcance de 35 MN para permitir ao navegante, ao avistar a luz do farol, acomodar o seu erro de navegação de 10 MN e estar ainda a 5 MN dos perigos.

Há duas limitações que tornam simplesmente impossível essa solução. A primeira é que, para que o alcance geográfico do farol fosse de 35 MN o observador precisaria estar a mais de 90 metros de altura. A segunda limitação é que a intensidade luminosa suficiente para atingir 35 MN com $T=0,69$ seria: 367.064.199 cd.

Então, uma boa providência seria tentar, pelo menos, alcançar o limite da margem de segurança dos altos-fundos distantes cerca de 20 milhas do farol, o que equivaleria a chegar a 25 MN com $T = 0,69$. Isto é perfeitamente realizável. Se fosse considerada uma redução da margem de segurança para, digamos, 3 MN, o alcance necessário, de 23 MN em $T = 0,69$ seria bastante fácil de obter.

Aumento da segurança com sinais adicionais.

Na situação de navegação considerada, caso as necessidades de tráfego justifiquem, os altos-fundos poderiam ser sinalizados por bóias de grande porte, aplicando-se o conceito discutido no item 5.18. Esses sinais flutuantes poderiam ter altura focal da ordem de 6 metros, com alcances geográficos da ordem de

H (obs)	Alc. Geog.
5m	9,0 MN
10 m	10,8 MN
15 m	12,2 MN
20 m	13,3 MN

Essas bóias poderiam ser convenientemente equipadas com lanternas de 5 MN de alcance para $T = 0,69$ (110 candelas). O efeito obtido seria dar ao navegante a dupla cobertura de avistar as luzes tanto da bóia quanto do farol Calcanhar, no limite da margem de segurança de 5 milhas náuticas (a

bóia, conforme será visto no Capítulo 7, daria um alcance aceitável de 2,5 MN nessas circunstâncias, devido à instabilidade de seu plano focal, por ser um sinal flutuante).

Essa configuração, além dos benefícios descritos em 5.18, também facilitaria a determinação da posição do navegante, porque as bóias poderiam exibir características diferentes. A sua principal desvantagem é a enorme dificuldade de manter um balizamento flutuante distante 20 milhas da costa.

Apesar das dificuldades, tem-se uma solução deste tipo implantada atualmente no baixio denominado risca do Zumbi, citado acima, onde, inclusive, já esteve em operação uma barca-farol, retirada por motivos econômicos.

Caso a barca-farol tivesse sido mantida, poder-se-ia ter o caso considerado no item 5.19, de múltiplos sinais de aterragem. A região é servida por outros faróis e faroletes, como Gameleira, Rio do Fogo, Teresa Pança e São Roque, que serão estudados quanto ao alcance declarado em carta, em face de se considerar $T = 0,69$, com vistas ao seu papel como sinais de cabotagem, que será assunto do Capítulo 6. Essa reavaliação também poderá contribuir para dar mais segurança à aterragem na região.

5.24 ALCANCE DIURNO – ESTUDO DE UM CASO

Pode-se fazer uma avaliação do alcance diurno do farol Calcanhar, como exercício de aplicação dos conceitos do Capítulo 4.

A região onde o sinal está construído é uma costa baixa e plana, oferecendo o céu como cenário de fundo, para a observação do farol pelo navegante. Sua estrutura tem 62 metros de altura e cerca de 6 metros de diâmetro no topo.

Recorrendo ao desenvolvimento constante do item 4.9, sabe-se que a forma alongada precisa guardar uma proporção de 7 para 1 entre a altura e a largura para ser corretamente observada. Desta maneira, com uma largura de 6 metros, os 42 metros superiores seriam a porção do farol observada pelo navegante no limite de alcance diurno, com respeito à acuidade visual.

O Alcance Geográfico diurno seria calculado para a elevação de $74 - 42 = 32$ m, resultando em:

H (obs)	Alc. Geog.
5m	15,2 MN
10 m	17,0 MN
15 m	18,4 MN
20 m	19,5 MN

Com 252 m^2 de área, a porção superior da estrutura oferecerá um Alcance Visual diurno aproximado de 12 MN, para $T = 0,69$, o que indica que o sinal não seria visível no limite de alcance geográfico sem o auxílio de binóculos para as condições predominantes de transparência atmosférica (e nada se pode fazer a respeito). O navegante terá que se aproximar mais do sinal para uma navegação visual diurna e esta poderia ser mais uma razão para o círculo de proteção de bóias sugerido.

A iluminação diurna é, em princípio, bastante favorável, com o sinal sendo observado pelo Norte e Noroeste, com o Sol alto no horizonte por trás do observador ou lateralmente. O solo é claro (areia), contribuindo para a melhoria das condições de luminância.

Essas condições permitem prever que as faixas brancas do sinal habilitariam sua visualização como fonte pontual, nas condições mais favoráveis de iluminação solar.

CAPÍTULO 6

PROJETO DE SINAIS DE CABOTAGEM

6.1 CABOTAGEM OU NAVEGAÇÃO COSTEIRA

Em navegação costeira tradicional ou de cabotagem, o navegante planeja sua derrota de forma que nunca tenha fora do alcance visual, por muito tempo, marcos naturais ou sinais náuticos visuais. Sua derrota será um compromisso entre a manutenção de um rumo em linha reta (que é a rota mais curta possível) e a navegação ponto-a-ponto, conduzindo seu barco de sinal em sinal. Sua posição é determinada por marcações visuais ou radioelétricas. Quando cruza extensões de mar aberto, fora de alcance visual da costa ou de auxílios visuais à navegação, o navegante mantém sua derrota atualizada pela navegação estimada²⁶.

Os navegantes de cabotagem raramente fazem observações astronômicas e preferem acompanhar a costa, mas aqueles de navios oceânicos preferem ficar afastados da costa e usar a determinação astronômica durante uma travessia de qualquer duração. Depois dessa travessia, é feita uma aterragem secundária, como será discutido logo em seguida, neste capítulo. Para atender a essa última “preferência,” deverá haver, sempre, ao longo da costa, vários sinais de aterragem à escolha do navegante.

6.2 OS SINAIS COSTEIROS E A “ATERRAGEM SECUNDÁRIA”

É comum acontecer que, quando um navegante se aproxima, vindo de alto-mar, faça sua aterragem na primeira oportunidade e ainda longe do seu destino. Nessas circunstâncias, talvez tenha que percorrer uma certa distância antes que o próximo sinal náutico seja alcançado. Uma situação como esta tem todas as características de uma verdadeira aterragem, embora a última posição do navio não tenha sido, necessariamente, obtida através de observações astronômicas. O segundo sinal náutico a ser avistado é, às vezes, chamado de "sinal de aterragem secundário".

Pode acontecer que o navegante que não tenha feito aterragem no primeiro sinal disponível, por causa das condições climáticas, continue seu rumo na esperança de aportar ao segundo sinal. Para este propósito, esta última luz deveria ter os alcances geográfico e luminoso de um sinal de aterragem primário. Esta exigência se aplica somente a alguns sinais de aterragem secundários e não a todos.

Navios em uma viagem costeira, empregando navegação ponto-a-ponto, também perdem a vista de terra, de tempos em tempos. Depois de cada travessia em mar aberto, deve ser feita uma aterragem, que não difere em princípio da aterragem secundária discutida.

O desempenho desses sinais de aterragem secundários deve ser projetado para acomodar erros típicos de navegação costeira. Na descrição dos parâmetros de projeto, será comparado o desempenho dos sinais costeiros no cumprimento das funções de aterragem.

6.3 ERROS TÍPICOS DE NAVEGAÇÃO COSTEIRA

Esses erros típicos consistem, na prática, somente dos erros da navegação estimada, pois a posição do ponto de partida terá sido obtida através de meios visuais e deverá ter, então, alta precisão.

É consenso considerar-se que um erro na posição estimada igual a 10% da distância viajada desde a última posição ocorra em 99% das situações. A distância percorrida em navegação costeira, que

²⁶ Leitura recomendada: Capítulo 5 – Navegação Estimada – do livro “Navegação: A Ciência e a Arte” – Vol. 1.

pode ser medida numa carta náutica, é a distância tomada desde o ponto onde a última determinação visual de posição foi efetuada.

Emprega-se aqui o conceito do “portão de acesso” do Capítulo 5. O erro de navegação é indicado pela letra “R”. Se a distância percorrida é D, então $R_{99} = D/10$.

Considerando, agora, que a aproximação paralela seja a mais habitual em navegação costeira, pode-se afirmar que essa aproximação será bem sucedida se:

$$D/10 \leq [P - (d + s)] / 2$$

ou

$$P \geq d + s + D/5$$

A aproximação em ângulo reto não é, porém, nenhuma exceção em navegação costeira, (cruzamento de canal!) e a equação seguinte, derivada da fórmula de aterragem perpendicular, pode ser aplicada:

$$D/10 \leq P - (d + s)$$

ou

$$P \geq d + s + D/10$$

Nas travessias de grande distância (D), os navegantes podem melhorar sua precisão de navegação por observações astronômicas, de satélites ou por outros métodos, como sondagens. Portanto, não precisam ser levados em conta erros maiores que os esperados quando os navios vêm do oceano.

O erro na posição estimada, freqüentemente, decorre de diferenças de velocidade da corrente e da força do fluxo da maré. Em regiões de marés fracas, o erro na ausência de outros fatores perturbadores pode ser tido como não mais que 5% da distância viajada, em média. Os valores de P nas fórmulas de aproximação paralela e perpendicular, acima, em tais regiões pode ser ajustado respectivamente:

para a aproximação paralela: $P \geq d + s + D/10$

para a aproximação em ângulo reto: $P \geq d + s + D/20$

Em navegação costeira são feitas, freqüentemente, aterragens secundárias a barcas-farol, em cujo caso a fórmula de aterragem nesse tipo de sinal é aplicável. Essa fórmula pode ser ajustada para $P \geq D/10$ ou, no caso de águas interiores, para $P \geq D/20$. Quando a aterragem é feita a um sinal em um perigo isolado ou a um promontório, as equações respectivas podem ser usadas, ajustando-se o erro (R) para a fração de distância mais adequada.

O erro de navegação em 99% do tempo ($R_{99} = D/10$ ou $R_{99} = D/20$), considerado nessas adaptações das fórmulas de aterragem para navegação costeira, representa somente uma aproximação geral. É sempre necessário que se leve em conta as reais condições locais.

6.4 DETERMINAÇÃO DE POSIÇÃO POR MARCAÇÕES VISUAIS

Na navegação ao longo da costa, a posição dos navios normalmente é fixada a intervalos muito pequenos, variando de 15 a 30 minutos, no máximo. Os navegantes preferem tomar marcações simultâneas, que dão posições muito precisas. O erro provável de uma marcação visual, em 95% das medidas, é aproximadamente 1° , e o erro lateral, portanto, não é maior que 1,75% da distância do navio para o sinal ($\text{seno } 1^\circ \approx 0,0175$).

Considerando a magnitude do erro lateral definida acima, pode-se determinar o erro radial de uma marcação visual resultante do cruzamento de duas linhas de posição. Supondo que as duas LDP se cruzem com um ângulo de 90° e a embarcação esteja a uma distância de 5 milhas náuticas da costa, o raio do círculo de erro (em 95% das medições) será de 0,12 MN. Segue-se a comprovação²⁷:

O *erro provável* em 95% das medições: $E_{95} = 1^\circ$, donde o $E_{50} = E_{95}/3 = 0,333\dots^\circ$

Em 5 MN, o $E_{50} = 5 \times \text{seno}(0,333\dots^\circ) = 0,0291$ MN

O *erro radial*, por definição, é:

$$R_{95} = \pm 3 (\text{cosec } \alpha) (E_1^2 + E_2^2)^{1/2}$$

Onde E_1 e E_2 correspondem ao E_{50} de cada LDP (nesse caso, $E_1 = E_2$).

$$R_{95} = \pm 3 (\text{cosec } 90^\circ) (2 \times 0,0291^2)^{1/2} = \pm 3 (1) (0,0412) = 0,1236 \approx 0,12 \text{ MN}$$

Esta alta precisão permite que os navios naveguem com grande segurança e evitem perigos não sinalizados, contanto que a visibilidade meteorológica permita avistar os sinais náuticos. Isto significa que os navegantes podem achar seu caminho até mesmo em uma área cheia de perigos, caso somente alguns deles estejam sinalizados. Em visibilidade reduzida esse tipo de navegação é impossível, a menos que um maior número de pontos notáveis ou sinais náuticos esteja disponível.

Nas situações em que somente uma marca ou sinal náutico está visível, usa-se o método das marcações sucessivas para determinar a posição do navio²⁸. A precisão é menor que a da determinação por marcação simultânea

A figura 6.1 mostra uma típica elipse de erro de uma determinação de posição por marcações sucessivas. Quando se prossegue com a navegação estimada, depois de uma determinação de posição dessa natureza, a área de probabilidade começa a crescer a partir desta elipse de erro. Um ponto virtual de partida (P) pode ser determinado, como demonstrado na figura.

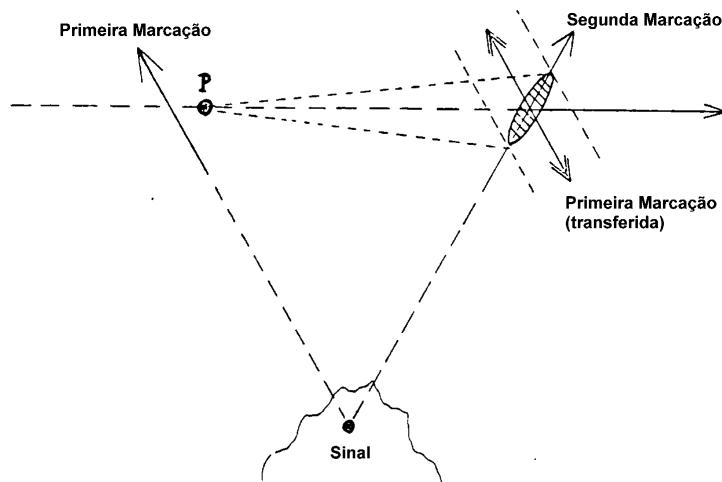


Figura 6.1 – Elipse de Erro em Marcações Sucessivas

²⁷ Capítulo 4 do livro “Navegação: A Ciência e a Arte” – Vol. 1. – ver definições de Erro Provável e Erro Radial.

²⁸ Capítulo 6 do livro “Navegação: A Ciência e a Arte” – Vol. 1.

6.5 PARÂMETROS DE PROJETO DE SINAIS COSTEIROS

Em navegação costeira, os rumos são considerados, em geral, aproximadamente paralelos à costa. O uso feito pelo navegante dos sinais costeiros principais é semelhante àquele dos sinais de aterragem com uma aproximação paralela, de forma que a fórmula do item 5.9 é aplicável:

$$R \leq [P - (d + s)]/2$$

No item 6.3, foi visto que o raio do círculo de erro (R) pode ser relacionado com a distância navegada deste a última posição determinada, sendo considerado igual a 10% dessa distância. Considerando (D) a distância navegada, são repetidas a seguir, as fórmulas deduzidas no item 6.3 para a navegação paralela à costa:

$$P \geq d + s + D/5$$

Ou, em condições de correntes de maré desprezíveis:

$$P \geq d + s + D/10$$

Adicionalmente, em uma navegação aproximadamente paralela à costa, a margem de segurança (s) pode ter seu valor reduzido em relação àquele empregado em operações de aterragem. Não é incomum estabelecer-se rumos que ultrapassem perigos a distâncias iguais ou menores que 2 MN.

Essas equações permitem projetar o desempenho e o espaçamento de sinais costeiros. Deve ser dada atenção especial às condições de visibilidade reduzida, sendo de grande importância que a navegação costeira possa ser feita seguramente durante grande parte do tempo. As intensidades luminosas não devem ser calculadas para a visibilidade média, mas para um valor mais baixo.

São as seguintes as condições mínimas para o projeto dos sinais costeiros:

- 1) O erro da navegação estimada cresce à razão de 10% da distância percorrida.
- 2) Para garantir a segurança da navegação, estabelece-se que o sinal deve ser avistado por um ângulo de 45º a partir do través da embarcação, considerando-se que a mesma navega paralela à costa, na margem da zona de segurança.

6.6 DETERMINAÇÃO DO DESEMPENHO DE UM SINAL COSTEIRO

As condições mínimas de projeto, estabelecidas no item anterior, estão representadas na figura 6.2, servindo para calcular o desempenho do sinal costeiro, ou seja, o alcance de percepção (P).

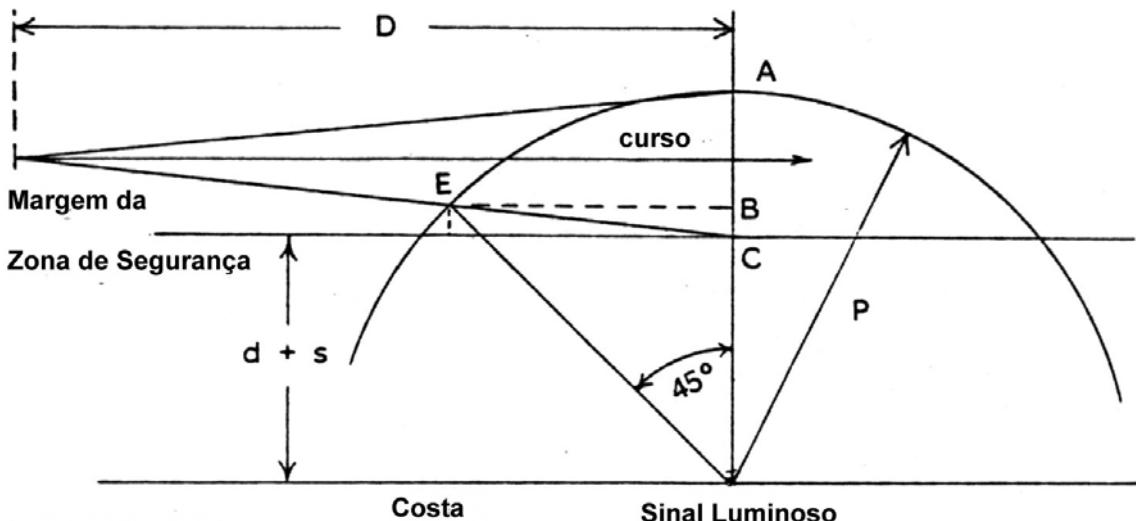


Figura 6.2 – Condições Mínimas para a Navegação Costeira.

Para calcular o desempenho ou o alcance de percepção (P), consideramos que as condições de segurança estabelecidas serão atendidas quando:

$$P - (d + s) \geq AB + BC$$

$$AB = P (1 - \cos 45^\circ) = 0,293 P$$

Considerando a taxa de erro de 10% da distância percorrida, pode-se dizer que:

$$BC = BE/10 = (P \sin 45^\circ)/10 = 0,071P$$

Então:

$$P - (d + s) \geq 0,364 P$$

Pode-se, então determinar a razão entre P e (d + s):

$$P - 0,364 P \geq d + s$$

$$P (1 - 0,364) \geq d + s$$

$$P / (d + s) \geq 1 / (1 - 0,364)$$

$$P \geq 1,57 (d + s)$$

Esta equação permite definir o **desempenho do sinal costeiro**, ou seja, o valor mínimo para o Alcance de Percepção (P) em função da distância ao perigo (d) e da margem de segurança (s).

6.7 DETERMINAÇÃO DO ESPAÇAMENTO MÁXIMO ENTRE SINAIS COSTEIROS

Para começar, pode-se determinar a distância máxima que a embarcação pode percorrer desde a última posição até avistar o sinal pelo través (distância D, na figura 6.2). Recorre-se à fórmula:

$$P \geq d + s + D/5$$

Então, faz-se $P - (d + s) \geq D/5$

Mas, das deduções anteriores, sabe-se que: $P - (d + s) \geq 0,364 P$

Logo:

$D/5 = 0,364 P$, ou:

$$\boxed{D = 1,82 P}$$

Antes de entrar no círculo de visibilidade do sinal, representado na figura 6.2, a embarcação partiu de uma posição dentro do círculo de visibilidade do sinal costeiro anterior, obtida por meio de marcações sucessivas. Assume-se que o navegador segue um rumo a meio caminho entre a extremidade da zona de segurança e o limite exterior de percepção do sinal e que, essas condições, em ambos os sinais, são idênticas (veja a figura 6.3). O ponto de partida está situado na marcação onde o sinal luminoso L_1 é avistado pelo través da embarcação.

Nessas condições, o navegador cruza o limite de visibilidade do sinal L_1 em uma posição distante 30° da marcação de origem (pelo través), obtida por marcações sucessivas do mesmo sinal. Como resultado, D é igual ao segmento L_1-L_2 e, conforme definido acima, o espaçamento máximo deve ser igual a $1,82 P$.

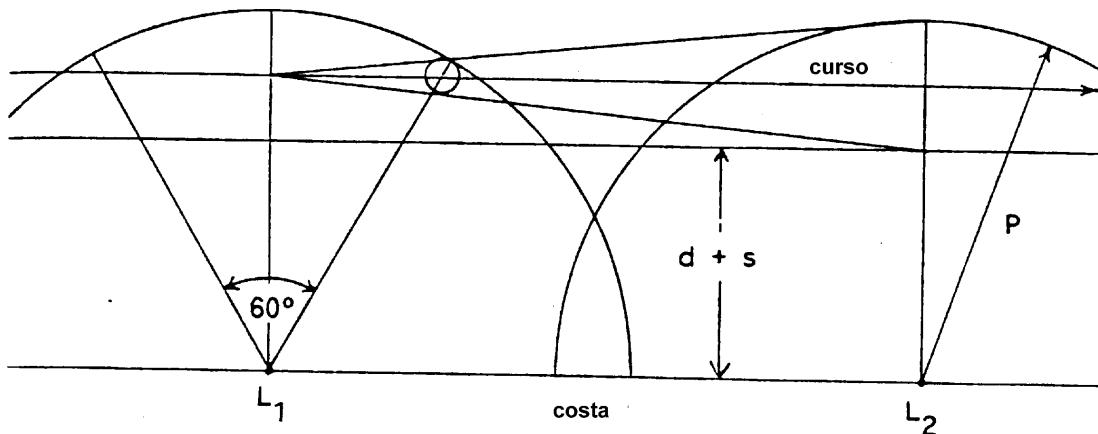


Figura 6.3 – Espaçamento entre Sinais para Navegação Costeira.

6.8 INFLUÊNCIA DOS ERROS DE NAVEGAÇÃO NO PROJETO

Nas fórmulas de cálculo do alcance de percepção, foi assumido que o erro da navegação estimada cresce a uma taxa de 10% da distância viajada. Como foi explicado no item 6.3, a principal causa desse erro está na estimativa dos fluxos da maré ou corrente. Se estes se apresentam paralelos à costa, a elipse de probabilidade terá seu eixo menor em ângulo reto em relação à costa e há menos risco de invadir a zona de segurança. O contrário ocorre no caso dos fluxos da maré ou corrente tenderem a causar grandes erros transversais de rumo e este é um fenômeno típico quando o navio passa pelo estuário de um rio com fortes fluxos de maré para dentro e para fora. Isto deve ser levado em conta no projeto de desempenho e espaçamento de sinais luminosos costeiros e outros auxílios.

Também deve ser levada em conta a variação sazonal das correntes marítimas²⁹, considerando-se as piores condições locais na estimativa dos erros transversais.

6.9 DEFINIÇÃO DA VISIBILIDADE METEOROLÓGICA DE PROJETO

No caso da navegação costeira, os alcances de percepção dos sinais normalmente serão menores que para os sinais de aterragem, mas, em contrapartida, os sinais costeiros deverão, via de regra, estar disponíveis para o navegante por um período maior devido a esse tipo de navegação ocorrer mais próxima à costa, gerando a necessidade de se determinar posições com maior freqüência.

Assim sendo, uma boa opção poderia ser fixar que o alcance luminoso de um sinal costeiro seja calculado para a visibilidade meteorológica média, cuja ocorrência se dá em 95 % do tempo (V_{95}), ou o mais próximo possível desse valor.

Entretanto, é possível que esse valor resulte em intensidades luminosas impossíveis de se obter ou economicamente inviáveis. Desta maneira, o critério correto será que o projetista analise caso a caso o projeto de sua sinalização costeira, deixando registradas todas as condições consideradas em seu projeto.

Por exemplo, se é necessária uma sinalização eficaz em 95% do tempo ou mais, pode-se aumentar o número de sinais e encurtar a distância entre eles, para que acomodem as intensidades luminosas possíveis de ser obtidas com os equipamentos disponíveis. Isto terá um reflexo direto no custo.

Para se chegar a uma composição ótima, deve-se comparar os custos da implantação (e manutenção) de várias estruturas de pequeno porte e luzes de custo relativamente baixo, contra a implantação de poucos sinais, com estruturas mais altas e luzes de custo elevado.

É importante notar que o fato de se projetar uma sinalização costeira para que seja efetiva durante 95% do tempo não significa que todo o transporte marítimo na região deva ficar parado 5% do tempo. Deve-se considerar que o navegante usa uma estratégia diferente sob nevoeiro. Ele tenderá a manter os erros de navegação tão pequenos quanto possíveis, navegando cautelosamente e fazendo sondagens regulares. Deste modo, poderá reduzir a largura da zona de segurança (s), provavelmente às custas de sua velocidade de avanço. O mesmo conceito se aplicará a quaisquer percentuais empregados em projetos, diferentes dos 95% de disponibilidade.

Em situações de nevoeiro a velocidade deve ser reduzida, de alguma forma, para obedecer ao Regulamento para Evitar Abalroamentos no Mar. Quando se espera uma elevada incidência dessas condições meteorológicas, é justificável que os sinais luminosos sejam colocados muito mais próximos entre si.

Esta estratégia não é aplicável quando o sinal luminoso é cercado de perigos e quando o perfil do fundo do mar não é satisfatório para que as sondagens sirvam como advertência de aproximação do perigo. Neste caso, os navios podem navegar afastando-se da costa, seguindo um rumo estimado, na expectativa que o tempo, eventualmente, clareie, de forma que a aterragem possa ser feita mais adiante, ao longo da costa.

Está claro que navios que não estejam equipados com radar, radiogoniômetro ou outros auxílios eletrônicos, podem sofrer atrasos significativos quando praticam navegação costeira em baixa visibilidade.

Uma vantagem do desempenho e espaçamento de sinais luminosos costeiros serem determinados para condições de baixa visibilidade é que se oferece aos navegantes, em condições de visibilidade média ou boa, a disponibilidade de dois ou mais sinais luminosos costeiros durante todo o tempo, quando navegando paralelamente à costa. Eles podem, então, determinar as posições de seus navios

²⁹ Informação disponível na publicação Atlas de Cartas–Piloto – DHN.

com grande precisão, por meio de marcações simultâneas, e navegar mais longe da costa, se assim desejarem.

Sempre haverá casos, entretanto, em que a melhor solução possível (e, talvez, a única) oferecerá ao navegante uma sinalização costeira efetiva apenas em 80 a 85% do tempo, e ele precisará se contentar com essa disponibilidade, que deverá estar suficientemente documentada no projeto.

O mínimo que se pode oferecer ao navegante é que os sinais costeiros tenham tal intensidade luminosa que ele possa navegar nas proximidades da área de perigo, a uma distância segura, em 50% das ocasiões.

Nas situações em que a sinalização através de um sistema de sinais costeiros prove ser insuficiente, o projetista terá que recorrer a combinações de sinais náuticos fixos e flutuantes, conforme será visto a seguir.

6.10 REDUÇÃO DA MARGEM DE SEGURANÇA E AUMENTO DA DISPONIBILIDADE DA SINALIZAÇÃO NÁUTICA

Até aqui foi considerado o caso hipotético de uma linha costeira reta e um valor constante para o fator ($d + s$). A situação geográfica real pode ser muito diferente disto, particularmente quando há perigos periféricos situados a uma distância apreciável da costa.

Por exemplo:

- Os perigos distam 5 milhas náuticas ou mais da costa (alcance bastante prejudicado por condições adversas de visibilidade).
- A construção de uma estrutura fixa na extremidade da área de perigo não é possível.

Nesta situação os perigos precisarão ser cobertos por sinais costeiros mais distantes e não será possível satisfazer a navegação em baixa visibilidade.

Conforme ficou estabelecido anteriormente, o mínimo que o navegante pode esperar é que os sinais costeiros tenham tal intensidade luminosa que ele possa navegar próximo da área de perigo a uma distância segura em 50% das ocasiões. Isto significa que a área de perigo deve estar bem coberta pelo alcance de percepção esperado nesse percentual de tempo (P_{50}) e que os navios devam passar completamente fora da área quando a visibilidade estiver ruim.

O valor de s nas fórmulas para cálculo do Alcance de Percepção pode ser reduzido consideravelmente, marcando-se a zona de perigo com bóias luminosas. Essas bóias trazem uma vantagem na cobertura de perigos periféricos, pois, no local de sua instalação, reduzem s a zero. Por exemplo, podem ser colocadas em pontos salientes do contorno de profundidade ou da isóbata considerada como limite para a navegação segura, em dada região. Este é um exemplo da combinação de diferentes sinais náuticos em um único sistema.

Desta maneira, a navegação segura por meio de auxílios visuais é tornada possível nas proximidades de sinais luminosos costeiros e o navegante pode fazer uso desses sinais em condições de visibilidade mais baixa.

Naturalmente, seria melhor se a intensidade luminosa pudesse ser escolhida de forma que a navegação próxima da área de perigo fosse possível durante mais da metade do tempo (idealmente, até mais que 95% do tempo). Se o volume de tráfego é alto, o projetista normalmente tentará exceder a probabilidade de 50%, pois, caso contrário, a utilidade do sinal costeiro se torna questionável; sinais complementares terão que ser usados e a solução de concepção mais fácil é colocar várias bóias luminosas para marcar a extremidade da zona de perigo. Será, portanto, uma precaução sensata marcar uma área de perigo com pelo menos duas bóias, quando nenhum outro meio para determinar a posição de um navio estiver disponível no local.

De um modo geral, os sinais flutuantes são menos confiáveis que os fixos; bóias luminosas podem se apagar ou podem ser deslocadas por colisão ou condições climáticas ruins. Quando os sinais estão implantados no mar, a grandes distâncias, a supervisão é intermitente, de forma que o mau funcionamento não será descoberto imediatamente e a correção de uma falha poderá levar muito tempo. Esse aspecto deverá ser levado em conta pelo projetista na especificação dos meios para manutenção e reparo desses sinais flutuantes, os quais, apesar disto, podem ser a melhor solução para muitos casos. Modernamente, a introdução de sistemas de monitoramento e controle remoto de sinais permitirá aumentar significativamente a confiabilidade dos sinais flutuantes, principalmente os de localização remota. Obviamente, o conceito também se aplica aos sinais fixos automáticos.

6.11 BÓIAS LUMINOSAS PARA A NAVEGAÇÃO COSTEIRA

O Sistema de Balizamento Marítimo da IALA³⁰ prevê vários tipos de sinais fixos e flutuantes que podem ser empregados como sinalização complementar para a navegação costeira.

- Sinais Laterais, usados junto a canais bem definidos, para indicar o bombordo e o borenste das rotas a serem seguidas;
- Sinais de Perigo Isolado;
- Sinais de Águas Seguras, que também podem ser usados para aterragem;
- Sinais Especiais, não usados em princípio, para auxílio à navegação; e
- Sinais Cardinais, que indicam regiões seguras à navegação, referenciadas aos pontos cardinais.

Na navegação costeira, os navios podem aproximar-se de perigos vindos de várias direções. Um sinal flutuante para advertir navios da presença de um perigo à navegação não pode ter, via de regra, uma *característica lateral*, ou seja, mostrar ao navegante por qual lado - bombordo ou borenste - ele deve ultrapassar o sinal, como é feito em canais. Ao invés disso, pode ser dada uma característica que indica se sua localização é norte, leste, sul ou oeste do perigo, usando o *sistema cardinal*. Como de costume, bóias cardinais são colocadas entre o perigo e a área onde o tráfego provavelmente passará ou por onde possivelmente os navios aproximar-se-ão.

Atenção especial deve ser dada à sinalização do que é chamado pela IALA de “Novos Perigos”. São perigos descobertos recentemente e não indicados ainda nos documentos náuticos. O tipo mais óbvio de “novo perigo” é constituído pelos restos de um naufrágio. É de importância extrema que imediatamente depois do evento:

- O tráfego marítimo seja advertido para manter-se fora da área, mesmo que a posição não esteja exatamente determinada.
- O casco soçobrado seja localizado; se nenhuma parte da embarcação estiver acima da linha-d’água ou nenhum rastro de óleo indique sua posição, o casco soçobrado deve ser localizado por sondagem e ter sua posição provisoriamente marcada.
- O casco soçobrado seja balizado pelo responsável pela Sinalização Náutica. De acordo com o Sistema da IALA, pelo menos um dos sinais usados para balizá-lo deverá ser duplicado o mais cedo possível caso o perigo seja considerado especialmente sério.
- O novo perigo seja indicado por RACON³¹ codificado em Morse com a letra “D” sempre que o grau de risco requeira esta sinalização, a critério do responsável pela Sinalização Náutica.

³⁰ A NORMAM 17/DHN contém o Sistema de Balizamento Marítimo da IALA e descreve, em seu Capítulo 3, todas as convenções para sinalização náutica visual adotadas no Brasil.

³¹ Este dispositivo será discutido em detalhes no capítulo sobre Sinais Radioelétricos do Volume II deste Manual.

A execução expedita das medidas acima requer estreita e contínua cooperação entre os responsáveis pelos Avisos aos Navegantes, a Busca e Salvamento e a Hidrografia. Também é necessário um navio balizador com as bóias adequadas, de prontidão na região.

O navegante, normalmente, confia em sua carta para saber a finalidade de cada bóia encontrada durante sua viagem. Porém, este método não é de nenhum auxílio se a situação mudou desde que as cartas foram corrigidas pela última vez. Quando uma bóia, que não figura na carta, entra em seu campo visual, ele não conseguirá traduzir seu significado satisfatoriamente, a menos que suas características sejam parte de um sistema convencionado. O Sistema da IALA cumpre esta exigência.

O alcance máximo de uma bóia luminosa à noite é limitado. Quando provido de uma luz branca, o alcance luminoso (com $T = 0,85$) pode ser de até 8 milhas náuticas. Quando filtros coloridos são usados, alcances luminosos de, no máximo, 5 a 6 milhas náuticas podem ser esperados³².

A altura focal sobre o nível do mar pouco influencia o alcance máximo ao qual a luz de uma bóia luminosa pode ser percebida. Para um observador à elevação padrão de 5 metros, o horizonte está à distância de 4,7 milhas náuticas e, para que a luz de uma bóia possa ser vista a 6,5 milhas náuticas, sua altura focal não precisa exceder 2 metros. Mas, uma vez que a luz não deve ser obscurecida por ondas altas e que a lanterna deve ser mantida livre de respingos de água, alturas focais de 3 a 5 metros são normais para bóias em águas costeiras abertas. Outra razão para se usar alturas focais maiores é que a transparência nos níveis mais baixos da atmosfera, perto da superfície do mar, não é tão boa quanto a alguns metros acima, por causa da grande umidade.

Bóias luminosas de elevado plano focal, com uma altura focal maior que 5 metros, até um máximo de 8 ou 9 metros acima do nível de mar, são principalmente usadas como sinais de aterragem. Essas bóias portam luzes de maior intensidade luminosa, com alcances luminosos ($T = 0,85$) da ordem de 12 milhas náuticas.

Por causa das oscilações de uma bóia, uma luz rítmica, normalmente, não será percebida no limite do seu alcance luminoso, mas a uma distância menor.

Durante o dia, as bóias são mais bem distinguidas quando vistas contra o horizonte. Navegantes em um passadiço alto estão, portanto, em desvantagem. Um observador a uma altura de 20 metros, por exemplo, terá o topo de um sinal diurno com 3 metros de altura, localizado na linha do horizonte, quando ele ainda está a 5,7 milhas náuticas de distância. Quanto mais próximo da bóia, mais o alcance de percepção dependerá do contraste do sinal diurno com a água do mar. O contraste pode mudar de acordo com a hora do dia e a direção do Sol. De acordo com estudos³³, normalmente pode ser esperado um alcance visual de 2,5 milhas náuticas para bóias do tamanho das usadas em navegação costeira. O uso de pinturas brilhantes ou luminescentes, que geralmente proporcionam maior contraste contra a água do mar, melhora a percepção das bóias durante o dia e – incidentalmente – contribuem para a segurança das bóias contra colisões.

Como o alcance de percepção de uma bóia luminosa, tanto durante o dia quanto à noite, é bastante limitado, o refletor radar se torna um equipamento obrigatório em bóias empregadas em navegação costeira.

6.12 BÓIAS CEGAS PARA A NAVEGAÇÃO COSTEIRA

O uso de bóias cegas para a navegação costeira é limitado porque, na maioria das aplicações, as bóias luminosas executam melhor a função requerida, tanto de dia como à noite.

³² Nos sinais equipados com lanternas de LED, essa situação se inverte. As luzes coloridas exibem intensidades luminosas comparativamente maiores que a da luz branca, resultando em alcances maiores para os sinais coloridos.

³³ USCG – Report 503 – Recognition Characteristics Study for Buoys – 1970.

As bóias cegas são principalmente empregadas em áreas costeiras onde a densidade do tráfego não justifica o estabelecimento de um sistema de sinalização completo e onde a navegação só é praticada de dia. Em tais áreas, a navegação é feita através do auxílio de marcos naturais, complementados onde necessário por sinais fixos em terra e por bóias cegas para sinalizar os perigos submersos.

As bóias cegas são úteis como um complemento das bóias luminosas, em alguns casos. À luz do dia, uma bóia luminosa pode ser detectada a aproximadamente metade do alcance ao qual poderia ser vista à noite. Em consequência do alcance noturno ser maior, as bóias luminosas posicionadas de maneira que um perigo seja coberto adequadamente na escuridão podem ter um espaçamento muito distante para o uso diurno; os intervalos podem ser preenchidos por bóias cegas. Deve-se tomar o devido cuidado para que as bóias cegas não sejam abalroadas por navios que prosseguem de bóia luminosa em bóia luminosa na escuridão; por isto, as bóias cegas normalmente são posicionadas um pouco mais para terra, em relação às linhas assinaladas por bóias luminosas sucessivas.

As bóias cegas para a navegação costeira devem ser visíveis a distâncias relativamente grandes e, portanto, devem ter dimensões comparáveis às das bóias luminosas (diâmetros maiores que 2 metros).

Uma ou duas bóias cegas são freqüentemente estabelecidas nas redondezas de uma barca-farol. Seu propósito é permitir que a equipe de manutenção confira a posição da barca-farol e a devolva à sua posição original caso tenha sido deslocada, como acontece às vezes durante períodos de ventos fortes. Essas bóias são chamadas "Bóias de Vigilância" ou "Bóias de Estação" (nos EUA). Bóias cegas também podem ser empregadas como pontos de referência para bóias luminosas importantes, do mesmo modo que servem a barcas-farol.

A presença de bóias luminosas nas redondezas de uma barca-farol pode induzir os navegantes a permanecerem a uma distância segura da barca-farol à noite. Tais bóias, assim, oferecem uma certa proteção contra colisões.

As bóias podem, também, ser usadas como marcas especiais para uma variedade de propósitos, como sinalizar zonas de fundo acidentado, áreas de exercícios militares, indicação de cabos ou oleodutos e sinais de zonas exclusivas para navegação de recreio. Esses sinais especiais são mencionados no Sistema de Balizamento da IALA. Tais bóias podem ser cegas se não forem um perigo para o tráfego noturno.

As bóias cegas providas com refletores de radar podem ser posicionadas perto umas das outras, e dispostas em um padrão (por exemplo, triangular) que possa ser reconhecido em uma tela de radar. Isto pode servir para a sua identificação. A distância entre as bóias deve ser maior que a resolução esperada dos radares de uso geral, ao alcance no qual o arranjo deva ser efetivo. A aplicação deste método de marcação, entretanto, é extremamente limitada.

6.13 SETORES COLORIDOS EM SINAIS LUMINOSOS COSTEIROS

Os sinais luminosos costeiros principais normalmente exibem luz branca³⁴; não há nenhuma diferença entre o sinal de aterragem e os principais sinais luminosos costeiros. As mesmas características luminosas podem ser usadas por ambas as categorias. Somente em casos excepcionais exibem-se luzes encarnadas nos sinais costeiros principais.

Para advertir os navegantes caso estes estejam entrando em uma área perigosa, podem ser adicionados ao sinal luminoso um ou mais setores coloridos onde, caso contrário, se mostraria uma

³⁴A referência aplica-se exclusivamente aos faróis costeiros. Obviamente, as bóias luminosas estudadas nos itens anteriores deverão seguir a padronização da IALA.

luz branca. Em áreas costeiras, onde a densidade do tráfego é alta e o navegante tem que dividir sua atenção com várias atividades, tal dispositivo de advertência é útil, pois a embarcação pode ser jogada contra a costa ou conduzida em direção a outros perigos por correntes marítimas, de forma imperceptível e, inclusive, a ação para prevenir colisão pode ter um efeito semelhante. Em condições climáticas ruins, o jogo do navio pode dificultar uma determinação de posição a partir de uma luz rítmica e o navegante pode descobrir tarde demais que está em perigo. Um setor colorido então, por dar uma advertência imediata, é uma contribuição efetiva à segurança da navegação.

O setor colorido em um sinal costeiro principal normalmente é materializado por uma luz subsidiária, instalada na mesma torre que a luz principal, um pouco mais abaixo. A luz principal é de intensidade luminosa alta e a observação simultânea das duas é raramente possível por causa do ofuscamento produzido pela luz principal. A luz subsidiária, que cobre o setor, geralmente é fixa e pode ser observada, então, entre os lampejos da luz principal. A característica fixa não é desvantagem neste caso, pois a identificação é assegurada pelo ritmo da luz principal.

Quando a luz principal não é do tipo de feixe luminoso rotativo, mas usa um sistema ótico fixo, o setor pode ser obtido colocando-se um filtro colorido no azimute correto, relativo à fonte de luz principal. Só em casos excepcionais um filtro colorido é usado em uma luz principal do tipo rotativo (veja o item 5.20).

Quando o setor colorido é incorporado à luz principal, seu alcance luminoso será menor que o desta última, por causa da absorção de luz no filtro. O ritmo será o mesmo nos setores colorido e branco.

A vantagem de um setor colorido provido por uma luz subsidiária é que a luz principal pode mostrar-se branca em sua intensidade luminosa máxima sobre todo o horizonte. Por outro lado, o alcance luminoso da luz subsidiária será muito menor que o da luz principal.

A vantagem de um setor colorido incorporado à luz principal é que o setor dá uma advertência mais distinta, com um alcance luminoso apenas um pouco menor que o da luz principal.

6.14 CANAL DE SÃO ROQUE - ESTUDO UM DE CASO

O Canal de São Roque está representado nas Cartas Náuticas 803 e 800 e foi escolhido como estudo de caso por seu início estar situado ao largo do farol Calcanhar, estudado no capítulo anterior, sob o aspecto de farol de aterragem. Nossa análise será feita sobre a Carta 803, com o apoio da publicação da DHN denominada ROTEIRO – COSTA LESTE, que contém a descrição do canal em questão na suas páginas 51 e 52 da edição de 2003, aqui transcrita:

Canal de São Roque – Tem seu limite norte entre o cabo Calcanhar e o baixo de Sioba; continua na direção S entre o baixo do Cação, a ponta da Gameleira e os baixos do Rio do Fogo, da Teresa Pança e de Maracajaú; e termina entre o cabo de São Roque e o extremo sul do baixo de Maracajaú.

Pode ser demandado com tempo bom e perfeito conhecimento local, por embarcações de calado inferior a 4 m (13,12 pés).

A derrota aconselhada para demandar o canal, do norte para o sul, é a seguinte:

Marcando o farol Calcanhar aos 227°, na distância de 1,4 MN, desfechar o rumo 135°. Quando marcar o farolete Rio do Fogo aos 025°, na distância de 1,8 MN, guinar para o rumo 120°. Seguir neste rumo até marcar o farolete Rio do Fogo aos 328°, na distância de 3,8 MN. Neste ponto, guinar para o rumo 165° e navegar apropado ao farol São Roque, até a distância de 3,8 MN deste farol. Guinar então para o rumo 135° e navegar até marcar o farol São Roque aos 270°, na distância de 2,7 MN.

Análise da derrota – Posicionamento no Início do Canal

Para iniciar a navegação pelo canal, o navegante deverá partir de uma posição precisa. Para esse fim, uma boa alternativa seria marcar simultaneamente o farol Calcanhar aos 227º e o farol Gameleira aos 149º, a fim de assegurar que a posição está a 1,4 MN da costa, no início do canal. Observando-se esse ponto na carta 803, será visto que o mesmo está situado a meio caminho entre o cabo Calcanhar e o baixo de Sioba.

Vários parâmetros foram discutidos nesse capítulo, que permitem avaliar a viabilidade desse primeiro passo na navegação. O primeiro é que o alcance de percepção de ambos os sinais deve ser atendido em 95 a 99% do tempo.

As condições de visibilidade da região foram estudadas em 5.23. A tabela reproduzida abaixo dá os percentuais de visibilidade acumulados, e os alcances para os dois faróis, mantida a intensidade luminosa atual.

T	Percentuais de T	% de Percepção	Alcance Calcanhar 447 000 cd	Alcance Gameleira 350 cd
0	0,60%		0,0	0,0
0,02	2,57%	99,40%	2,8	1,4
0,16	4,72%	96,83%	5,5	2,4
0,45	5,17%	92,11%	10,8	4,2
0,69	56,96%	86,94%	20,1	6,6
0,85	26,87%	29,98%	37,7	10,0
0,89	3,11%	3,11%	48,7	11,5

O farol Calcanhar está distante 1,4 MN e o farol Gameleira está distante cerca de 5,3 MN do ponto definido como o início do canal.

Na tabela acima, constata-se que o Calcanhar estará visível no alcance necessário durante mais de 99% do tempo, mas o Gameleira só atenderá a essa condição em 86,94% do tempo.

Para oferecer ao navegante um percentual de avistamento de 99%, o farol Gameleira deverá exibir uma intensidade luminosa maior até do que aquela atualmente instalada no farol Calcanhar.

Este aumento de intensidade luminosa obviamente não se justifica, dadas as condições do farol Gameleira, que não se prestaria à aterragem. Três possibilidades devem, então, ser consideradas, levando-se em conta a importância e a densidade do tráfego na região:

- 1) a disponibilidade dessa marcação ser limitada pelo desempenho atual do farol Gameleira;
- 2) aumentar a intensidade luminosa do farol Gameleira até o valor máximo possível e verificar o percentual de avistamento obtido;

T	Percentuais de T	% de Percepção	Intensidade Gameleira Para 5,3 MN
0	0,60%		
0,02	2,57%	99,40%	19 472 283 231
0,16	4,72%	96,83%	318 449
0,45	5,17%	92,11%	1 327
0,69	56,96%	86,94%	138
0,85	26,87%	29,98%	46
0,89	3,11%	3,11%	36

Observe que os valores passam a ser razoáveis para um avistamento em 92% dos casos. Caso as condições de tráfego requeiram, pode ser recomendável aumentar a intensidade luminosa

desse sinal até o limite das 1 300 a 1 500 candelas, mesmo que se resolva adotar como solução, a alternativa 3, a seguir; e

- 3) se as condições de tráfego se justificarem, considerar o estabelecimento de um sinal intermediário, possivelmente na região de Touros, a meio caminho entre Calcanhar e Gameleira. Nesse caso, a distância ao ponto inicial do canal ficaria em torno de 3,5 MN e a intensidade luminosa necessária para esse alcance, poderia ser:

T	Percentuais de T	% de percepção	Intensidade para 3,5 MN
0	0,60%		
0,02	2,57%	99,40%	7 427 715
0,16	4,72%	96,83%	5 129
0,45	5,17%	92,11%	137
0,69	56,96%	86,94%	31
0,85	26,87%	29,98%	15
0,89	3,11%	3,11%	13

Observamos que é possível alcançar a faixa de 96% de avistamento com relativa facilidade. A posição desse novo sinal deve levar em conta a proximidade da cidade de Touros, cuja luminância de fundo poderá prejudicar o alcance do sinal (a intensidade calculada na tabela acima foi para ausência de luzes de fundo).

Análise da derrota – Distância Percorrida em Navegação Estimada

O segundo ponto notável descrito no roteiro é a marcação do farolete Rio do Fogo, aos 025°, na distância de 1,8 MN. Traçando a derrota entre este ponto e o início do canal, mede-se a distância de 9,3 MN entre ambos. Como o roteiro descrito não menciona marcações intermediárias, pode-se considerar que o trecho descrito será percorrido em navegação estimada. Nesse caso, o erro de posicionamento de 10% da distância navegada produzirá um círculo de incerteza de 0,9 MN quando a embarcação estiver no segundo ponto. Traçando esse círculo, ver-se-á que a embarcação estará em risco de encalhar no baixo do Rio do Fogo ou aproximando-se perigosamente da costa.

No roteiro, não foi considerado o farol Teresa Pança, analisado acima. Caso o mesmo seja considerado na derrota, esse erro pode ser bastante reduzido. Dois pontos notáveis para marcações simultâneas destinadas à correção de rumo podem ser as duas transições de luz do farol Gameleira. A primeira marcação simultânea serviria para anular o círculo de erro de navegação estimada nesse ponto, que já seria de 0,5 MN e a segunda, para verificar o resultado da correção de rumo efetuada.

Observando a carta 803, vê-se que essas marcações podem ser apoiadas pelo farol Calcanhar, embora os ângulos possam não ser muito favoráveis, ou mesmo utilizando o “farol Touros” sugerido acima.

Prosseguindo em direção ao ponto próximo ao farolete Rio do Fogo a partir de uma posição aferida ao largo do farol Gameleira, vê-se que o círculo de incerteza ficaria em torno de 0,4 MN, que pode ainda ser considerado elevado.

Pode-se considerar a possibilidade de instalar mais um sinal no continente para apoiar esse trecho da derrota, na localidade de Garças ou mesmo reativando um “antigo farol”, cuja torre está representada na carta, cerca de 0,7 MN ao sul da localidade de Rio do Fogo, próximo à ponta do Mato Caboclo. Este último sinal, dependendo de seu alcance e de uma avaliação das possibilidades de aumento de alcance do próprio farolete Rio do Fogo, poderia servir de apoio à marcação simultânea no terceiro ponto da derrota descrita. Observe que o baixo do Rio do Fogo tem cerca de 6 MN de comprimento e que o farolete, centralizado em relação a essa dimensão, tem um alcance indicado de 8 MN para T = 0,85, devendo, portanto, ser ajustado às visibilidades predominantes na região.

Sugere-se aos estudantes do assunto aprofundar, como exercício, o presente estudo.

CAPÍTULO 7

SINALIZAÇÃO NÁUTICA EM ÁGUAS INTERIORES

7.1 CONCEITO DE “ÁGUAS INTERIORES”

A IALA define as águas interiores como aquelas localizadas em áreas que incluem a proximidade de portos, estuários, áreas de terminais marítimos, e áreas dentro da foz de rios navegáveis que tenham instalações de ancoradouro. Nessas áreas, um navio está próximo de águas rasas e obstruções de vários tipos. Além disso, a densidade de tráfego pode ser alta, ocasionando certo risco de colisão com outros navios. Então, torna-se necessário uma informação precisa e contínua sobre a posição e o movimento da própria embarcação e de outros navios.

Na fase de sua viagem em que o navegante percorre águas interiores, sua embarcação entra em uma área onde há um grande número de baixios e perigos. Em função disto, a Autoridade de Sinalização Náutica, em lugar de marcar cada um desses perigos, prefere selecionar passagens ou canais que os evitem e prover sinais náuticos para navegação exclusiva dentro dessas passagens ou canais.

A sinalização náutica em águas interiores segue o Sistema de Balizamento Marítimo da IALA – Região “B”, cujos detalhes deverão ser consultados na NORMAM-17.

7.2 CONSIDERAÇÕES SOBRE A NAVEGAÇÃO EM ÁGUAS INTERIORES

A navegação em águas interiores é caracterizada pela necessidade de uma reação imediata aos desvios laterais do rumo desejado, dentro do canal disponível. A determinação de posição e a correção de rumo são um processo contínuo. A relação entre a largura do canal navegável e as oscilações máximas do navio sobre o rumo desejado são tais que não há tempo para fazer marcações e colocá-las na carta antes de se decidir uma correção de rumo. A presença de outros navios diminui o espaço disponível para manobra e limita o tempo para se tomar decisões. Tradicionalmente, os desvios do rumo desejado são observados visualmente pelo navegante, que usa marcos naturais e sinais náuticos para estimar a posição e a direção do navio. Quando da aplicação de ações corretivas, o navegante tem que confiar na sua experiência, no seu conhecimento sobre características de manobra do navio e no seu conhecimento do local.

Normalmente, o navegante define um rumo a seguir através de bússola. Deste modo, o rumo do navio será uma sucessão de linhas retas. O timoneiro às vezes observa um sinal visual, na direção do qual deve manter a proa da embarcação; se esta estiver sendo deslocada lateralmente por uma corrente transversal ou pelo vento, o rumo do navio será, então, curvo ou sinuoso.

Na execução da tarefa de manter o navio no rumo pretendido, o navegante forma parte de um sistema cíclico fechado que é ilustrado esquematicamente por meio do diagrama de bloco mostrado em Figura 6.1. Depois de decidido qual é o rumo pretendido (por exemplo, seguir a linha central de um canal) e de levar-se em conta as influências externas conhecidas ou estimadas (por exemplo, aplicar uma compensação para uma corrente transversal conhecida), o navegante ordena a velocidade e o curso do navio. O timoneiro, que faz parte do mesmo sistema fechado, mantém o navio no rumo ordenado com o melhor de sua habilidade. Várias influências com as quais lidaremos neste Capítulo, poderão causar desvios laterais do rumo pretendido. Tais desvios serão percebidos visualmente pelo navegante, por exemplo, por uma mudança no aspecto de marcas visíveis, ou por meio de dispositivos eletrônicos, se disponíveis. O timoneiro deverá reagir com uma mudança de rumo ou velocidade para contrabalançar a causa do desvio e devolver o navio ao seu rumo pretendido. Ao longo do processo, o navegante assistirá e conferirá o rumo do navio para julgar a

influência do governo nos desvios e descobrir mudanças nas perturbações transversais que lançam o navio fora do rumo.

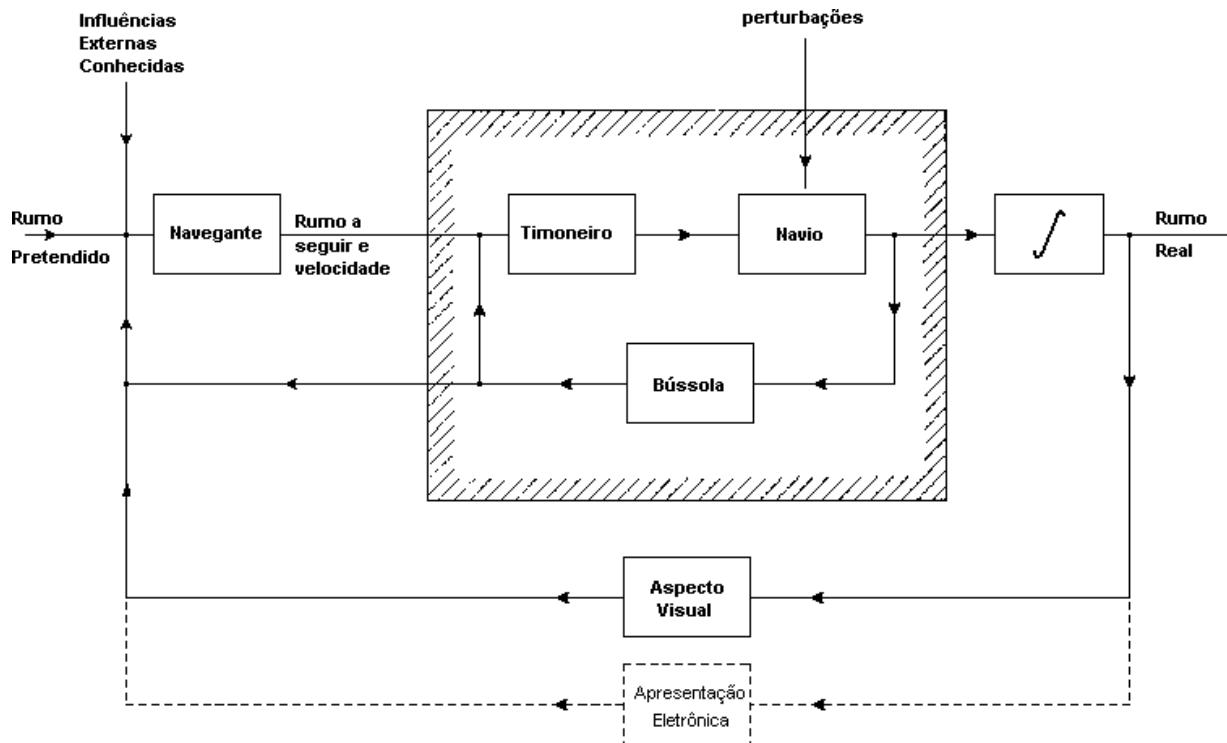


Figura 7.1 – Ciclo Fechado da Navegação em Águas Interiores

7.3 FATORES CAUSADORES DOS DESVIOS DE RUMO

Há vários fatores que podem causar desvios do rumo pretendido de um navio, cuja magnitude geralmente não pode ser avaliada com precisão. São eles:

a) Ventos ou correntes transversais:

Ventos e correntes transversais podem ser compensados pela habilidade do navegante, mas como sua influência nunca é conhecida com precisão e sua velocidade muda, uma compensação raramente é perfeita e requer reajuste contínuo.

b) Efeito sucção de margem:

O efeito de sucção das margens pode ser representado por uma força lateral e um momento; pode ser compensado por um ângulo de leme constante e um ângulo de abatimento, de tal modo que o navio fique em um estado de equilíbrio, mas qualquer desvio lateral do rumo pretendido afetará a compensação aplicada em sua volta.

c) Mau governo ou ação corretiva mal aplicada.

Mau governo e correção de desvios mal aplicada são primordialmente de uma natureza oscilatória.

Em geral, o efeito combinado de todos os fatores perturbadores só se torna aparente pelos desvios laterais, ou erros transversais de rumo, que constituem seu resultado.

7.4 AVALIAÇÃO VISUAL DOS DESVIOS DE RUMO

A Figura 6.2 mostra dois canais, vistos por um observador a 15m de elevação, cujo navio tem 20m de boca. A proa está 100m à frente do observador. A largura do canal é 100m e o espaçamento entre bóias é de 200m. A Figura mostra que o erro transversal de rumo pode ser avaliado visualmente pelo aspecto das margens quando o navio passa por um canal estreito ou pelo aspecto dos sinais náuticos em um canal sem margens visíveis.

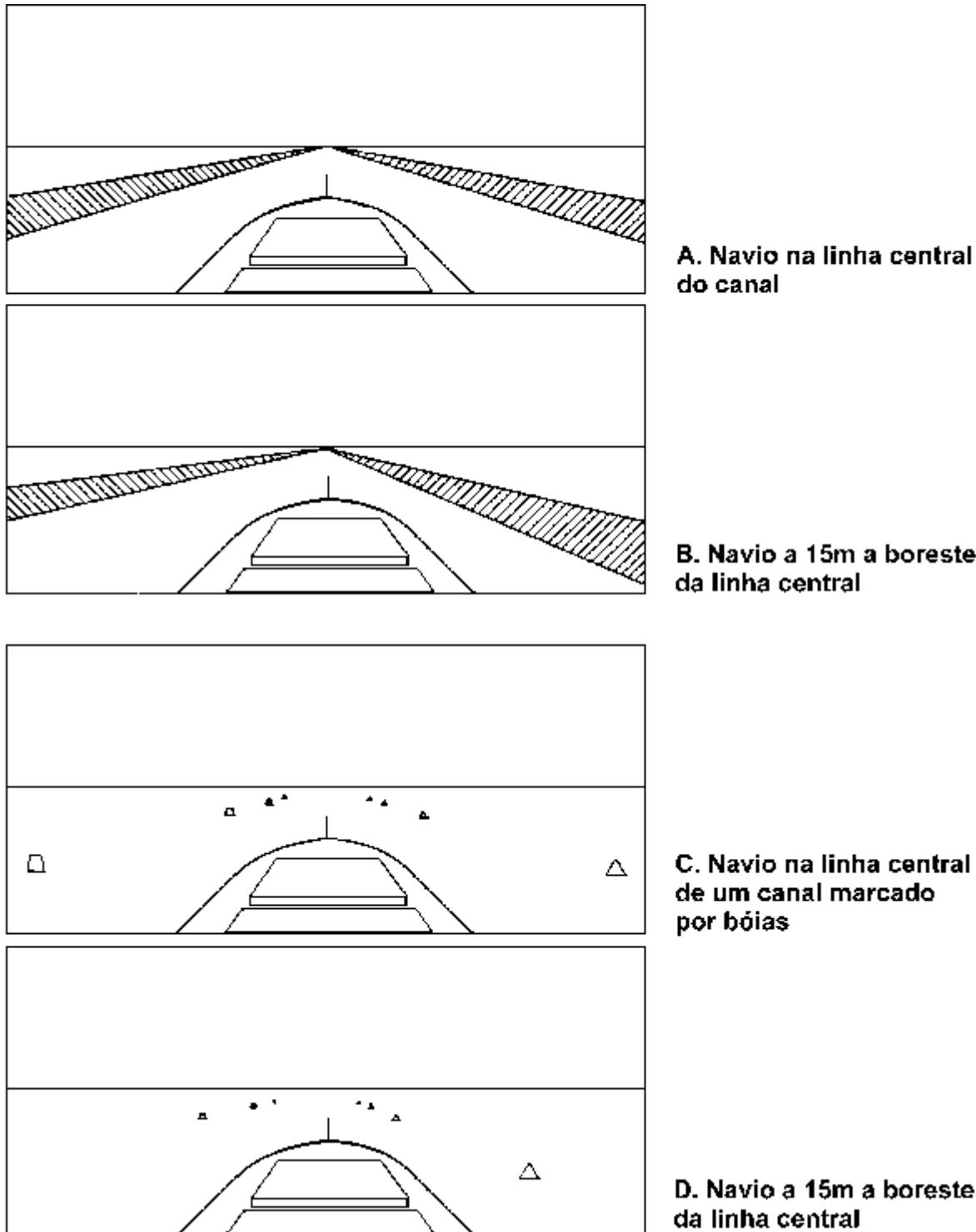


Figura 7.2 – Avaliação visual dos desvios de rumo pela observação das margens de um canal

Quando se navega por canais de forma irregular, como em recifes, rios ou arquipélagos de coral, normalmente é o aspecto de sinais visuais, naturais ou artificiais, em relação ao rumo do navio que orienta o navegante. Um erro transversal pode ser estimado com precisão por meio de um alinhamento. Quando dispositivos eletrônicos estão disponíveis, o erro transversal pode até ser medido.

Para avaliar qual ação corretiva aplicar, o navegante deveria poder determinar continuamente o afastamento lateral do navio ao rumo pretendido. Se esta distância muda rapidamente, o navegante precisa aplicar uma correção maior do que quando a distância muda mais lentamente. Então, torna-se necessário que o navegante determine não somente a magnitude do desvio lateral, mas também sua taxa de variação.

A taxa de variação do erro transversal pode ser derivada de observações sucessivas do desvio. Visualmente, esta taxa pode ser estimada observando-se o movimento aparente de objetos distantes em relação a objetos próximos à frente do navio (trânsitos). A Figura 6.3 demonstra este método. O alinhamento é a aplicação deste princípio por meio de sinais náuticos.

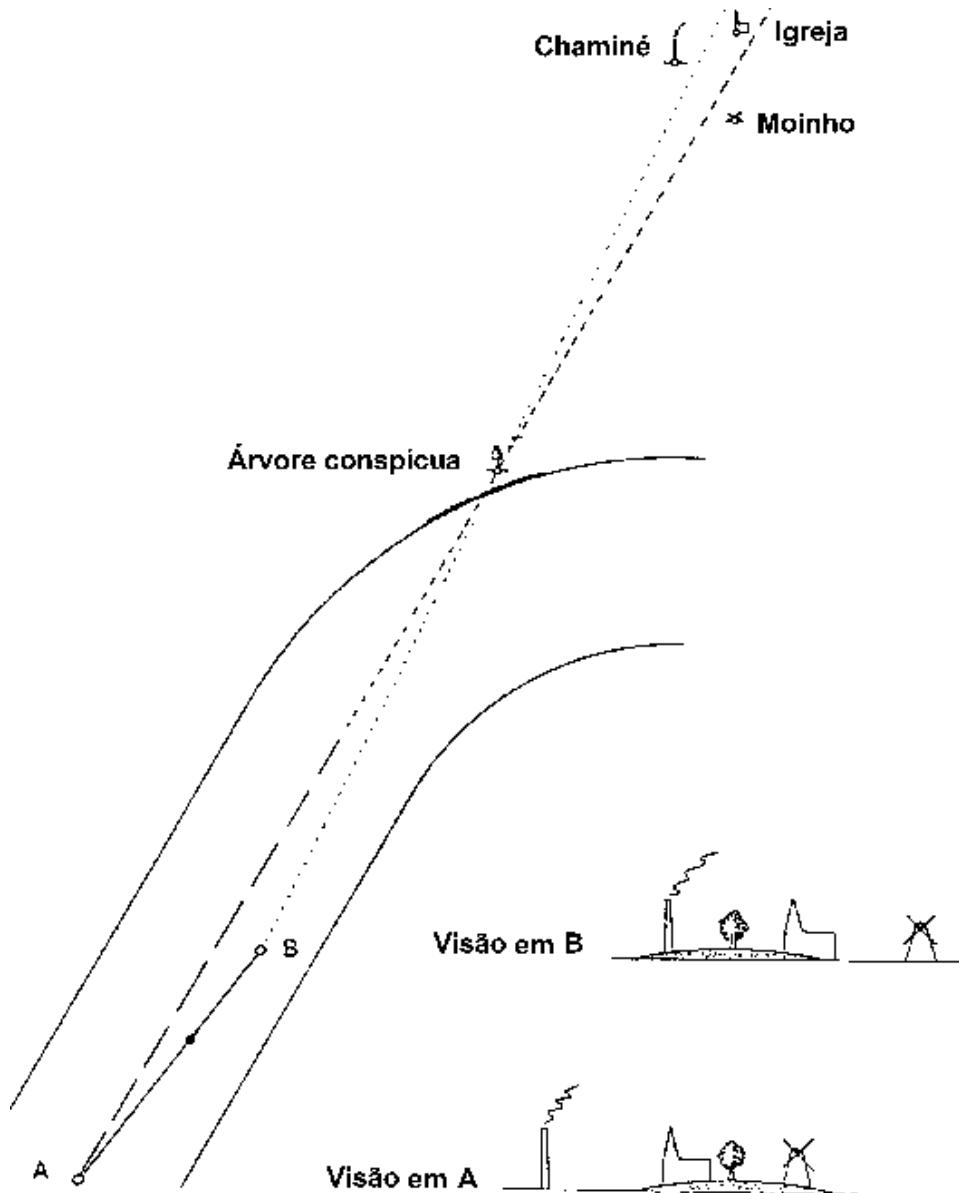


Figura 7.3 – Avaliação visual dos desvios de rumo por meio de alinhamento de marcas diurnas.

Deve ficar claro que a avaliação o erro transversal e da sua taxa de variação é um processo mental, particularmente quando o mesmo se baseia em observações visuais. Este processo pode beneficiar-se grandemente de uma escolha judiciosa dos sinais náuticos e de seu posicionamento.

A cada avaliação o navegante precisa analisar as causas do desvio observado e isolar os componentes oscilatórios. Decisões que conduzam a correções de curso (ou velocidade) devem levar em conta a velocidade do navio, seu raio de giro àquela velocidade e o ângulo de leme selecionado. Conduzir uma embarcação em águas interiores, então, parece ser um processo muito complicado. Ainda assim, os navegantes e timoneiros experientes executam tal tarefa sem qualquer problema sério, embora se deva admitir que a atividade pode ser estressante em portos congestionados. Mas, quando consideramos navios muito grandes e muito lentos, navegando em canais relativamente estreitos, o comportamento humano parece afetar a navegação a tal ponto que considerou-se necessário fazer do assunto objeto de extensos estudos e experiências.

Independente do sistema de balizamento empregado é evidente que não podem ser percebidos desvios transversais muito pequenos. Para alguns sistemas, a distribuição de probabilidade da divergência mínima que pode ser percebida foi determinada.

Com auxílios visuais, os fatores fisiológicos desempenham um papel importante. Com auxílios eletrônicos, a precisão instrumental e as flutuações de propagação são os fatores determinantes.

O desvio transversal mínimo perceptível influencia diretamente a precisão da navegação em águas interiores.

7.5 LARGURA DE PASSAGEM DE UM NAVIO EM UM CANAL RETO

Considerando que a linha central de um canal reto e estreito é o rumo pretendido, podemos esperar que o centro de gravidade (c.g.) de um navio oscile para ambos os lados, sobre essa linha central. Deste modo, um certo caminho é percorrido pelo c.g., cuja largura é influenciada pelos vários fatores discutidos nos itens anteriores. Quando adicionamos o tamanho máximo do navio ou, com mais precisão, a largura da projeção lateral do navio no canal, à largura do caminho do c.g., obtemos a largura de passagem real do navio.

Quando vários navios atravessam um determinado canal, suas larguras de passagem serão diferentes, por causa de condições ambientais variáveis, de características de manobras de navio diferentes e por reações humanas diferentes, de navegante para navegante. Foi possível conduzir experiências para medir o erro transversal máximo a cada passagem; depois de fazer um grande número de observações, foi traçada uma curva de Gauss, que expressa a probabilidade de que um erro transversal máximo não seja excedido.

Esta curva de Gauss é mostrada na Figura 7.4, juntamente com uma representação correspondente do trajeto do navio no canal. É conveniente definir a "largura de passagem" como o somatório do dos erros transversais máximos, para mais e para menos, que não serão excedidos em 99% das ocasiões.

No interesse da segurança da navegação, a largura de passagem máxima deverá ser inferior aos limites do canal. Do ponto de vista econômico, em um canal dragado, a largura de passagem precisará ser tão estreita quanto possível para reduzir os custos de dragagem. É óbvio que o sistema de balizamento empregado será um dos fatores principais para se obter uma largura de passagem estreita, nesses casos.

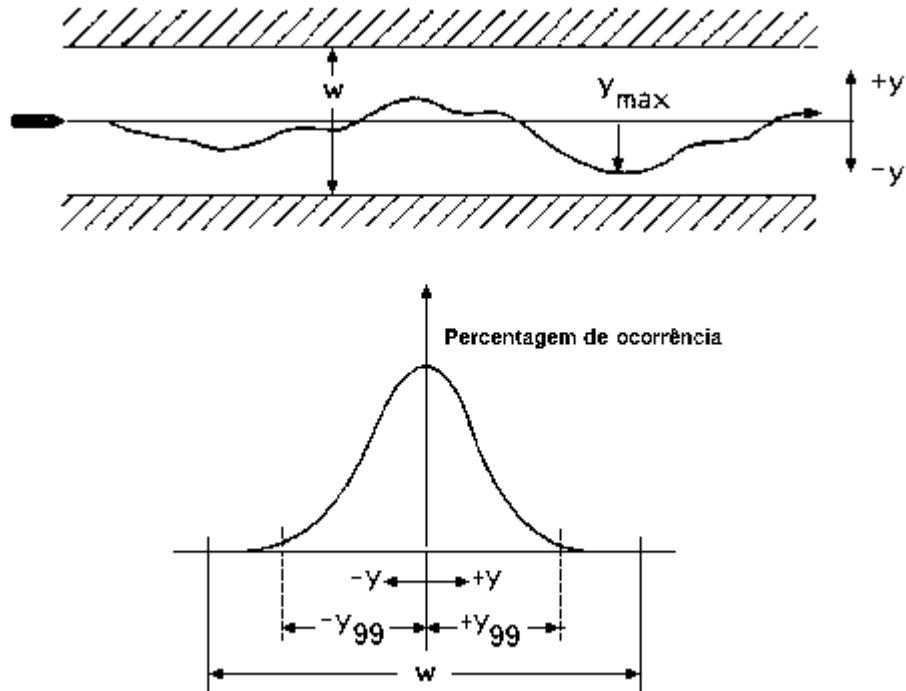


Figura 7.4 – Determinação da Largura de Passagem de um navio em um canal.

A experiência mostra que grandes navios oceânicos serão capazes de navegar por um canal reto onde as margens visíveis servem como auxílios à navegação, quando a largura do canal for igual a três vezes a largura do navio.

Levando em conta que os navios deveriam ficar, pelo menos, a uma distância dos lados do canal igual à metade de sua largura, a fim de evitar o efeito de sucção das margens, conclui-se que, em um canal, um navio deve ocupar uma largura de passagem menor que o dobro sua largura.

Em canais mais largos, as larguras de passagem dos navios parecem aumentar, como demonstram alguns testes. Isto é atribuído ao fato dos navegantes normalmente não tentarem manter com precisão a linha central quando há bastante espaço. Por conseguinte, pode ser dito que a curva de distribuição do erro transversal não é independente da largura de canal disponível. Isto torna muito difícil chegar a conclusões sobre a melhor largura de passagem possível, com base em medidas dos rumos seguidos pelos navios.

Baseadas em observações práticas, algumas autoridades sustentam que um canal sem corrente transversal deveria ser, aproximadamente, 5 ou 6 vezes mais largo que a maior largura de navio esperada, quando são empregados somente auxílios visuais à navegação.

A largura de passagem é diferente quando o canal considerado não é limitado por margens e ocorrem correntes transversais. Mudanças na velocidade nessas correntes causarão desvios transversais de rumo que aumentarão a largura de passagem. Quando tais desvios são observados, deve ser feita uma mudança de rumo não somente para compensar a nova situação, mas também para conduzir o navio de volta ao rumo pretendido. Os fatores que influenciam este processo são, dentre outros, o desvio mínimo que pode ser percebido (por exemplo, pelas observações dos sinais náuticos existentes) e a capacidade de manobra do navio, junto com a habilidade do navegante: a "relação homem-máquina".

Há possibilidade de que a ação corretiva seja drástica demais ou cautelosa demais, resultando em um aumento adicional da largura de passagem. Também há um risco que uma ação corretiva seja feita indiscriminadamente em todas as ocasiões, até mesmo para o menor desvio transversal, que pode ter sido causado por perturbações de natureza variável: tais ações podem resultar em comportamento irregular e mal controlado do navio, podendo também aumentar a largura de passagem. Este último efeito requer um ‘filtro’ na resposta humana aos desvios, uma faculdade desenvolvida durante o treinamento dos navegantes e timoneiros. Isto também indica que determinações de erro transversal muito sensíveis podem ter um efeito indesejável.

Testes mostraram que o comportamento de humano neste assunto varia grandemente de indivíduo para indivíduo, resultando em um leque grande de larguras de passagem para diversos navios que navegam o mesmo canal. A Figura 7.5 dá um exemplo da distribuição de erro transversal de um cargueiro de grande porte entrando em no Porto de Rotterdam por seu canal de 600m de largura, medida em 28 ocasiões.

$$+y99 = 170\text{m.}$$

$$-y99 = 180\text{m.}$$

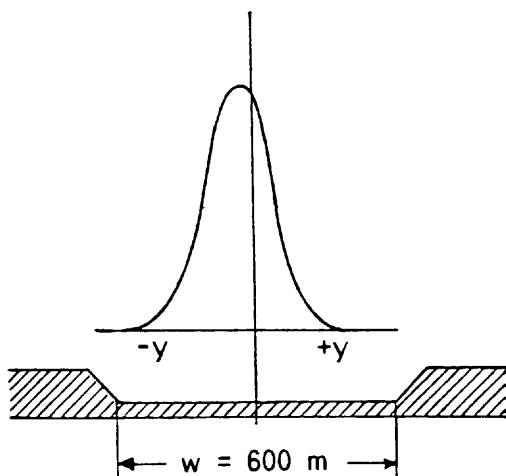


Figura 7.5 – Curva de Distribuição de Erros Transversais de rumo de um grande cargueiro no canal do Porto de Rotterdam.

Observe que a curva de distribuição de erros transversais, mostrada na Figura 7.5, não é simétrica. Isto pode ter sido causado por várias influências das quais a corrente de maré é o mais importante. Uma disposição assimétrica dos sinais náuticos flutuantes também pode ter contribuído para este efeito.

É difícil quantificar a contribuição da sensibilidade da sinalização náutica como fator determinante da largura de passagem. Porém, quando a passagem de um grande cargueiro por um canal com as características do canal acima foi testada em um simulador que usa um indicador quantitativo de erro transversal, foi possível obter larguras de passagem bastante reduzidas. Esses testes também confirmaram que uma sensibilidade muito grande do indicador resultou em larguras de passagem maiores.

7.6 SENSIBILIDADE LATERAL

A **sensibilidade lateral** é a medida da habilidade do navegante para descobrir uma mudança na posição lateral de um navio em um canal. O mínimo desvio transversal de rumo (y_m) que pode ser percebido com certeza geralmente é considerado como o critério para sensibilidade lateral. Quanto menor for o y_m , melhor será a sensibilidade lateral.

No caso de sinais náuticos visuais, a sensibilidade lateral é determinada pela disposição dos sinais (bóias de canal, alinhamentos, etc.) e pelo poder de percepção humano. Sempre que este último tenha sido determinado em bases estatísticas, será possível calcular a sensibilidade lateral provida por um sistema de balizamento ou alinhamento e a questão pode ser tratada do ponto de vista puramente técnico.

Quando um sistema de balizamento é projetado, surge a pergunta sobre qual valor de y_m deveria ser usado para que navios de certas dimensões possam navegar seguramente em um canal de determinada largura. Esta pergunta só pode ser respondida de uma maneira científica, se for conhecida a relação entre y_m e a largura de passagem dos maiores navios que venham a usar o canal. Mas esta relação não está adequadamente definida.

Como vimos, a largura de passagem depende não somente da sensibilidade lateral da sinalização náutica, mas também da capacidade de manobra e dimensões dos navios, da magnitude das perturbações transversais existentes no canal e da reação humana, relacionada com características de manobra do navio, uma vez que esta reação não é independente da largura do canal.

O papel da sensibilidade nesse conjunto de fatores náuticos complexos não foi ainda determinado em bases exatas. Estão sendo feitas pesquisas sobre este assunto, mas, para o nosso estudo, serão feitas simplificações.

De modo geral, um canal mais largo permitirá um valor maior de y_m para um mesmo tipo de navio. É, então, conveniente relacionar y_m à largura do canal (w).

Caso tenhamos $y_m = w/2$, um observador não descobrirá com certeza um desvio antes que ele esteja na extremidade do canal, de forma que esta equação representa a condição limite para a navegação de um navio muito pequeno.

7.7 SENSIBILIDADE RELATIVA

A razão $w/2y_m$ deve ser, então, muito maior que a unidade de forma a considerar os fatores náuticos resumidos anteriormente. Esta razão será chamada, neste Manual, de "Sensibilidade Relativa":

$$\boxed{\text{Sensibilidade relativa} = w / 2y_m}$$

A **sensibilidade relativa** é uma medida da eficácia de um sistema de auxílios à navegação em relação a um canal. Esta sensibilidade pode ser usada para comparar a qualidade de sistemas diferentes.

Em termos gerais, a sensibilidade relativa deve ser pelo menos igual a 2 e pode ser tão grande quanto 20. Por não ser uma função dos fatores náuticos, uma sensibilidade relativa alta não garante, por si só, uma condição segura para a navegação.

7.8 MARGEM NÁUTICA

A largura de passagem de um navio em um canal reto pode ser subdividida em três retas paralelas (veja a Figura 7.6).

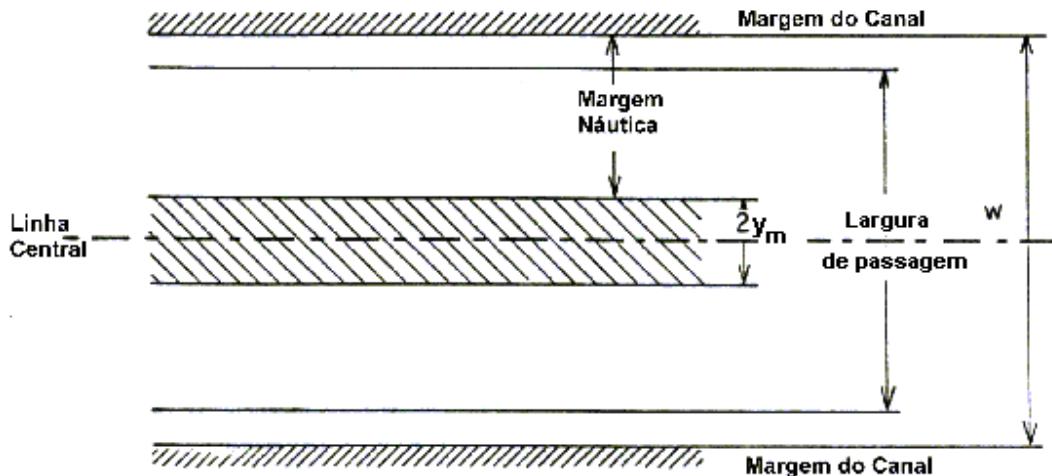


Figura 7.6 – Margem Náutica (N).

Em uma faixa central de largura igual a $2y_m$, os desvios não podem ser percebidos. Em cada lado desta, há uma faixa exterior onde os desvios são aparentes e de onde é possível fazer o navio voltar para o centro do canal. A largura das faixas exteriores depende dos fatores náuticos. As três faixas devem ajustar-se dentro da largura do canal e apresentarem largura suficiente para garantir a segurança da navegação, permitindo a inclusão dentro das margens do canal, do espaço lateral ocupado pelo navio.

A largura de cada faixa lateral exterior será igual a $(w/2) - y_m$. Isto representa a margem lateral que está disponível para manobra, chamada de "Margem Náutica" e representada pelo símbolo N neste Manual. Quando um sistema é projetado, a distância lateral da linha central para a extremidade do canal deveria ser a soma de y_m e da margem náutica, de forma que:

$$w / 2 = y_m + N$$

O tamanho da margem náutica requerida será diferente para cada caso, pois muitos fatores dependem das condições locais. Porém, as dimensões dos navios maiores e o efeito das perturbações transversais no rumo dos navios são, geralmente, conhecidos. Esses dados podem ser usados para calcular o espaço lateral máximo que será ocupado pelo maior navio, de forma que o tamanho mínimo da margem náutica pode ser determinado.

7.9 ESPAÇO OCUPADO POR UM NAVIO EM UM CANAL

Considere um navio de largura B e comprimento L (veja a Figura 7.7). As perturbações transversais presentes no canal são compensadas com a condução do navio por um rumo que diverge da direção do canal por um ângulo Ψ° . O navio ocupará, agora, um espaço lateral S aproximadamente igual a $B + L \operatorname{sen} \Psi$.

$$S \approx B + L \operatorname{sen} \Psi$$

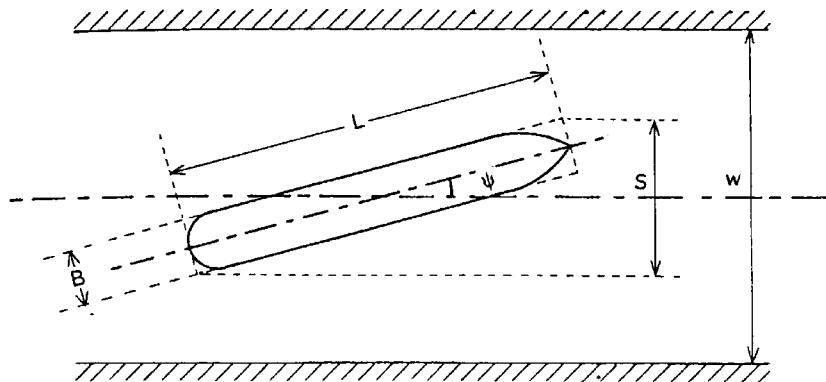


Figura 7.7 – Espaço lateral ocupado por um navio em um canal

Pode-se considerar que, em geral, a proporção entre o comprimento e a largura do navio (L/B) não será maior que 7, de forma que o espaço lateral ocupado pelo navio pode ser aproximado para $B + 7B \operatorname{sen} \Psi$, ou $B (1 + 7 \operatorname{sen} \Psi)$.

Suponha que a velocidade de deslocamento do navio no canal seja de 7 nós e que o mesmo esteja sujeito a uma corrente transversal de 2 nós; neste caso bastante extremo, $\operatorname{sen} \Psi$ é igual a $2/7$ ($\Psi = 17^\circ$), de forma que o espaço ocupado pelo navio será igual a $B (1 + 2)$ ou $3B$.

Isto conduz à conclusão que a largura do canal jamais deveria ser menor que $2y_m + n.B$, onde o fator n representa a magnitude das perturbações transversais, conforme o exemplo acima, no qual apresenta um valor igual a 3. Pode-se dizer que esse fator n tem, geralmente, um valor variável entre 1 e 3, podendo ser ainda maior, dependendo da magnitude das perturbações transversais. **O valor limite para a margem náutica pode, consequentemente, ser expresso por:**

$$N \geq n B/2$$

7.10 EIXOS DE CANAL E ALINHAMENTOS

Na maioria dos casos, o eixo de um sistema de alinhamento é feito coincidente com a linha central do canal, de forma que a mesma margem náutica seja aplicada em ambos os lados. Porém, em alguns lugares, pode ser esperada uma largura de caminho assimétrica. Isto pode acontecer onde ventos ou correntes predominantes fazem os navios se desviarem do eixo mais de um lado que do outro. Em tais casos, podem ser aplicadas margens náuticas diferentes em cada lado, colocando-se o eixo do alinhamento a uma distância pequena para barlavento ou a montante da linha central do canal.

7.11 DISTÂNCIA ENTRE A QUILHA E O FUNDO – FATORES DETERMINANTES

A Distância entre a Quilha e o fundo é uma margem de segurança que o navegante deve considerar, motivada pelos seguintes fatores:

- a) Variação de maré: a elevação da maré acima da profundidade da carta é derivada das Tábuas de Maré³⁵. Porém, o nível da água está sujeito a muitas outras influências. Vento e gradientes de pressão barométrica, por exemplo, pode causar divergências apreciáveis das previsões relativas

³⁵ Publicação DG6 da DHN.

a maré. Cavados de onda podem abaixar o nível da água entre 0.3 e 0.6m abaixo da altura da maré prevista em mar aberto e mais ainda em águas interiores, dependendo da área.

- b) Uso de marégrafo:** o nível real da água é medido, em muitos portos, através de marégrafo; a elevação superior aos valores exibidos nas cartas (ou em qualquer outro registro local confiável) é exibida através de sinais visuais ou é transmitida, a pedido, aos navios, por meio de rádio. Porém, os valores coletados referem-se somente às imediações do marégrafo; para se obter alturas de maré reais, em mar aberto, são necessários marégrafos offshore ligados a uma estação de controle, de forma que se possa fazer observações contínuas e os resultados sejam transmitidos aos navios que os requerem. Em algumas regiões, onde os navios precisam de dados muito acurados sobre a altura da água, tais marégrafos offshore são realmente providos.
- c) Precisão de levantamentos hidrográficos: em águas rasas, essa precisão geralmente é muito alta, mas por várias razões, não pode ser melhor que $\pm 0.1m$ em águas abrigadas. Em mar aberto, a precisão da profundidade pode ser da ordem de $\pm 0.3 m$. Ademais, a menos que o fundo do mar fosse conferido por meio de um fio de prumo, as pequenas elevações e objetos no fundo não deverão ser detectados pelas sondagens. Ainda no caso do levantamento hidrográfico não ser recente, não se pode ter certeza de que as profundidades cartografadas ainda são válidas. Freqüentemente ocorrem mudanças na profundidade entre levantamentos, os quais, por essa razão, devem ser feitos freqüentemente se quisermos ter confiança nas profundidades dadas nas áreas críticas.**
- d) Variações no calado da embarcação: o calado sempre é lido antes da embarcação suspender. Ao término da derrota, o calado deve ser calculado, pois não pode ser lido enquanto a embarcação ainda está no mar. O cômputo deve levar em conta as alterações no calado original, decorrentes do consumo de combustível e suprimentos e da diferença de densidade específica da água do mar entre o porto de partida e o porto de chegada. Na prática, freqüentemente ocorrem discrepâncias entre o calado calculado e o calado real, na chegada.**
- e) Afundamento devido ao deslocamento da embarcação: o fluxo de água ao redor de um navio em movimento causa um afundamento aparente devido a uma depressão do nível de água na área em volta. Essa depressão aumenta em função do confinamento do navio em um canal estreito e de sua velocidade. Além disso, um navio de grande porte, carregado até a linha d'água, ficará abicado³⁶, afundando sua proa de forma crescente, conforme a velocidade. Esse afundamento da proa reduz a distância entre a quilha e o fundo de um valor que depende da relação entre as dimensões do navio (calado e boca) e a dimensões do canal (profundidade e largura). Geralmente, essa redução é proporcional ao quadrado da velocidade do navio.**
- f) Previsão do trim pela proa: o navegador, geralmente, conhece as características de inclinação da proa de seu navio, de modo que pode estimar seu valor, para uma velocidade planejada, quando estiver entrando em águas rasas, o que lhe permitirá decidir qual a velocidade ideal para manter uma distância mínima entre a quilha e o fundo. Se necessário, a velocidade poderá ser reduzida.**

A tabela a seguir fornece valores de trim pela proa de navios cargueiros de grande porte, ambos com uma distância entre a quilha e o fundo igual a 20% do calado.

³⁶ A inclinação da embarcação para qualquer das extremidades é denominada “trim”. Se a inclinação for para vante, o navio estará de proa, abicado, ou terá trim pela proa; estará apopado, derrabado, ou terá trim pela popa, quando estiver inclinado para ré. Trim é também a medida da inclinação, isto é, a diferença entre os calados à vante e à ré. O trim é expresso em metros ou em pés, dependendo da medida empregada

VALORES DE TRIM PELA PROA (em metros)

Velocidade (nós)	6	8	10	12
Cargueiro 1 (calado de 23m)	0,32	0,56	0,88	1,26
Cargueiro 2 (calado de 19m)	0,30	0,53	0,83	1,19

- g) Reação a Ondas: movimentos de onda podem fazer o navio adernar, caturrar e mudar de rumo. Esses movimentos aproximam e afastam a quilha do fundo do mar, periodicamente. A amplitude dos movimentos pode ser apreciável e, quando a distância entre a quilha e o fundo for insuficiente, há risco de tocar o fundo. Se, por exemplo, um navio-tanque de 100 000 TPB, caturra 5°, o aumento no calado será de 1,8 metro; sendo o calado, em águas calmas, de 15 metros, este aumento será igual a 12% do calado!

Os movimentos do navio dependem, em geral, da altura das ondas e vagas, do período das ondas, da direção relativa da qual as ondas procedem e das características de resposta do navio. A direção relativa das ondas muda quando o navio altera o seu rumo ou velocidade. Águas rasas modificam as ondas e vagas e reduzem os movimentos do navio em relação àqueles observáveis em mar profundo. Em águas rasas, o movimento do navio parece ser refreado pelo efeito amortecedor da água aprisionada debaixo do fundo do navio, cujo efeito aumenta com a diminuição da distância entre a quilha e o fundo.

- h) Multiplicidade de parâmetros: devido à multiplicidade de parâmetros, é impossível prever qual é a distância necessária entre a quilha e o fundo para compensar a ação das ondas, com qualquer grau de precisão. Em condições meteorológicas severas, o navegante adotará, então, uma grande margem de segurança. Se isto não puder ser feito, não haverá outra opção senão esperar por condições melhores antes de passar pela área rasa.

A incerteza sobre a margem de segurança correta pode ter repercussões econômicas. A passagem de navios grandes pode ser interrompida mais freqüentemente que o estritamente necessário, devido a margens de segurança insuficientes. Por outro lado, se forem estabelecidas margens de segurança generosas, que não estejam baseadas em dados exatos, as mesmas podem gerar despesas desnecessárias com dragagens.

Por essas razões, os dados relativos aos efeitos do movimento de onda em navios muito grandes serão indispensáveis, caso se queira chegar à melhor solução em termos econômicos. Esses dados podem ser obtidos por meio de simulações de computador, ensaios em tanques de prova com modelos em escala reduzida ou, mesmo, por meio de medições em campo.

7.12 DISTÂNCIA ENTRE A QUILHA E O FUNDO COMO PARÂMETRO DE PROJETO

Os fatores discutidos no item anterior devem ser levados em conta pelo navegante quando for necessário decidir sobre a distância entre a quilha e o fundo. Então, no momento do projeto de um canal, essa avaliação das distâncias terá seu peso.

Alguns fatores são dependentes das dimensões do navio, outros não. Não obstante, a distância entre a quilha e o fundo é expressa comumente como uma porcentagem do calado do navio.

É costumeiro, que, em aproximações de mar aberto, uma distância mínima entre a quilha e o fundo igual a 20% do calado seja desejada. Na falta de outros parâmetros, poderá ser esta a margem de segurança considerada ao se projetar um canal. Em águas abrigadas, onde o movimento do navio é desprezível, 10% do calado geralmente é considerado suficiente.

Quando se emprega uma abordagem científica ao movimento do navio, utilizando-se, por exemplo, monitores de onda, esses valores podem ser reduzidos.

Quando o tráfego se dá sobre fundo rochoso, a distância entre a quilha e o fundo, adotada pelo navegante, normalmente será maior do que no caso de um solo oceânico arenoso. Quando a navegação é em águas interiores com um fundo barrento, a distância entre a quilha e o fundo pode, em alguns casos, ser tomada deliberadamente como zero ou até mesmo como negativa.

Nas aproximações a alguns portos, notavelmente na costa norte da América do Sul, onde o fundo oceânico é coberto com uma camada de “lama funda” (originária do rio Amazonas), os navios aplicam, deliberadamente, uma distância negativa entre a quilha e o fundo para abrir um canal no leito do oceano e manter este canal aberto através de passagens freqüentes.

7.13 ESCOLHA DE UM CANAL – MÉTODO DAS TANGENTES

Antes que um canal possa ser balizado, deve-se determinar a sua direção, profundidade e largura. Também se lhe deve atribuir um nome geográfico. Um canal novo deve ser planejado considerando-se o calado máximo dos navios que o utilizarão. Em primeiro lugar, deve ser feito um levantamento hidrográfico detalhado. Uma vez que o levantamento esteja disponível, linhas retas são desenhadas tangencialmente aos contornos do fundo significativos quanto à restrição do calado.

Os canais possíveis poderão ser reconhecidos entre essas linhas. Uma vez que todos os traçados atendem ao critério de profundidade, aqueles estreitos demais ou tortos demais para a navegação poderão ser descartados e alguns de menor profundidade, que ainda sejam satisfatórios, podem ser determinados. Isto conduzirá, eventualmente, à escolha da melhor combinação entre profundidade e largura. Este princípio é demonstrado na figura 7.8.

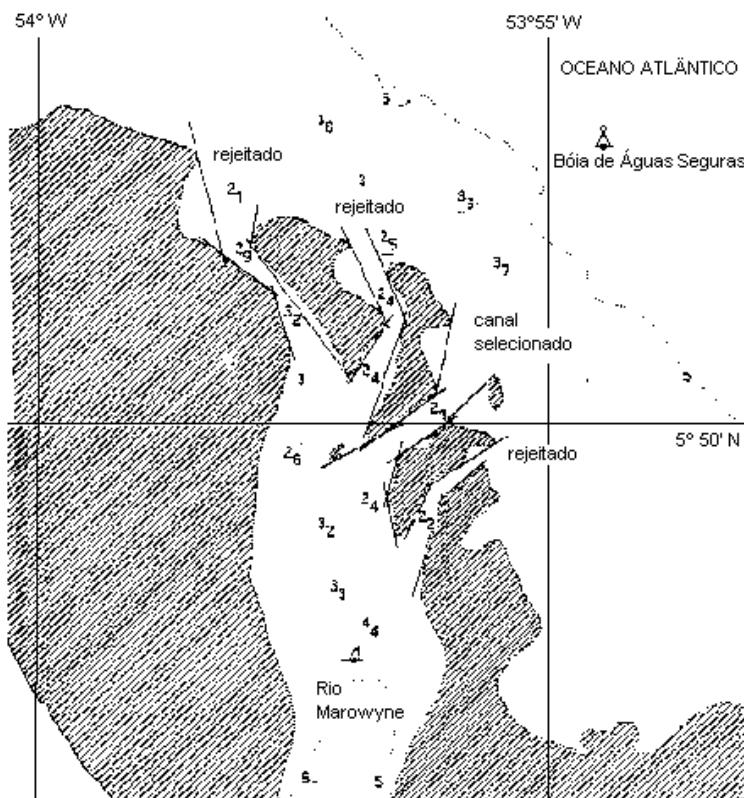


Figura 7.8 – Escolha do Melhor Canal pelo Método das Tangentes.

Extraído de uma carta escala 1:50.000 da foz do Rio Marowyne, na América do Norte.

As profundidades estão em metros e as áreas sombreadas apresentam profundidades iguais ou inferiores a 2 metros.

Em contraste com as embarcações miúdas, destinadas à navegação interior, que são guiadas visualmente, navios oceânicos em águas estreitas navegam por rumos de agulha. Então, para

tais navios, os canais devem, preferencialmente, ser retos ou, pelo menos, compostos por seções retas, sendo cada uma a mais longa possível.

Os canais retos apresentam várias vantagens:

- Os desvios laterais do eixo do canal são facilmente percebidos, como se pode ver na figura 7.2.
- O tráfego apresenta-se ordenado e com menos problemas.
- A seleção e a disposição dos sinais náuticos são grandemente simplificadas.

Porém, a escolha de um canal reto pode, em alguns lugares, resultar em uma largura insuficiente e incompatível com a densidade de tráfego, as dimensões dos navios e outras condições para navegação segura. Neste caso, deve-se planejar um canal que siga curvas suaves.

Em canais naturais, o relevo do fundo raramente é plano. Normalmente, as profundidades são maiores no lado côncavo das curvas, que é, assim, satisfatório para os navios de maior calado. Mas, no lado convexo, pode haver ainda bastante água para embarcações de menor calado. Seria, então, uma desvantagem se o canal fosse projetado somente para os navios de calado maior, porque isso comprimiria todo o tráfego em um canal estreito, criando, assim, problemas de tráfego. A prática habitual é, então, balizar um canal bem mais largo, de profundidade menor, mas fundo o bastante para a maioria dos navios. Neste caso, navios de calado maior não poderão usar a largura inteira do canal balizado, devendo se manter, cuidadosamente, do lado do canal onde há mais água. Para que isto não crie confusão e cause colisões, normalmente é exigido que navios de calado maior exibam sinais que signifiquem que eles são limitados pelos seus calados e estão restritos à parte mais funda do canal.

Em canais localizados em estuários, o calado máximo está normalmente limitado pela profundidade na barra, durante a maré alta. Em todo caso, sempre há pelo menos um local em algum lugar crítico, ao longo da passagem do mar aberto para o porto, que determina o calado máximo. Isto não significa que o canal não tenha uma profundidade maior em outros lugares.

Se o local mais raso é ultrapassado na maré alta, o restante do canal deverá ser navegado em uma fase de maré mais baixa, a menos que um navio prossiga tão rápido quanto a onda da maré. Então, se um navio de calado grande tiver necessidade de fundear no canal, por exemplo, para esperar que um nevoeiro se dissipe, deverá haver vários lugares com bastante profundidade, mesmo em baixa-mar, que o permita fazê-lo com segurança.

Quando uma certa profundidade mínima for selecionada para marcar um canal, isto não garantirá que esta profundidade sempre estará presente em todos os lugares do canal. O canal pode mudar e assorear em alguns pontos. Não é normal anunciar para que profundidade um canal foi definido. Ao invés disso, os navegantes devem estudar as cartas náuticas que dão os contornos de profundidade e posições dos sinais náuticos, juntamente com os Avisos aos Navegantes que forneçam informações sobre a probabilidade de mudanças de profundidade, mudanças em bancos de areia, processos de assoreamento e riscos à navegação envolvidos.

Quando as profundidades em um canal mudam freqüentemente, não é raro que se publiquem avisos aos navegantes, a intervalos regulares, com os valores atualizados das profundidades a bombordo, a boreste e no meio do canal.

Quando é necessário ajustar as posições de sinais náuticos em função de uma mudança no traçado de um canal, o procedimento habitual recomendado é que se informe ao Centro de

Hidrografia da Marinha (CHM) a nova batimetria que justifique o reposicionamento dos sinais³⁷.

No caso de canais dragados, as cartas e os documentos náuticos freqüentemente indicam a que profundidade o canal é dragado; mas, como a dragagem é feita a certos intervalos e o assoreamento causa um decréscimo gradual de profundidade durante os intervalos, os navegantes devem contar com menos água que o anunciado. Esta incerteza é removida quando os documentos náuticos indicam a que profundidade um canal está sendo mantido.

Para navegantes que não têm conhecimento do local e para aqueles que chegam de mar aberto e não têm acesso a informação mais recente, a incerteza sobre as profundidades atuais pode impor riscos de navegação inaceitáveis. Por esta, dentre muitas outras razões, os serviços de praticagem estão disponíveis em praticamente todos os portos. O prático é um agente local que se mantém informado das sondagens, pesquisas, condições de sinais e obstruções mais recentes.

Em alguns países existe um contato regular e uma boa cooperação entre a Autoridade de Sinalização Náutica e as Autoridades de Praticagem, e este é um fator considerado essencial para a segurança da navegação. Esta situação assegura, além disso, que a opinião dos utilizadores sobre a eficácia dos auxílios à navegação, em águas onde se exerce a praticagem, esteja prontamente disponível para a Autoridade de Sinalização Náutica.

7.14 CANAIS PRINCIPAIS E SECUNDÁRIOS

Quando um canal se bifurca ou é unido a um canal alternativo, normalmente é bastante óbvio qual dos dois é usado pela maioria dos navios importantes e, então, este canal de maior tráfego será considerado como o canal principal.

As regras de governo e navegação³⁸ dão aos navios que usam o canal principal o direito preferencial de passagem sobre os navios de canais que se unem ao principal, ou se ramificam para um canal secundário. Se houver qualquer dúvida sobre a importância relativa de dois canais, a autoridade responsável deverá designar um deles como canal principal.

O sistema de balizamento da IALA inclui sinais que permitem distinguir os canais principais dos secundários, indicando bifurcações; são os, chamados Sinais Preferenciais.

Para as junções de canais utiliza-se outra categoria, a dos Sinais Especiais. Como os sinais náuticos desta classe também são utilizados para prover outras informações ao navegante, seu uso deve ser bastante criterioso, para evitar confusões.

Normalmente se recomenda que só o canal principal tenha sinais luminosos e que os canais alternativos tenham sinais cegos. Se ambos os canais têm sinais luminosos, dá-se a impressão que eles têm igual importância e, além disso, a profusão de luzes em bifurcações ou junções pode facilmente confundir o navegante. Porém, este argumento não se aplica quando o canal principal se bifurca ou é unido a um canal secundário que não forma uma rota alternativa para o mesmo destino, mas procede de ou conduz a uma destinação diferente e é de importância suficiente para ser dotado de sinais luminosos; nesses casos, deve ser tomado um cuidado especial, para minimizar o risco de confusão.

³⁷ Os procedimentos para se obter a autorização necessária à realização de quaisquer alterações na Sinalização Náutica constam da NORMAM-17/DHN.

³⁸ RIPEAM –72 (COLREG-72) Regulamento Internacional para Evitar Abalroamentos no Mar – publicado pela Diretoria de Portos e Costas (DPC).

7.15 CONSIDERAÇÕES SOBRE TRÁFEGO

A densidade de tráfego e a variedade de tipos de navios em um canal têm uma influência profunda nos auxílios à navegação a serem estabelecidos. Se só um navio está presente, ele pode manter-se no eixo do canal, mas quando dois navios se encontram em um canal, serão necessárias manobras para evitar colisão, o que os levará para mais perto das margens do canal. O navegante deve saber o quanto de espaço tem para a manobra, e, em canais estreitos, isto requer uma marcação mais distinta da largura do canal. Em geral, considera-se que quanto maior for a densidade de tráfego, mais precisa deverá ser a marcação das margens do canal.

O navegante precisa determinar corretamente sua posição em relação ao eixo do canal para que possa se manter num rumo seguro, quando encontrar outros navios. Isto não só é importante para evitar colisão, mas também para efeitos jurídicos, no caso de ser necessário provar inocência em um acidente causado por um navio em rumo oposto, que não manteve seu rumo correto. A indicação do eixo do canal, então, adquire outro significado; pode ser obtida pela marcação simétrica dos lados do canal, pelo estabelecimento de alinhamentos ou, para uso em visibilidade restrita, pelo emprego de meios eletrônicos como o radar do navio, radar de vigilância em terra, sistemas hiperbólicos de navegação³⁹ ou, mais recentemente, o GPS Diferencial (DGPS).

Águas restritas freqüentemente têm uma mistura de tráfego composta de navios oceânicos e embarcações costeiras. O tráfego de barcaças, em sua maioria, só ocorre de dia e, consequentemente, a densidade de tráfego será maior neste período, do que à noite. Durante o dia, então, é maior a necessidade de se usar a largura completa do canal. Por isso, normalmente são empregados sinais cegos para marcar os lados de um canal, preenchendo as lacunas entre os sinais luminosos. Em alguns lugares, são providas pistas de tráfego especiais, fora do canal balizado principal, para o tráfego de barcaças e embarcações de lazer; os limites externos de tais pistas são marcados por bóias cegas ou balizas.

O tráfego muito denso ou em condições de visibilidade restrita pode ser apoiado por um serviço de aviso de radar baseado em terra. A diferença entre as funções do radar de terra como auxílio à navegação e como instrumento de controle de tráfego nas mãos de uma autoridade portuária é difícil de definir, uma vez que ambos os sistemas fazem uso do mesmo canal de comunicação e do mesmo sensor: as instalações de radar. Sistemas de Controle de Tráfego Marítimo (conhecidos por sua sigla em inglês VTS – Vessel Traffic Service), onde são combinadas ambas as funções, estão sendo instalados em vários países.

Os navegantes devem trafegar e manobrar conforme as regras localmente estabelecidas. Radares de terra ajudam os navegantes, suprindo periodicamente informação sobre suas posições e movimentos, transmitindo também informações sobre as posições e os movimentos de outros navios na vizinhança. A ação resultante é de responsabilidade do navegador.

Quando o controle de tráfego é exercido, os navios recebem orientações e ordens específicas, com o propósito de regular o tráfego de forma segura, ordenada e econômica. A responsabilidade sobre estas ordens é da autoridade portuária ou marítima.

O assunto Controle de Tráfego Marítimo não será discutido neste Manual.

7.16 SINALIZAÇÃO NÁUTICA VISUAL PARA ÁGUAS INTERIORES

Os sinais náuticos disponíveis para balizar águas interiores compreendem sinais flutuantes e sinais fixos. Como exemplos de sinais flutuantes tem-se as bóias cegas, bóias luminosas e pequenas barcas-farol. Os sinais fixos podem ser balizas cegas, fixadas em terra ou no solo sob

³⁹ Atualmente, esta categoria de sistemas é representada exclusivamente pelo Loran-C, o qual inexiste no Brasil.

a água, faroletes ou faróis. As balizas cegas podem consistir em um único poste com uma marca de tope (um símbolo convencional no topo) ou ter uma estrutura mais complicada. Um sinal luminoso, seja fixo ou flutuante, consiste basicamente de uma luz e seu suporte, no topo de uma estrutura subsidiária, cuja construção pode ter qualquer forma, podendo variar de uma simples haste a uma torre.

Um caso especial é o das balizas articuladas, que reúnem qualidades dos sinais fixos e flutuantes, devido à sua concepção. Essas estruturas são constituídas por uma longa haste, provida de um dispositivo flutuante submerso e ligadas a uma poita por uma junta tipo Cardan, que lhes dá liberdade de movimento giratório e oscilante e as mantêm fixas à posição de lançamento pela ausência de amarras.

A NORMAM-17/DHN contém, no seu Capítulo 2, uma descrição detalhada dos diversos tipos de sinais náuticos.

Os vários tipos de sinais mencionados na NORMAM-17/DHN podem ser usados para indicar os limites de um canal ou advertir o navegante de um perigo. Somente sinais fixos podem servir como alinhamento, como suporte para uma luz de setor ou mesmo como um farol onidirecional. Os sinais de alinhamento serão discutidos separadamente.

Há uma variedade grande de formas e processos de construção de sinais náuticos visuais e isto se deve às várias aplicações para as quais são projetados. Outros fatores determinantes dessa variedade de formas são as diferentes circunstâncias encontradas nos vários países onde eles estão em uso, como a natureza geral do solo (pedra, areia, coral etc.), as condições meteorológicas e hidrográficas (clima tropical, gelo, salinidade, etc.), a disponibilidade de materiais de construção, capacidade técnica, e assim por diante.

A tradição desempenha um papel importante na escolha dos tipos de sinais comumente usados por uma autoridade de sinalização náutica e é compreensível que, uma vez que um tipo satisfatório de estrutura tenha sido desenvolvido e tenha demonstrado sua confiabilidade durante muitos anos, haja relutância em mudá-lo. Em geral, o que é bom para um país não é necessariamente bom para outro. Por essas razões, não será feita, neste manual, nenhuma tentativa de descrever e comparar todos os possíveis tipos de sinais visuais; serão discutidos somente os princípios de alguns tipos que são de uso geral.

O progresso técnico, naturalmente, tem seu impacto na construção de sinais náuticos. Os esforços são dirigidos para melhorar e simplificar o projeto, além de reduzir os custos.

7.17 SINAIS FLUTUANTES VERSUS SINAIS FIXOS

Geralmente, os sinais flutuantes são mais caros que os sinais fixos. Considerando que os custos de investimento e depreciação podem ser comparáveis, a manutenção e operação de sinais flutuantes requerem despesas muito mais altas que as dos sinais fixos. As razões mais importantes são indicadas abaixo:

Desvantagens dos Sinais Flutuantes:

- As bóias devem ser substituídas periodicamente para manutenção e isto requer um depósito com bóias sobressalentes;
- os sinais flutuantes são vulneráveis, propensos a colisão, dano e perda, o que constitui mais uma razão para a manutenção de sobressalentes;
- as correntes de fundeio dos sinais flutuantes estão sujeitas a desgaste e os custos anuais de substituição são relativamente altos;

-
- as atividades de substituição, manutenção e reparo periódico de sinais flutuantes requerem uma embarcação especializada, com capacidade de içamento, espaço para trabalho e capacidade de manobra suficientes;
 - complementando as atividades citadas, torna-se necessário um pátio de bóias, com depósito de sobressalentes, instalações para manutenção, conserto e armazenamento de bóias, lanternas, amarras e poitas. Embarcações e pátios de bóias representam investimentos grandes e os custos operacionais muito altos; e
 - finalmente, um sinal flutuante fundeado junto à margem de um canal diminuirá a largura desse canal, por causa do seu raio de giro.

Vantagens dos Sinais Fixos:

- Os sinais fixos construídos na água não requerem uma embarcação especializada para manutenção e aqueles estabelecidos em terra precisam somente de uma oficina para lanternas e de um depósito para tinta e materiais de construção;
- podem ser construídos de forma a resistirem à ação corrosiva da água por toda sua vida útil;
- podem ser construídos em águas rasas, onde o risco de colisão é pequeno;
- são mais confiáveis porque não são facilmente quebrados, o risco de deslocamento geralmente é menor e a lanterna terá maior confiabilidade em sua plataforma fixa;
- podem ser empregadas lentes com um ângulo de divergência vertical estreito, que produzem uma intensidade luminosa mais alta do que a de uma lanterna de bóia; e
- a posição geográfica de um sinal fixo é conhecida com alta precisão, enquanto que a posição de um sinal flutuante varia dentro do raio de sua corrente de fundeio.

7.18 CRITÉRIOS DE ESCOLHA DE SINAIS FIXOS OU FLUTUANTES

Embora os sinais fixos, pelas razões acima, sejam preferíveis em comparação com os sinais flutuantes, também há vários argumentos favoráveis à aplicação de sinais flutuantes. O mais importante é que em canais sujeitos a mudanças os sinais fixos são de uso muito limitado. O sinal flutuante tem a grande vantagem da mobilidade e flexibilidade, pois pode ser reposicionado quando o canal muda seu traçado. Uma bóia de “Novos Perigos” pode ser lançada imediatamente depois que um novo obstáculo à navegação foi identificado, ou um canal balizado pode ser reposicionado para que os navios passem seguramente pelo novo obstáculo. Uma bóia danificada por uma colisão pode ser substituída sem grande demora.

Balizar uma nova posição com uma bóia leva muito pouco tempo, em comparação com a construção de um novo sinal fixo, que requer um levantamento das características do subsolo, uma fase de projeto e uma fase de construção que, juntos, tomam muito tempo, sem contar com o tempo necessário à obtenção de fundos para a construção.

Além disso, quando um sinal fixo é construído em águas navegáveis, está tão propenso a colisão quanto uma bóia. Porém, reconstruir um sinal fixo depois de uma colisão, normalmente leva um tempo muito longo. Por conseguinte, sinais flutuantes são preferidos para marcar as margens de canais onde não há águas rasas próximas, que permitam a construção de sinais fixos.

Outra consideração que pode conduzir à escolha de um sinal flutuante é que quanto maior a profundidade da água, mais elevado será o custo de construção de um sinal fixo. Há uma certa profundidade na qual os custos de sinais flutuantes e fixos são equivalentes, que deve ser determinada levando em consideração todos os aspectos de engenharia envolvidos. Deve ser levado em conta, além disso, que, uma vez que um navio balizador e um depósito de bóias

estejam disponíveis, um aumento no número de bóias abaixará os custos operacionais por bóia até que as instalações estejam saturadas e seja necessário um segundo navio balizador ou uma ampliação das instalações de terra. Partindo de uma avaliação criteriosa, não será difícil fazer uma comparação financeira entre adicionar um sinal flutuante e construir um sinal fixo novo.

A situação habitual é que canais estreitos sejam marcados por uma combinação cuidadosamente escolhida de sinais fixos e flutuantes, com preferência para sinais fixos onde for possível. Em um balizamento, o número de sinais flutuantes deve ser compatível com as instalações de reparo, de forma que essas instalações sejam completamente utilizadas. Em algumas aproximações de porto onde são empregados somente alguns sinais flutuantes e onde um navio balizador e um depósito de bóia representem um investimento alto demais, não é incomum que as operações com bóias sejam terceirizadas.

As balizas articuladas foram desenvolvidas com o objetivo de combinar as vantagens dos sinais flutuantes com as dos sinais fixos, ou seja, facilidade de instalação a partir de um navio balizador e precisão de posicionamento comparável à de um sinal fixo. Isto as tornaria ideais para canais onde a precisão seja um fator primordial e que não disponham de águas rasas próximas que permitam a construção de sinais fixos. Entretanto, para atender a essas condições, são precisos sinais de grandes dimensões, o que dificulta as manobras no mar. A causa principal está nas longas hastes exigidas para manter uma porção apreciável do sinal acima da linha-d'água: não são incomuns estruturas de mais de 20 metros de comprimento. Assim, a facilidade de instalação e remoção, embora seja maior que a de um sinal fixo, requer embarcações especializadas, de grande porte. É experiência corrente que os navios balizadores comumente utilizados para bóias sejam inadequados para manobrar com balizas articuladas. Por essas razões, o emprego desses sinais só deve ser recomendado em situações onde outra solução seja inviável, em vista dos aspectos de segurança da navegação.

7.19 IDENTIFICAÇÃO DOS SINAIS NÁUTICOS

A identificação dos sinais náuticos é feita através de suas características, isto é, forma, cor, marca de tope característica luminosa, que compreende o ritmo e a cor da luz. No Brasil, segue-se o Sistema de Balizamento da IALA – Região “B”, cuja principal característica diferenciadora é o emprego de sinais náuticos laterais de cor verde a bombordo e encarnada a boreste. O sistema complementar - Região “A”, emprega essa convenção de forma invertida.

A descrição dos diversos tipos de sinais desse Sistema de Balizamento pode ser encontrada na Seção I do Capítulo 3 da NORMAM 17/DHN.

O princípio básico que inspirou a criação desses sistemas é oferecer sinais cujas características de identificação permitam ao navegante interpretar a informação fornecida sem ter que recorrer à carta náutica, uma vez que a navegação em águas interiores, por suas limitações de tempo e espaço, não permite esse tipo de consulta.

O fator mais importante a considerar é que não deve haver risco de confusão, o que é possível de ocorrer quando um sinal é confundido com outro, ou quando há um número muito grande de sinais.

Este risco aumenta muito durante a noite, pois fica mais difícil para o navegante localizar e identificar os diversos sinais, principalmente quando isto implica em localizar a luz de uma bóia, por exemplo, em meio a um grande número de luzes intermitentes (os outros sinais próximos), quando esse cenário é observado contra um fundo iluminado (o porto ou a cidade); a perda de tempo, necessária para interpretar os sinais pode ser suficiente para o navio penetrar na área de perigo. Essa situação deve ser analisada pela Autoridade de Sinalização Náutica no

atendimento a pedidos das Autoridades Portuárias, Associações de Praticagem ou outras entidades náuticas, pelo aumento da quantidade de sinais luminosos.

Para um navegante seguindo um canal irregular e guiando sua embarcação de sinal em sinal, pode ser difícil julgar qual é o próximo sinal a seguir, porque ele vê todos os sinais no mesmo plano horizontal. De dia e dependendo da distância entre os sinais, a visão em perspectiva pode indicar a seqüência correta de sinais a seguir. No entanto, à noite, a variação de intensidade luminosa de um sinal próximo, para outro mais distante, será certamente insuficiente para permitir essa avaliação.

Este efeito é tanto mais pronunciado quanto menor for a altura do observador em relação ao nível do mar. Suponha-se a situação em que, durante a noite, o navegante, partindo do ponto O, precisa deixar por boreste a bóia luminosa A, representada na figura 7.9 e, em seguida, guinar para boreste, em direção à bóia B. Inicialmente, quando na posição O, ambas as bóias estarão aproximadamente à mesma distância e o navegante poderia cometer o engano de rumar diretamente para a bóia B, em vez de primeiro contornar a bóia A.

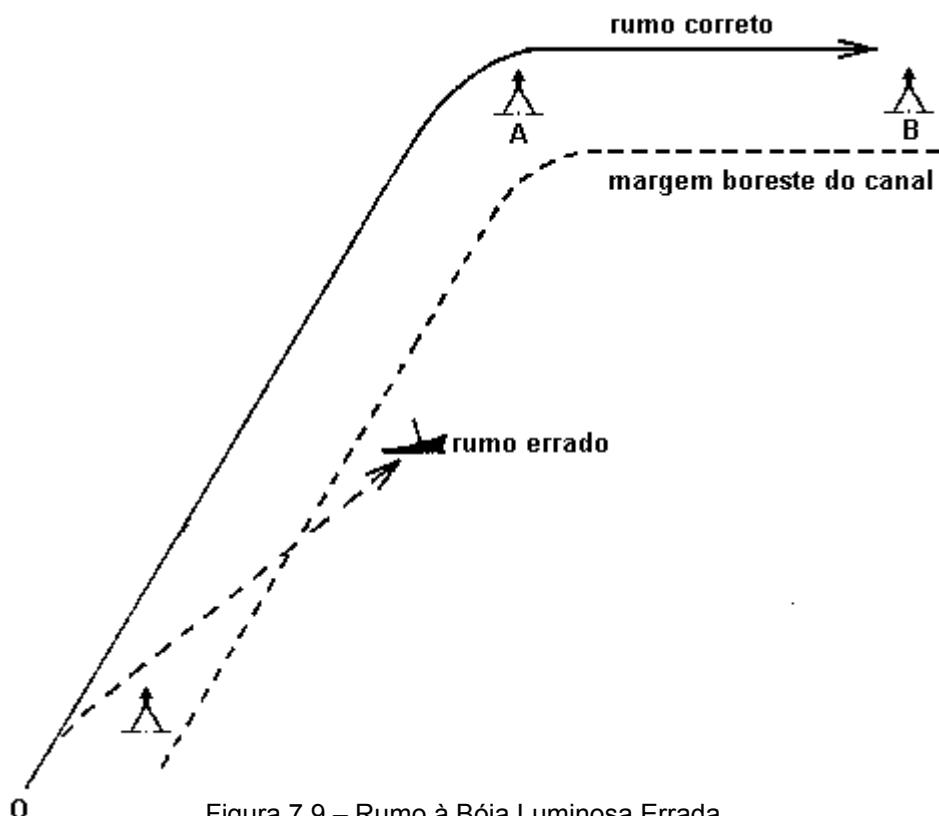


Figura 7.9 – Rumo à Bóia Luminosa Errada

Logicamente, duas indicações deveriam ter alertado o navegante: o seu rumo e as características luminosas de ambas as bóias. Mas a prática demonstra que este tipo de falha humana acontece com freqüência, especialmente quando há pouca oportunidade de consultar a carta náutica⁴⁰.

Para solucionar ou minimizar esse risco, é prática comum que as bóias localizadas em pontos de guinada exibam características bem distintas, como “Luzes Rápidas”.

O mesmo critério se aplica à navegação à luz do dia, podendo-se inclusive instalar “Bóias Especiais” em pontos de guinada cuja importância ou risco assim o requeiram. Este recurso

⁴⁰ Lembre-se: os sinais deveriam permitir a navegação sem a necessidade do navegante recorrer à carta náutica.

melhorará consideravelmente a identificação do sinal, tanto de dia quanto à noite, em virtude de todas as características (forma, cor e luz) serem distintas.

O mesmo tipo de má interpretação pode ocorrer quando as luzes que balizam um canal têm intensidades luminosas desiguais. Um sinal localizado a maior distância mas de intensidade luminosa mais alta pode ser confundido com outro, de baixa intensidade luminosa, que esteja localizado mais próximo ao navio.

Intensidades luminosas desiguais são uma ocorrência típica quando um canal é balizado por meio de lanternas do mesmo tipo, mas alguns sinais exibem luz branca e outros luz colorida, cuja intensidade é menor devido à perda natural da lente colorida. No caso de lanternas de LEDs o problema é inverso, porque a luz colorida tem intensidade maior do que a luz branca⁴¹.

A solução para isto é, no caso das lanternas convencionais, utilizar lâmpadas diferentes, na tentativa de equilibrar as intensidades luminosas ou, no caso das lanternas de LEDs, programar a emissão luminosa (geralmente isto é possível e deve ser um fator a considerar na escolha dos equipamentos).

Logicamente, isto poderá trazer problemas técnicos no que diz respeito ao consumo de energia das bóias, sendo que esse efeito será mais pronunciado nas lanternas convencionais do que nas de LEDs.

O mesmo raciocínio se aplica a sinais diurnos. Sinais com revestimento ou pintura luminescente podem parecer mais próximos do observador do que aqueles pintados com tintas convencionais, mesmo que estes últimos estejam, na verdade, na mesma distância ou, até mais próximos. No caso de sinais não luminescentes serem usados junto com sinais luminescentes, estes devem ser colocados em posições nas quais a sua maior capacidade de detecção pelo navegante tenha um real propósito, como, por exemplo, a indicação de pontos de guinada.

7.20 DISPOSITIVOS RETRO-REFLETORES

Em canais cuja importância não seja suficiente para justificar o emprego de sinais luminosos, utiliza-se, com freqüência, dispositivos retro-refletores. Esses dispositivos, geralmente na forma de material laminado com propriedades retro-reflexivas, são fixados aos sinais diurnos normais e às bóias cegas. As cores e as formas das superfícies retro-refletoras devem estar de acordo com o sistema de balizamento adotado.

Os dispositivos retro-refletores requerem o uso de um holofote a bordo. Isto tem as desvantagens de prejudicar a visão noturna do navegante que usa o holofote e de provocar ofuscamento dos navegantes de outros navios. O sistema é, então, aplicado só em canais onde essas desvantagens não sejam significativas. Nesses casos, constituirá um método de baixo custo que permite a navegação à noite, sendo empregado principalmente em vias fluviais. Deve-se ter em mente que os retro-refletores perdem muito de sua eficácia em condições de baixa visibilidade⁴². É, pois, principalmente um recurso de alcance limitado e de pouco significado para o tráfego oceânico.

7.21 BALIZAMENTO DE UM CANAL COM PARES DE BÓIAS

Os canais retos e as seções retas, nas quais podem ser subdivididos os canais naturais, são freqüentemente balizados com pares de bóias. Observe, na figura 7.10, que os pares de bóias delimitam as seções retas do canal curvo representado.

⁴¹ Situação causada por limitações tecnológicas, pois a luz branca é obtida por meio de filtragem de LEDs cuja luz é, originalmente, azul.

⁴² Veja o Capítulo 4, item 4.13, deste Manual.

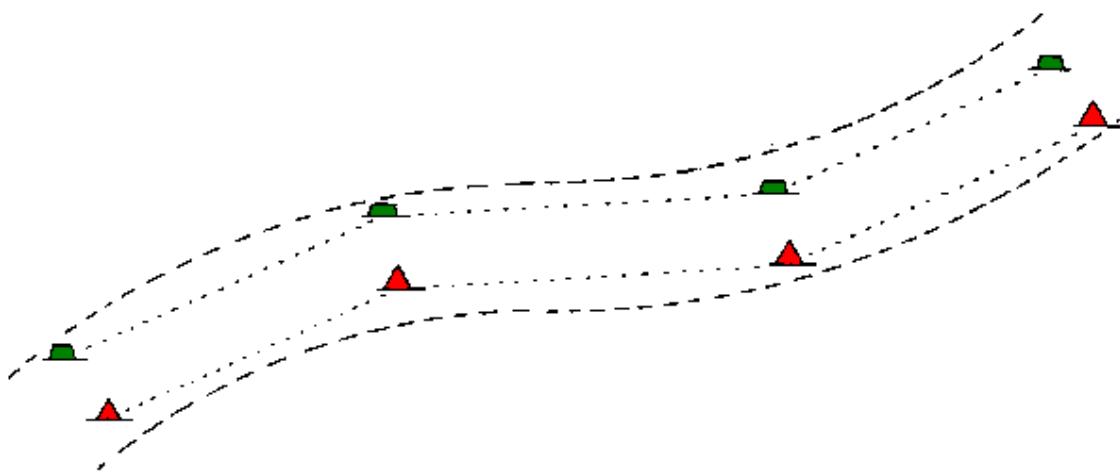


Figura 7.10 – Seções Retas de um Canal Natural Balizadas com Pares de Bóias

As bóias funcionam como “portões” pelos quais o navio deve passar. A vantagem deste sistema é que os lados do canal estão claramente indicados, de forma que o navegante pode julgar seu espaço de manobra quando encontrar outros navios.

O método habitual de navegação nesse tipo de canal balizado é aprovar o navio em direção ao centro do próximo “portão” e conferir se esta direção é igual a do rumo do canal, medida na carta. Qualquer desvio lateral ficará aparente através da assimetria relativa da proa do navio, comparada com as posições das bóias.

O navegante também poderá conferir, regularmente, se ele está se mantendo longe das extremidades do canal, avaliando o ângulo subtendido pelas bóias de um lado do canal: este ângulo deverá ser sempre menor que 180° . Isto pode ser estimado com precisão razoável pela observação das marcações relativas das bóias, tomadas, por exemplo, em relação ao lado de uma superestrutura qualquer do navio, paralela ao bordo em questão.

Quando a largura do canal é pequena, comparada com a distância entre os “portões”, o navegante, em caso de dúvida, não deverá hesitar em tomar marcações pela agulha, para assegurar que seu navio permaneça dentro dos limites do canal.

7.22 ESCOLHA DAS DISTÂNCIAS ENTRE OS PARES DE BÓIAS

Surge, então, o problema de se escolher a distância entre “portões” consecutivos, ou seja, o espaçamento entre dois pares de bóias, em seqüência. Um espaçamento muito pequeno causará um desperdício de bóias, que são caras tanto para compra quanto para manutenção. Quando o espaçamento é grande demais há o risco de que os navios não recebam orientação suficiente. Um levantamento de um grande número de canais de acesso a portos importantes, em partes diferentes do mundo, indica que a razão entre o espaçamento entre bóias⁴³ (S_b) e a largura (w) é, normalmente, igual a 4 ou 5, mas não é incomum uma relação $S_b / w = 7$ em canais onde não se espera encontrar influência de correntes transversais. Em alguns casos, as seções retas de um canal sinuoso são tão pequenas que a relação S_b / w pode ser bem menor que 4. Em canais muito largos, o espaçamento não é uma função da largura. Um critério melhor será o dos alcances.

⁴³ Atenção: não confundir este espaçamento S_b com o espaço lateral S , ocupado por um navio em um canal e definido no item 7.9 deste capítulo.

7.23 DISTÂNCIAS ENTRE PARES DE BÓIAS – CRITÉRIO DOS ALCANCES

O alcance de percepção das bóias, consideradas as condições típicas de visibilidade local, tem grande influência no espaçamento a ser selecionado. Os navegantes preferem ter as bóias de um “portão” à vista bem antes de entrar no “portão” precedente; isto significa que as bóias devem estar visíveis a um alcance até $1,5 S_b$.

Em águas interiores, os sinais náuticos visuais não podem ser usados corretamente quando estão sendo observados no limiar de visão (ou seja, no limite de seu alcance visual). Partindo dessa premissa, pode-se assumir que o alcance efetivo de uma bóia luminosa é aproximadamente metade do seu alcance luminoso. Por conseguinte, o espaçamento S_b entre bóias luminosas não deveria ser maior que $1/3$ do seu alcance luminoso, caso as condições acima sejam respeitadas.

Por exemplo, o alcance nominal de uma luz de 150cd (condições: $V = 10$ milhas náuticas ou $T = 0,74$), que é um valor bastante comum para bóias luminosas, é de 6 milhas náuticas. Então, se a visibilidade típica em um canal qualquer for de 10 milhas náuticas, o espaçamento entre as bóias não deverá ser maior que 2 milhas náuticas. Os valores típicos de espaçamento na maioria dos canais situam-se entre 0,5 e 2 milhas náuticas.

Geralmente, uma bóia luminosa não pode ser vista à luz do dia à mesma distância que sua luz será percebida na escuridão. Pode, então, ser necessário colocar pares de bóias cegas a meio caminho entre “portões” luminosos, para servir à navegação diurna.

7.24 CANAL RETO – PRINCÍPIO DO ALINHAMENTO COM “PORTÃO DUPLO”

Quando o comprimento de um canal reto excede o espaçamento ótimo, segundo os critérios discutidos no parágrafo precedente, será necessário empregar mais pares de bóias do que somente um par em cada extremidade do canal.

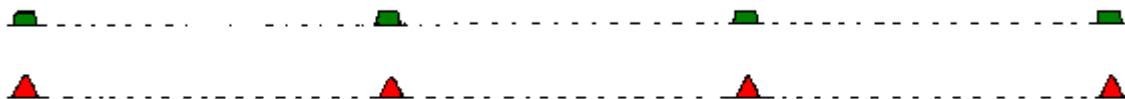


Figura 7.11 – Balizamento de um Canal Longo e Reto com Pares de Bóias, Segundo o Princípio do Alinhamento com “Portão Duplo”.

A figura 7.11 ilustra o princípio do alinhamento com portão duplo. Este arranjo tem a vantagem de permitir que o navegante perceba facilmente os desvios da linha central, verificando a simetria do aspecto das bóias, sem a necessidade de tomar marcações de bússola. As figuras 7.2 C e 7.2 D, no início deste capítulo, demonstram isto claramente. O princípio dos “Alinhamentos de Portão Duplo com Sinais Fixos”, que será discutido no item 7.28, também se aplica às bóias. Para que o alinhamento seja efetivo, o navegante deve poder avistar dois portões à frente ou atrás. Quando se empregam sinais fixos, o desvio mínimo perceptível é $0,072 w$, independentemente do espaçamento dos portões. No caso de bóias, que nunca estão precisamente na posição pretendida, por causa do raio de giro da amarra e da inexatidão de posicionamento do poita, é mais seguro assumir que o desvio mínimo perceptível seja menor que $0,1 w$. Isto assegura uma sensibilidade relativa melhor que $K = 5$.

O princípio do “portão duplo” não somente oferece uma sensibilidade alta, o suficiente para manter um navio no meio do canal, mas também fornece indicação muito precisa de que o navio está se aproximando de uma das extremidades do canal. Os sinais que marcam cada um dos lados formam alinhamentos de alta sensibilidade. Contanto que este alinhamento não esteja sendo observado por um navegante posicionado no bordo mais próximo aos referidos sinais, o navegante pode estar seguro que ainda está dentro dos limites do canal. Isto é de grande importância quando a situação de tráfego força um navio a deixar o eixo do canal.

As propriedades do arranjo de “portão duplo” de bóias – sensibilidade alta para manter-se no meio do canal e para manter-se longe das extremidades do canal – tornam este tipo de balizamento especialmente atraente para sinalizar canais dragados. Para economizar custos de dragagem, a largura deste tipo de canal limita-se ao estritamente necessário para a navegação dos navios maiores.

O espaçamento ótimo dos “portões” depende completamente do alcance em que se espera que as bóias sejam corretamente visíveis. Presume-se, novamente, que o alcance efetivo de uma bóia luminosa seja aproximadamente metade de seu alcance luminoso. Para que dois “portões” sejam visíveis com o observador localizado em um terceiro “portão”, o alcance efetivo deverá ser igual a $2 S_b$. Por conseguinte, o espaçamento das bóias não deve exceder 1/4 do alcance luminoso. As condições de visibilidade média e a intensidade luminosa que pode ser provida pelos equipamentos disponíveis determinam a escolha do alcance luminoso.

À luz do dia, o alcance visual de uma bóia luminosa é menor que seu alcance luminoso à noite. Então, para a navegação à luz do dia, o espaçamento deve ser menor. Isto pode ser obtido colocando-se as bóias luminosas no espaçamento requerido para utilização diurna (aproximadamente 1/3 do alcance visual à visibilidade selecionada) ou colocando-se pares de bóias cegas a meio caminho entre os “portões” luminosos, os quais devem ser posicionados de acordo com o espaçamento necessário à navegação noturna.

Para o melhor efeito do sistema "portão duplo", as características das luzes das bóias devem ser tais, que haja uma probabilidade alta de que as luzes se mostrem simultaneamente. Um desenvolvimento recente é a sincronização de luzes de bóia através de rádio ou por meio de sons subaquáticos.

Quando a visibilidade é tão restrita que não é possível ver além de 2 “portões” e somente o próximo “portão” à frente pode ser visto, as condições serão semelhantes àquelas discutidas no item 7.23.

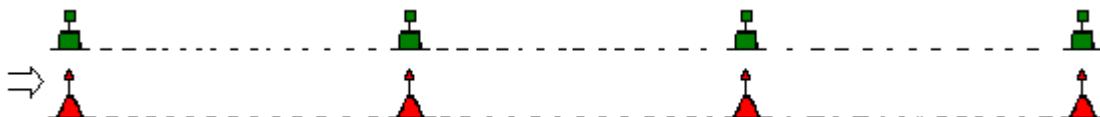
São mostrados na figura 7.12 alguns exemplos típicos do balizamento de canais importantes com pares de bóias.

Barra de Paranaguá, PR. Quatro primeiros pares de bóias luminosas.

Espaço entre as bóias: $S = 0,58$ milha náutica

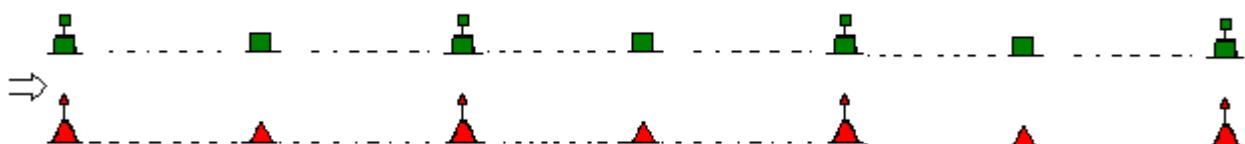
Largura do canal: $w = 0,17$ milha náutica.

Relação $S/w = 3,4$.



“Ambrose Channel”, Nova Iorque, EUA. Bóias cegas e bóias luminosas.

$S = 1$ milha náutica, $w = 0,3$ milha náutica, $S/w = 3,3$



Canal de Acesso ao Porto de Itaqui - MA.

Bóias luminosas nºs. 5, 7, 9 (encarnadas) e 10, 12, 14 (verdes) – formando três pares.

$S = 1,7$ milha náutica, $w = 0,2$ milha náutica. $S/w = 5$.

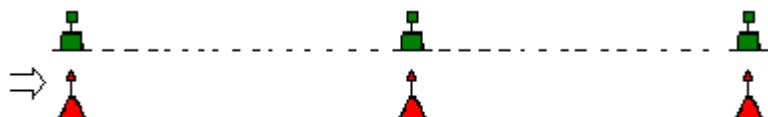


Figura 7.12 – Balizamento de Vários Canais com Pares de Bóias.
Indicação da Relação S/w .

7.25 BALIZAMENTO DE UM CANAL COM BÓIAS ISOLADAS

Balizar um canal com pares de bóias é caro e, por conseguinte, são empregadas bóias isoladas sempre que as condições permitem. Com este método, só uma margem do canal é demarcada. Os navegantes precisam se manter afastados da margem sem sinais por meio de estimativas de sua posição. Navegantes treinados podem fazer isto com precisão surpreendente. Mas pode haver dificuldades quando o tráfego é pesado, particularmente em lugares onde devem ser feitas grandes alterações de rumo. Não é incomum que, em tais pontos críticos, ambos os lados do canal sejam balizados.

No caso de um canal reto, as bóias isoladas podem ser todas colocadas no mesmo lado do canal (veja a figura 7.13). Isto tem a vantagem de criar um alinhamento de sensibilidade elevada, indicando aquele lado do canal. Para este propósito, o espaçamento das bóias não deve ser maior que metade do alcance visual. Quando há incidência de corrente ou vento transversais, as bóias são, preferencialmente, colocadas contra a corrente ou no lado de barlavento do canal, a fim de que os efeitos do vento e/ou da corrente favoreçam o posicionamento do navegante, obrigando-o a aproximar-se da margem balizada quando corrigir seu rumo em presença dessas perturbações.

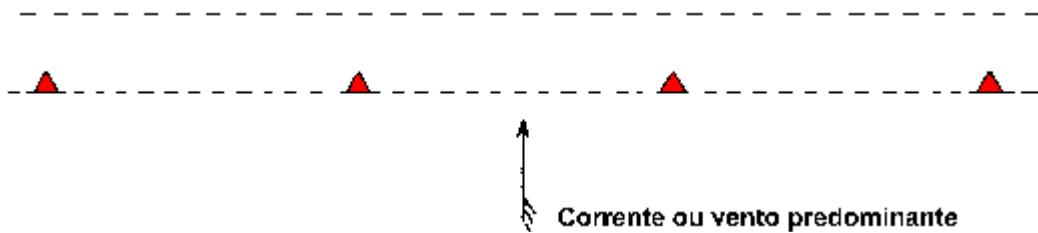


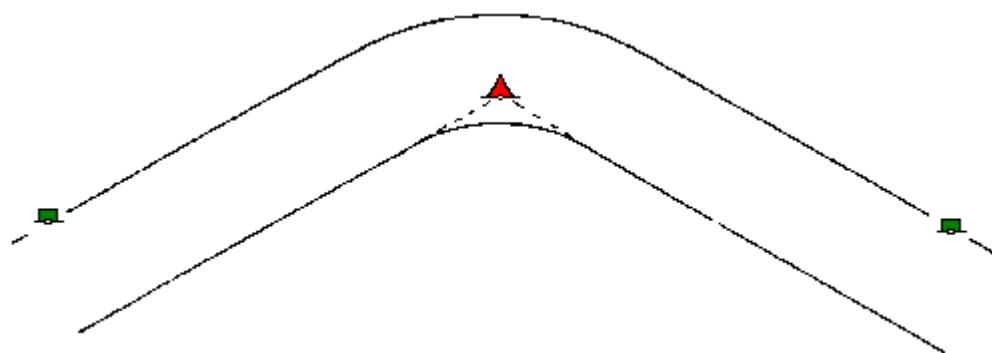
Figura 7.13 – Marcação de um Canal Reto com Bóias Isoladas, todas no Mesmo Lado do Canal.

Também é possível colocar as bóias alternadamente, em ambos os lados do canal, como mostra a figura 7.14. Porém, se o espaçamento das bóias for igual à metade do alcance visual, nenhuma das bóias poderá servir como alinhamento, para indicar as margens do canal. Mas, se o espaçamento for igual a 1/3 do alcance visual, duas bóias em um lado servirão como alinhamento e uma, no outro lado, a meio caminho, indicará a largura do canal.



Figura 7.14 – Marcação de um Canal Reto com Bóias Isoladas, Colocadas em Lados Alternados do Canal.

Quando é necessária uma mudança de rumo, o navegador geralmente prefere que o sinal que indica o ponto de guinada esteja do lado de dentro da curva, como mostra a figura 7.15. Isto assegura que a popa do navio fique longe do sinal de guinada. Existe a possibilidade de que a volta tenha sido feita muito ao largo, depois de contornar o sinal, de forma que o navio chegue perigosamente perto da extremidade exterior (o lado côncavo) da curva. O navegador pode conferir isto observando a marcação do próximo sinal, quando estiver estabilizado em seu novo rumo. Por isso, o próximo sinal é colocado, preferencialmente, no lado de fora da curva, de forma que seja imediatamente notado se a volta foi larga demais, uma vez que o novo rumo não mostrará esse sinal no lado correto; se o sinal estiver posicionado no lado de dentro da curva, isto não será tão óbvio. Na prática, o navegador, depois de fazer a curva, normalmente estabiliza seu navio em um rumo que permite a passagem segura pelo lado correto do próximo sinal e, então confere seu rumo através da agulha.



Uma bóia de guinada posicionada no lado convexo da curva deve ser fundeada na interseção das tangentes às extremidades do canal, como mostra a figura 7.15. Embora esta seja a configuração preferida, as condições nem sempre permitem seu emprego, porque, no caso de uma curva fechada, uma porção apreciável da largura do canal pode ser reduzida por uma bóia de guinada no lado de dentro. A solução é posicionar a bóia de guinada no lado de fora da curva, como mostra a figura 7.16.

Uma condição primordial, para se balizar um canal sinuoso é que as linhas que conectam duas bóias sucessivas estejam sempre bem longe das extremidades do canal, de forma que um navio que percorre o canal seguindo rumos retos, de bóia em bóia, não corra perigo de encalhar. Isto requer que as bóias sejam colocadas nas interseções das tangentes desenhadas para os lados convexos das margens. Segue-se que o uso de bóias para marcar um canal sinuoso geralmente tem o efeito de diminuir a largura do canal. Este efeito é menos pronunciado quando um maior número de bóias é usado.

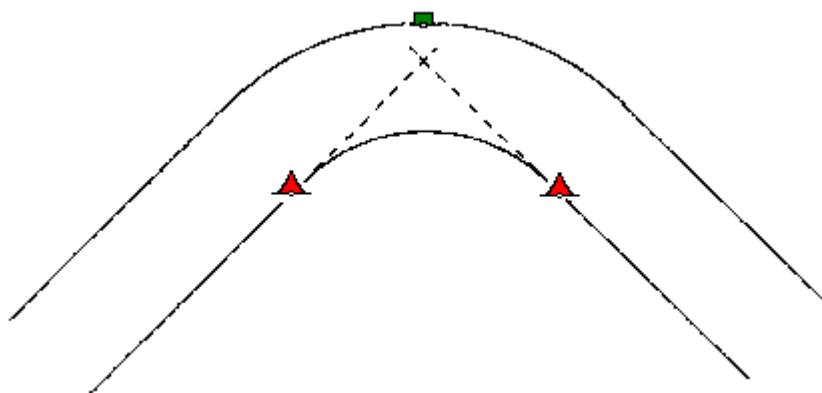


Figura 7.16 – Bóia de Guinada Posicionada do Lado de Fora da Curva.

7.26 BALIZAMENTO DE UM CANAL COM BÓIAS LUMINOSAS E BÓIAS CEGAS

Foi mencionada, em parágrafos anteriores, a possibilidade de se colocar bóias cegas ao longo das margens de um canal para preencher os intervalos entre as bóias luminosas, para possibilitar que o tráfego de barcaças, que ocorre somente de dia, faça uso da largura total do canal.

A outra razão é que as bóias luminosas não podem ser vistas de dia com o mesmo alcance que à noite. A figura 7.17 mostra um modelo teórico de balizamento de um canal sinuoso, usando tanto bóias luminosas quanto bóias cegas. Duas características são importantes:

- a) As linhas imaginárias que conectam as bóias luminosas devem estar bem afastadas, para dentro do canal, em relação às posições das bóias cegas, para assegurar que estas últimas não sejam abalroadas à noite.
- b) As bóias cegas devem ser colocadas, preferencialmente, ao longo de linhas retas. Isto facilita a navegação perto das margens do canal, pois estas bóias indicam margens que não devem ser cruzadas. Outra razão para se colocar as bóias ao longo de linhas retas é que uma bóia fora de lugar seria imediatamente reconhecida.

Além disso, uma combinação de bóias luminosas e cegas pode ser usada com a finalidade de separar embarcações pequenas (barcaças, barcos de lazer) de navios oceânicos de grande

calado em vias navegáveis congestionadas⁴⁴. De dia, embarcações pequenas devem usar as águas rasas, localizadas por fora das bóias luminosas que marcam as margens do canal principal.

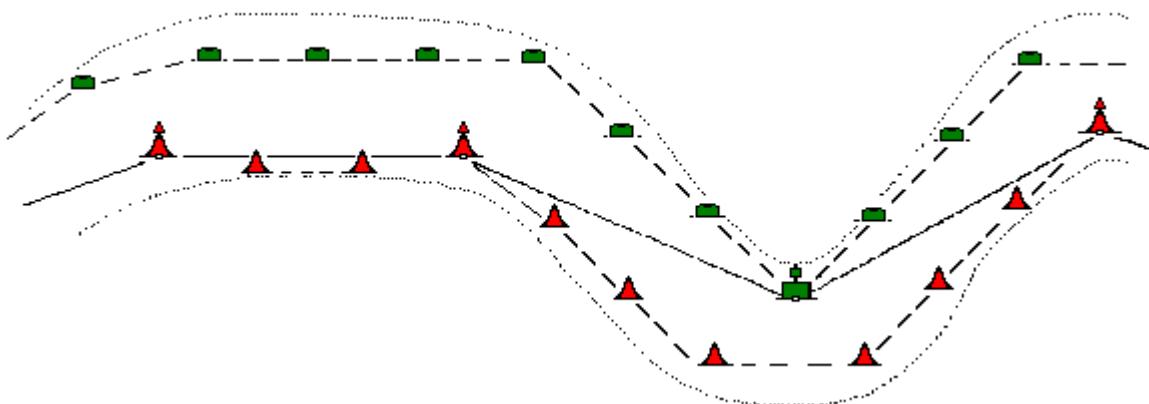


Figura 7.17 – Balizamento com Bóias Luminosas e Bóias Cegas.

7.27 A POSIÇÃO LATERAL DOS SINAIS FLUTUANTES EM UM CANAL

A posição cartografada de um sinal flutuante é a posição de sua poita. A posição efetiva da bóia estará em algum lugar dentro de um círculo centrado na poita e com um raio determinado pelo tamanho da amarra e pela profundidade da água. Como regra prática, a amarra pode ter um comprimento de 3 vezes a profundidade na maré alta e, nesse caso, o raio máximo do círculo pode chegar 2,8 vezes a profundidade. Na maré baixa, este raio pode até mesmo ser maior.

Se uma correnteza ou vento move as bóias que marcam um canal em uma direção perpendicular à direção do canal, as indicações do balizamento apresentarão um erro lateral (veja a figura 7.18).

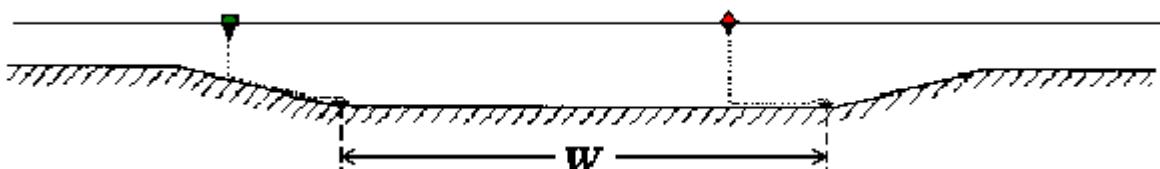


Figura 7.18 – Efeito de Corrente ou Vento Transversal ao Eixo de um Canal, sobre as Bóias do Balizamento.

Na maioria dos casos, isto não terá efeitos sérios porque as correntes normalmente seguem o eixo do canal e, se não o fizerem, a componente transversal será, no máximo, nada mais que uma fração da corrente total; além disso, em águas interiores, onde a profundidade é pequena, o tamanho da amarra também será pequeno. Não obstante, em canais estreitos e fundos, o erro pode ser considerável, particularmente em locais onde haja fortes correntes transversais, situação freqüente no caso de canais dragados em águas não abrigadas.

⁴⁴ Um sistema muito efetivo está em uso em alguns rios importantes da Alemanha (Ems e Weser en Elbe). Nesses rios, o limite externo das águas navegáveis destinadas ao tráfego de embarcações pequenas está balizado por bóias cegas cardinais. Internamente, o canal destinado a navios maiores está balizado com bóias luminosas laterais.

Tomemos como exemplo um canal dragado de 300 metros de largura e profundidade de 15 metros na maré alta, onde o erro lateral possa assumir um valor médio de 30 metros, ou 10%, da largura do canal. Quando o vento e a corrente transversais forem máximos e na mesma direção, o erro lateral chegará a 42 metros (2,8 vezes a profundidade). O efeito será que o canal precisará ser dragado a uma largura, pelo menos, 10% maior que o estritamente necessário e, ainda, para que um navio possa prosseguir no centro do canal cujas indicações de margem foram deslocadas, o navegante deve tentar manter um rumo que o afaste 15 metros, contra a corrente, da linha central indicada pelas bóias. Em tais casos, a aplicação de outro sistema de balizamento, com alinhamentos, sinais fixos ou balizas articuladas pode ser a solução.

A disposição das bóias mostrada na figura 7.18 diminui a largura do canal, mas este efeito é eliminado quando as bóias são colocadas como descrito na figura 7.19. Neste caso, as bóias não marcam os limites navegáveis do canal. Os navegantes tenderão a manter-se próximos do eixo do canal, evitando chegar perto demais da margens não balizadas. Para navios de grande calado, isto pode ter o efeito de diminuir a largura do canal, mas provê espaço extra de manobra para navios menores.

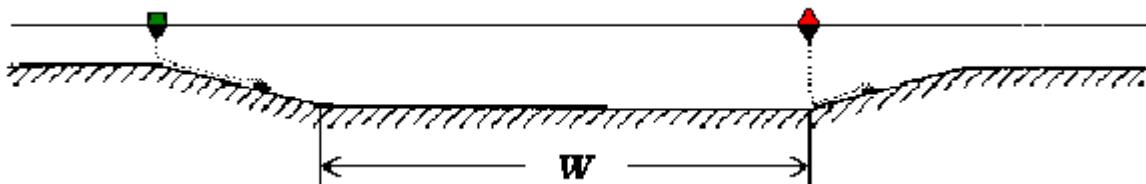


Figura 7.19 – Efeito do Posicionamento das Poitas nos Taludes do Canal.
Na situação representada na figura, a bóia de borteiro não estreita o canal, mas a bóia de bombordo dá uma indicação muito aberta da margem correspondente.

Em canais naturais, com um talude íngreme, como mostrado na figura 7.20, as bóias normalmente são posicionadas nas margens porque as poitas não se fixariam nos taludes íngremes.

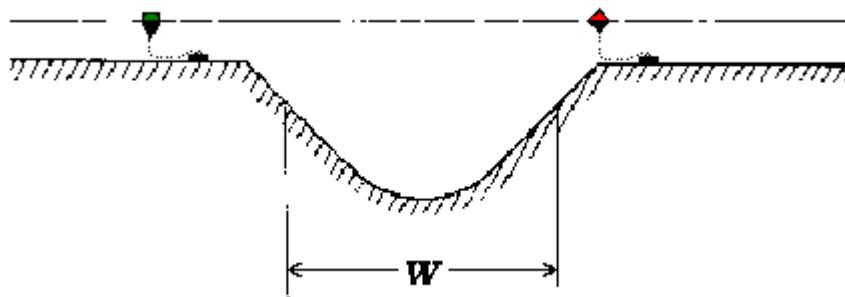


Figura 7.20 – Posicionamento das Bóias em um Canal com Seção Transversal em forma de V.

7.28 OS SINAIS FIXOS E O "ALINHAMENTO COM PORTÃO DUPLO "

Pode-se empregar sinais fixos de várias maneiras para balizar um canal. Esses sinais não são, via de regra, posicionados nas margens de águas profundas, por causa do risco de colisão. Normalmente, são estabelecidos em pontos notáveis em terra (píeres, molhes, quebra-mares, etc.) ou em águas rasas adjacentes ao canal que se deseja balizar, onde não haja perigo de colisão. Os navegantes, portanto, devem estabelecer uma distância de segurança ao passar por sinais fixos.

Longos canais retos podem ser balizados por pares de sinais fixos que atuam como “portões”, pelos quais um navio tem que passar, como mostrado na figura 7.21. Quando dois “portões” sucessivos estão à vista, à frente ou atrás da embarcação, pode ser feito uso do princípio do “Alinhamento com Portão duplo”. Com esse sistema, podem ser percebidos desvios de simetria muito pequenos, como demonstrado na figura 7.22, e a sensibilidade é elevada.

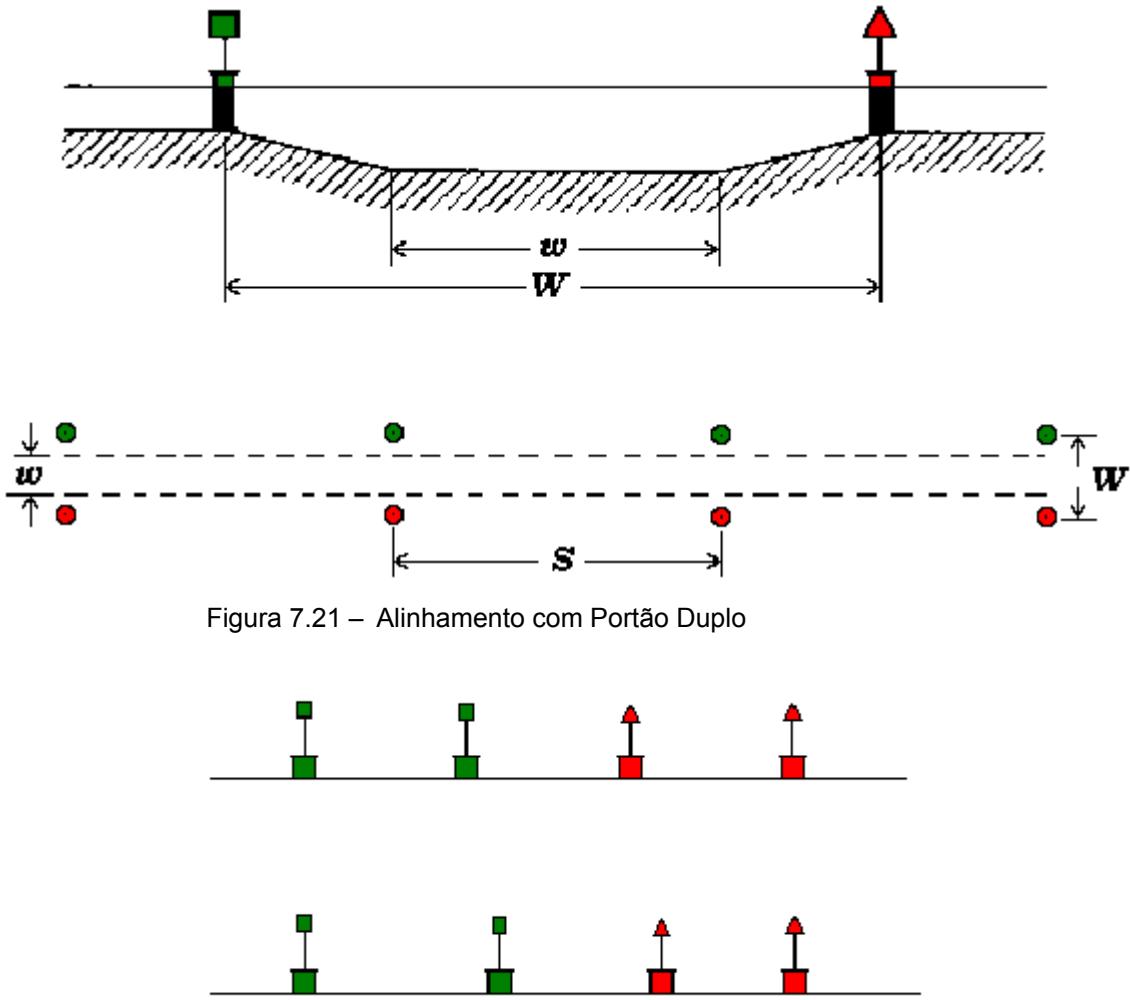


Figura 7.21 – Alinhamento com Portão Duplo

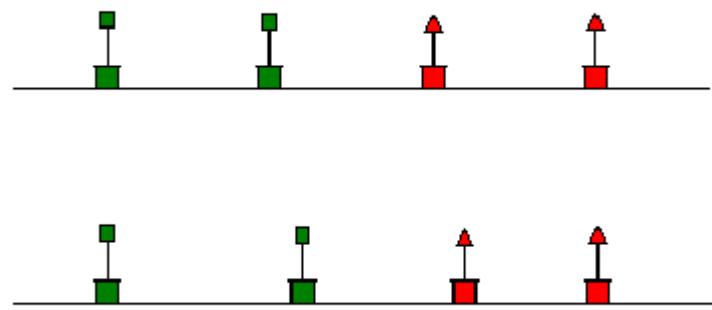


Figura 7.22 – Percepção do Desvio da Simetria:
 Figura superior – observador no eixo central do canal
 Figura inferior – observador a 0,1W à direita do eixo do canal.

Considera-se que o menor desvio do eixo do canal, perceptível, é uma função da largura (W) do “portão” (distância entre dois sinais adjacentes, de cada lado do canal), do espaçamento (S) entre “portões” (distância entre dois sinais adjacentes, do mesmo lado do canal) e da distância (x) do observador para o portão mais próximo.

O desvio mínimo perceptível (y_M) aumenta com a largura do “portão” e com o decréscimo da distância (x), considerando-se que a influência do espaçamento entre “portões” (S) seja muito pequena.

Como simplificação, pode-se considerar que a relação W/y_M permanece aproximadamente constante, contanto que distâncias muito pequenas (x) sejam excluídas. Testes de laboratório indicam que, em uma aproximação grosseira, o valor de y_M não excede 0,072W desde a distância

do observador até o portal mais próximo igual ou maior que $0,07\sqrt{S}$ até uma distância igual a S (S e x são expressos em km).

Então, relacionando-se y_M à largura do canal (w) pode-se definir a sensibilidade relativa como:

$$w / 2y_M = w / 0.144W = 7w/W.$$

Se for considerado, por exemplo, um canal de 300 metros de largura com “portões” de 500 metros de largura, a sensibilidade relativa deverá ser $7 \times 300/500 = 4$. Se for feito $W = 400$ m, a sensibilidade aumentará para 5.

Em geral, pode-se dizer que quando os sinais podem ser posicionados razoavelmente perto das extremidades do canal, se obtém uma sensibilidade relativa elevada.

O sistema de alinhamento pelo “portão duplo” é bastante satisfatório para canais dragados de grande extensão, onde um arranjo normal de dois sinais de alinhamento convencionais não pode ser usado.

Para se aplicar rigorosamente o sistema de “portão duplo”, deve haver pelo menos 4 “portões”, de forma que quando um navio se aproxima de um “portão”, sempre há dois outros “portões” em linha, à frente ou atrás.

Para a navegação noturna, considerando-se que o alcance luminoso de uma lanterna é de 5 milhas náuticas à visibilidade prevalecente, e que o alcance efetivo⁴⁵ é a metade daquele valor, este arranjo permite um espaçamento máximo de cerca de 2 milhas náuticas. Exige-se, então, 8 sinais luminosos para um canal de 6 milhas náuticas de extensão ou menos. Para a navegação diurna, deve-se levar em conta o menor alcance de percepção dos sinais diurnos⁴⁶.

É fácil observar que, a uma certa distância além do fim dos “portões”, os navios já poderiam fazer uso do sistema descrito na figura 7.21. Um determinado número de “portões” pode, assim, servir a um canal mais longo. Porém, ficaria faltando balizar as extremidades do canal. É muito útil para o navegante, ter a indicação da entrada de um canal estreito por meio de sinais visuais. Se necessário, essa indicação pode ser provida por uma única bóia luminosa em cada extremidade do canal, como mostrado na figura 7.23 e desta forma o canal pode ser estendido por uma distância igual ao espaçamento (S_b) entre “portões”, nas duas extremidades.

É necessário destacar que o navegante precisa da orientação provida pelo sistema muito antes da entrada do canal, com a finalidade de alinhar o rumo do navio antes de demandar o canal. Nesse momento, é feita uma compensação de qualquer desvio lateral que o navio possa ter sofrido. Este processo de alinhamento é denominado “aquisição” e a extensão de via navegável usada para este propósito é chamada de “região de aquisição”.

Na figura 7.23 esta região é igual à metade da distância (S_b) entre sinais.

⁴⁵ Ver item 7.23. O alcance efetivo de um sinal flutuante é, conservativamente, considerado como a metade do alcance luminoso de sua lanterna, para acomodar oscilações do eixo vertical do sinal e/ou do olho do observador. Esta margem de segurança permite que o alcance projetado corresponda a cerca de 50% da intensidade luminosa máxima da lanterna, acomodando variações de foco devidas ao balanço.

⁴⁶ Ver o Capítulo 4.

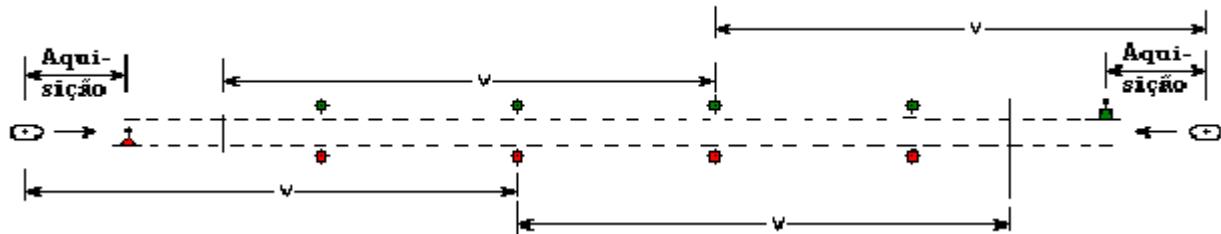


Figura 7.23— Canal balizado com Portões Duplos e Estendido com Bóias Indicadoras das Extremidades. As distâncias “V” indicam os alcances efetivos.

7.29 ALINHAMENTO COM PORTÃO DUPLO – REDUÇÃO DO Nº DE SINAIS

Como foi explicado no item precedente, o sistema de alinhamento de portão duplo requer um mínimo de 4 portões, independente da extensão do canal.

Isto significa que o sistema não é muito adequado para canais de pouca extensão. A fim de determinar se uma aplicação ligeiramente menos rigorosa não proveria resultados adequados, será examinado um sistema consistindo de apenas 3 portões (veja a figura 7.24). Um navio que se aproxima vindo da posição A, pode alinhar pelos portões 1 e 2, até alcançar a posição B. Este mesmo navio utilizará os portões 2 e 3 quando se dirigir de B para C. Mas, da posição C para D, o princípio de portão duplo não oferecerá um alinhamento tão bom, porque a distância para o portão 2 é muito pequena. Na posição D, os portões 2 e 1 são vistos, nessa ordem, olhando para a popa e, depois de passar por E, o navio poderá usar os portões 3 e 2, pela popa, para determinar sua direção. Assim, só na pequena extensão entre C e D há um falha, igual a $1,4\sqrt{S_b}$.

Pode-se considerar que, até o navio alcançar a posição C, o navegante teve tempo e oportunidade suficiente para compensar qualquer desvio lateral e manter-se em um rumo fixo, capaz de permitir a condução segura do navio de C para D, através do portão 2, contanto que não ocorra nenhuma grande mudança nas influências transversais. Além disso, um navegante treinado terá, normalmente, pouca dificuldade em guiar um navio pelo centro de um portão estreito, partindo de uma posição a uma distância pequena do mesmo, com o navio corretamente alinhado. O navegante pode conferir sua posição e seu movimento, comparando visualmente as distâncias para os sinais e suas marcações relativas, enquanto observa a agulha.

Embora se possa dizer que a sensibilidade visual do navegante, nesta fase, não seja tão alta quanto aquela provida pelo sistema de portão duplo, as consequências podem ser minimizadas devido à pouca distância envolvida. Pode-se considerar, então, que um mínimo de três portões seja praticamente tão bom quanto um mínimo de quatro, quando se aplica o princípio de portões duplos a canais relativamente pequenos.

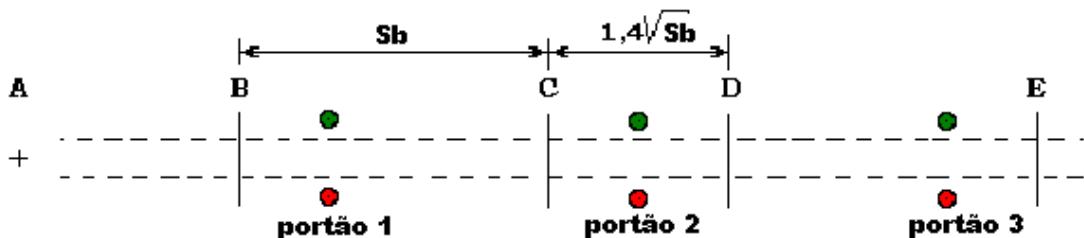


Figura 7.24— Alinhamento de Portão Duplo com três Portões para Canais Curtos.

7.30 LUZES DE SETOR

Um setor colorido provê uma indicação grosseira de rumo sem que o navegante tenha que usar a agulha. A aplicação de luzes de setor é bastante eficaz em águas estreitas e agitadas ou em situações em que o navio precisa fazer freqüentes mudanças de rumo, ocasiões em que o navegante tem pouco ou nenhum tempo para fazer marcações.

Uma luz de setor não provê marcações contínuas em todo o perímetro à sua volta, mas indica limites de marcação angular selecionados com uma precisão bastante alta (veja o Capítulo 5, itens 5.20 e 5.21). As luzes de setor são usadas, principalmente, para os seguintes propósitos:

- i) Indicação de um canal;
- ii) advertência de perigo;
- iii) indicação de uma marcação onde deverá haver mudança de rumo; e
- iv) reforço a um sistema de bóias luminosas.

7.31 INDICAÇÃO DE CANAL COM LUZ DE SETOR

Nesta aplicação, a luz de setor serve para orientar ao navegante a permanecer dentro dos limites navegáveis do canal, em lugar de manter-se no eixo do mesmo (veja a figura 7.25). Em princípio, é diferente do Alinhamento, porque não provê uma indicação proporcional de desvio lateral, nem permite ao navegante calcular a taxa de mudança de desvios transversais. Somente dá uma advertência tipo "sim-não", quando ocorre o cruzamento de um limite.

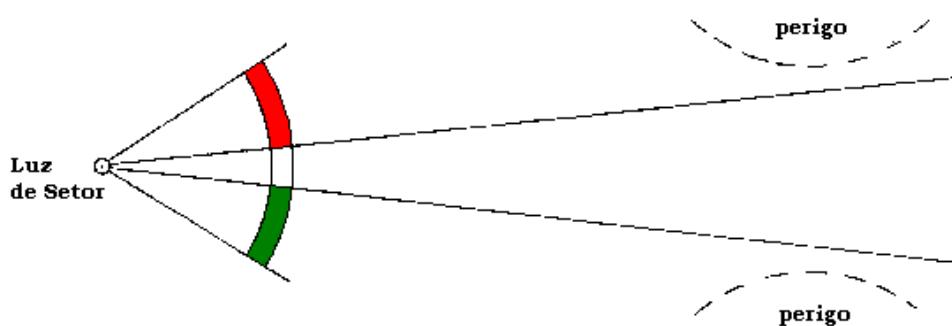


Figura 7.25— Arranjo Típico de Indicação de Canal por Luz de Setor.

Normalmente, o canal é coberto por um setor estreito de cor branca e seus limites são indicados por setores coloridos, de tal maneira que quando o navegante estiver se aproximando da luz de setor, deve manter o setor verde a bombordo e o setor encarnado a boreste⁴⁷.

Uma vez que o navio tenha entrado no setor verde ou no setor encarnado, deve voltar imediatamente ao setor branco porque não é possível determinar que distância avançou no setor colorido, nem estimar a taxa de mudança do desvio transversal. Os limites dos setores coloridos devem, por esta razão, prover espaço de manobra suficiente ao marcar os perigos. Quando o navio regressa ao setor branco, também é necessário haver espaço lateral suficiente para permitir ao navegante retomar o rumo original sem atravessar para o setor colorido oposto. Por essa razão, o setor branco não pode ser muito estreito; de qualquer maneira, é tecnicamente difícil de alcançar uma largura angular estreita por causa do tamanho finito do ângulo de incerteza⁴⁸.

Fica evidente que uma luz de setor não pode dar a precisão de navegação comparável à sensibilidade de um alinhamento convencional bem projetado. Porém, a luz de setor tem a vantagem de requerer uma única estrutura, ao passo que um alinhamento requer duas. Além disso, uma luz de setor pode indicar limites navegáveis, o que é impossível para um alinhamento convencional.

7.32 LUZ DE SETOR COM FRONTEIRA OSCILANTE

Para superar a deficiência de indicação abrupta, decorrente da transição do setor branco para um dos setores coloridos, os fabricantes de luzes de setor conceberam a “fronteira oscilante”⁴⁹, que consiste em gerar uma região de transição, na qual a luz apresenta-se alternativamente branca e colorida, indicando que o navegante está se aproximando da fronteira colorida e permitindo, assim, a correção de rumo com mais segurança. A figura 7.26 demonstra essa situação. Dentro dos setores indicados o navegante enxerga uma luz oscilante, ora branca, ora colorida. Por causa do processo empregado para geração desse efeito, a proporção entre o branco e a cor varia, aumentando o tempo de duração da luz colorida quando o navegante se aproxima da fronteira da região perigosa, e aumentando o tempo de duração da luz branca, quando o rumo segue em direção ao eixo do canal. Essa indicação aumenta ainda mais a sensação de “linearidade” da variação de posição quanto ao centro do canal. Observa-se, no entanto, que esta modificação produz um estreitamento na região central, o que deve ser considerado com cuidado.

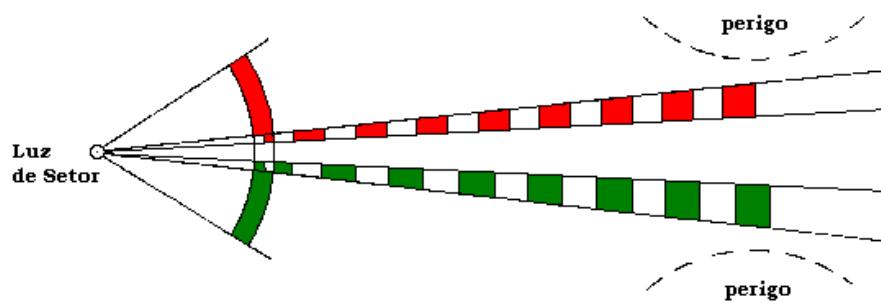


Figura 7.26 – Indicação de Canal por Luz de Setor com Fronteiras Oscilantes.

⁴⁷ Esta regra se aplica ao Brasil como um dos países que compõem o Sistema de Balizamento da IALA para a Região B. Nos países que compõem a Região A, as cores são invertidas.

⁴⁸ A precisão ótica encontrada em luzes de setor reduz esse ângulo de incerteza a alguns minutos de arco.

⁴⁹ A solução técnica consiste, geralmente, em um dispositivo eletromecânico tipo pistão, fazendo deslizar um filtro colorido em frente ao foco da luz.

APÊNDICE 1

CÁLCULO DO ALCANCE LUMINOSO POR MÉTODO ITERATIVO

A fórmula de *Newton-Raphson* é a seguinte:

$$x_{i+1} = x_i - f(x_i) / f'(x_i)$$

onde:

x_{i+1} = valor da aproximação $i + 1$ obtida pelo método

x_i = valor da aproximação i obtida pelo método (imediatamente anterior à aproximação $i + 1$)

$f(x_i)$ = função, com a incógnita substituída pelo seu valor aproximado x_i .

$f'(x_i)$ = derivada da função, com a incógnita substituída pelo seu valor aproximado x_i .

O que a fórmula geral está declarando, matematicamente é que a aproximação “ $i + 1$ ” será igual à diferença entre a aproximação anterior e a razão entre a derivada da função e a própria função naquele ponto anterior.

Para que esse processo tenha fim, é necessário prever um *erro absoluto mínimo*, que permita considerar como válido o valor calculado. Esse erro estará na forma:

$$e = |x_{i+1} - x_i|$$

As barras indicam que o erro será considerado em seu *módulo*, ou seja, desconsiderado o sinal negativo ou positivo resultante da subtração entre das duas aproximações sucessivas.

Aplicação – Cálculo do Alcance Luminoso:

Seja fixado um valor para o erro absoluto e , que definirá a precisão do cálculo. Como a grandeza que se quer conhecer é a distância D em milhas náuticas, considere-se que um valor aceitável para e seja de 0,1 MN.

Substituindo a incógnita no método, tem-se:

$$D_{i+1} = D - f(D_i) / f'(D_i)$$

Para se calcular a derivada da função (no caso, a Lei de Allard), deve-se igualar essa função a zero:

$$f(D) = ET^{-D} D^2 - I = 0$$

Calcula-se, a seguir, a derivada $f'(D)$, ou seja, deriva-se a formula em relação a D .

$$f'(D) = E(2DT^{-D} - T^{-D} \ln TD^2)$$

A fórmula completa ficará:

$$D_{i+1} = D_i - [(ET^{-D} D^2 - I) / E(2DT^{-D} - T^{-D} \ln TD^2)]$$

Exemplo numérico:

Agora, é necessário um valor inicial D_1 para iniciar o cálculo. No Capítulo 3, considerou-se uma lâmpada que emite 397,9 cd e sabe-se que 348,5 cd é a intensidade luminosa necessária para se alcançar 10 milhas náuticas. Então, $D_1 = 10$ MN é uma aproximação inicial aceitável. Lembre-se que $T = 0,85$.

1^a Iteração:

$$D_{i+1} = 10 - f(10) / f'(10)$$

$$f(10) = ET^{-D} D^2 - I = 0,686 \times 0,85^{-10} \times 100 - 397,9 = -49,45$$

$$f'(10) = E(2T^{-D}D - D^2T^{-D}\ln T) = 0,686 \times (2 \times 0,85^{-10} \times 10 - 10^2 \times 0,85^{-10} \times \ln(0,85)) = 126,32$$

$$D_{i+1} = 10 + 49,45 / 126,32 = 10,39 \text{ MN}$$

A primeira aproximação tem o valor de 10,39 MN.

Calcula-se, agora, o erro absoluto:

$$e = |x_{i+1} - x_i| = |10,39 - 10| = 0,39$$

Este erro é superior, portanto, ao valor fixado, de 0,1 MN, o que indica que é necessário continuar realizando aproximações sucessivas, agora com o valor $D_i = 10,39$

2^a Iteração:

$$f'(10,39) = 0,686 \times (2 \times 0,85^{-10,39} \times 10,39 - 0,85^{-10,39} \times \ln(0,85) \times 10,39^2) = 142,28$$

$$f(10,39) = ET^{-D} D^2 - I = 0,686 \times 0,85^{-10,39} \times 10,39^2 - 397,9 = 2,87$$

$$D_{i+1} = 10,39 - 2,87 / 142,28 = 10,37 \text{ MN}$$

Calcula-se, novamente, o erro absoluto:

$$e = |x_{i+1} - x_i| = |10,37 - 10,39| = |-0,02| = 0,02$$

Como o erro absoluto é inferior ao erro de 0,1 MN estabelecido, pode-se dizer que uma luz de 397,9 cd alcança 10,37 MN com $T = 0,85$ e $E = 0,686$.

APÊNDICE 2

GRÁFICOS DE TRANSPARÊNCIA ATMOSFÉRICA

Transparência Atmosférica Média Anual – Estações Climatológicas da DHN

Estação – Ponta do Céu

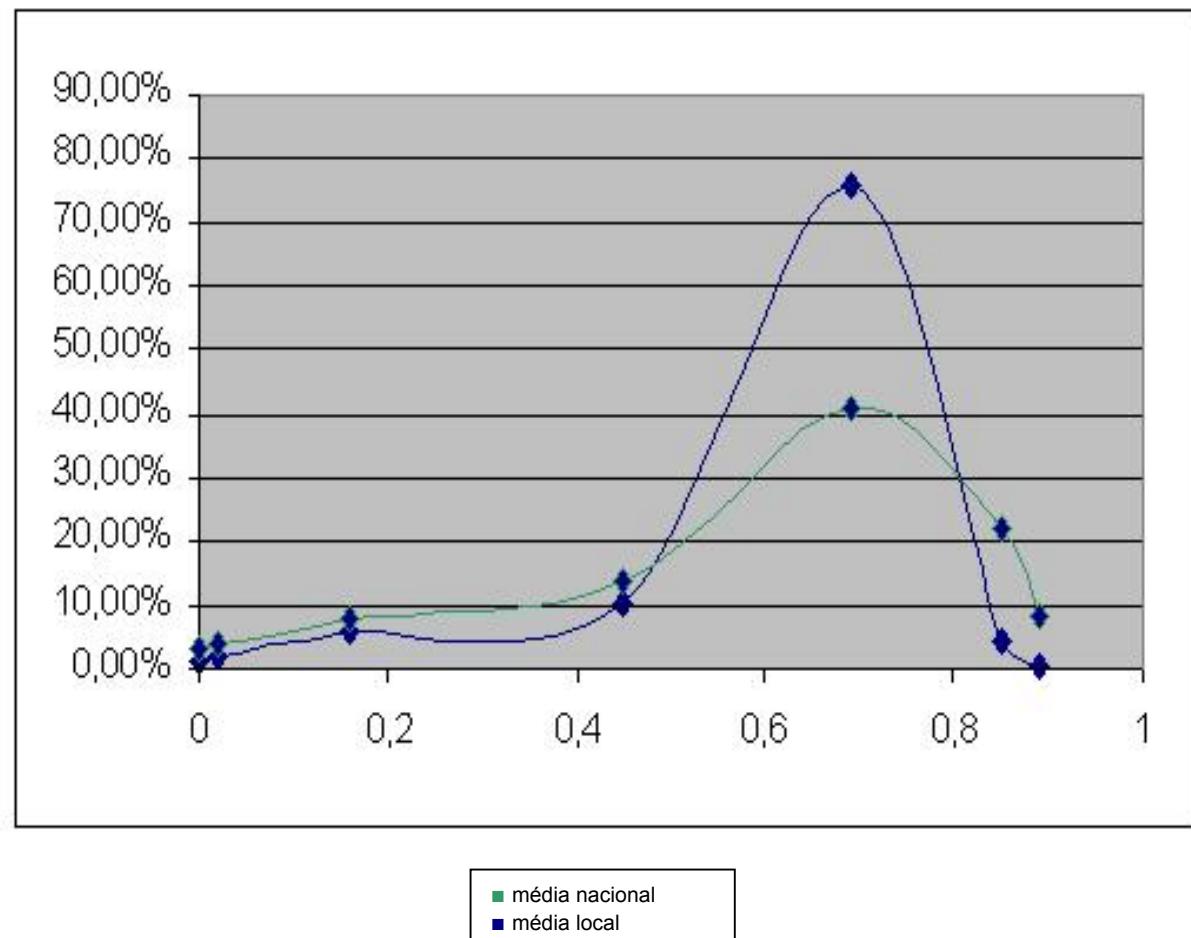
 $\phi = 00^{\circ}46' N$ $\lambda = 050^{\circ}06' W$ **Tabela de observações consolidadas**

Visibilidade Observada	Nº de ocorrências	Transparência Atmosférica Média (T)	Porcentagem das ocorrências
< 50 m	12	0	0,03%
50 a 200 m	0	0	0,00%
200 a 500m	15	0	0,04%
500m a 1 km	529	0	1,50%
Soma ocorrências T = 0		0	1,58%
1 a 2 km	595	0,02	1,69%
2 a 4 km	2053	0,16	5,82%
4 a 10 km	3666	0,45	10,39%
10 a 20 km	26740	0,69	75,79%
20 a 50 km	1550	0,85	4,39%
> 50 km	124	0,89	0,35%
Total de obs:	35284	–	100,00%

Obs: os valores em azul correspondem aos pontos plotados na curva ao lado, sendo:

Eixo X: valores de T

Eixo Y: Percentuais de T



Transparência Atmosférica Média Anual – Estações Climatológicas da DHN

Estação – Canivete

 $\phi = 00^{\circ}51' N$ $\lambda = 050^{\circ}25' W$

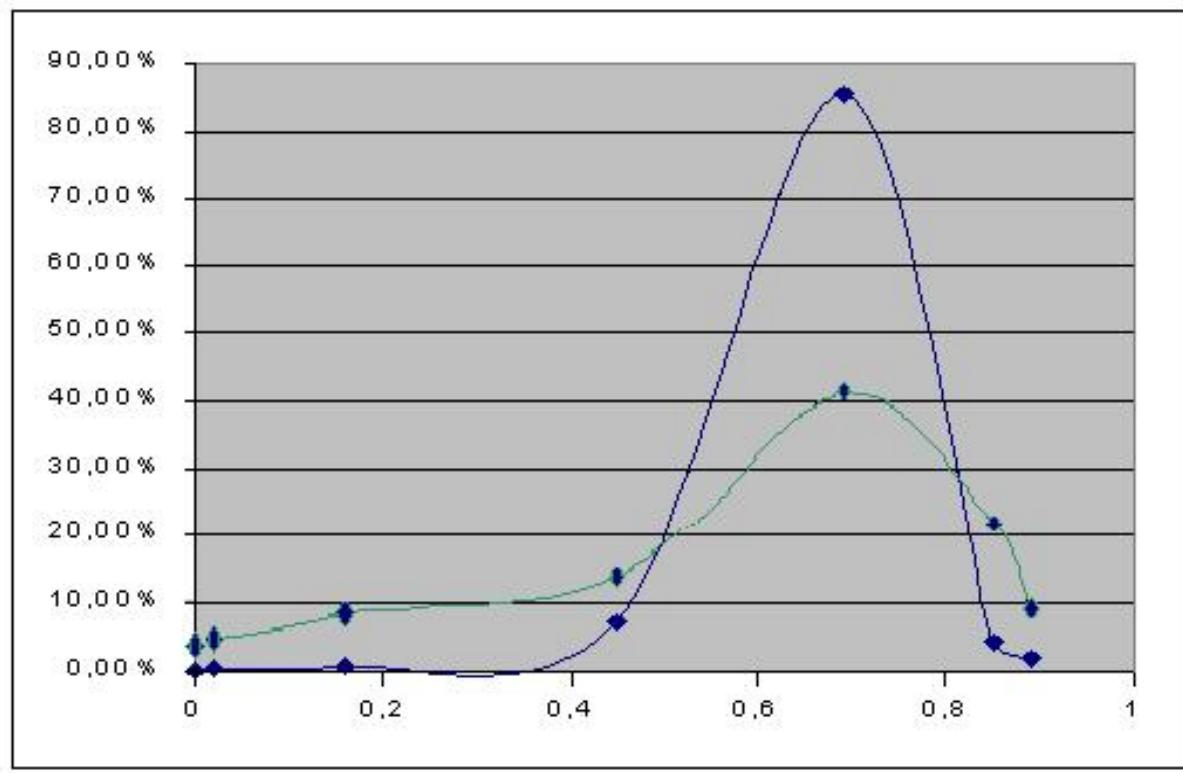
Tabela de observações consolidadas

Visibilidade Observada	Nº de ocorrências	Transparência Atmosférica Média (T)	Porcentagem das ocorrências
< 50 m	0	0	0,00%
50 a 200 m	0	0	0,00%
200 a 500m	2	0	0,09%
500m a 1 km	1	0	0,04%
Soma ocorrências T = 0		0	0,13%
1 a 2 km	5	0,02	0,22%
2 a 4 km	20	0,16	0,88%
4 a 10 km	164	0,45	7,21%
10 a 20 km	1943	0,69	85,37%
20 a 50 km	97	0,85	4,26%
> 50 km	44	0,89	1,93%
Total de obs:	2276	–	100,00%

Obs: os valores em azul correspondem aos pontos plotados na curva ao lado, sendo:

Eixo X: valores de T

Eixo Y: Percentuais de T



■ média nacional
■ média local

Transparência Atmosférica Média Anual – Estações Climatológicas da DHN
Estação – Salinópolis
 $\varphi = 00^{\circ}37' S$ $\lambda = 047^{\circ}21' W$

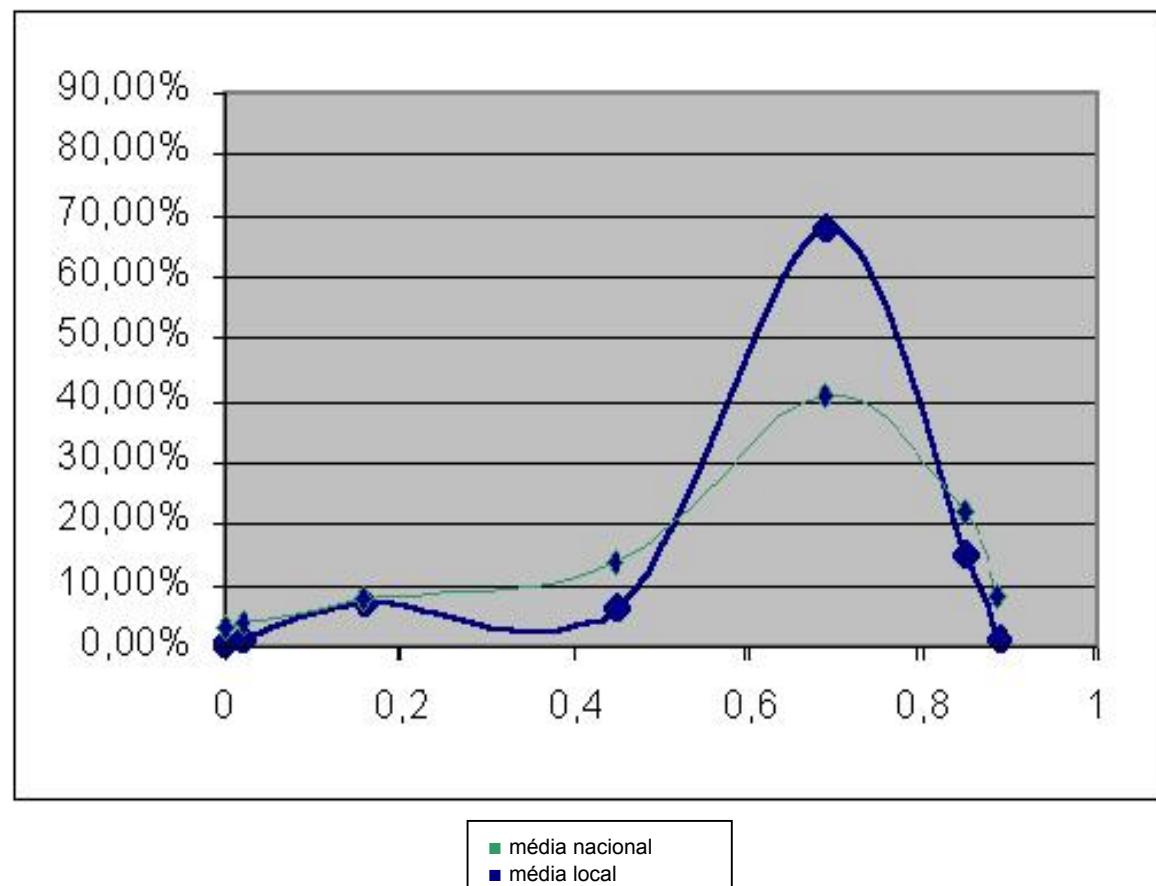
Tabela de observações consolidadas

Visibilidade Observada	Nº de ocorrências	Transparência Atmosférica Média (T)	Porcentagem das ocorrências
< 50 m	11	0	0,04%
50 a 200 m	0	0	0,00%
200 a 500m	8	0	0,03%
500m a 1 km	164	0	0,66%
Soma ocorrências T = 0		0	0,74%
1 a 2 km	383	0,02	1,54%
2 a 4 km	1717	0,16	6,90%
4 a 10 km	1677	0,45	6,74%
10 a 20 km	16917	0,69	68,03%
20 a 50 km	3651	0,85	14,68%
> 50 km	339	0,89	1,36%
Total de obs:	24867	–	100,00%

Obs: os valores em azul correspondem aos pontos plotados na curva ao lado, sendo:

Eixo X: valores de T

Eixo Y: Percentuais de T



Transparência Atmosférica Média Anual – Estações Climatológicas da DHN

Estação – Santana

 $\phi = 02^{\circ}16' S$ $\lambda = 043^{\circ}37' W$

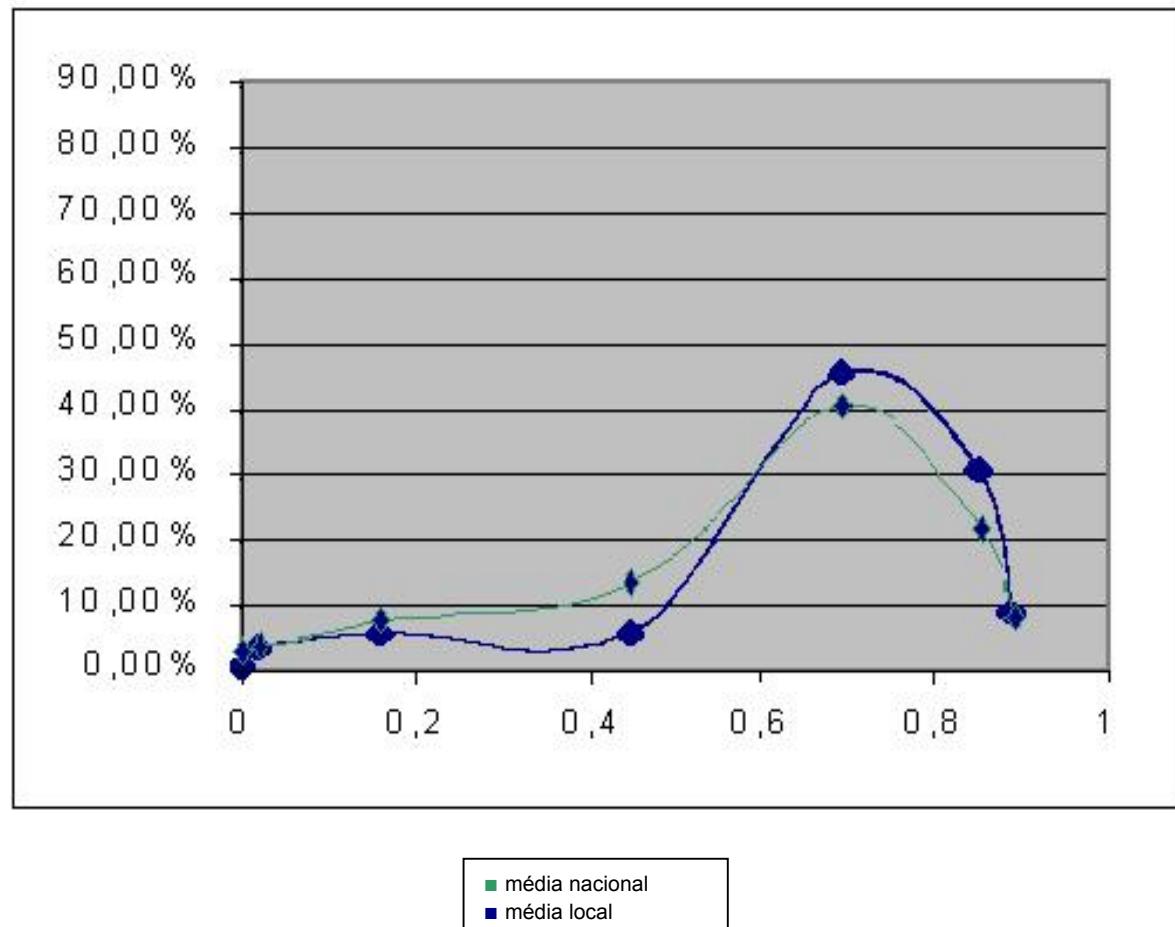
Tabela de observações consolidadas

Visibilidade Observada	Nº de ocorrências	Transparência Atmosférica Média (T)	Porcentagem das ocorrências
< 50 m	12	0	0,05%
50 a 200 m	7	0	0,03%
200 a 500m	27	0	0,12%
500m a 1 km	139	0	0,61%
Soma ocorrências T = 0		0	0,81%
1 a 2 km	702	0,02	3,08%
2 a 4 km	1303	0,16	5,71%
4 a 10 km	1306	0,45	5,73%
10 a 20 km	10348	0,69	45,38%
20 a 50 km	6932	0,85	30,40%
> 50 km	2029	0,89	8,90%
Total de obs:	22805	–	100,00%

Obs: os valores em azul correspondem aos pontos plotados na curva ao lado, sendo:

Eixo X: valores de T

Eixo Y: Percentuais de T



Transparência Atmosférica Média Anual – Estações Climatológicas da DHN

Estação – Calcanhar

 $\phi = 05^{\circ}10' S$ $\lambda = 035^{\circ}29' W$

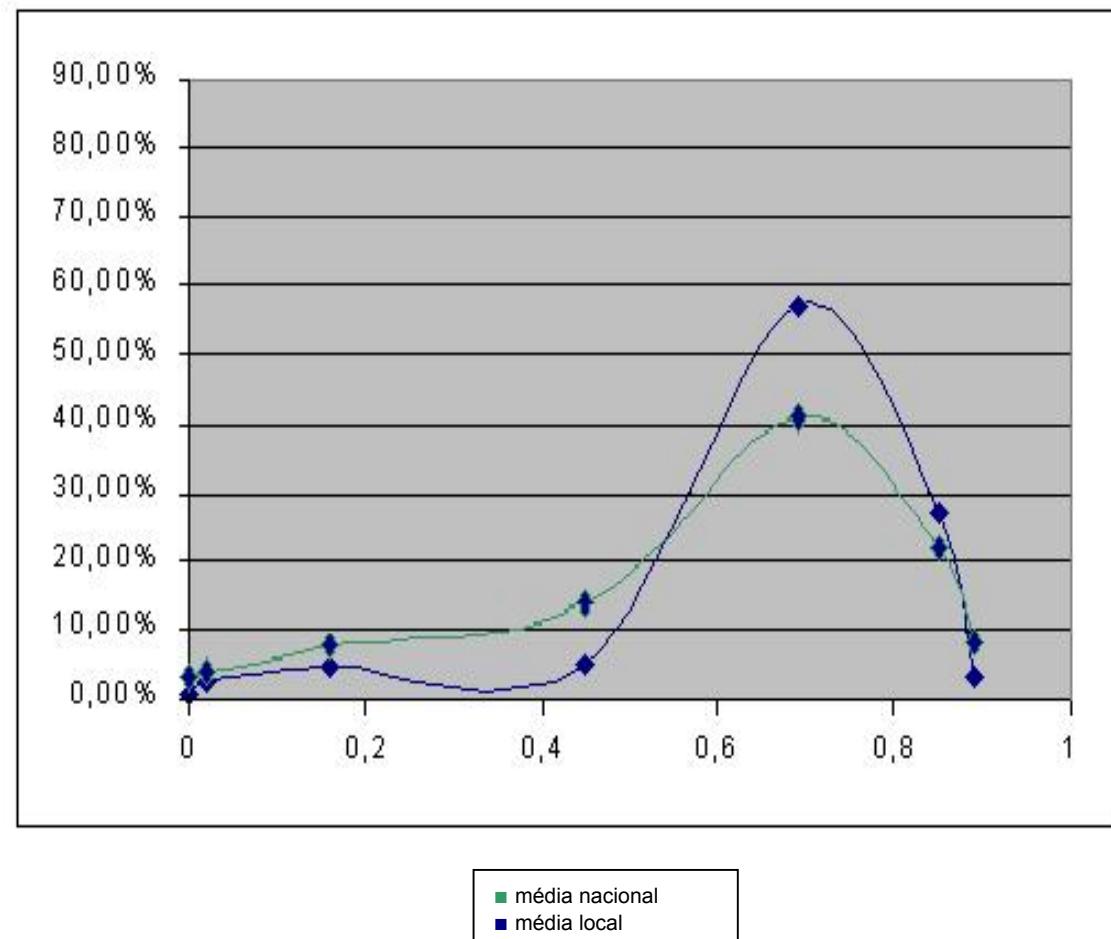
Tabela de observações consolidadas

Visibilidade Observada	Nº de ocorrências	Transparência Atmosférica Média (T)	Porcentagem das ocorrências
< 50 m	9	0	0,03%
50 a 200 m	4	0	0,02%
200 a 500m	15	0	0,06%
500m a 1 km	129	0	0,49%
Soma ocorrências T = 0		0	0,60%
1 a 2 km	672	0,02	2,57%
2 a 4 km	1233	0,16	4,72%
4 a 10 km	1351	0,45	5,17%
10 a 20 km	14885	0,69	56,96%
20 a 50 km	7021	0,85	26,87%
> 50 km	813	0,89	3,11%
Total de obs:	26132	–	100,00%

Obs: os valores em azul correspondem aos pontos plotados na curva ao lado, sendo:

Eixo X: valores de T

Eixo Y: Percentuais de T



Transparência Atmosférica Média Anual – Estações Climatológicas da DHN

Estação – Abrolhos

$$\varphi = 17^\circ 58' \text{ S} \quad \lambda = 038^\circ 42' \text{ W}$$

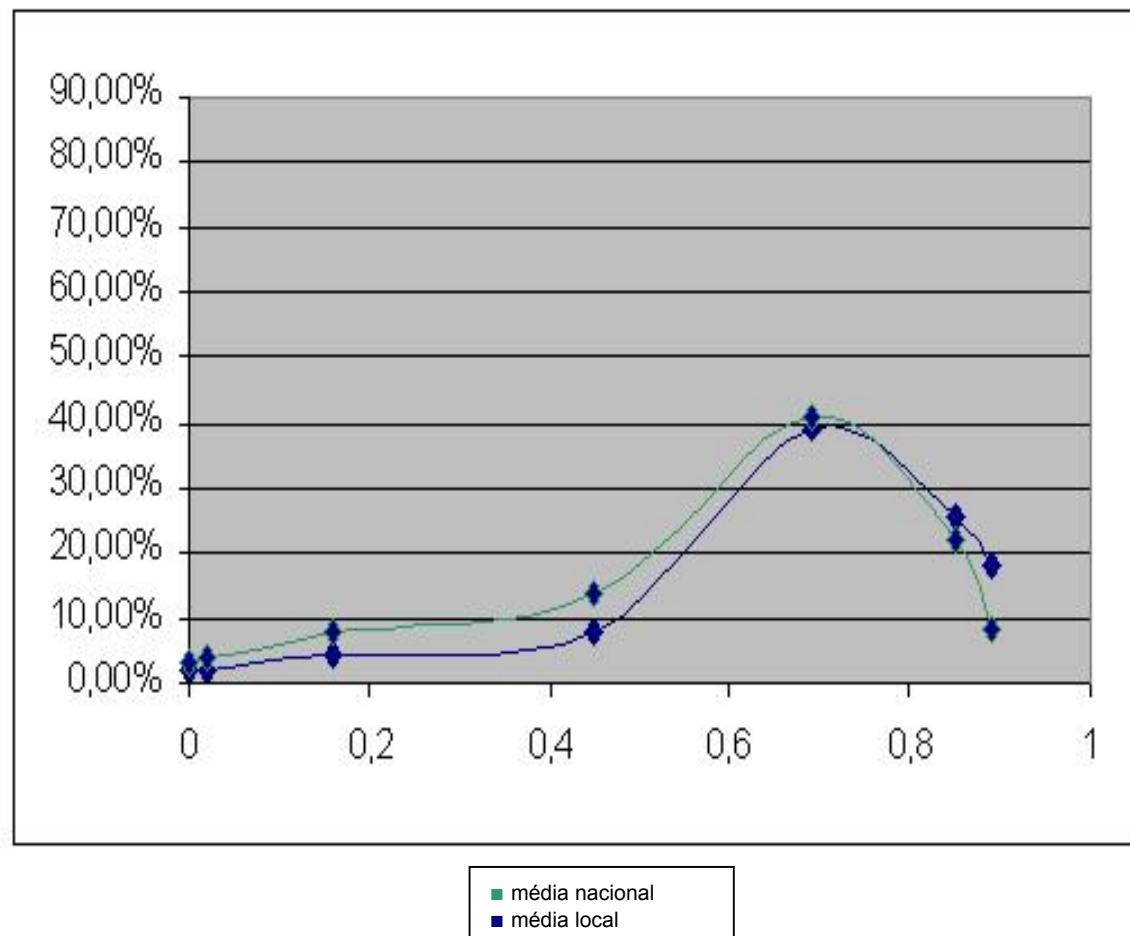
Tabela de observações consolidadas

Visibilidade Observada	Nº de ocorrências	Transparência Atmosférica Média (T)	Porcentagem das ocorrências
< 50 m	52	0	0,11%
50 a 200 m	82	0	0,17%
200 a 500m	190	0	0,40%
500m a 1 km	688	0	1,45%
Soma ocorrências T = 0		0	2,13%
1 a 2 km	1044	0,02	2,19%
2 a 4 km	2253	0,16	4,74%
4 a 10 km	3658	0,45	7,69%
10 a 20 km	18719	0,69	39,35%
20 a 50 km	12217	0,85	25,68%
> 50 km	8665	0,89	18,22%
Total de obs:	47568	—	100,00%

Obs: os valores em azul correspondem aos pontos plotados na curva ao lado, sendo:

Eixo X: valores de T

Eixo Y: Percentuais de T



Transparência Atmosférica Média Anual – Estações Climatológicas da DHN

Estação – POIT

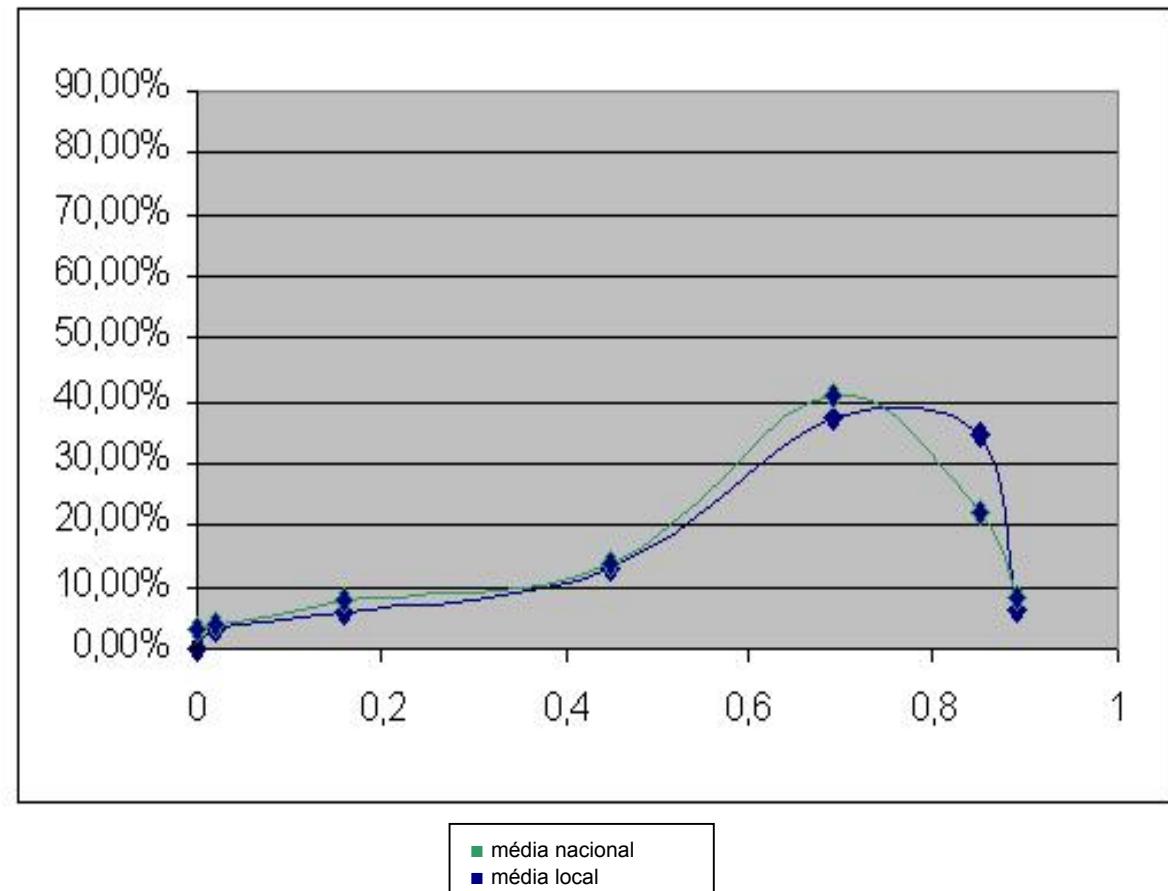
 $\phi = 20^{\circ}30' S$ $\lambda = 029^{\circ}19' W$

Tabela de observações consolidadas

Visibilidade Observada	Nº de ocorrências	Transparência Atmosférica Média (T)	Porcentagem das ocorrências
< 50 m	46	0	0,05%
50 a 200 m	8	0	0,01%
200 a 500m	25	0	0,03%
500m a 1 km	119	0	0,14%
Soma ocorrências T = 0		0	0,23%
1 a 2 km	2724	0,02	3,10%
2 a 4 km	4865	0,16	5,55%
4 a 10 km	11569	0,45	13,19%
10 a 20 km	32392	0,69	36,92%
20 a 50 km	30542	0,85	34,81%
> 50 km	5445	0,89	6,21%
Total de obs:	87735	–	100,00%

Obs: os valores em azul correspondem aos pontos plotados na curva ao lado, sendo:

Eixo X: valores de T
Eixo Y: Percentuais de T



Transparência Atmosférica Média Anual – Estações Climatológicas da DHN

Estação – São Tomé

 $\phi = 22^{\circ}03' S$ $\lambda = 041^{\circ}03' W$

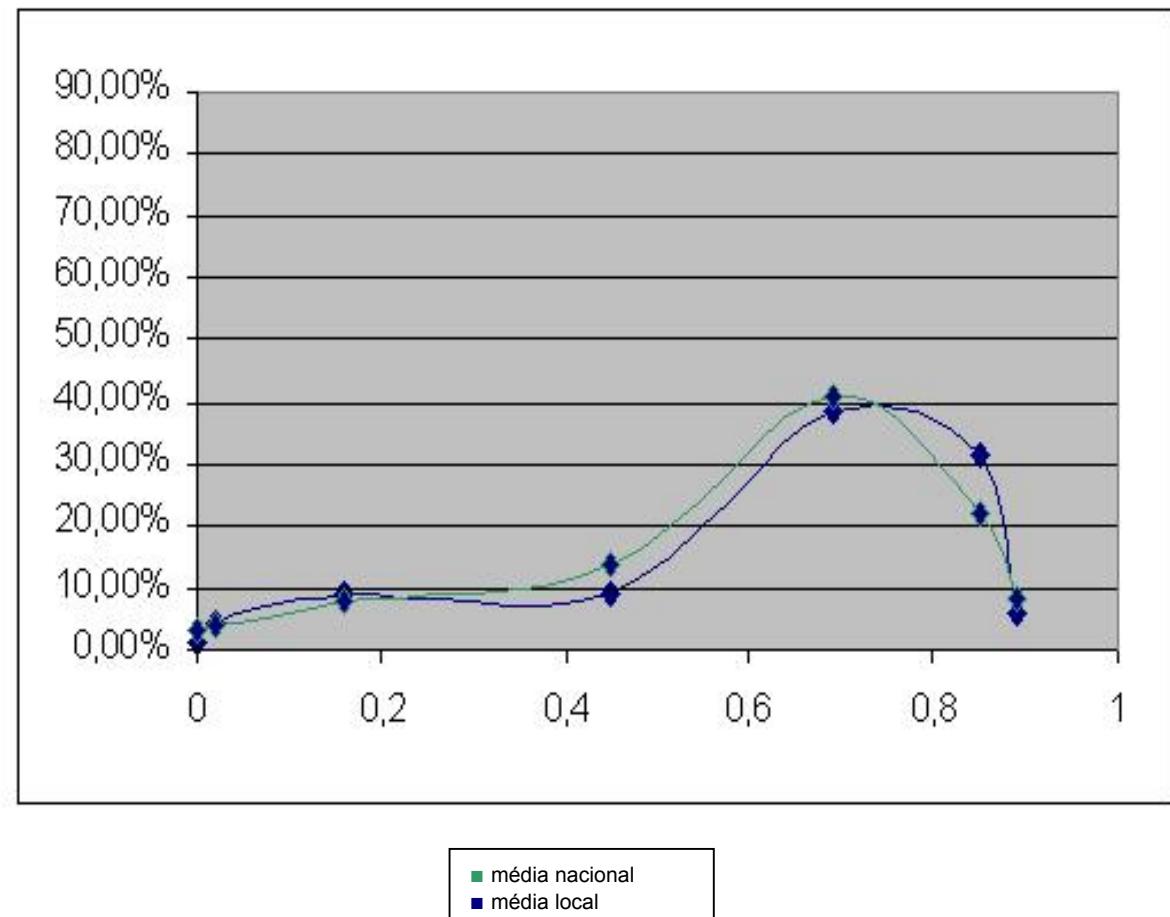
Tabela de observações consolidadas

Visibilidade Observada	Nº de ocorrências	Transparência Atmosférica Média (T)	Porcentagem das ocorrências
< 50 m	7	0	0,01%
50 a 200 m	18	0	0,04%
200 a 500m	172	0	0,36%
500m a 1 km	505	0	1,06%
Soma ocorrências T = 0		0	1,47%
1 a 2 km	2151	0,02	4,52%
2 a 4 km	4263	0,16	8,95%
4 a 10 km	4380	0,45	9,20%
10 a 20 km	18380	0,69	38,59%
20 a 50 km	15016	0,85	31,53%
> 50 km	2740	0,89	5,75%
Total de obs:	47632	–	100,00%

Obs: os valores em azul correspondem aos pontos plotados na curva ao lado, sendo:

Eixo X: valores de T

Eixo Y: Percentuais de T



Transparência Atmosférica Média Anual – Estações Climatológicas da DHN

Estação – São Pedro d'Aldeia

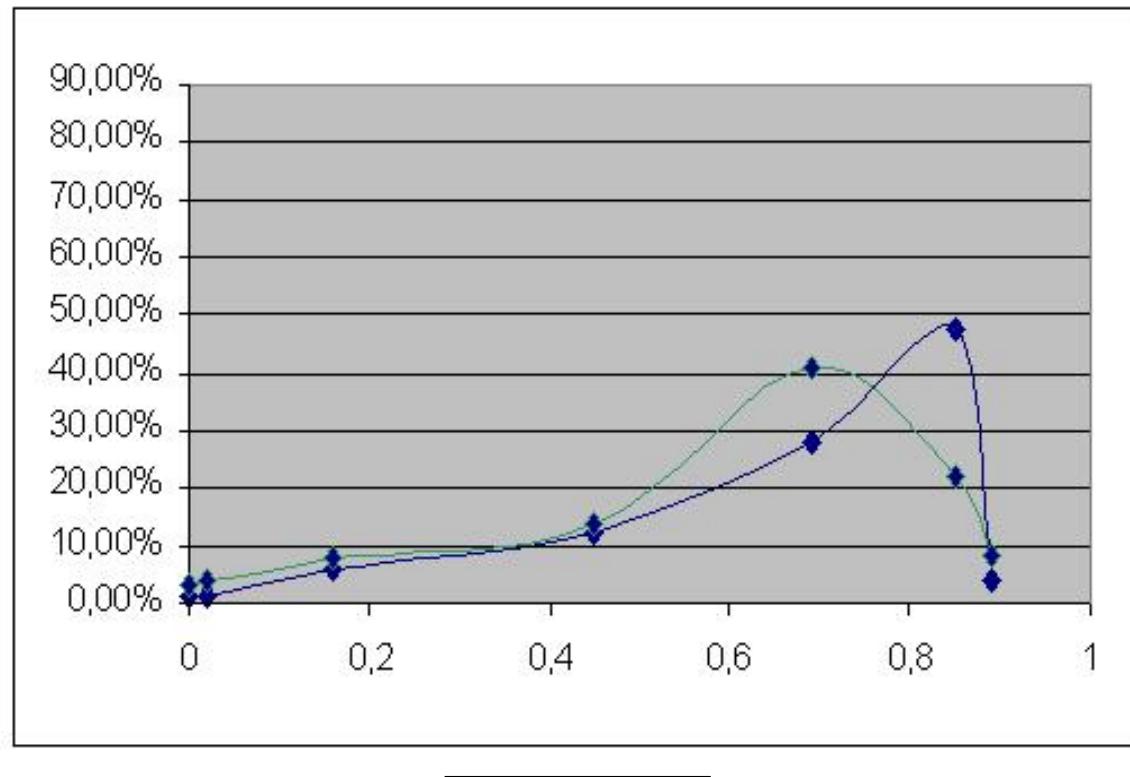
 $\varphi = 22^{\circ}49' S$ $\lambda = 042^{\circ}06' W$

Tabela de observações consolidadas

Visibilidade Observada	Nº de ocorrências	Transparência Atmosférica Média (T)	Porcentagem das ocorrências
< 50 m	30	0	0,07%
50 a 200 m	64	0	0,15%
200 a 500m	80	0	0,19%
500m a 1 km	296	0	0,69%
Soma ocorrências T = 0		0	1,09%
1 a 2 km	640	0,02	1,48%
2 a 4 km	2439	0,16	5,65%
4 a 10 km	5374	0,45	12,44%
10 a 20 km	12047	0,69	27,89%
20 a 50 km	20507	0,85	47,48%
> 50 km	1718	0,89	3,98%
Total de obs:	43195	–	100,00%

Obs: os valores em azul correspondem aos pontos plotados na curva ao lado, sendo:

Eixo X: valores de T
 Eixo Y: Percentuais de T



Transparência Atmosférica Média Anual – Estações Climatológicas da DHN

Estação – Cabo Frio

 $\phi = 22^{\circ}52' S$ $\lambda = 042^{\circ}01' W$

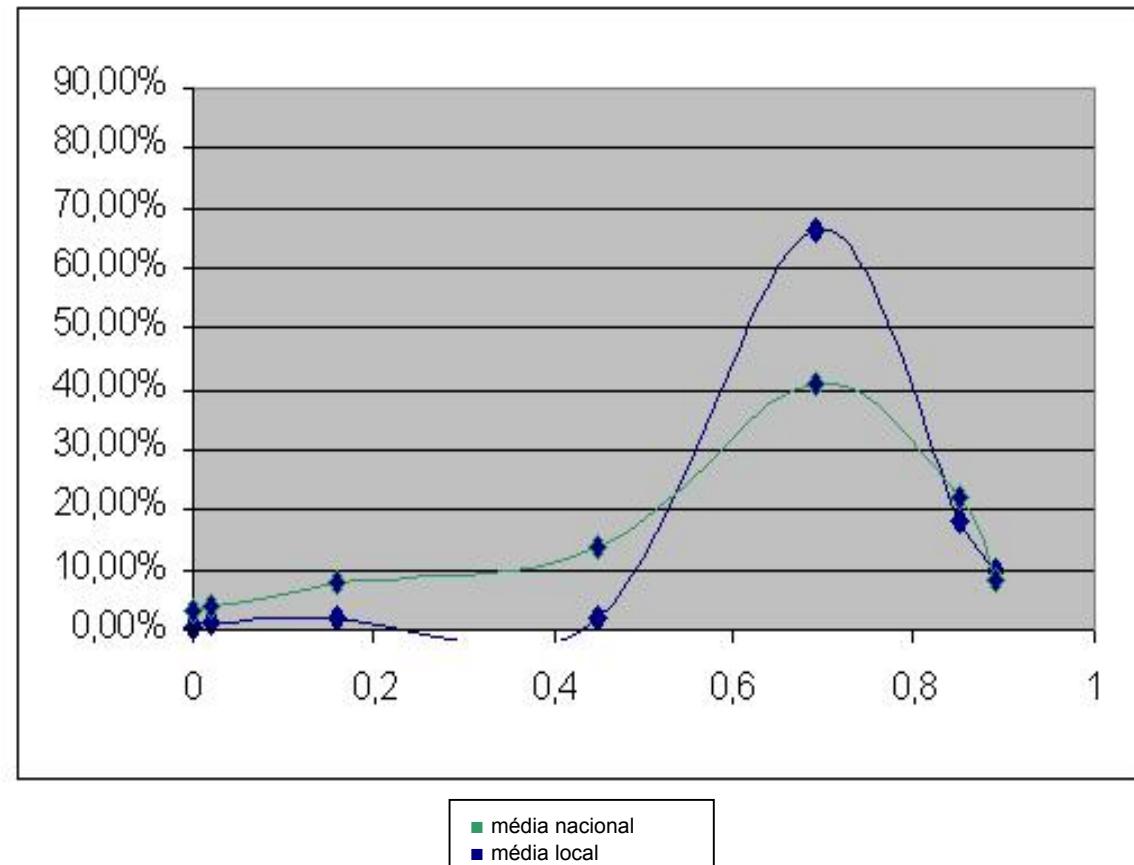
Tabela de observações consolidadas

Visibilidade Observada	Nº de ocorrências	Transparência Atmosférica Média (T)	Porcentagem das ocorrências
< 50 m	5	0	0,03%
50 a 200 m	8	0	0,04%
200 a 500m	18	0	0,10%
500m a 1 km	71	0	0,39%
Soma ocorrências T = 0		0	0,57%
1 a 2 km	199	0,02	1,11%
2 a 4 km	354	0,16	1,97%
4 a 10 km	318	0,45	1,77%
10 a 20 km	12008	0,69	66,70%
20 a 50 km	3304	0,85	18,35%
> 50 km	1719	0,89	9,55%
Total de obs:	18004	–	100,00%

Obs: os valores em azul correspondem aos pontos plotados na curva ao lado, sendo:

Eixo X: valores de T

Eixo Y: Percentuais de T



Transparência Atmosférica Média Anual – Estações Climatológicas da DHN

Estação – DHN

 $\phi = 22^{\circ}53' S$ $\lambda = 043^{\circ}08' W$

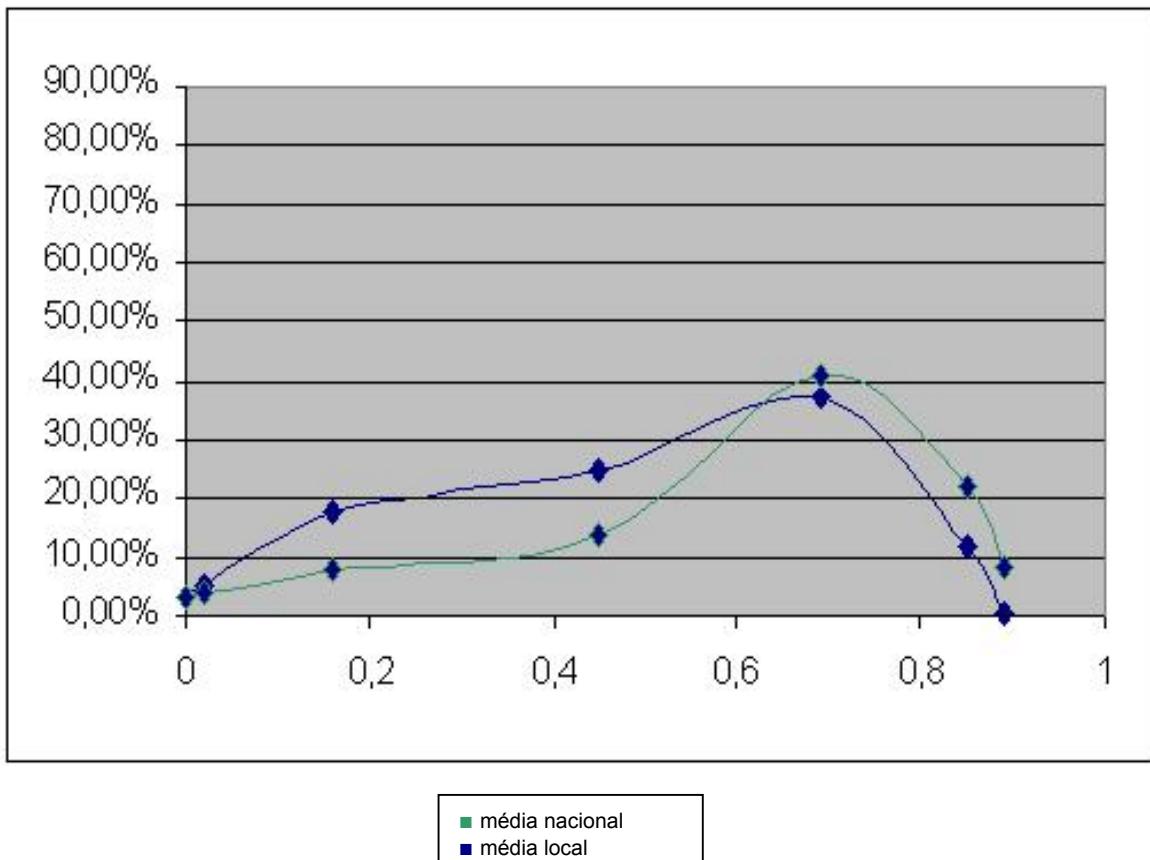
Tabela de observações consolidadas

Visibilidade Observada	Nº de ocorrências	Transparência Atmosférica Média (T)	Porcentagem das ocorrências
< 50 m	50	0	0,08%
50 a 200 m	34	0	0,05%
200 a 500m	110	0	0,18%
500m a 1 km	1686	0	2,71%
Soma ocorrências T = 0		0	
1 a 2 km	3132	0,02	5,03%
2 a 4 km	10994	0,16	17,64%
4 a 10 km	15327	0,45	24,59%
10 a 20 km	23152	0,69	37,15%
20 a 50 km	7248	0,85	11,63%
> 50 km	587	0,89	0,94%
Total de obs:	62320	–	100,00%

Obs: os valores em azul correspondem aos pontos plotados na curva ao lado, sendo:

Eixo X: valores de T

Eixo Y: Percentuais de T



Transparência Atmosférica Média Anual – Estações Climatológicas da DHN

Estação – IPqM

 $\varphi = 23^{\circ}06' S$ $\lambda = 042^{\circ}00' W$

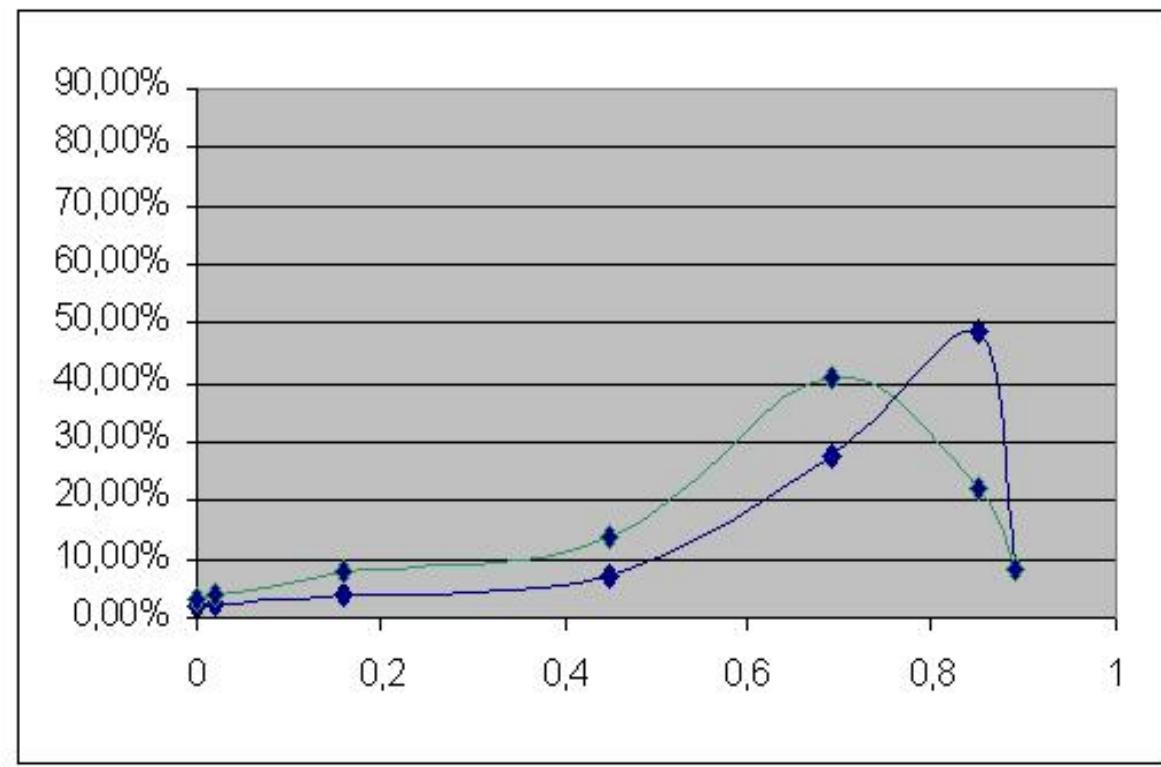
Tabela de observações consolidadas

Visibilidade Observada	Nº de ocorrências	Transparência Atmosférica Média (T)	Porcentagem das ocorrências
< 50 m	2	0	0,09%
50 a 200 m	2	0	0,09%
200 a 500m	2	0	0,09%
500m a 1 km	34	0	1,48%
Soma ocorrências T = 0		0	1,75%
1 a 2 km	56	0,02	2,44%
2 a 4 km	87	0,16	3,80%
4 a 10 km	167	0,45	7,29%
10 a 20 km	621	0,69	27,11%
20 a 50 km	1124	0,85	49,06%
> 50 km	196	0,89	8,56%
Total de obs:	2291	–	100,00%

Obs: os valores em azul correspondem aos pontos plotados na curva ao lado, sendo:

Eixo X: valores de T

Eixo Y: Percentuais de T



■ média nacional
■ média local

Transparência Atmosférica Média Anual – Estações Climatológicas da DHN

Estação – Ilha Rasa

 $\phi = 23^{\circ}04' S$ $\lambda = 043^{\circ}09' W$

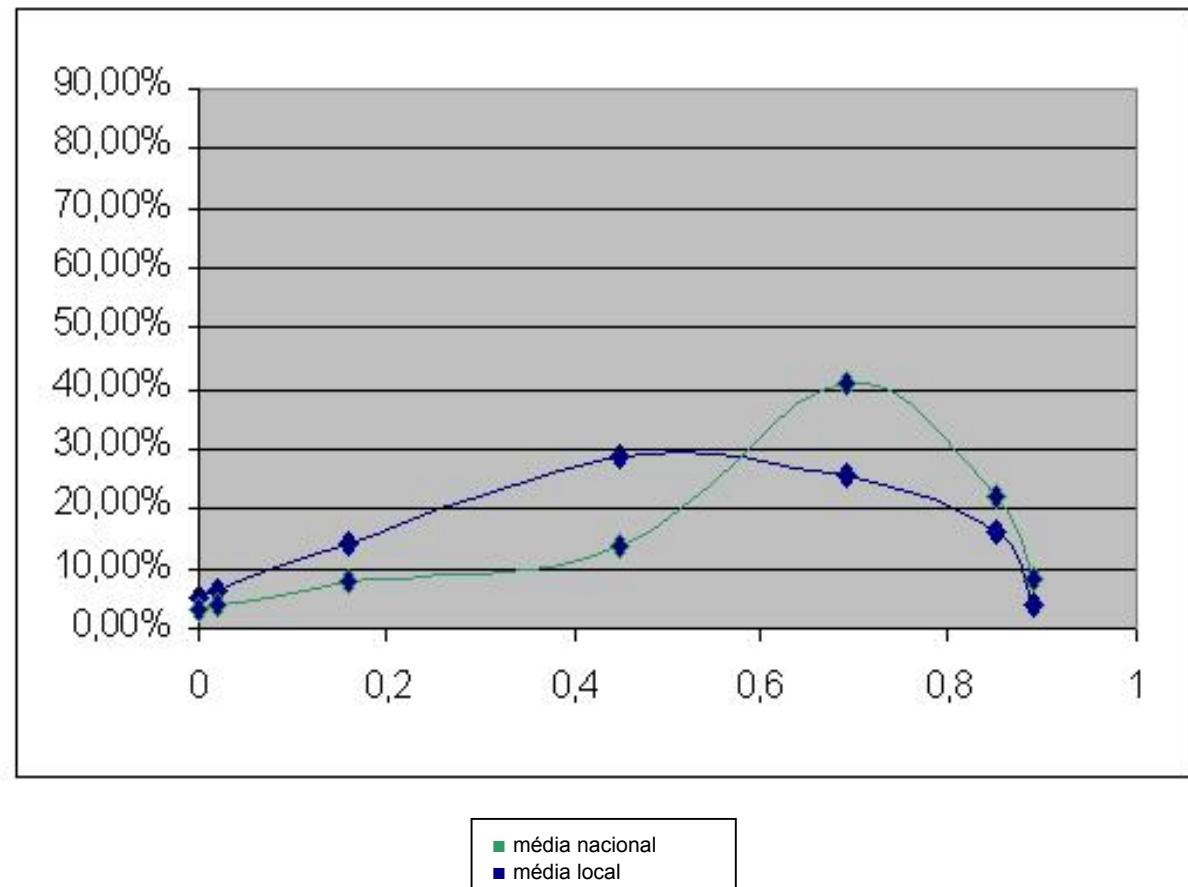
Tabela de observações consolidadas

Visibilidade Observada	Nº de ocorrências	Transparência Atmosférica Média (T)	Porcentagem das ocorrências
< 50 m	92	0	0,18%
50 a 200 m	100	0	0,20%
200 a 500m	253	0	0,50%
500m a 1 km	2301	0	4,51%
Soma ocorrências T = 0		0	5,39%
1 a 2 km	3295	0,02	6,46%
2 a 4 km	7282	0,16	14,28%
4 a 10 km	14512	0,45	28,46%
10 a 20 km	12971	0,69	25,44%
20 a 50 km	8185	0,85	16,05%
> 50 km	2001	0,89	3,92%
Total de obs:	50992	–	100,00%

Obs: os valores em azul correspondem aos pontos plotados na curva ao lado, sendo:

Eixo X: valores de T

Eixo Y: Percentuais de T



Transparência Atmosférica Média Anual – Estações Climatológicas da DHN

Estação – São Sebastião

 $\phi = 23^{\circ}48' S$ $\lambda = 045^{\circ}24' W$

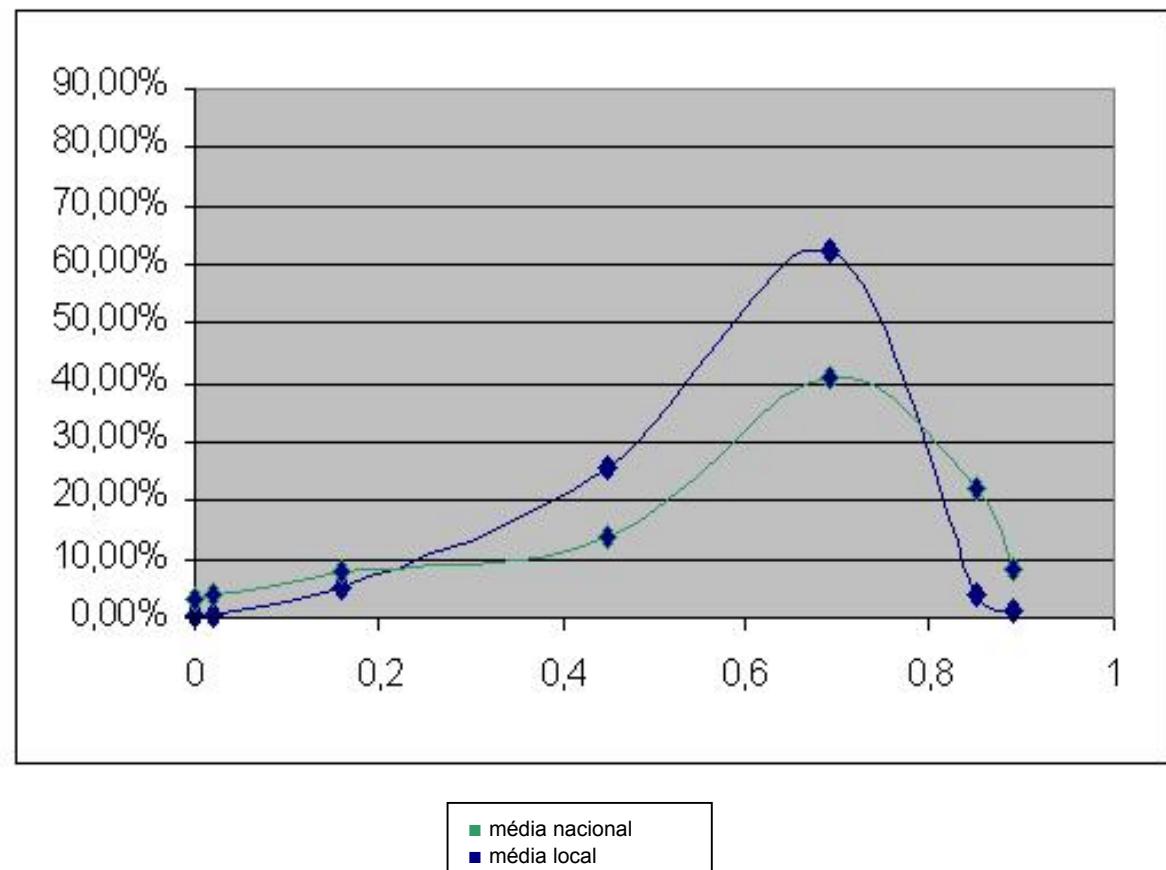
Tabela de observações consolidadas

Visibilidade Observada	Nº de ocorrências	Transparência Atmosférica Média (T)	Porcentagem das ocorrências
< 50 m	20	0	0,05%
50 a 200 m	7	0	0,02%
200 a 500m	14	0	0,03%
500m a 1 km	158	0	0,36%
Soma ocorrências T = 0		0	0,46%
1 a 2 km	274	0,02	0,63%
2 a 4 km	2263	0,16	5,18%
4 a 10 km	11250	0,45	25,73%
10 a 20 km	27352	0,69	62,56%
20 a 50 km	1836	0,85	4,20%
> 50 km	550	0,89	1,26%
Total de obs:	43724	–	100,00%

Obs: os valores em azul correspondem aos pontos plotados na curva ao lado, sendo:

Eixo X: valores de T

Eixo Y: Percentuais de T



Transparência Atmosférica Média Anual – Estações Climatológicas da DHN

Estação – Moela

 $\phi = 24^{\circ}03' S$ $\lambda = 046^{\circ}16' W$

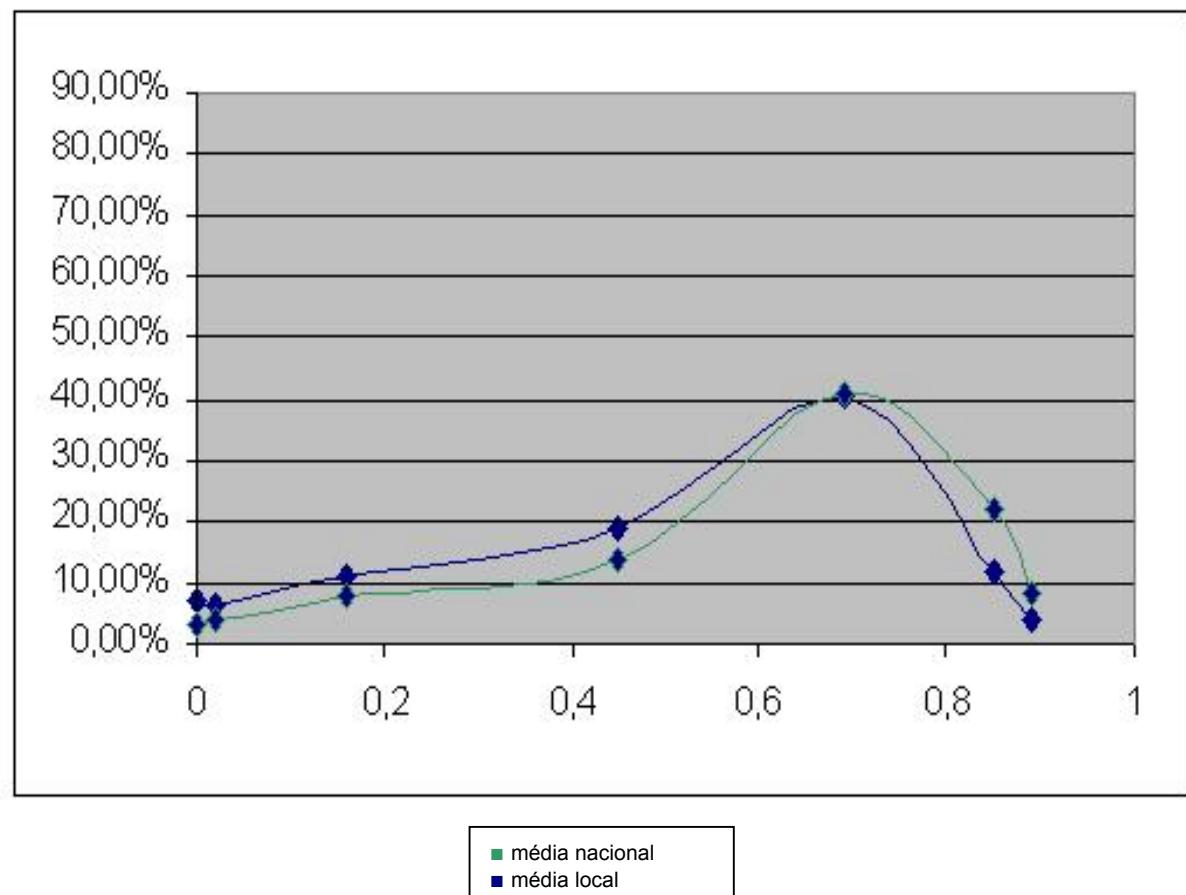
Tabela de observações consolidadas

Visibilidade Observada	Nº de ocorrências	Transparência Atmosférica Média (T)	Porcentagem das ocorrências
< 50 m	277	0	0,54%
50 a 200 m	241	0	0,47%
200 a 500m	805	0	1,57%
500m a 1 km	2398	0	4,69%
Soma ocorrências T = 0		0	7,28%
1 a 2 km	3391	0,02	6,63%
2 a 4 km	5722	0,16	11,19%
4 a 10 km	9706	0,45	18,98%
10 a 20 km	20602	0,69	40,29%
20 a 50 km	5949	0,85	11,63%
> 50 km	2045	0,89	4,00%
Total de obs:	51136	–	100,00%

Obs: os valores em azul correspondem aos pontos plotados na curva ao lado, sendo:

Eixo X: valores de T

Eixo Y: Percentuais de T



Transparência Atmosférica Média Anual – Estações Climatológicas da DHN

Estação – Ilha do Mel

 $\phi = 25^{\circ}29' S$ $\lambda = 048^{\circ}19' W$

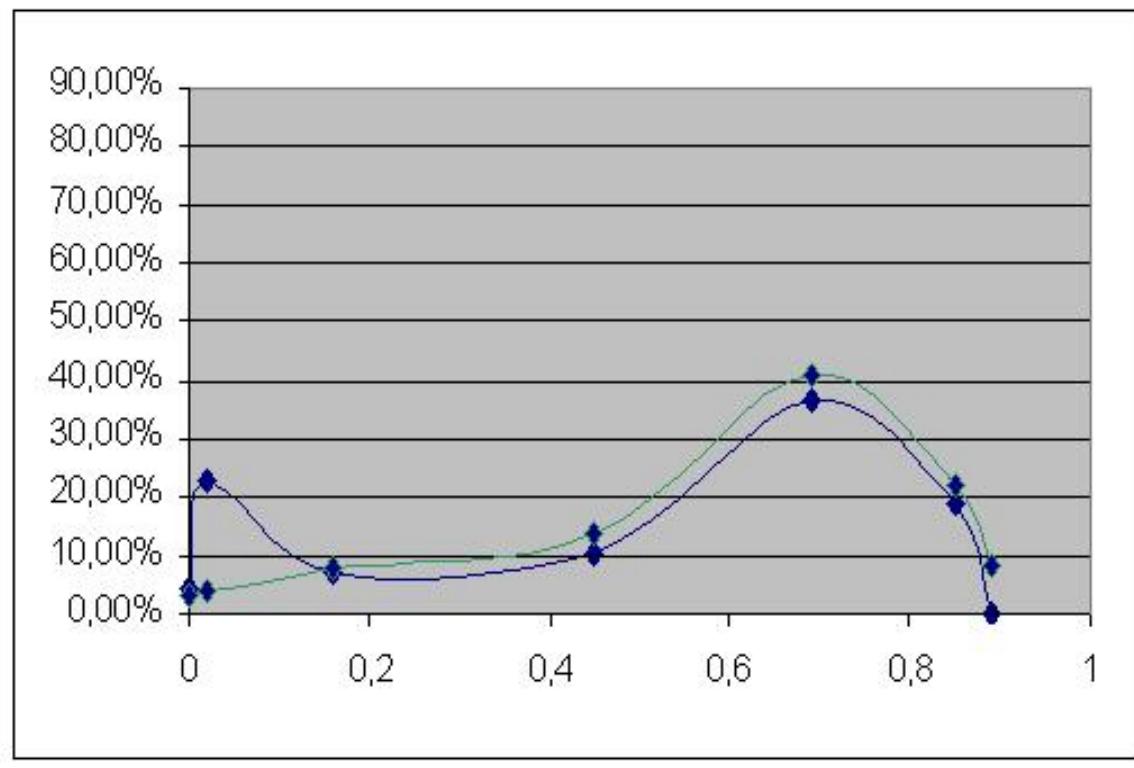
Tabela de observações consolidadas

Visibilidade Observada	Nº de ocorrências	Transparência Atmosférica Média (T)	Porcentagem das ocorrências
< 50 m	1	0	0,04%
50 a 200 m	1	0	0,04%
200 a 500m	0	0	0,00%
500m a 1 km	106	0	4,24%
Soma ocorrências T = 0		0	4,32%
1 a 2 km	571	0,02	22,82%
2 a 4 km	181	0,16	7,23%
4 a 10 km	253	0,45	10,11%
10 a 20 km	915	0,69	36,57%
20 a 50 km	473	0,85	18,90%
> 50 km	1	0,89	0,04%
Total de obs:	2502	–	100,00%

Obs: os valores em azul correspondem aos pontos plotados na curva ao lado, sendo:

Eixo X: valores de T

Eixo Y: Percentuais de T



Transparência Atmosférica Média Anual – Estações Climatológicas da DHN

Estação – Arvoredo

 $\phi = 27^{\circ}18' S$ $\lambda = 048^{\circ}21' W$

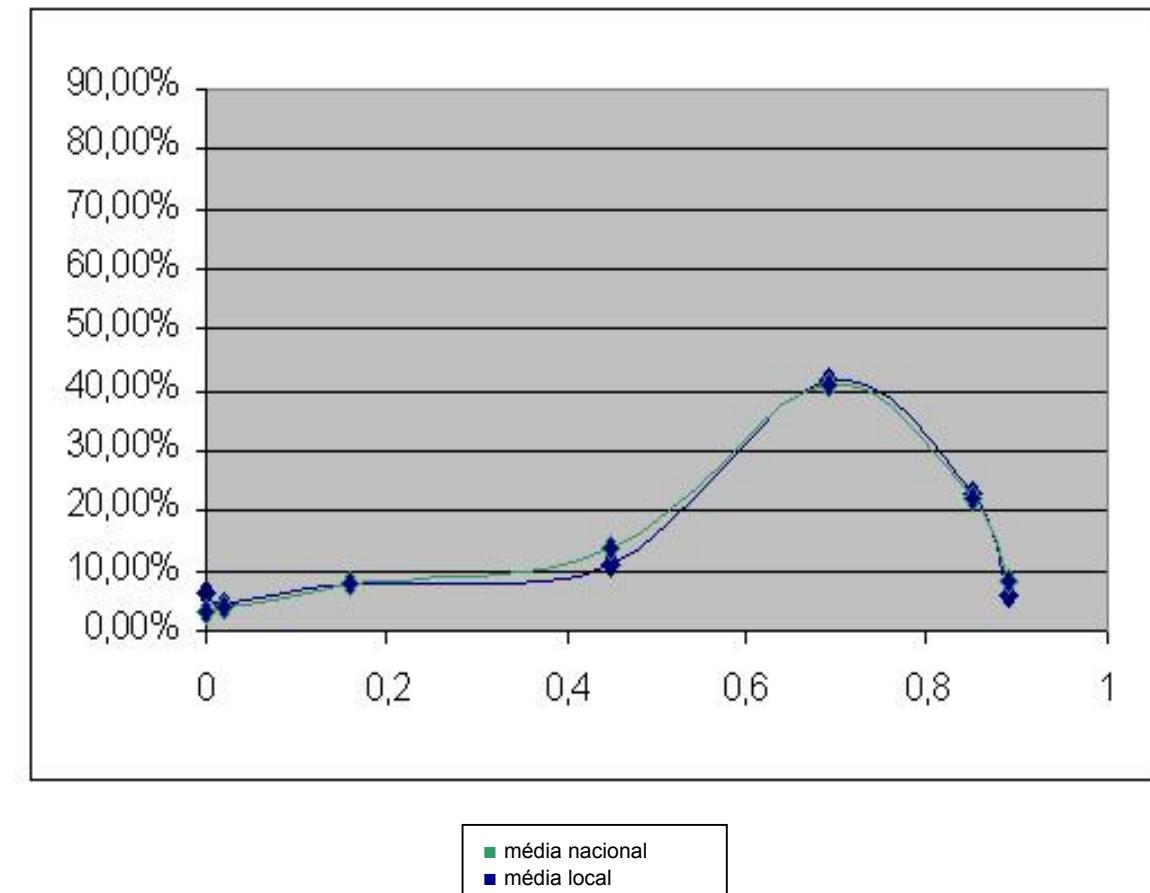
Tabela de observações consolidadas

Visibilidade Observada	Nº de ocorrências	Transparência Atmosférica Média (T)	Porcentagem das ocorrências
< 50 m	325	0	0,72%
50 a 200 m	354	0	0,79%
200 a 500m	439	0	0,98%
500m a 1 km	1703	0	3,79%
Soma ocorrências T = 0		0	6,29%
1 a 2 km	1988	0,02	4,43%
2 a 4 km	3428	0,16	7,64%
4 a 10 km	4855	0,45	10,82%
10 a 20 km	18751	0,69	41,78%
20 a 50 km	10277	0,85	22,90%
> 50 km	2764	0,89	6,16%
Total de obs:	44884	–	100,00%

Obs: os valores em azul correspondem aos pontos plotados na curva ao lado, sendo:

Eixo X: valores de T

Eixo Y: Percentuais de T



Transparência Atmosférica Média Anual – Estações Climatológicas da DHN

Estação – EAMSC

 $\phi = 27^{\circ}34' S$ $\lambda = 048^{\circ}35' W$

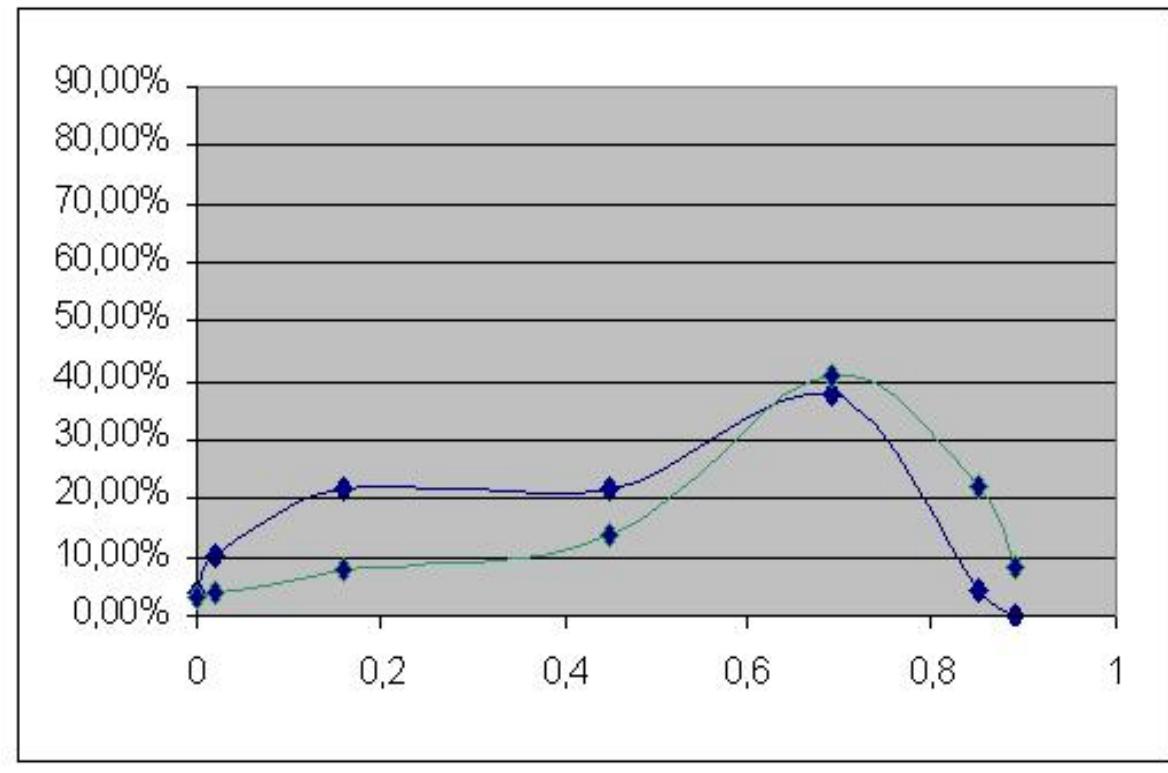
Tabela de observações consolidadas

Visibilidade Observada	Nº de ocorrências	Transparência Atmosférica Média (T)	Porcentagem das ocorrências
< 50 m	0	0	0,00%
50 a 200 m	0	0	0,00%
200 a 500m	9	0	0,40%
500m a 1 km	85	0	3,78%
Soma ocorrências T = 0		0	4,18%
1 a 2 km	242	0,02	10,75%
2 a 4 km	482	0,16	21,41%
4 a 10 km	483	0,45	21,46%
10 a 20 km	851	0,69	37,81%
20 a 50 km	98	0,85	4,35%
> 50 km	1	0,89	0,04%
Total de obs:	2251	–	100,00%

Obs: os valores em azul correspondem aos pontos plotados na curva ao lado, sendo:

Eixo X: valores de T

Eixo Y: Percentuais de T



■ média nacional
■ média local

Transparência Atmosférica Média Anual – Estações Climatológicas da DHN

Estação – Santa Marta

 $\phi = 28^{\circ}36' S$ $\lambda = 048^{\circ}49' W$

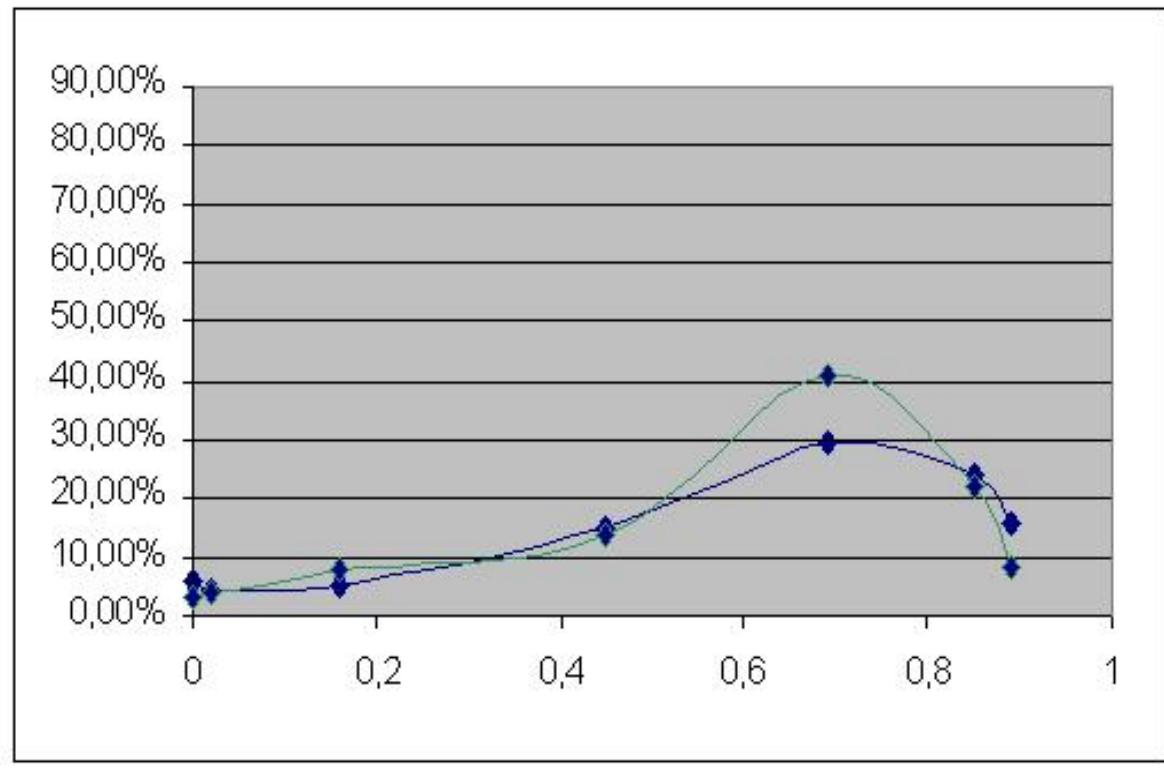
Tabela de observações consolidadas

Visibilidade Observada	Nº de ocorrências	Transparência Atmosférica Média (T)	Porcentagem das ocorrências
< 50 m	109	0	0,25%
50 a 200 m	227	0	0,51%
200 a 500m	327	0	0,74%
500m a 1 km	2057	0	4,65%
Soma ocorrências T = 0		0	6,15%
1 a 2 km	2017	0,02	4,56%
2 a 4 km	2316	0,16	5,23%
4 a 10 km	6519	0,45	14,73%
10 a 20 km	12885	0,69	29,12%
20 a 50 km	10805	0,85	24,42%
> 50 km	6982	0,89	15,78%
Total de obs:	44244	–	100,00%

Obs: os valores em azul correspondem aos pontos plotados na curva ao lado, sendo:

Eixo X: valores de T

Eixo Y: Percentuais de T



■ média nacional
■ média local

Transparência Atmosférica Média Anual – Estações Climatológicas da DHN

Estação – Mostardas

 $\phi = 31^{\circ}15' S$ $\lambda = 050^{\circ}54' W$

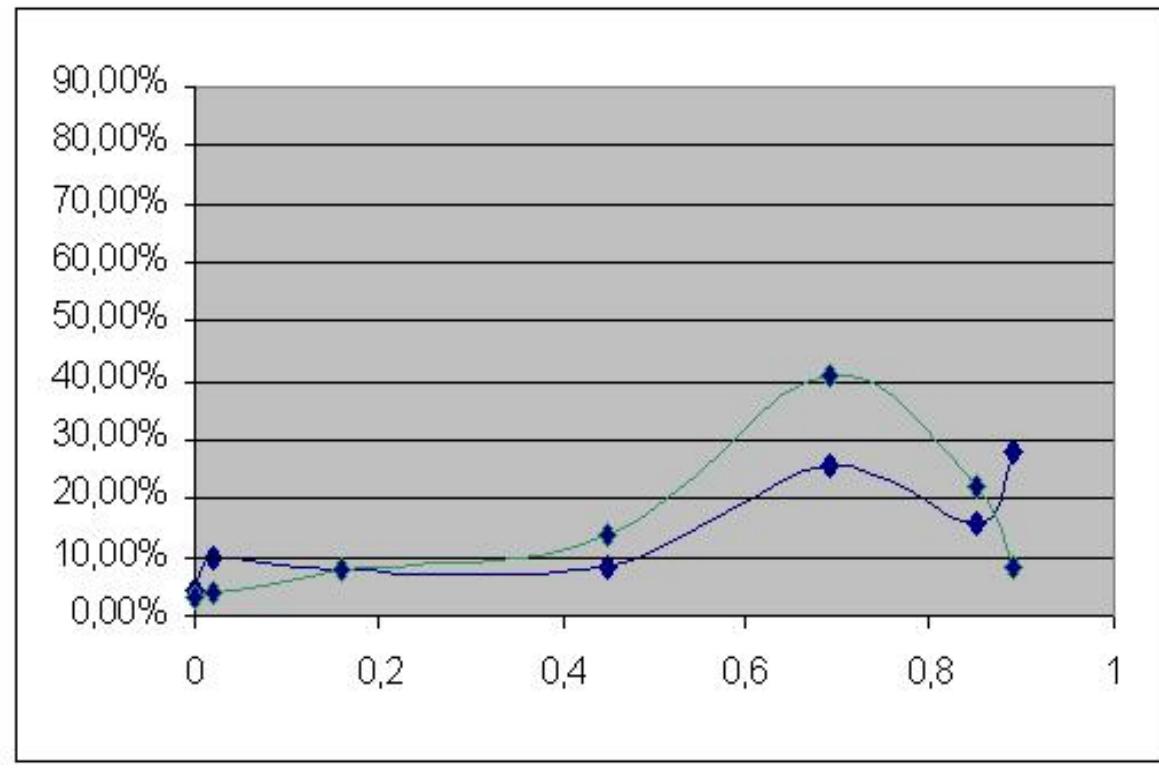
Tabela de observações consolidadas

Visibilidade Observada	Nº de ocorrências	Transparência Atmosférica Média (T)	Porcentagem das ocorrências
< 50 m	316	0	0,76%
50 a 200 m	170	0	0,41%
200 a 500m	413	0	0,99%
500m a 1 km	1094	0	2,62%
Soma ocorrências T = 0		0	4,78%
1 a 2 km	3991	0,02	9,58%
2 a 4 km	3192	0,16	7,66%
4 a 10 km	3607	0,45	8,65%
10 a 20 km	10627	0,69	25,50%
20 a 50 km	6524	0,85	15,65%
> 50 km	11746	0,89	28,18%
Total de obs:	41680	–	100,00%

Obs: os valores em azul correspondem aos pontos plotados na curva ao lado, sendo:

Eixo X: valores de T

Eixo Y: Percentuais de T



Transparência Atmosférica Média Anual – Estações Climatológicas da DHN

Estação – Rio Grande

 $\phi = 32^{\circ}02' S$ $\lambda = 052^{\circ}06' W$

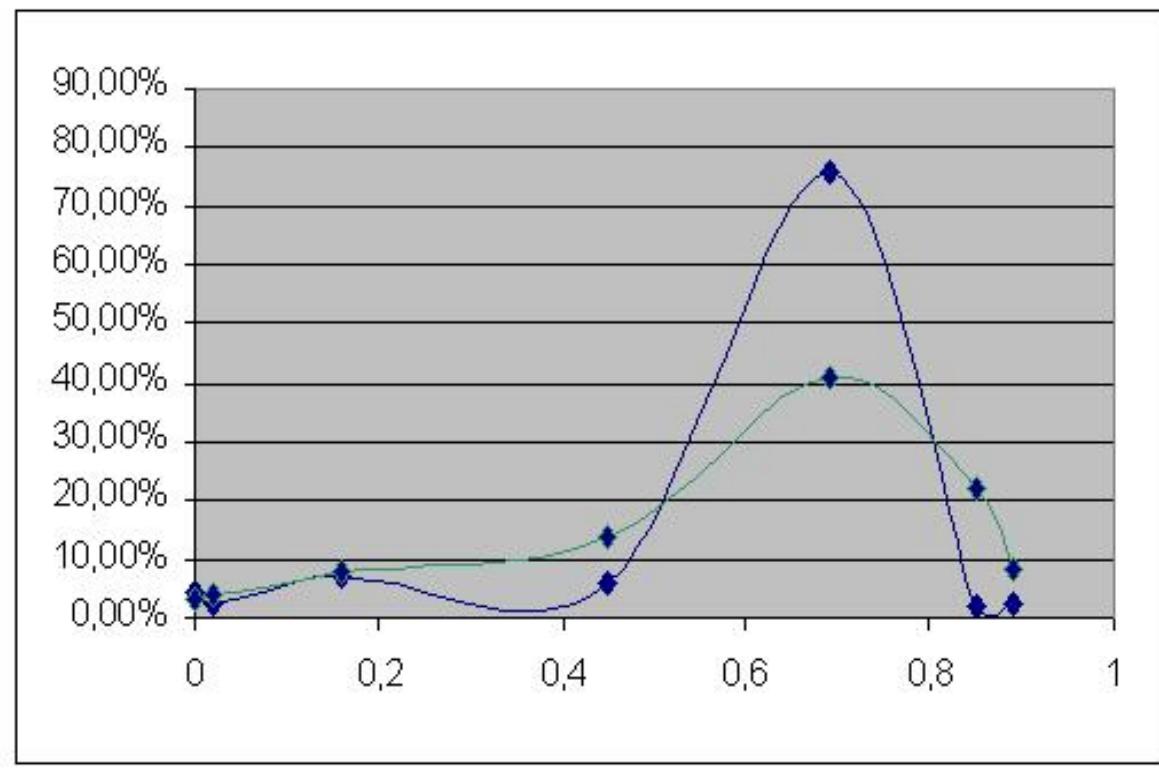
Tabela de observações consolidadas

Visibilidade Observada	Nº de ocorrências	Transparência Atmosférica Média (T)	Porcentagem das ocorrências
< 50 m	0	0	0,00%
50 a 200 m	36	0	0,69%
200 a 500m	40	0	0,76%
500m a 1 km	164	0	3,13%
Soma ocorrências T = 0		0	4,58%
1 a 2 km	123	0,02	2,35%
2 a 4 km	360	0,16	6,87%
4 a 10 km	316	0,45	6,03%
10 a 20 km	3966	0,69	75,64%
20 a 50 km	116	0,85	2,21%
> 50 km	122	0,89	2,33%
Total de obs:	5243	–	100,00%

Obs: os valores em azul correspondem aos pontos plotados na curva ao lado, sendo:

Eixo X: valores de T

Eixo Y: Percentuais de T



Transparência Atmosférica Média Anual – Estações Climatológicas da DHN

Estação – Chuí

 $\phi = 33^{\circ}45' S$ $\lambda = 053^{\circ}22' W$

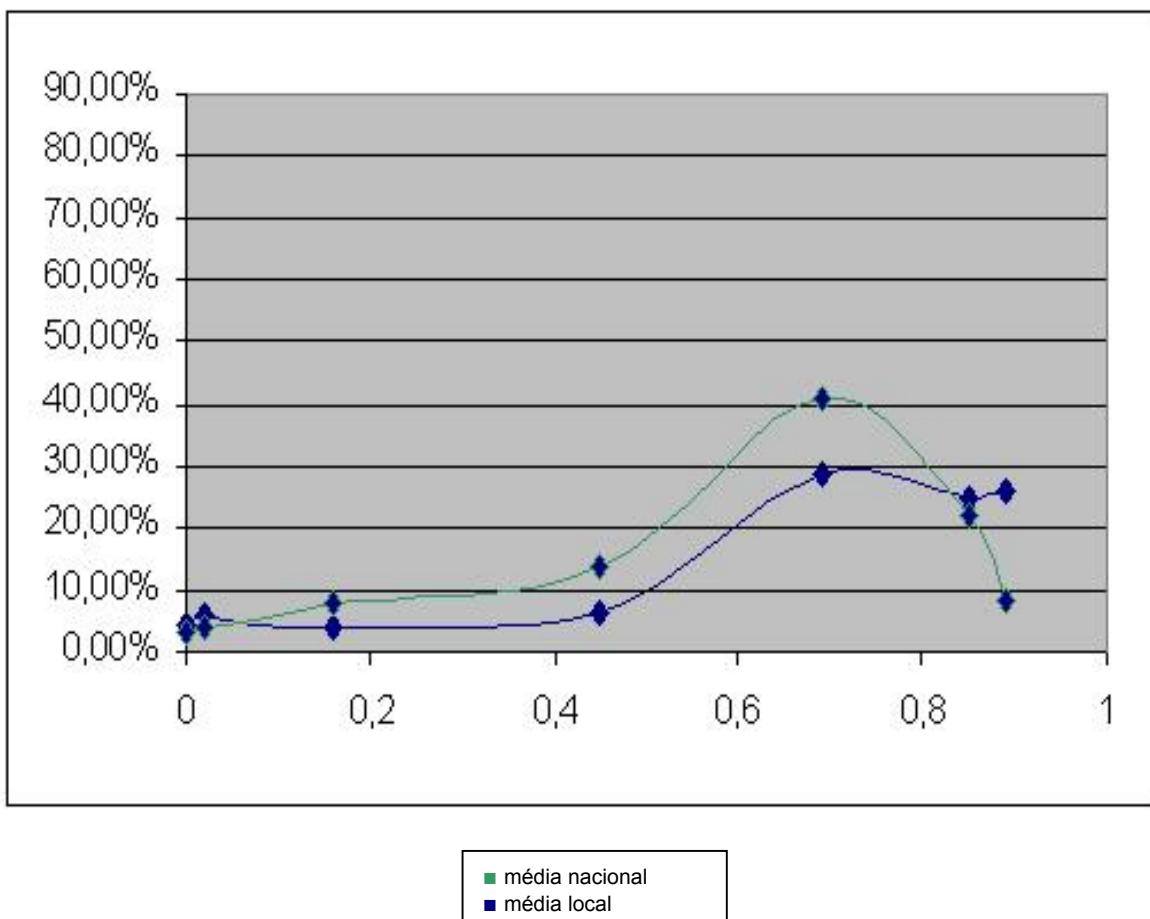
Tabela de observações consolidadas

Visibilidade Observada	Nº de ocorrências	Transparência Atmosférica Média (T)	Porcentagem das ocorrências
< 50 m	122	0	0,27%
50 a 200 m	229	0	0,51%
200 a 500m	777	0	1,72%
500m a 1 km	961	0	2,12%
Soma ocorrências T = 0		0	4,61%
1 a 2 km	2619	0,02	5,78%
2 a 4 km	1726	0,16	3,81%
4 a 10 km	2901	0,45	6,41%
10 a 20 km	12948	0,69	28,59%
20 a 50 km	11192	0,85	24,71%
> 50 km	11816	0,89	26,09%
Total de obs:	45291	–	100,00%

Obs: os valores em azul correspondem aos pontos plotados na curva ao lado, sendo:

Eixo X: valores de T

Eixo Y: Percentuais de T



Transparência Atmosférica Média Anual – Estações Climatológicas da DHN
MÉDIA NACIONAL

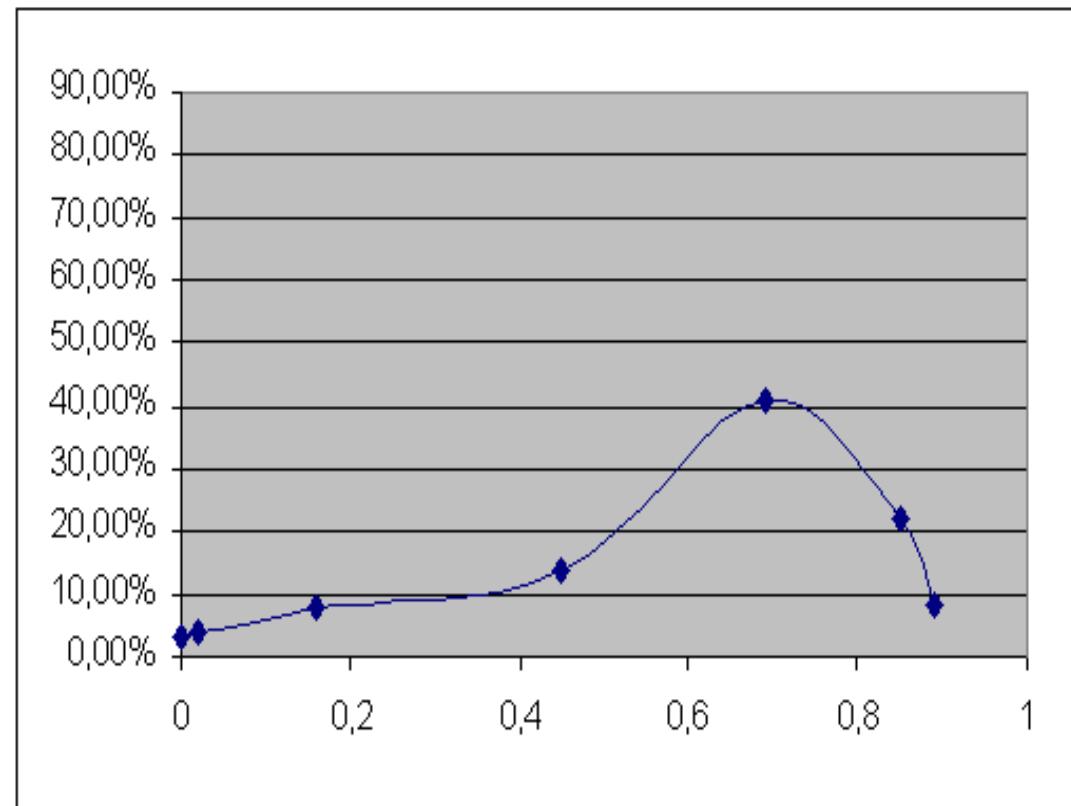
Tabela de observações consolidadas

Visibilidade Observada	Nº de ocorrências	Transparência Atmosférica Média (T)	Porcentagem das ocorrências
< 50 m	1498	0	0,27%
50 a 200 m	1592	0	0,51%
200 a 500m	3741	0	1,72%
500m a 1 km	15388	0	2,12%
Soma ocorrências T = 0		0	2,95%
1 a 2 km	30814	0,02	5,78%
2 a 4 km	58533	0,16	3,81%
4 a 10 km	103359	0,45	6,41%
10 a 20 km	310020	0,69	28,59%
20 a 50 km	164664	0,85	24,71%
> 50 km	62447	0,89	26,09%
Total de obs:	752056	–	100,00%

Obs: os valores em azul correspondem aos pontos plotados na curva ao lado, sendo:

Eixo X: valores de T

Eixo Y: Percentuais de T



APÊNDICE 3

CÁLCULO DA INTENSIDADE LUMINOSA DE APARELHOS LENTICULARES QUE EXIBEM LUZES RÍTMICAS

3.1 DEFINIÇÕES

3.1.1 FONTE LUMINOSA PONTUAL

É uma fonte ideal, sem dimensões físicas, em que todo o fluxo luminoso emana de um único ponto, e é uniforme em todas as direções.

3.1.2 FONTE LUMINOSA

É uma fonte real, com dimensões físicas definidas, que influenciam no modo como o fluxo luminoso é emitido.

3.1.3 FEIXE LUMINOSO

É a denominação do conjunto de linhas de fluxo luminoso que se propaga em determinada direção.

3.1.4 LENTE

É um elemento ótico, usualmente feito de vidro ou plástico, limitado por duas superfícies de revolução que possuem um eixo comum. É capaz de direcionar o fluxo luminoso emanado de uma fonte luminosa em várias direções, por refração.

A propriedade de desviar os raios luminosos apenas por refração define a lente como um elemento diótrico.

Praticamente todas as lentes de Sinalização Náutica são derivadas da lente plano-convexa, em que a face interna é plana, e a face externa é uma calota esférica.

3.1.5 PRISMA

É um elemento ótico, usualmente feito de vidro ou plástico, formado por pelo menos dois planos interceptando uma superfície refratária. É capaz de direcionar o fluxo luminoso emanado de uma fonte luminosa em várias direção, por refração, reflexão ou ambos os fenômenos. A propriedade de desviar os raios luminosos por refração e/ou reflexão define o prisma como um elemento catadiótrico.

Em Sinalização Náutica, usa-se a denominação “prisma” impropriamente, referindo-a à lente ou aos prismas propriamente ditos.

3.1.6 EIXO ÓTICO

É o eixo de revolução da superfície interna de uma lente ou prisma. Por definição, o eixo ótico é perpendicular à face interna de uma lente.

3.1.7 FOCO

É o ponto central da revolução do eixo ótico. Todos os raios luminosos provenientes do infinito, e incididos perpendicularmente à face da lente, convergem para este ponto. Do mesmo modo, todos os raios luminosos emanados de uma fonte pontual posicionada no foco, emergem paralelos à face da lente.

3.1.8 DISTÂNCIA FOCAL

É o comprimento do eixo ótico de uma lente, medido desde o foco até a superfície interna da lente(no caso da lente plano-convexa).

3.1.9 PLANO FOCAL

É o plano imaginário que passa sobre o foco, e é perpendicular ao eixo ótico, ou seja, paralelo à face de uma lente plano-convexa.

3.1.10 PLANO ÓTICO

É o plano imaginário que passa sobre o foco, e é paralelo ao eixo ótico, ou seja, perpendicular à face de uma lente plano-convexa.

Em Sinalização Náutica, o termo “plano focal” é usado indistintamente para definir tanto o plano focal propriamente dito como o “plano ótico” cuja definição é aqui introduzida.

O Dicionário da IALA denomina como “plano focal” o plano que esta definido no item 1.9, e plano focal (de uma luz), o plano ótico definido em 1.10. A denominação “plano ótico” é preferível, porque o referido plano contém o eixo ótico.

3.1.11 PERFIL

É a vista em corte de uma lente, contendo o eixo ótico.

3.1.12 LENTE FRESNEL

É um tipo de lente formada por elementos escalonados ou anéis, com o objetivo de obter o mesmo efeito de uma lente de grandes dimensões, sem o volume e peso desta, e permitindo a obtenção de elementos mais isentos de defeitos de fabricação.

3.1.13 PERFIL FRESNEL

É o perfil de uma lente fresnel. A maioria dos tipos de lente utilizada em Sinalização Náutica é definida por este perfil, girado em torno do eixo ótico.

3.1.14 LENTE TAMBOR

É a lente formada pela rotação de um perfil fresnel em torno do eixo ótico, sobre o plano ótico.

3.1.15 LENTE OLHO DE BOI

É a lente formada pela rotação de um perfil fresnel em torno do eixo ótico, sobre um plano paralelo ao plano focal, situado sobre a face interna da lente.

3.1.16 APARELHO LENTICULAR

É a lente constituída de elementos lenticulares ou diótricos, propriamente ditos (tambor ou olho de boi), podendo conter elementos prismáticos ou catadiótricos.

3.1.17 PAINEL LENTICULAR

É uma seção de um aparelho lenticular.

3.1.18 FEIXE DE HORIZONTE

É o feixe luminoso produzido por uma lente tambor, operando ou não em conjunto com seções catadiótricas, que se propaga em todas as direções, no plano horizontal.

3.1.19 FEIXE DIRECIONAL

É o feixe luminoso produzido por uma lente olho de boi ou seção de lente tambor, operando ou não em conjunto com seções catadiótricas, que se propaga em uma dada direção ou setor, no plano horizontal.

3.1.20 LANTERNA

É o equipamento constituído pelo aparelho lenticular e seus acessórios de sustentação e proteção mecânica, tais como bases ou vidros protetores.

3.1.21 LUZ RITMICA

É a luz que se apresenta ao navegante de forma intermitente e com periodicidade regular.

3.1.22 CARACTERÍSTICA DE UMA LUZ

É o conjunto de aspectos que permite a identificação da luz de um sinal náutico pelo navegante. A característica de uma luz é definida pela combinação entre o seu ritmo e a sua cor.

3.1.23 LAMPEJO

É o intervalo de luz em relação a outro de maior duração de ausência total de luz, em um mesmo período.

3.1.24 ECLIPSE

É o intervalo de obscuridade entre dois sucessivos lampejos em um mesmo período.

3.1.25 LUZ DE LAMPEJOS

É aquela na qual a duração da emissão luminosa, em cada período, é claramente menor que a duração do eclipse e na qual essa emissão luminosa tem sempre a mesma duração.

3.1.26 FASE DETALHADA

É a descrição, em termos de intervalos de tempo, da duração de cada uma das diversas fases de exibição de luz ou de eclipse, constituintes de um mesmo período.

3.1.27 INTENSIDADE LUMINOSA ESTACIONARIA

É a intensidade luminosa emitida em regime constante por um conjunto lente/fonte luminosa.

3.1.28 INTENSIDADE LUMINOSA EFETIVA

É a intensidade luminosa de uma luz rítmica, efetivamente percebida pelo olho do observador e será sempre menor que a Intensidade Luminosa Estacionária exibida por uma luz constante (ver item 1.28).

3.1.29 CONSTANTE VISUAL

Tempo arbitrariamente estabelecido como necessário à percepção de variação de luminosidade pelo olho humano. Os valores a serem aplicados nas fórmulas do item 3.4 dest Apêndice são:

$C = 0,2$ segundo (para observações noturnas)
 $C = 0,1$ segundo (para observações diurnas)

Essas constantes referem-se a um observador jovem com visão normal.

Algumas publicações adotam a denominação "a" em vez de "C" para a constante visual. Apresentam também valores ligeiramente diversos, distinguindo casos de Luzes cujo ritmo é produzido pela rotação de aparelhos lenticulares, daqueles cujo ritmo é resultado da intermitência de fontes luminosas.

3.1.30 TEMPO DE INCADESCENCIA

E o tempo necessário para que o filamento de uma lâmpada incandescente atinja 90 % da emissão total de luz, após a aplicação de tensão elétrica aos terminais da Lâmpada.

3.1.31 TEMPO DE NIGRESCENCIA

E o tempo necessário para que o filamento de uma lâmpada incandescente atinja 10 % da emissão total de luz, após ter cessado a aplicação de tensão elétrica aos terminais da lâmpada.

3.2 GRANDEZAS, SUAS NOTAÇÕES E UNIDADES

Nas equações dos itens 3.3 e 3.4 serão empregadas as seguintes grandezas com suas respectivas notações e unidades:

Io = Intensidade Luminosa Estacionaria (cd)

le = Intensidade Luminosa Efetiva (cd)

τ = tempo de exibição de luz (s)

T período (é a soma dos tempos de exibição de Luz e os, de obscuridade) (s)

t_0 = constante de tempo térmica de filamento incandescente (s)

t_i = tempo de incandescência (s)

C = constante visual (s)

F = fator de forma (adimensional)

3.3 MÉTODOS DE CALCULO DA INTENSIDADE LUMINOSA EFETIVA PARA LUZES RÍTMICAS.

3.3.1 MÉTODO SCHMIDT-CLAUSEN

Para luzes rítmicas com taxas de até 300 lampejos por minuto, usa-se o método Schmidt-Clausen definido a seguir, que é uma generalização do método de Blondel-Rey, que considera somente formatos de lampejos retangulares (ver tabela do item 3.4 deste Apêndice)

$$le = [Io \cdot \tau] / [C/F + \tau]$$

onde :

$$F = J / Io (t_2 - t_1)$$

sendo: $t_2 - t_1 = \tau$ (duração da exibição de luz) e

$$J = \int_{t_1}^{t_2} I(t) dt$$

A função $I(t)$ define a variação instantânea da intensidade da luz em função do tempo de exibição.

Como forma alternativa, pode-se então escrever que:

$$le = J / (C \cdot Io + J)$$

3.3.2 MÉTODO DE ALLARD:

Para luzes rítmicas com taxas superiores a 300 lampejos por minuto emprega-se o Método de Allard, definido a seguir :

$$le = (Io/C) \int I(t) e^{-(\tau-t)/C} dt$$

onde $I(t)$ é a função que define a variação da intensidade luminosa da fonte, e o termo exponencial representa a reação do olho humano ao estímulo causado pela repetição rápida de lampejos. A constante visual C é a mesma definida anteriormente.

3.4 EXPRESSÕES QUE RELACIONAM I_e/I_o

Os métodos de Schmidt-Clausen e de Allard, enunciados no item anterior foram aplicados a diversas formas de lampejos passíveis de ser obtidas por diversos tipos de equipamentos. O resultado está tabulado a seguir, a fim de facilitar a determinação da intensidade luminosa efetiva de uma luz rítmica. Para tanto, basta obter a intensidade luminosa estacionária I_o , geralmente fornecida pelo fabricante do equipamento ou obtida por meio de medições fotométricas (ver item 3.23 do Manual de Sinalização Náutica).

FORMA DO LAMPEJO	$I_e/I_o =$	TIPO DE EQUIPAMENTO
Retangular	$\tau / (C + \tau)$	Tela opaca rotativa (esta equação corresponde à fórmula de BLONDEL-REY)
Triangular	$\tau / (2C + \tau)$	Aparelho lenticular rotativo em que a intensidade cai a zero, entre lampejos. A fórmula se aplica a qualquer formato de triângulo
Trapezoidal	$(\tau + \tau') / (2C + \tau + \tau')$	Obturador ou tela opaca rotativa. A fórmula se aplica a qualquer formato de trapézio.
Seno ao Quadrado	$\tau / (2C + \tau)$	Aparelho lenticular rotativo em que a intensidade cai a zero entre lampejos.
Curvas de Gauss	$\tau \sqrt{\pi/L_n} 10 / (2C + \tau \sqrt{\pi/L_n} 10)$ ou $1,168 \tau / (2C + 1,168 \tau)$	Aparelho lenticular rotativo em que a intensidade jamais cai a zero entre lampejos. A intensidade é calculada entre pontos que a mesma cai a 10% do seu valor máximo.

FORMA DO LAMPEJO	Ie/Io =	TIPO DE EQUIPAMENTO
Curva de Incandescência/ Nigrescência 	$\tau / [C (1 - e^{-\tau/t_0}) + \tau]$	Lâmpadas incandescentes. O lampejo é produzido pela aplicação e consequente interrupção de tensão à lâmpada.
Trem de pulsos retangulares 	$\frac{(1 - e^{\tau/C})(1 - e^{-NT/C})}{(1 - e^{-NT/C})}$	Pode ser utilizado em luzes em que o tempo de exibição de luz é o resultado de uma série de pulsos rápidos.

3.5 CONSTANTE DE TEMPO (t_0) DAS LÂMPADAS INCANDESCENTES

Esta constante define o tempo necessário para que a lâmpada apresente 63% da sua potência luminosa total, após o instante de aplicação de tensão. É função da corrente nominal da lâmpada, e do processo de construção da mesma.

Para lâmpadas incandescentes de atmosfera gasosa e filamento em bobina simples, a constante de tempo pode ser obtida pela fórmula:

$$t_0 = 0,09 A^{0,733}$$

onde “A” representa a corrente nominal da lâmpada em ampères. Normalmente o símbolo de corrente é “I”, aqui alterado para evitar confusão com a intensidade luminosa.

Alternativamente, pode-se determinar t_0 a partir do tempo de incandescência t_i , fazendo-se:

$$t_0 = 0,7 t_i$$

3.6 TEMPO DE LAMPEJO MÍNIMO PARA LAMPADAS INCANDESCENTES

É conveniente definir um tempo mínimo de lampejo para lâmpadas incandescentes, porque é um modo de garantir que os filamentos das mesmas atinjam a máxima intensidade luminosa possível. Para efeitos práticos, pode-se estabelecer que o tempo mínimo de lampejo para lâmpadas incandescentes deve ser igual a $1,4 t_i$, ou igual a $2 t_0$.

A tabela a seguir relaciona os tempos de incandescência, as constantes de tempo e os tempos mínimos de lampejo (TML) para lâmpadas com filamentos verticais de bobina simples (C8) e bobina dupla (CC8).

Corrente (A)	t_i (s)		t_o (s)		TML (s)	
	C8	CC8	C8	CC8	C8	CC8
0,1	0,026		0,018		0,036	
0,2	0,042		0,029		0,058	
0,3	0,055		0,039		0,078	
0,4	0,07		0,049		0,098	
0,5	0,08	0,03	0,056	0,021	0,112	0,042
0,6	0,09	0,04	0,063	0,028	0,126	0,056
0,7	0,1	0,05	0,07	0,035	0,14	0,07
0,8	0,11	0,06	0,077	0,042	0,154	0,084
0,9	0,12	0,07	0,084	0,049	0,168	0,098
1,0	0,13	0,08	0,091	0,056	0,182	0,112
2,0	0,21	0,15	0,147	0,105	0,294	0,21
3,0	0,3	0,19	0,21	0,133	0,42	0,266
4,0	0,35		0,245		0,49	
5,0	0,42		0,294		0,588	
6,0	0,5		0,35		0,7	
7,0	0,53		0,371		0,742	
8,0	0,6		0,42		0,84	
9,0	0,68		0,476		0,952	
10,0	0,7		0,49		0,98	

3.7 FATOR DE REDUÇÃO PARA FILTROS COLORIDOS

As luzes coloridas são obtidas de filtros, que podem ser interpostos entre a fonte luminosa e a lente, ou serem constituídos por pigmentação incorporada ao próprio material da própria lente. Em ambos os casos existe a redução da intensidade luminosa devido à eficiência Luminosa Espectral de cada cor (ver item 3.2 do Manual de Sinalização Náutica) e também à absorção própria do material constituinte do filtro.

A tabela a seguir fornece os valores de redução para as cores e os materiais comumente usados em sinalização Náutica, desde que a fonte luminosa seja uma lâmpada incandescente.

	Incolor	Vermelho	Verde	Âmbar
Vidro	1,0	0,20	0,20	0,50
Acrílico	1,0	0,30	0,32	0,63
Policarbonato	1,0	0,30	0,32	0,63

Estes fatores devem multiplicar valores de I_e obtidos pela aplicação dos fatores de redução definidos no item 3.4 deste Apêndice, para ser obtida a intensidade efetiva da luz submetida ao filtro em questão.

3.8 FATOR DE REDUÇÃO PARA AS CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO

Este fator é utilizado como margem de segurança e impõe uma redução na intensidade efetiva final, levando em conta a redução por absorção de anteparas, coberturas envidraçadas e também o desgaste da superfície útil do aparelho lenticular. Ademais, permite acomodar a imprecisão das medições fotométricas de I_o (da ordem de 10%), o que é ainda mais aplicável se forem

empregadas as aproximações descritas no item 3.11 deste Apêndice. Recomenda-se, portanto, como margem de segurança, considerar uma redução de 20% na intensidade final, englobando todos os fatores acima, o que equivale a multiplicar o resultado final por 0,8.

3.9 CÁLCULO DA INTENSIDADE LUMINOSA EFETIVA

Os passos necessários à determinação da intensidade luminosa efetiva de um sinal são os seguintes:

Obtém-se a Intensidade Luminosa Estacionaria por meio de medição fotométrica, por consulta a tabelas de fabricantes, ou ainda, conforme as aproximações descritas no item 3.11 deste Apêndice, para aparelhos lenticulares de grandes dimensões.

Para caso de lâmpadas incandescentes funcionando em regime de lampejos, consulta-se a tabela do item 3.7 deste Apêndice e verifica-se, para a corrente da lâmpada em questão, o valor da constante t_0 adequada para o cálculo. Também é conveniente verificar se o lampejo é maior ou igual ao TML para a lâmpada empregada.

Determina-se, a seguir, a forma do lampejo segundo as tabelas do item 4 deste Apêndice, e aplica-se a fórmula correspondente, obtendo-se o valor de I_e , faltando apenas aplicar as correções de cor e condições de serviço, citadas a seguir.

Multiplica-se o resultado pelo fator de redução de cor escolhido para a cor e material em particular, de acordo com a tabela do item 8 ou conforme os fatores de redução empregado fornecidos pelo fabricante do respectivo material.

Multiplica-se o resultado pelo fator de redução para as condições de serviço, conforme o item 9 deste Apêndice.

O valor de Intensidade Luminosa Efetiva assim obtido serve para o cálculo do Alcance Luminoso.

3.10 ESTIMATIVA DA INTENSIDADE LUMINOSA ESTACIONÁRIA DE UM APARELHO LENTICULAR

Para aparelhos lenticulares de grandes dimensões que empregam lentes tipo tambor ou lentes direcionais tipo olho-de-boi (ver itens 1.14 e 1.15, deste Apêndice), pode-se determinar um valor aproximado para a intensidade luminosa estacionária. As dimensões das lentes, juntamente com as dimensões e os dados luminotécnicos da fonte de luz são os dados necessários. De posse da intensidade luminosa estacionária assim determinada, pode-se, então, calcular a intensidade luminosa efetiva, conforme descrito no item 3.10 deste Apêndice.

3.10.1 DADOS NECESSÁRIOS

Nas equações deste item, serão empregadas as seguintes grandezas com suas respectivas notações e unidades:

- I₀ – Intensidade Luminosa Estacionária (cd)
- I_f – Intensidade Luminosa Estacionária da Fonte de Luz (cd)

- φ – Fluxo Luminoso (lm)
- h – Dimensão vertical da fonte luminosa (m)
- H – Dimensão vertical da lente ou seção de aparelho lenticular (m)
- s – Área da fonte lenticular, projetada sobre o Plano Focal (m²)
- S – Área da Lente ou seção de aparelho lenticular. (m²)
- F – Distância focal (m)
- β – Abertura angular, medindo entre o foco e uma das bordas de uma lente
- K – Constante de atenuação de uma lente

3.10.2 DETERMINAÇÃO DA INTENSIDADE LUMINOSA ESTACIONÁRIA DA FONTE DE LUZ

$$I_f = \phi/4 \pi$$

No caso de lâmpadas, a intensidade luminosa estacionária de uma fonte de luz é geralmente determinada através de seu fluxo luminoso total, que é um dado de fabricante (ver item 3.2 do Manual de Sinalização Náutica). Para outras fontes, podem ser necessárias medições fotométricas para se obter esse parâmetro. Nesse caso, pode-se obter o fluxo luminoso total ou mesmo a intensidade luminosa, que é o dado de interesse: tudo dependerá da natureza da fonte e dos aparelhos de medição disponíveis.

3.10.3 DETERMINAÇÃO DA ABERTURA ANGULAR ENTRE O FOCO E A LENTE

$$\beta = \operatorname{tg}^{-1} (H/2f)$$

O valor de β é necessário para se determinar a constante de atenuação K, utilizando-se o Gráfico 1, no final deste Apêndice.

3.10.4 DETERMINAÇÃO DA INTENSIDADE LUMINOSA ESTACIONÁRIA PARA LENTES DIÓTRICAS TIPO TAMBOR

$$I_0 = I_f(H/h) K$$

Esta fórmula calcula a ampliação produzida por uma lente tipo tambor, geradora de um feixe luminoso de horizonte, a partir de uma fonte luminosa genérica. Deve-se observar que a aplicação está limitada a aparelhos lenticulares compostos exclusivamente de elementos diótricos (ver item 1.4 deste Apêndice). Para aparelhos maiores, compostos de elementos catadiótricos (ver item 1.5 deste Apêndice), outros fatores de correção deverão ser empregados.

O termo (H/h) representa o ganho ou função de transferência da lente tambor. A constante de atenuação aplicada é um fator de segurança determinado na prática e apresentado neste Apêndice, na forma de gráfico (Gráfico 1).

3.10.5 DETERMINAÇÃO DA INTENSIDADE LUMINOSA ESTACIONÁRIA PARA LENTES DIÓTRICAS TIPO OLHO-DE-BOI.

$$I_0 = I_f(S/s) K$$

Esta fórmula calcula a ampliação produzida por uma lente tipo olho-de-boi, geradora de um feixe luminoso direcional, a partir de uma fonte luminosa genérica. O termo (S/s) representa o ganho ou função de transferência da lente olho-de-boi.

Deve-se observar que, também neste caso, a aplicação está limitada a aparelhos lenticulares compostos exclusivamente de elementos diótricos (ver item 3.1.4 deste Apêndice). Para aparelhos maiores, compostos de elementos catadiótricos (ver item 3.1.5 deste Apêndice), outros fatores de correção deverão ser empregados.

3.10.6 DETERMINAÇÃO DAS DIMENSÕES DA FONTE LUMINOSA

Normalmente os fabricantes não fornecem as dimensões dos filamentos das lâmpadas incandescentes, mas apenas sua posição, para efeito de focalização, conforme indica a figura A3.1. Nesse caso, deve-se estimar as dimensões de interesse, ou seja, a altura h do filamento para uso com lentes tambor, ou as dimensões h e l , para se calcular a área s , empregada na fórmula para lentes olho-de-boi.

No caso dessas lâmpadas de pequenas dimensões, é comum que o fluxo luminoso total também não seja um dado disponível, mas esse é um parâmetro facilmente mensurável em laboratórios fotométricos e até mesmo pode ser calculado de forma reversa, conhecendo-se a intensidade luminosa estacionária de um conjunto lente/lâmpada que empregue a lâmpada cujo fluxo (ou intensidade luminosa estacionária) se quer determinar.

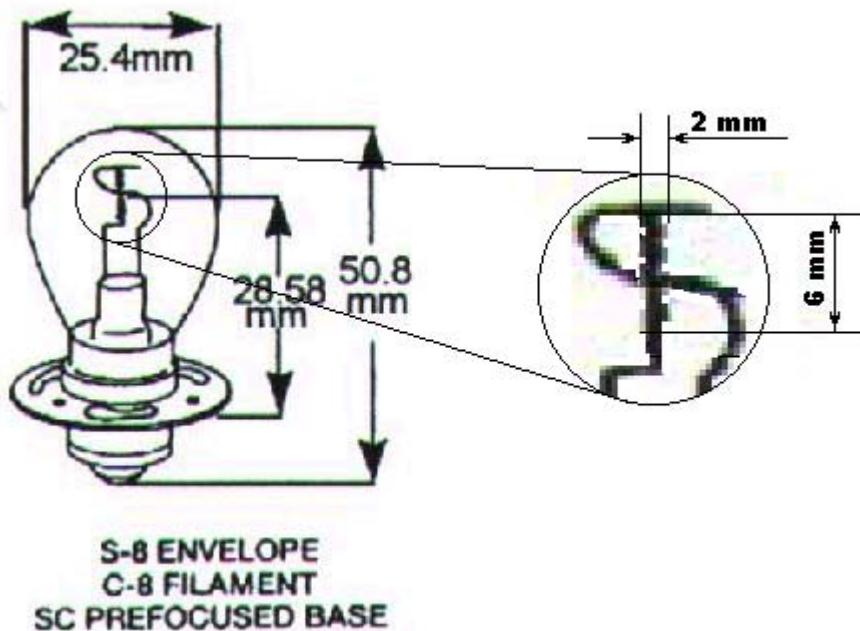


Figura A3.1 – Lâmpada Incandescente para Sinalização Náutica
Determinação das Dimensões Aproximadas do Filamento.

Em outras situações, o próprio fabricante define as dimensões da fonte luminosa. As lâmpadas de vapor multimetalico, cujo emprego em faróis de grande porte é cada vez mais extenso são um bom exemplo disto. A figura A3.2, extraída de um manual da PHILIPS, é um bom exemplo

disto, trazendo todos os parâmetros necessários para a aplicação de interesse. No caso, a dimensão “A” é o diâmetro da cápsula que contém o vapor multimetalico e que constitui a fonte luminosa propriamente dita. Observe-se que o fluxo luminoso total está tabulado para os diversos modelos deste fabricante.

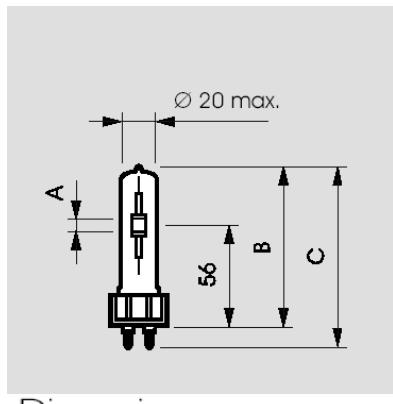


Figura A3.2 – Lâmpada de Vapor Multimetálico
Dados Técnicos Fornecidos pelo
Fabricante.

Tipo	A	B	C
	nom.	máx.	máx.
Base G12			
CDM-T 35W	5	90	100
CDM-T 70W	7	90	100
CDM-T 150W	9	100	110

Dimensiones en mm

Tipo	Base	Índice de	Fluxo
		reproducción	luminoso
		Ra8	Ra8
CDM-T			lm
CDM-T 35W /830	G12	81	3400
CDM-T 70W /830	G12	83	6600
CDM-T 70W /942	G12	92	6400
CDM-T 150W /830	G12	85	14000
CDM-T 150W /942	G12	96	12700

3.10.7 DETERMINAÇÃO DA INTENSIDADE LUMINOSA ESTACIONÁRIA PARA LENTES DIÓTRICAS TIPO TAMBOR COM ELEMENTOS CATADIÓTRICOS.

$$I_0 = I_f (H_1 K_1 + H_2 K_2 + H_3 K_3)$$

Esta fórmula determina a intensidade luminosa estacionária de um painel lenticular composto de lente tambor e painéis formados por prisma catadiótricos superiores e inferiores. As parcelas entre parênteses representam as contribuições de ampliação de intensidade luminosa devidas à parte central ($H_1 K_1$), catadiótrica superior ($H_2 K_2$), e catadiótrica inferior ($H_3 K_3$).

$$I_0 = I_f (S_1 K_1 + S_2 K_2 + S_3 K_3) / s$$

Esta fórmula determina a intensidade luminosa estacionária de um painel lenticular composto de lente de olho de boi central e de painéis auxiliares formados por prismas catadiótricos superiores e inferiores. As parcelas entre parênteses representam as contribuições de ampliação de intensidade luminosa devidas à parte central ($S_1 K_1$), catadiótrica superior ($S_2 K_2$), e catadiótrica inferior ($S_3 K_3$). A constante de atenuação K_1 é determinada segundo o ângulo subtendido β , conforme foi explicado em 11.3, e as constantes K_2 e K_3 são determinadas do seguinte modo:

- a) Para lentes tipo tambor, obtém-se K_2 e K_3 , no Gráfico 3, a partir das aberturas angulares β_2 e β_3 indicadas no gráfico.

b) Para lentes tipo olho-de-boi, faz-se K_2 ou K_3 , iguais a:

- 0,85 para seção catadiótrica recessiva (curvada em direção ao foco); ou
 0,70 para seção catadiótrica alinhada (no mesmo plano vertical que a lente central).

3.11 GRÁFICO 1: Feixe de Horizontal Diótrico – Constante de Atenuação K_1

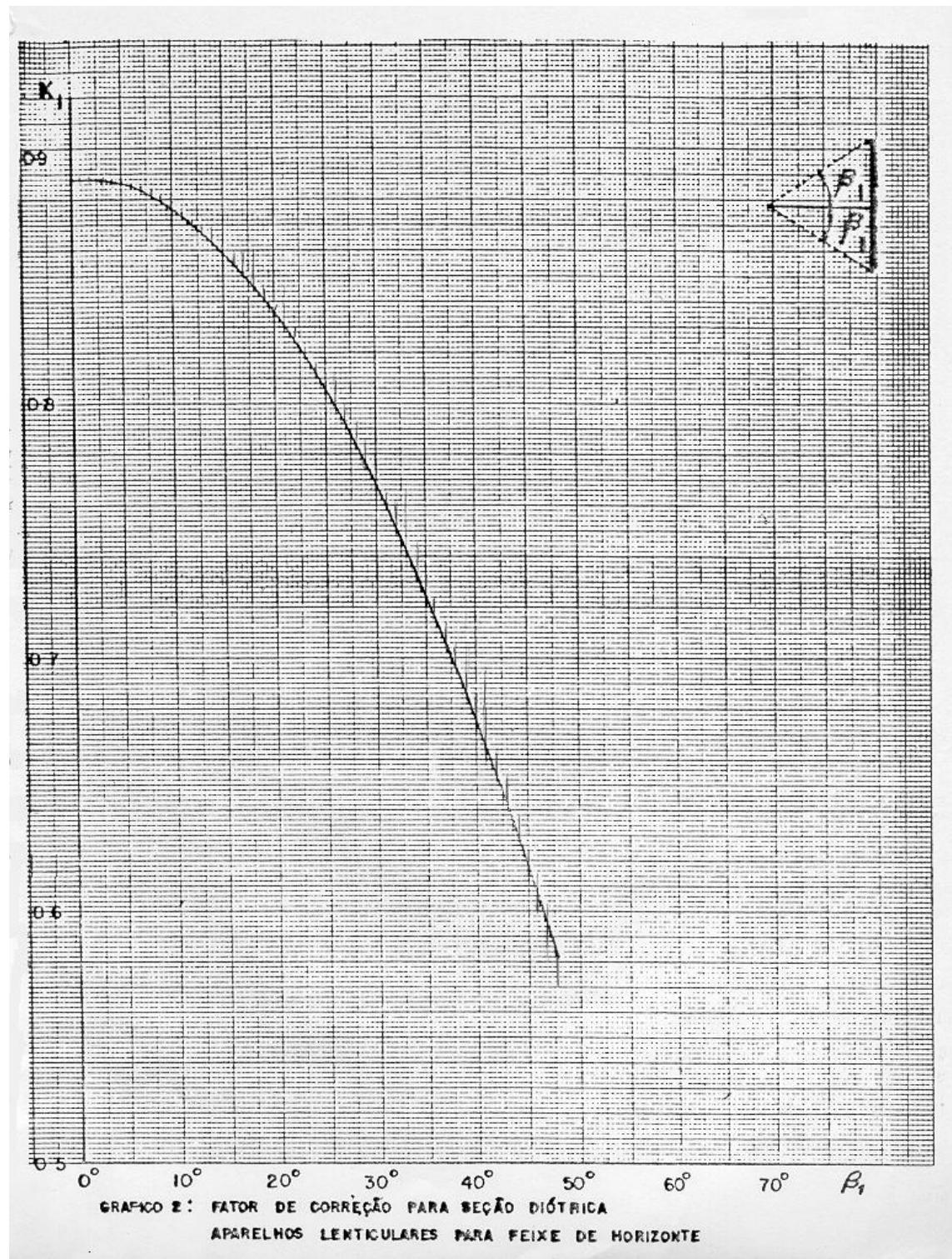
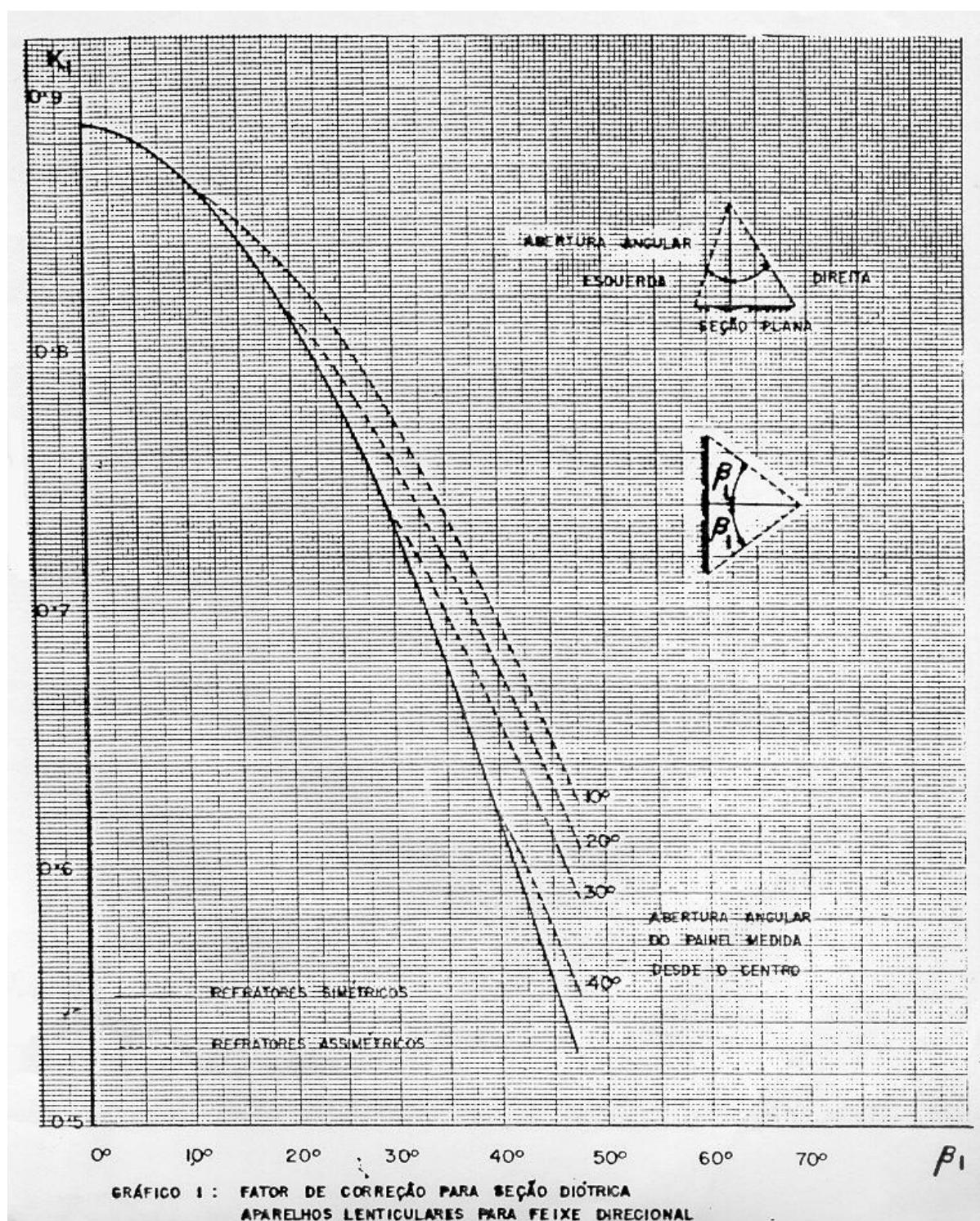
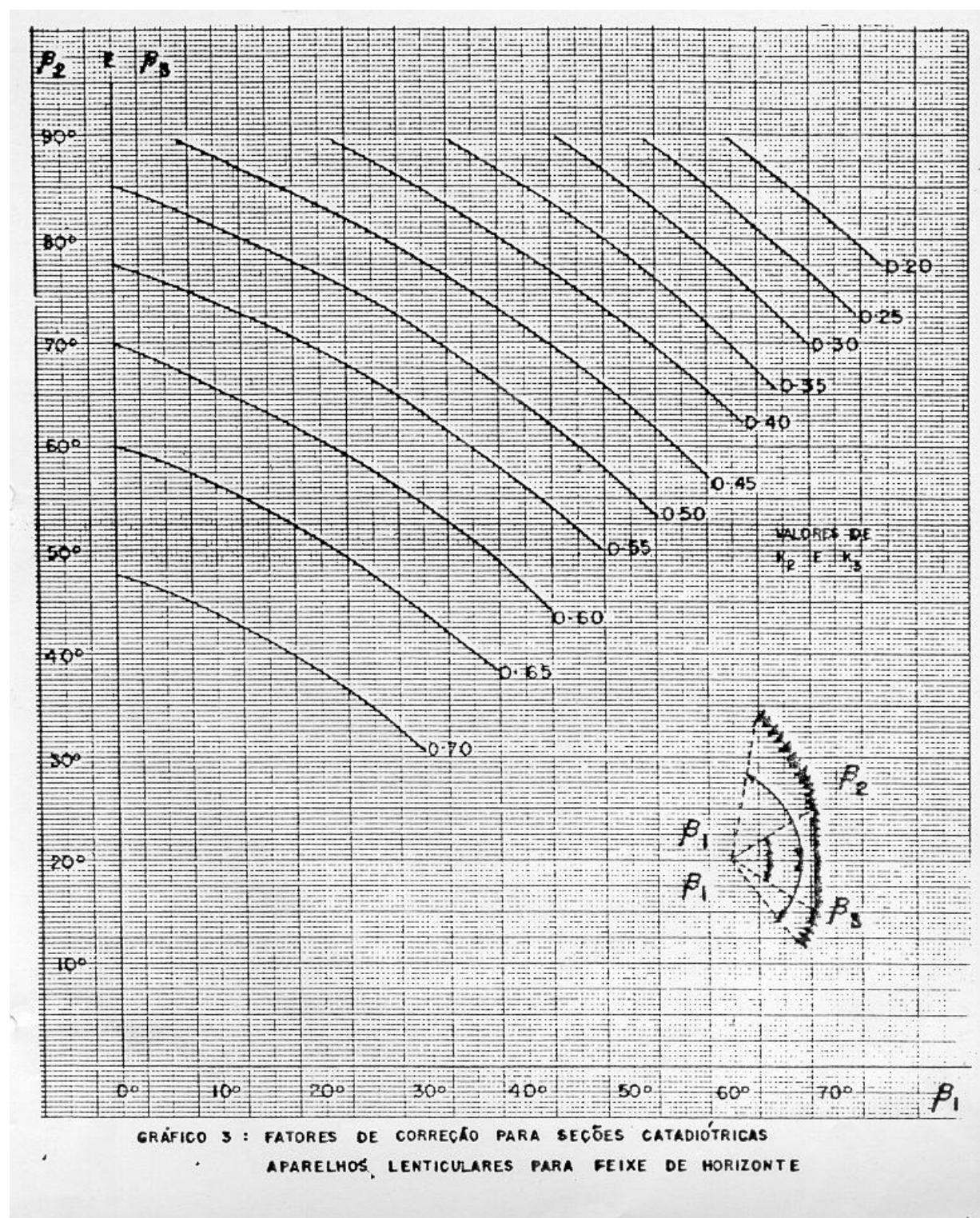


GRÁFICO 2: Feixe Direcional Diótrico – Constante de Atenuação K_1 

3.12 GRÁFICO 3: Feixe de Horizontal Catadiótrico – Constantes de Atenuação K2 e K3



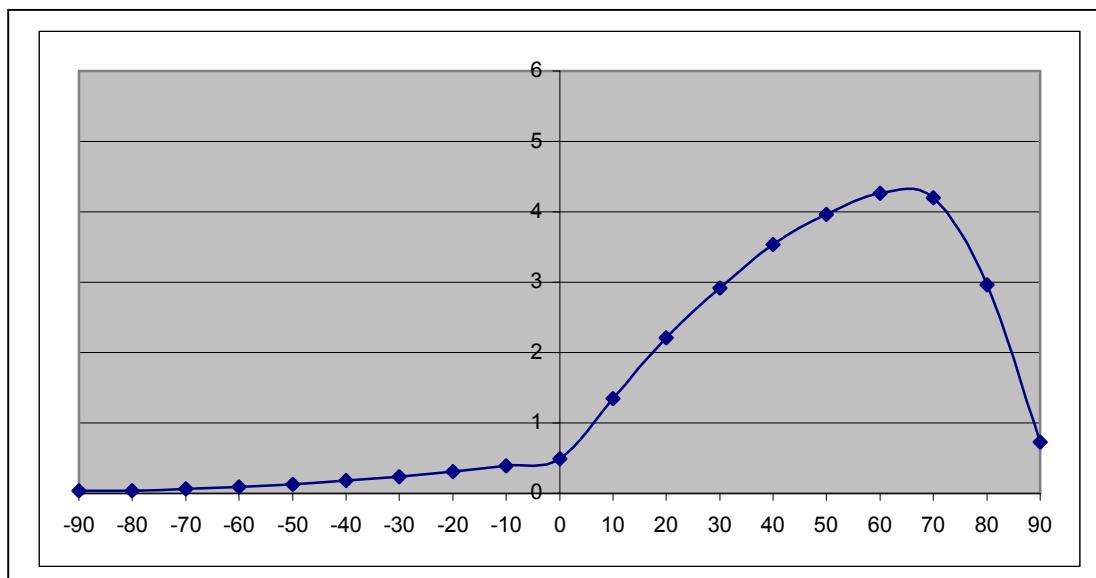
APÊNDICE 4

GRÁFICOS CONTRASTE INTRÍNSECO DE UM PAINEL BRANCO

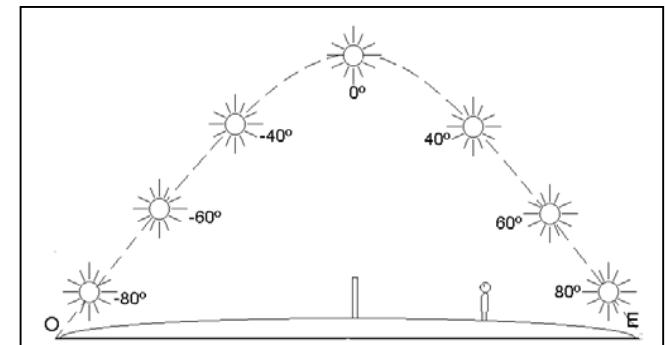
**Gráfico do Contraste Intínseco (C_0') de um Painel Branco x Ângulo de Incidência do Sol
para Solo com Fator de Luminância 0,03 (solo negro)
Indicação do Alcance em relação à Visibilidade Meteorológica (x/V)**

Variação angular – Sol a favor										
	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0
C_0'	0,73	2,96	4,20	4,26	3,96	3,54	2,92	2,21	1,35	0,49
x/V	0,89	1,36	1,48	1,48	1,46	1,42	1,36	1,26	1,10	0,76
Variação angular – contra o Sol										
	0	-10	-20	-30	-40	-50	-60	-70	-80	-90
C_0'	0,49	0,39	0,31	0,24	0,18	0,13	0,09	0,06	0,04	0,04
x/V	0,76	0,69	0,61	0,52	0,43	0,32	0,20	0,06	0,00	0,00

Valores médios de C_0' : 2,66 (iluminação direta) e 0,16 (contra a luz)



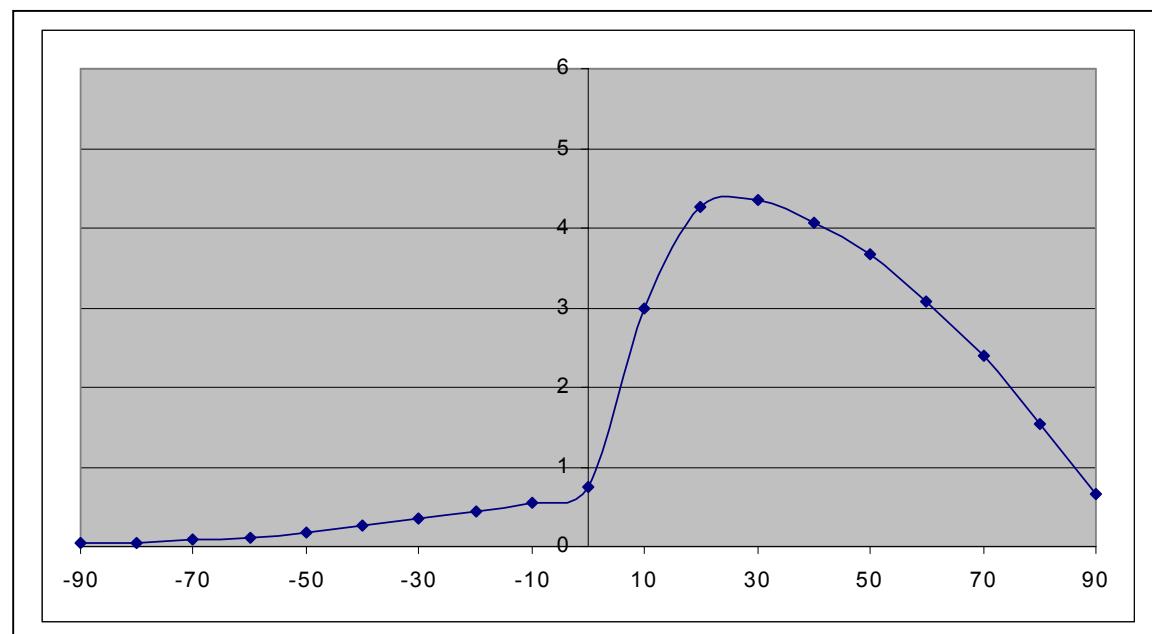
$$x/V = 1 + \frac{\log C_0'}{1,3}$$



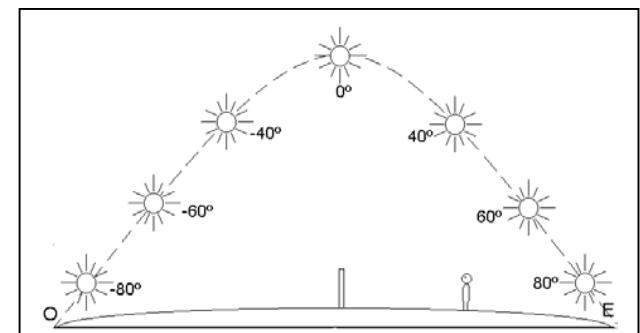
**Gráfico do Contraste Intínseco (C_0') de um Painel Branco x Ângulo de Incidência do Sol
para Solo com Fator de Luminância 0,1 (solo escuro)**
Indicação do Alcance em relação à Visibilidade Meteorológica (x/V)

Variação angular – Sol a favor										
	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0
C_0'	0,67	1,53	2,39	3,08	3,68	4,07	4,35	4,27	2,99	0,74
x/V	0,87	1,14	1,29	1,38	1,44	1,47	1,49	1,48	1,37	0,90
Variação angular – contra o Sol										
	0	-10	-20	-30	-40	-50	-60	-70	-80	-90
C_0'	0,74	0,55	0,45	0,35	0,26	0,18	0,12	0,08	0,04	0,04
x/V	0,90	0,80	0,73	0,65	0,55	0,43	0,29	0,16	0,00	0,00

Valores médios de C_0' : 2,78 (iluminação direta) e 0,23 (contra a luz)



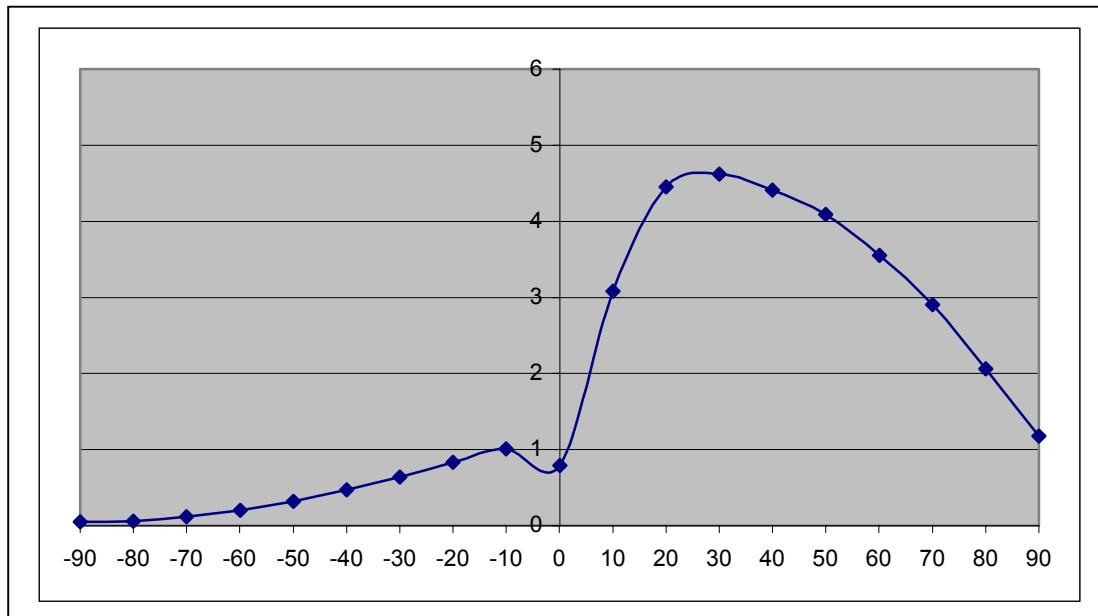
$$x/V = 1 + \frac{\log C_0'}{1,3}$$



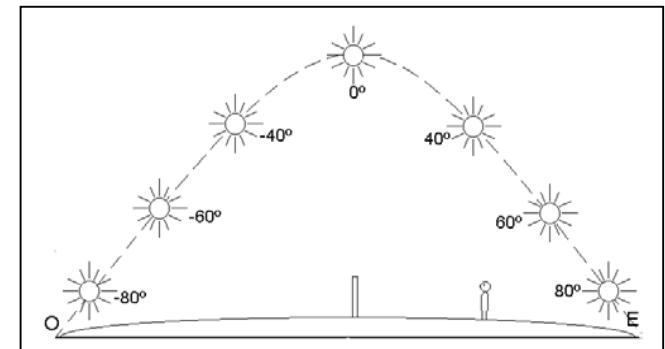
**Gráfico do Contraste Intínseco (C_0') de um Painel Branco x Ângulo de Incidência do Sol
para Solo com Fator de Luminância 0,3 (solo intermediário)
Indicação do Alcance em relação à Visibilidade Meteorológica (x/V)**

Variação angular – Sol a favor										
	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0
C_0'	1,18	2,06	2,9	3,55	4,09	4,41	4,62	4,45	3,08	0,79
x/V	1,06	1,24	1,36	1,42	1,47	1,50	1,51	1,50	1,38	0,92
Variação angular – contra o Sol										
	0	-10	-20	-30	-40	-50	-60	-70	-80	-90
C_0'	0,79	1,01	0,83	0,64	0,47	0,32	0,2	0,12	0,06	0,05
x/V	0,92	1,00	0,94	0,85	0,75	0,62	0,46	0,29	0,06	0,00

Valores médios de C_0' : 3,11 (iluminação direta) e 0,41 (contra a luz)



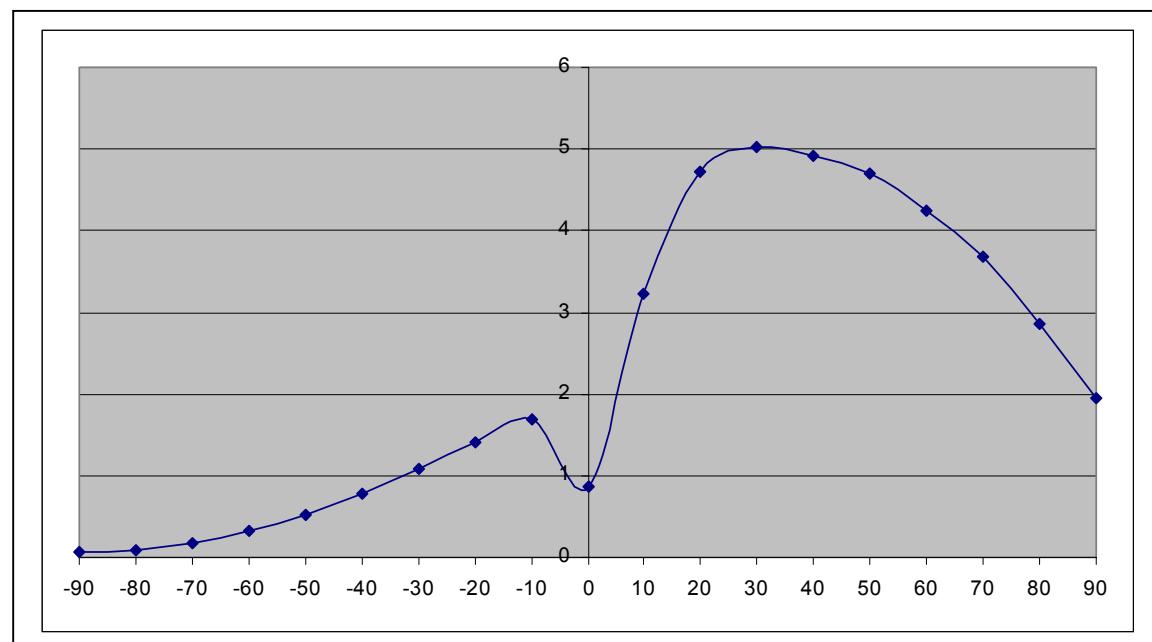
$$x/V = 1 + \frac{\log C_0'}{1,3}$$



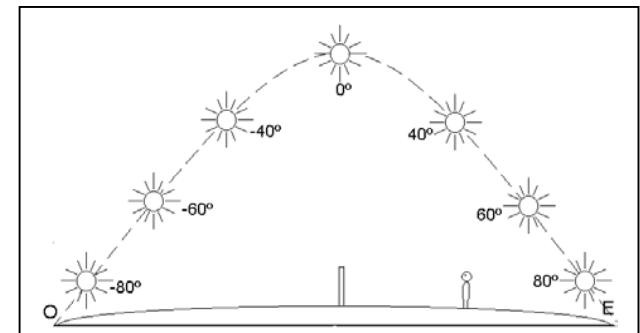
**Gráfico do Contraste Intínseco (C_0') de um Painel Branco x Ângulo de Incidência do Sol
para Solo com Fator de Luminância 0,6 (solo claro)**
Indicação do Alcance em relação à Visibilidade Meteorológica (x/V)

Variação angular – Sol a favor										
	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0
C_0'	1,94	2,86	3,68	4,25	4,7	4,92	5,02	4,72	3,22	0,86
x/V	1,22	1,35	1,44	1,48	1,52	1,53	1,54	1,52	1,39	0,95
Variação angular – contra o Sol										
	0	-10	-20	-30	-40	-50	-60	-70	-80	-90
C_0'	0,86	1,69	1,4	1,08	0,79	0,53	0,33	0,18	0,08	0,06
x/V	0,95	1,18	1,11	1,03	0,92	0,79	0,63	0,43	0,16	0,06

Valores médios de C_0' : 3,62 (iluminação direta) e 0,68 (contra a luz)



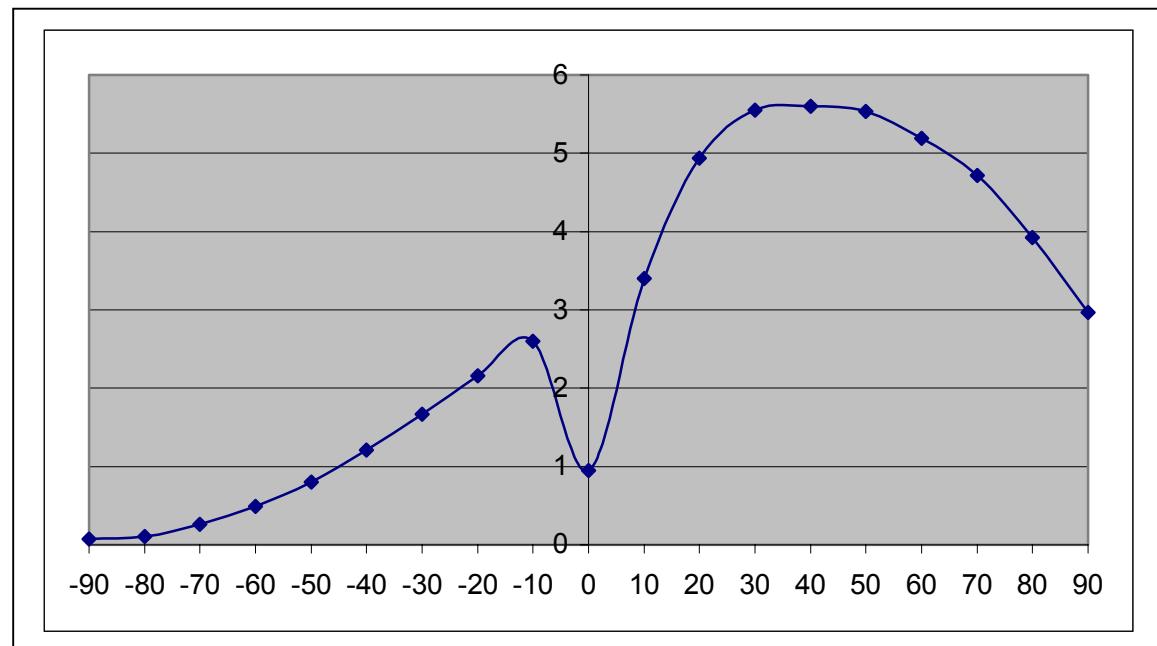
$$x/V = 1 + \frac{\log C_0'}{1,3}$$



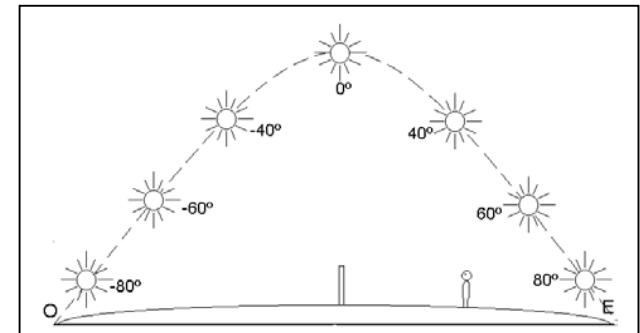
**Gráfico do Contraste Intínseco (C_0') de um Painel Branco x Ângulo de Incidência do Sol
para Solo com Fator de Luminância 1,0 (solo branco)
Indicação do Alcance em relação à Visibilidade Meteorológica (x/V)**

Variação angular – Sol a favor										
	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0
C_0'	2,97	3,92	4,72	5,19	5,53	5,6	5,55	4,94	3,4	0,95
x/V	1,36	1,46	1,52	1,55	1,57	1,58	1,57	1,53	1,41	0,98
Variação angular – contra o Sol										
	0	-10	-20	-30	-40	-50	-60	-70	-80	-90
C_0'	0,95	2,6	2,16	1,67	1,21	0,8	0,49	0,26	0,11	0,07
x/V	0,98	1,32	1,26	1,17	1,06	0,93	0,76	0,55	0,26	0,11

Valores médios de C_0' : 4,28 (iluminação direta) e 1,04 (contra a luz)



$$x/V = 1 + \frac{\log C_0'}{1,3}$$



BIBLIOGRAFIA

“The Theory of Visual Range of Aids to Navigation” – Hydrographic Service of the Navy – URSS, 1960.

“Daymarks as Aids to Marine Navigation” – Blaise, M. P. - Service des Phares et Balises – França, 1971.

“Aids to Marine Navigation” – Van Hoof, J. F. – Maritime Research Institute – Netherlands, 1982.

“Coletânea de Normas Técnicas de Sinalização Náutica” – DHN – Brasil, 1993.

“Navegação: A Ciência e a Arte” – Volume I, Miguens, A. P., DHN – Brasil, 1996.

“Sinalização Náutica Visual, 2^a Edição – Dantas, Ney, DHN – Brasil, 1998

“Normas da Autoridade Marítima para Sinalização Náutica” – NORMAM-17/DHN – Brasil, 2004.

