

MARINHA DO BRASIL
CENTRO DE INSTRUÇÃO ALMIRANTE GRAÇA ARANHA
ESCOLA DE FORMAÇÃO DE OFICIAIS DA MARINHA MERCANTE

THADEU RIBEIRO COUTINHO

**METEOROLOGIA E IMPORTÂNCIA DAS PREVISÕES METEOROLÓGICAS
PARA A NAVEGAÇÃO**

RIO DE JANEIRO

2015

THADEU RIBEIRO COUTINHO

**METEOROLOGIA E IMPORTÂNCIA DAS PREVISÕES METEOROLÓGICAS
PARA A NAVEGAÇÃO**

Monografia apresentada como exigência para obtenção do título de Bacharel em Ciências Náuticas do Curso de Oficiais de Náutica da Marinha Mercante, ministrado pelo Centro de Instrução Almirante Graça Aranha.

Orientador: 1T(RM2-T) Vinícius Oliveira

RIO DE JANEIRO

2015

THADEU RIBEIRO COUTINHO

**METEOROLOGIA E IMPORTÂNCIA DAS PREVISÕES METEOROLÓGICAS
PARA A NAVEGAÇÃO**

Monografia apresentada como exigência para
obtenção do título de Bacharel em Ciências Náuticas
do Curso de Oficiais de Náutica da Marinha
Mercante, ministrado pelo Centro de Instrução
Almirante Graça Aranha.

Data de Aprovação: ____ / ____ / ____

Orientador(a): 1T(RM2-T) Vinícius Oliveira

Graduação em Meteorologia e Mestrado em Meteorologia

Assinatura do Orientador

NOTA FINAL: _____

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente a Deus, por ter me concedido a oportunidade de me graduar nesta conceituada Instituição, ao meu orientador, Professor Vinicius Oliveira, por ter despertado em mim grande interesse pela ciência Meteorologia e pelo suporte na realização deste trabalho.

Especialmente aos meus pais Luís e Laura, bem como meu irmão Matheus, sem o apoio dos quais eu, certamente, não chegaria até onde cheguei.

Por último, agradeço à minha namorada Mayara pelo incentivo na realização deste trabalho.

RESUMO

No decorrer dos anos, a Meteorologia se desenvolveu como ciência de fundamental importância para as atividades humanas, como a agricultura, aviação civil e navegação. Advantos tecnológicos possibilitaram interpretações cada vez mais precisas e maior abrangência no campo de estudo das ciências atmosféricas. Neste trabalho será dada maior importância aos interesses inerentes à atividade marítima. A previsão do tempo é um artifício imprescindível para a realização de uma navegação segura, pois fornece antecipadamente, ao navegante, informações sobre regiões de mau tempo ou de visibilidade restrita, por exemplo. Para a formação de um bom marinheiro, o amplo conhecimento sobre a atmosfera, suas características e fenômenos se faz indispensável. Diariamente se recebe a bordo diversos documentos sobre as condições do tempo que devem ser entendidas corretamente. Para isso, será apresentado neste estudo, os elementos meteorológicos que interferem nas condições do tempo de uma determinada área, como: pressão atmosférica, temperatura do ar e da superfície do mar, radiação solar e a umidade. O comportamento destes parâmetros vai determinar a ocorrência de fenômenos que podem comprometer a segurança da navegação, como por exemplo: os nevoeiros, ventos fortes, ciclones tropicais, etc... Este trabalho mostra quando o instinto do navegador deve-se unir aos estudos de uma ciência natural. Conhecer os princípios físicos que regem a atmosfera e saber interpretar os instrumentos e publicações com exatidão é de vital importância para salvaguarda da vida humana no mar.

Palavras-chave: Histórico. Fenômenos meteorológicos. Atmosfera. Instrumentos. Previsão do tempo.

ABSTRACT

Over the years, the Meteorology has developed as a science of fundamental importance to human activities such as agriculture, civil aviation and shipping. Technological advents enabled increasingly accurate interpretations and more comprehensive field study of atmospheric sciences. This work will be given greater importance to the interests inherent to maritime activity. The weather forecast is a indispensable device for the realization of safe navigation, it provides in an advance to the navigator, information on regions of bad weather or restricted visibility, for example. In order to form a good sailor, extensive knowledge about the atmosphere, its features and phenomena are indispensable. Daily on board a number of documents on the weather conditions are taken that must be understood correctly. For this, in this study, meteorological elements will be presented that interfere with the climate conditions of a particular area, such as atmospheric pressure, air temperature and the sea surface, solar radiation and humidity. The behavior of these parameters will determine the occurrence of phenomena who may compromise the safety of navigation, such as: the fog, strong winds, tropical cyclones, etc ... This work shows when the maritime's instinct should join with the study of natural science. Knowing the physical principles governing the atmosphere and knowing how to interpret the instruments and publications accurately is too important to safety of life at sea.

Key-words: History. Atmosphere. Meteorological phenomena. Instruments. Weather forecast.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Símbolo da WMO	10
Figura 2 - Composição química da Troposfera	13
Figura 3 - Balanço Térmico do Planeta	14
Figura 4 - Ângulo de Incidência dos Raios Solares	15
Figura 5 - Movimento de Translação e as Estações do Ano	16
Figura 6 - Duração do dia e da noite no solstício de dezembro	17
Figura 7 - O albedo de algumas superfícies	18
Figura 8 - Evaporação da Água e Pressão de Vapor	20
Figura 9 - Variação da temperatura e da umidade relativa ao longo de um dia	21
Figura 10 - Carta Sinótica de pressão ao nível do mar	23
Figura 11 - Centros de Alta e Baixa pressão	25
Figura 12 - Circulação Geral da Atmosfera	26
Figura 13 - Brisas Marítimas e Terrestres	28
Figura 14 - Ciclone Tropical	35
Figura 15 - Manobras Evasivas na Área da Tormenta	41
Figura 16 - Representação das Frentes em um Sistema Extratropical	42
Figura 17 - Frente Fria	43
Figura 18 - Frente Quente	45
Figura 19 - Carta Sinótica fornecida pela DHN	50
Figura 20 - Carta Piloto	51
Figura 21 - Rosa dos ventos da carta piloto	52

SUMARIO

1.	INTRODUÇÃO	9
1.1	Objetivo	11
2.	A ATMOSFERA TERRESTRE	12
2.1	Troposfera	12
3.	ELEMENTOS METEOROLÓGICOS	14
3.1	Radiação solar	14
3.2	Temperatura do ar	18
3.3	Temperatura da superfície do mar	19
3.4	Umidade do ar	19
3.5	Pressão atmosférica	22
4.	FENÔMENOS METEOROLÓGICOS	25
4.1	Ventos e circulação do ar	25
4.1.1	circulação geral da atmosfera	25
4.1.2	brisas	27
4.1.3	monções	28
4.1.4	circulação nas altas e baixas pressões	29
4.2	Atividade convectiva e nebulosidade	29
4.3	Restrição de visibilidade	32
4.3.1	nevoeiro	33
4.3.2	névoa	34
4.4	Ciclones tropicais	34
4.4.1	medidas a serem tomadas pelo navegante em uma área sujeita a ciclones tropicais	36
4.4.2	indícios da aproximação de um ciclone tropical	37
4.4.3	manobras evasivas na área da tormenta	39
4.5	Sistemas sinóticos	41
4.5.1	frente fria	42
4.5.2	frente quente	44
5.	PRINCIPAIS PUBLICAÇÕES E INSTRUMENTOS DE COLETA DE DADOS	46
5.1	Anemômetros e anemoscópios	46
5.2	Barômetros	47
5.3	Termômetros	47

5.4	Higrômetros	47
5.5	Imagens de satélites meteorológicos	48
5.6	Boletins meteoromarinha	49
5.7	Cartas sinóticas	49
5.8	Cartas piloto	51
6.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	53
	REFERÊNCIAS	54

1 INTRODUÇÃO

Meteorologia é a ciência responsável por estudar a atmosfera terrestre, fenômenos atmosféricos e suas conseqüências. Os principais aspectos sobre os quais a meteorologia disserta são: a previsão do tempo e a climatologia.

Defini-se tempo como sendo o conjunto de condições meteorológicas (temperatura do ar, pressão atmosférica, nebulosidade, precipitação, velocidade e direção do vento, etc...) de uma determinada região num determinado instante, logo se trata de um estado momentâneo da atmosfera. Por exemplo, diz-se “Hoje o dia está frio e chuvoso no Rio de Janeiro”

Já o Clima é uma noção criada pelo homem advinda da coleta de informações sobre o tempo de um determinado lugar, na tentativa de estabelecer um padrão dos diversos elementos meteorológicos presentes na atmosfera terrestre. Por exemplo, diz-se “O inverno no Rio de Janeiro é normalmente chuvoso”.

O termo “meteorologia” teve origem na Grécia no ano 340 a.C. em uma obra de Aristóteles denominada *Meteorica*, que reunia todo o conhecimento da época sobre o tempo e o clima. Mesmo carente de recursos tecnológicos, o filósofo grego chegara a conclusões importantes como a de que o ar quente tende a subir para as altas camadas da atmosfera e que a evaporação é causada pelo sol. Devido a descobertas como essas, Aristóteles ficou conhecido como o pai da meteorologia.

A partir do século 16, a Meteorologia alcançou outro patamar devido, principalmente, ao desenvolvimento de equipamentos como o Termômetro (medidor de temperatura) e o barômetro (medidor de pressão).

Outro marco importante do desenvolvimento da Meteorologia foi a criação da Organização Meteorológica Internacional (IMO), no ano de 1873. Esta organização foi sucedida, em 1950, pela Organização Meteorológica Mundial (WMO). Este órgão é uma agência especial das

Nações Unidas para atuar no que diz respeito à atmosfera da Terra, sua influência sobre os oceanos e o clima resultante. A WMO promove a colaboração entre os serviços meteorológicos e hidrológicos nacionais de todos os seus países-membro. Atualmente, a Organização tem 189 Estados-Membros e tem a sua sede localizada em Genebra, na Suíça.

Figura 1: Símbolo da WMO



Fonte: www.wikipedia.org

O século 20 foi marcado pelo desenvolvimento de equipamentos, como balões atmosféricos para sondagens verticais. Na metade do século, com o fim da Segunda Guerra Mundial, radares militares passaram a ser utilizados para medições meteorológicas, e novos computadores permitiram análises e previsões mais precisas.

O satélite TIROS-1 foi lançado no ano de 1960 e foi o primeiro satélite meteorológico bem-sucedido, registrando e transmitindo imagens feitas por duas câmeras. Este satélite foi o primeiro de uma série denominada *Television Infrared Observation Satelites* (sigla: TIROS) lançado pelos EUA para o sensoriamento remoto da terra, o que permitiu que os cientistas observassem a Terra de outra perspectiva: o espaço.

O estudo do comportamento da atmosfera é de vital importância para as mais diversas atividades humanas, dentre elas a agricultura, turismo, aviação e navegação marítima. Neste trabalho será dado foco à aplicação da meteorologia na atividade marítima, contribuindo para a capacitação do navegante em interpretar as mais diversas informações meteorológicas recebidas a bordo

1.1 Objetivo

Expor os principais elementos e fenômenos meteorológicos que afetem a navegação, embasando fisicamente cada processo afim de instruir o navegante para que seja possível as previsões antecipadas de fenômenos que venham a colocar em risco a embarcação, a carga ou a vida humana.

2 A ATMOSFERA TERRESTRE

O que chamamos de Atmosfera terrestre é uma camada de gases que envolve o planeta e é retida por ele devido à atração gravitacional. Se a terra não possuísse atmosfera, a vida da forma que conhecemos não existiria, pois é essa camada de gases responsável por absorver parte da energia dos raios ultras-violeta provindos do Sol, o que reduz os extremos de temperatura entre o dia e a noite (amplitude térmica diária). A atmosfera terrestre também tem outro papel fundamental para a existência da vida que é o suprimento da matéria prima para o processo da fotossíntese (CO_2) e a regulação do processo de transpiração das plantas.

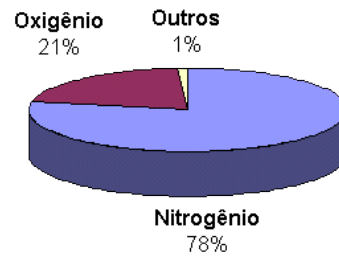
A atmosfera terrestre é dividida em camadas caracterizadas por suas propriedades físicas. Por convenção, foram estruturadas cinco camadas: Exosfera, Termosfera, Mesosfera, Estratosfera e Troposfera.

2.1 Troposfera

A troposfera é a camada atmosférica mais próxima da terra, situada entre a superfície do planeta e a Estratosfera. É, portanto, a região da atmosfera que mais tem influência sobre a vida humana. Todos os fenômenos meteorológicos ocorrem nesta camada, motivo pelo qual receberá maior ênfase neste trabalho.

A composição química da troposfera é uniforme e praticamente igual a da atmosfera como um todo: 78% de Nitrogênio, 21% de Oxigênio e 1% de outros gases (dióxido de carbono, óxido nitroso, dióxido de nitrogênio, gás metano, ozônio, etc...). Além dessas substâncias, está presente em grandes proporções o vapor de água, que alcança a atmosfera devido a processos físicos de vaporização (evaporação, ebulição e calefação) e transpiração. A concentração deste vapor varia de 1% a 4% e seu estudo é de vital importância para o entendimento dos fenômenos climático

Figura 2: Composição Química da Troposfera



Fonte: <http://crv.educacao.mg.gov.br/>

Na troposfera, a temperatura do ar decresce com a altitude. Isso ocorre porque, nesta camada, o calor responsável por aquecer o ar vem da superfície terrestre. A taxa pela qual a temperatura cai é chamada de gradiente adiabático ambiental (dT/dz), esta grandeza para o ar seco é de $-9,8^{\circ}\text{C}/\text{km}$, enquanto o para uma massa de ar saturada de vapor de água é de $-6,5^{\circ}\text{C}/\text{km}$. Esta taxa é na realidade, bastante variável. Em determinadas ocasiões a temperatura cresce em finas camadas, caracterizando uma inversão. O limite superior da Troposfera é a zona de descontinuidade chamada Tropopausa.

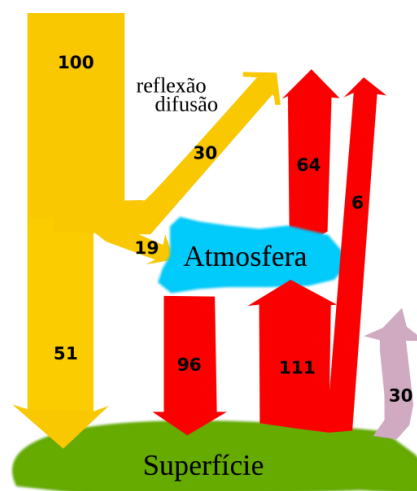
3 ELEMENTOS METEOROLÓGICOS

3.1 Radiação solar

Os fenômenos meteorológicos envolvem grande quantidade de energia. Neste contexto, o Sol tem um papel fundamental, pois envia a maior parte desta energia, por meio de radiação eletromagnética. O quantitativo energético que atinge o limite superior da atmosfera é chamada constante solar, e é aproximadamente $2 \text{ cal/ cm}^2 \text{ min}$. Ou seja, em média, por minuto, uma área de 1 cm^2 recebe do Sol 2 calorias de energia.

Da quantidade total de energia solar irradiada sob a forma de ondas curtas recebida pela Terra, grande parte é refletida, outra parte é absorvida pela própria atmosfera e o restante atinge a superfície. A energia absorvida pelo planeta é responsável pelo aquecimento da superfície, que devido a isso passa a irradiar energia sob a forma de ondas longas (ondas de calor). Sendo assim, a superfície da Terra absorve energia durante o dia, aquecendo-se, e irradia energia durante a noite, resfriando-se, garantindo o balanço térmico do planeta.

Figura 3: Balanço Térmico do Planeta



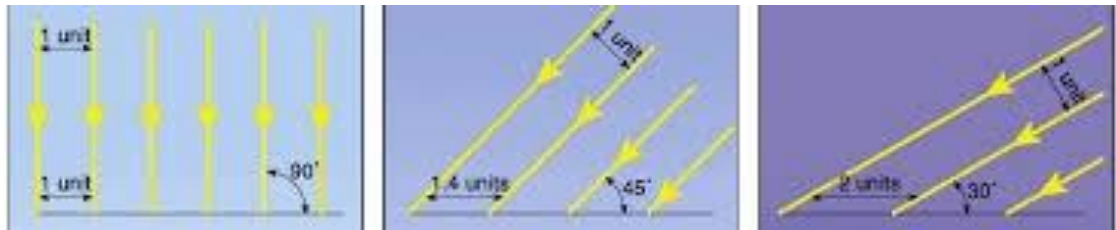
Fonte: <http://montalvoeascienciasdonossotempo.blogspot.com.br/>

Sendo a radiação solar a principal fonte de energia do planeta e o “combustível” para a ocorrência dos fenômenos climáticos, suas

variações devido à região ou época do ano, por exemplo, são fundamentais para o estudo da Meteorologia.

O fator mais determinante no que tange a variação da quantidade de energia solar recebida é o ângulo de incidência, que representa a inclinação dos raios solares em relação à superfície terrestre. Quanto maior for este ângulo, maior será a área a receber a mesma quantidade de energia, o que se traduzirá em temperaturas mais amenas. Analogamente, menores ângulos de incidência garantirão maior aquecimento da superfície, pois a energia se distribuirá sobre uma área menor.

Figura 4: Ângulo de Incidência dos Raios Solares



Fonte: <http://www.lce.esalq.usp.br/>

O ângulo de incidência com que os raios solares atingem uma determinada região da superfície terrestre varia ao longo do dia e ao longo do ano.

No decorrer de um dia solar, o ângulo de incidência varia devido ao movimento de rotação da terra em torno do seu eixo, sendo o instante de maior recebimento de energia a passagem meridiana do Sol, ou seja, o meio-dia verdadeiro daquela região. Eventualmente, considera-se o movimento relativo do Sol, ou seja, tudo ocorre como se o planeta estivesse estático e a estrela girasse em torno dele. A rotação terrestre tem sentido de oeste para leste, sendo assim, o movimento do Sol em relação à Terra, é de leste para oeste. Essa sentença facilita a resolução de problemas práticos no âmbito da Astronomia.

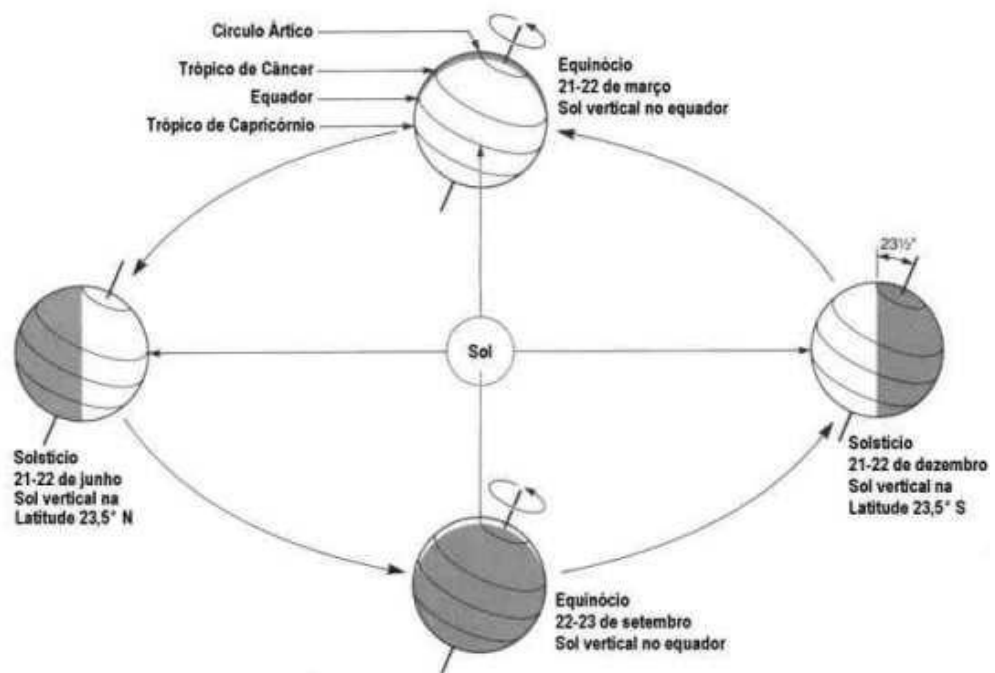
No decorrer de um ano, o ângulo de incidência vai variar devido ao movimento de translação, aliado ao fato de que o eixo terrestre é inclinado em relação ao plano perpendicular ao plano da eclíptica. Essa variação anual do ângulo de incidência dos raios solares caracteriza as

estações do ano. É fundamental afirmar que se o eixo de rotação da Terra não fosse inclinado, o ângulo de incidência dos raios solares não variaria no decorrer do ano e não seriam definidas estações do ano.

O que vai determinar a região da terra onde os raios incidem perpendicularmente numa época do ano é a declinação do Sol, que é uma coordenada astronômica empregada na localização de astros na esfera celeste. As regiões de latitude igual à declinação do Sol receberão os raios solares sob um ângulo de 90° . Ao longo do ano, a declinação do Sol flutua entre $23^\circ 26' S$ e $23^\circ 26' N$. Devido a isso a região tropical, compreendida entre os trópicos de Câncer e Capricórnio, é a região sujeita ao maior aquecimento.

Outro fator fundamental para a variação da radiação solar nas diversas áreas da Terra é a sua forma, que é comumente chamada de Geóide, embora, para fins práticos seja considerada uma esfera perfeita. Num mesmo instante, regiões da terra estão sujeitas a níveis de radiação solar diferentes, o que vai possibilitar fenômenos meteorológicos distintos.

Figura 5: Movimento de Translação e as Estações do Ano



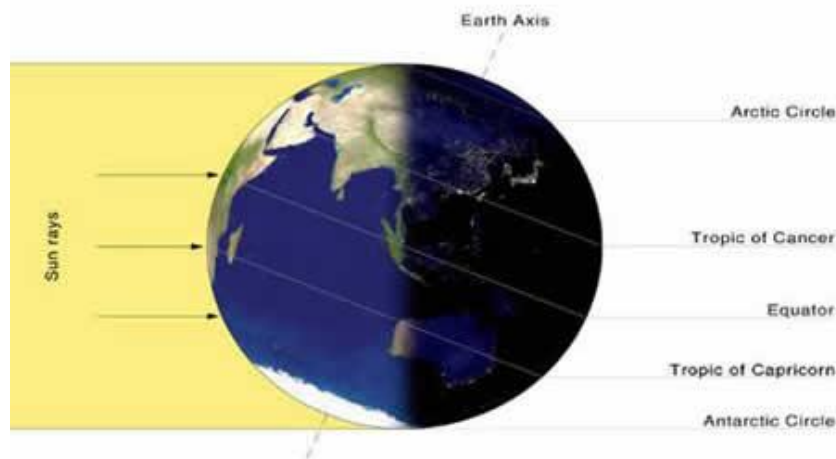
Fonte: <http://fisica.ufpr.br/>

O instante do ano em que os raios solares incidem perpendicularmente sobre o Trópico de Câncer é chamado de Solstício de verão no hemisfério norte e de inverno no hemisfério sul, este fenômeno ocorre no dia 21 ou 22 de junho. Analogamente, quando a incidência dos raios solares é perpendicular ao Trópico de Capricórnio, é chamado solstício de verão no hemisfério sul e de inverno no hemisfério norte e ocorre no dia 21 ou 22 de dezembro.

Os instantes do ano em que os raios alcançam a Linha do Equador sob um ângulo de 90° são chamados de equinócio. O Equinócio de Março trás a primavera para o hemisfério norte e o outono para o hemisfério sul, enquanto no equinócio de Setembro, inicia-se o outono no hemisfério norte e a primavera no hemisfério sul.

Outra característica decorrente da translação, da inclinação do eixo terrestre e da esfericidade da Terra é variação na duração dos dias e noites ao longo do ano. No verão o dia tem maior duração que a noite enquanto no inverno a situação se inverte.

Figura 6: Duração do dia e da noite no solstício de dezembro

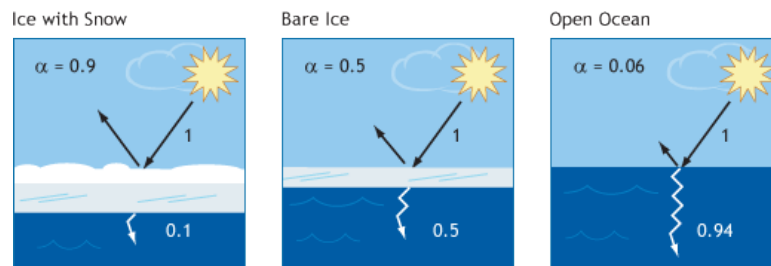


Fonte: <http://www.sogeografia.com.br/>

Outro aspecto importante no que diz respeito à absorção de energia solar pela superfície terrestre é o coeficiente de reflexão ou albedo, que é a relação entre a energia refletida e a total recebida. Sua natureza adimensional permite que ela seja expressa como uma porcentagem, e ela é medida numa escala de zero, para nenhuma

reflexão por uma superfície perfeitamente negra, até 1, para uma reflexão perfeita por uma superfície branca. Desta forma, superfícies com maior albedo tendem a refletir maior quantidade de radiação o que se traduz em temperaturas mais baixas. Analogamente, quanto menor o albedo, menor é a parcela de energia refletida de volta para o espaço, logo maior será o aquecimento.

Figura 7: O albedo de algumas superfícies



Fonte: www.google.com/images

Como foi exposto na figura 7, cada superfície é dotada de um albedo e, portanto, se comportará diferente perante ao recebimento da radiação solar. Este coeficiente contribui de forma significativa para a diferença de aquecimento das regiões da superfície terrestre.

3.2 Temperatura do ar

A temperatura do ar é um aspecto de vital importância quando se deseja estudar os fenômenos meteorológicos. A variação da temperatura é responsável por provocar nas massas de ar uma variação em sua densidade o que se traduzirá em variação de pressão. Como será visto a diferença de pressão atmosférica entre duas porções de ar que ocasionará o deslocamento horizontal destas massas e conseqüentemente o transporte de energia de um lugar para outro, contribuindo para o equilíbrio térmico do planeta.

A temperatura do ar varia verticalmente na atmosfera, de modo geral, na Troposfera, a temperatura diminui com o aumento da altitude. A explicação está no fato de o aquecimento da atmosfera se dar a partir do solo. A camada limite de ar que está em contato com a superfície

terrestre é aquecida por condução, que é uma forma de propagação de calor que se dá num meio material devido a choques eletromagnéticos entre as moléculas deste meio. Com a camada inferior de ar aquecida, o calor se propagará verticalmente por convecção, onde a propagação ocorre em função da diferença de densidade entre duas porções do fluido em questão. Este gradiente de temperatura entre as camadas mais baixas e mais altas da atmosfera é responsável pela ocorrência do movimento vertical do ar, que como será visto mais adiante, é ascendente sobre um centro de baixa pressão e descendente sobre um de alta.

A temperatura do ar também varia horizontalmente em função da latitude. Regiões mais próximas da Linha do Equador estão sujeitas a maior quantidade de radiação solar anual em comparação às de latitudes mais altas. Isso vai se traduzir em maiores temperaturas na região tropical e temperaturas mais amenas nas áreas mais próximas dos pólos. Este gradiente térmico horizontal favorece a circulação geral das massas de ar e surgimento dos sistemas frontais.

3.3 Temperatura da superfície do mar (TSM)

A temperatura da água na superfície é de suma importância na interação oceano-atmosfera e é imprescindível que o navegante tenha controle deste aspecto, pois a TSM é determinante para a ocorrência de nevoeiro, tormentas ou furacões. A temperatura da superfície do mar tem a peculiaridade de não variar durante o dia, pois a maior parte da energia absorvida é empregada para evaporar as moléculas de água da superfície. Essa característica é responsável por reger o sistema de brisas na costa, fenômeno que deve ser minuciosamente observado pelo piloto durante a navegação costeira e aterragem, por exemplo.

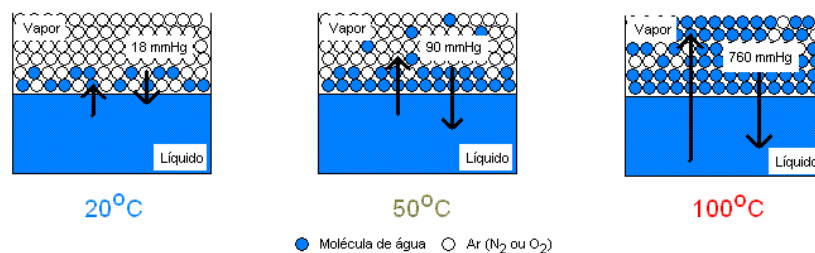
3.4 Umidade do ar

A medida da quantidade de vapor d'água contida no ar atmosférico é fundamental para entendimento dos fenômenos

meteorológicos, tendo em vista a sua capacidade de armazenar e transportar para outras regiões grandes quantidades de energia sob a forma de calor latente. Sendo assim, a umidade presente no ar garante o suporte energético para a ocorrência de fenômenos climáticos de grande intensidade. A Higrometria é o ramo da física responsável por estudar e medir a umidade presente na atmosfera.

Um conceito importante para o bom entendimento da umidade e suas características é o de pressão de vapor, que é a pressão exercida por um vapor sobre o líquido que lhe deu origem. As moléculas de H_2O presentes na superfície da água dotadas de maior energia cinética se desprendem do meio líquido, processo esse chamado de evaporação. Simultaneamente, algumas delas são capturadas novamente pelo líquido e quando a quantidade de moléculas que se desprendem for igual à quantidade que são novamente capturadas, a pressão exercida é chamada de pressão máxima de vapor. Esta grandeza, para uma mesma altitude, varia em função da temperatura, pois um maior grau de agitação molecular garantirá evaporação mais intensa.

Figura 8: Evaporação da Água e Pressão de Vapor



Fonte: www.wikipedia.org

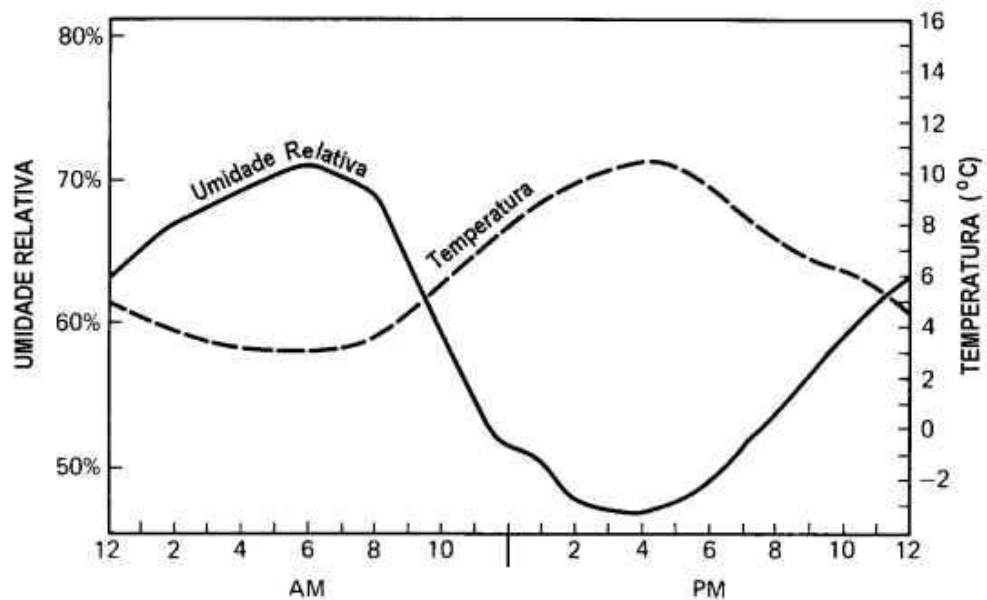
Quando a pressão que o vapor exerce sobre o fluido é máxima, diz-se que o ar está saturado.

Define-se a Umidade Absoluta como sendo a quantidade de vapor d'água, medida em unidade de massa, presente no ar. Enquanto a umidade absoluta máxima é a quantidade de vapor d'água presente no ar saturado.

Umidade relativa por sua vez é formalmente definida como sendo a relação entre a pressão de vapor do ar, medido em pascal, e a pressão máxima de vapor (estado de saturação). Comumente, refere-se à umidade relativa como sendo a razão entre a massa de vapor d'água presente numa porção de ar (umidade absoluta) e a massa deste vapor necessária para saturar o ar. Como este será sempre maior ou igual a aquele, é fácil concluir que a umidade relativa varia de 0 a 1, onde 0 representaria o ar totalmente seco e 1 representaria o ar saturado de vapor d'água.

Em linguagem prática, o ar possui uma quantidade de vapor d'água máxima que ele pode conter. Com o aumento da temperatura maior será esta capacidade, ou seja, maior será sua pressão máxima de vapor e menor será sua umidade relativa.

Figura 9: Variação da temperatura e da umidade relativa ao longo de um dia



Fonte: <http://fisica.ufpr.br/grimm/aposmeteo/cap5/cap5-3-3.html>

O efeito do ciclo diurno da temperatura é visível na Figura 13. Neste exemplo, o conteúdo de vapor d'água real do ar permaneceu inalterado; só a umidade relativa variou.

3.5 Pressão atmosférica

Pressão atmosférica é a força exercida pela coluna de ar sobre determinada área.

$$p = \frac{F}{A}$$

Fazendo o equilíbrio da coluna de ar tem-se:

$$F = P = \rho V = \rho Ah; \text{ logo: } p = \frac{\rho Ah}{A}, \text{ ou seja: } p = \rho h$$

Sendo assim, a pressão que uma coluna fluida exerce numa determinada área é diretamente proporcional à densidade do fluido em questão.

A densidade por sua vez é função direta da temperatura, devido ao fenômeno da dilatação térmica.

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{m}{V_0(1+\gamma\Delta\theta)}, \text{ logo: } p = \frac{mh}{V_0(1+\gamma\Delta\theta)}$$

Onde:

F: Força que a coluna de ar exerce sobre a superfície

P: Peso da coluna de ar

ρ : Densidade do ar

V: Volume do ar

A: Área da superfície em contato com a coluna de ar

h: Altura da coluna de ar

p: Pressão atmosférica exercida sobre a área A

m: Massa da coluna de ar

$V_0(1 + \gamma\Delta\theta)$: Parcela referente à dilatação térmica do ar

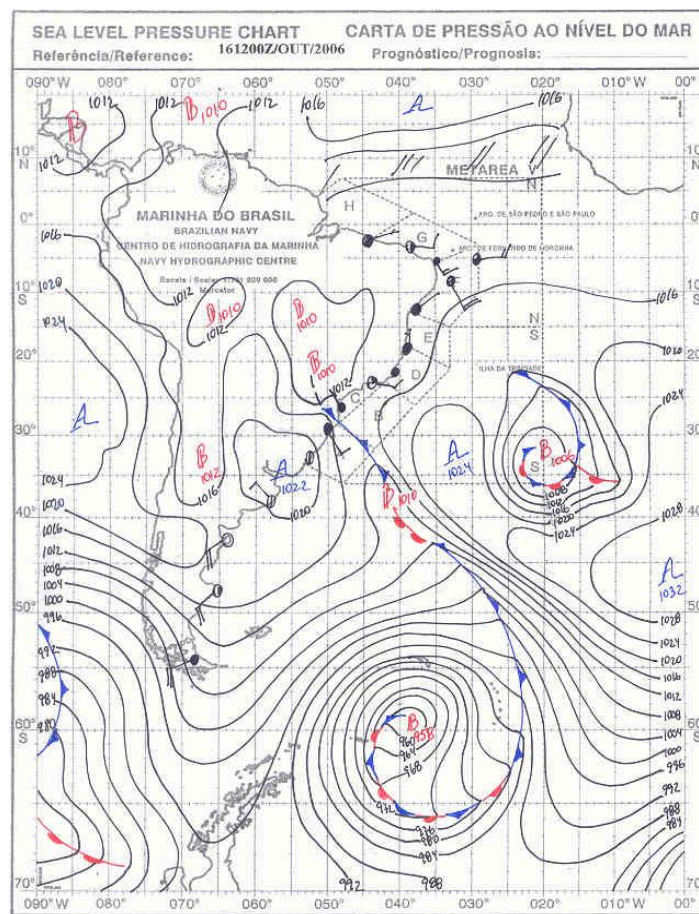
Em suma, quanto maior for a temperatura de uma massa de ar, mais dilatada ela estará, ocupando assim maior volume, o que se

traduzirá em menor densidade e menor pressão exercida sobre a área em questão. Para porções de ar a temperaturas mais baixas, o raciocínio é análogo.

Esta conclusão é de grande interesse para o estudo dos fenômenos meteorológicos, pois analisando a temperatura da superfície terrestre e conseqüentemente do ar em diversas áreas do planeta, é possível prever como será o comportamento da pressão atmosférica nessas áreas.

O grande propósito da análise da pressão é prever o comportamento dos ventos e da circulação do ar de modo geral. Cabe então, caracterizar as regiões de alta e de baixa pressão. Observações e medições efetuadas por estações meteorológicas espalhadas ao longo de uma área são plotadas numa espécie de mapa especial denominado Carta Sinótica de Pressão à Superfície. As plotagens permitem que sejam traçadas nessa carta linhas de iguais pressões, chamadas de isóbaras.

Figura 10: Carta Sinótica de pressão ao nível do mar



Fonte: www.mar.mil.br/dhn

O gradiente horizontal de pressão é uma grandeza física definida como:

$$G = \frac{\Delta p}{d}$$

Onde:

G: Gradiente Horizontal de Pressão

Δp : Diferença de pressão entre duas isóbaras

d: Distância entre as duas isóbaras

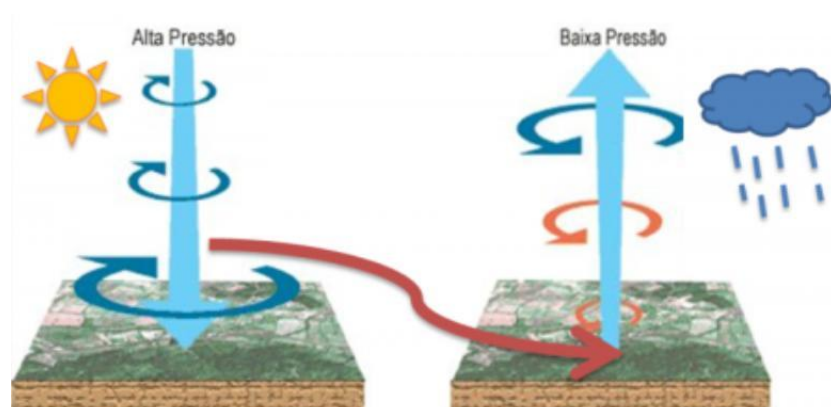
Sendo assim, o gradiente de pressão é diretamente proporcional à diferença de pressão entre isóbaras e inversamente proporcional à distância entre elas. Esta grandeza física vai caracterizar uma das quatro forças que determinam a intensidade, direção e sentido do vento. Além da força do gradiente de pressão, atuam também a força centrípeta, o atrito e a interação coriolis.

4. FENÔMENOS METEOROLÓGICOS

4.1 Ventos e circulação do ar

O deslocamento horizontal das massas de ar na superfície se dá devido à diferença de pressão entre dois pontos. O ar mais quente, por ser menos denso, tende a subir para camadas mais elevadas da atmosfera. Este movimento ascendente deixará na superfície uma zona de baixa pressão, coloquialmente um “espaço vazio”. O ar atmosférico por ser um gás, tem a tendência de ocupar todo o volume que lhe é oferecido e desta forma o ar mais frio das regiões adjacentes ocupará o espaço deixado. Esse movimento horizontal ocorre tanto em escala local quanto em escala planetária e tem a mesma causa.

Figura 11: Centros de Alta e Baixa pressão



Fonte: www.google.com/images

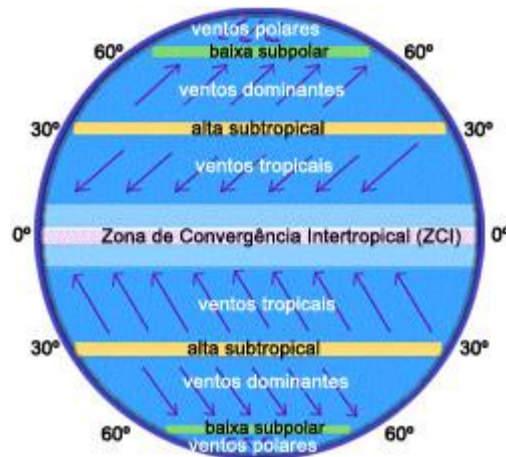
4.1.1 circulação geral da atmosfera

A atmosfera, também é dotada de movimento em larga escala. Novamente, a causa destes deslocamentos de grandes massas de ar é a diferença de temperatura entre regiões do planeta. As regiões próximas ao Equador estão submetidas a maior intensidade de radiação solar em relação às regiões de latitudes mais altas, a circulação geral da atmosfera contribuirá para o equilíbrio térmico do planeta. Em suma, a tendência é o ar se deslocar da alta para a baixa pressão, porém, é

verificada a influência da rotação da terra sobre este movimento: o efeito da força de coriolis.

Todos os pontos no planeta giram a uma velocidade angular constante, porém, regiões de maiores latitudes terão raios de rotação menores o que se traduz em velocidades lineares também menores, neste contexto atua a força inercial de coriolis. Resumindo, um corpo que descreve um movimento de uma latitude mais alta para uma mais baixa tem sua trajetória desviada para oeste, e quando o movimento é de latitude mais baixa para latitude mais alta, o desvio é para leste.

Figura 12: Circulação Geral da Atmosfera



Fonte: www.ciência.hsw.uol.com.br

Desta forma as regiões de alta e baixa pressão vão caracterizar regimes de ventos em grande escala. A região próxima da Linha do Equador é sujeita ao maior aquecimento anual, garantindo um centro de baixa pressão permanente, para onde vão convergir os ventos tanto do hemisfério norte quanto do sul, chamado de Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) que acompanha o equador térmico, que por sua vez é o círculo de latitude de maior aquecimento da terra e se desloca de aproximadamente 15°N a 5°N. Embora no oceano Índico, a ZCIT pode atingir o paralelo 5°S, de modo geral, ela se mantém durante todo o ano no hemisfério norte, isto ocorre devido à maior influência da Continentalidade neste hemisfério enquanto no Sul há maior influência da Maritimidade. Basicamente por que o HN tem maior parcela de terra,

que por sua vez é mais suscetível a mudanças de temperatura (menor calor específico) e, portanto, vai se aquecer mais.

As correntes de ventos que envolvem o planeta são, normalmente, divididas em três grandes células: célula de Hadley, célula de Ferrel e Célula Polar.

São chamados de Ventos Alíseos, os ventos que sopram dos centros de alta subtropicais na direção a ZCIT, definindo a célula de Hadley. Os ventos de oeste sopram das altas subtropicais na direção dos centros de baixa subpolares, caracterizando a célula de Ferrel. Já a célula Polar, é definida pelos ventos que sopram dos pólos em direção às baixas subpolares, chamados de ventos polares de leste.

4.1.2 brisas

O regime de brisas ao longo da costa é uma variável muito importante a ser considerada pelo navegante, pois a direção do vento pode ser prejudicial ou favorável a manobra que será realizada, principalmente em Águas Restritas. Durante o dia, o vento sopra do mar para o continente enquanto a noite o sentido se inverte. A explicação está no fato de que a temperatura da superfície do mar (TSM) se mantém praticamente constante ao longo de curtos períodos de tempo como de um dia. A partir do amanhecer, o Sol aquece o continente e conseqüentemente a massa de ar imediatamente acima da superfície, criando assim um centro de baixa pressão, garantindo que o vento sopra no sentido do mar para a praia (brisa marítima). Já a partir do anoitecer, o continente passa a irradiar energia para o espaço sideral, resfriando-se e caracterizando assim, um centro de alta pressão, fazendo com que a direção do vento seja da praia para o mar (brisa terrestre). Ao cair da noite, durante o arrefecimento da superfície terrestre, por um período de tempo sua temperatura se mantém igual à TSM, explicando um período de calmaria. Geralmente, a brisa marítima tem maior intensidade do que a terrestre, pois a diferença de temperatura entre o mar e o continente é maior durante o dia.

Figura 13: Brisas Marítimas e Terrestres



Fonte: www.wikipedia.org

4.1.3 monções

Em maior escala, porém apoiadas pelo mesmo fenômeno físico, as monções também são fatores a serem levados em conta pelo navegante quando operando em mares por elas sujeitos.

O regime de monções é similar ao das brisas, todavia no período de um ano. O calor específico da água é muito grande, desta forma, para que a sua temperatura varie é necessário receber ou ceder uma grande quantidade de energia. Por isso, o continente se aquece mais do que o oceano durante o verão e se resfria mais que ele durante o inverno. Assim, o regime de monções é caracterizado por: vento que no verão sopra em direção ao continente e no inverno em direção ao mar. É, portanto, um fenômeno sazonal, ou seja, muda suas características de acordo com a época do ano. As regiões mais sujeitas às monções são as localizadas próximas aos bordos externos da célula de Hadley.

À medida que se compreendeu melhor as monções, a sua definição foi-se ampliando de forma a incluir quase todos os fenômenos associados com o ciclo meteorológico anual verificado nos territórios tropicais e subtropicais dos continentes da Ásia, Austrália e África junto com os seus mares e oceanos adjacentes. Nestas regiões ocorrem as mudanças climáticas sazonais mais dramáticas da Terra.

4.1.4 circulação do ar nas baixas e altas pressões

Observando-se uma carta sinótica de pressão ao nível do mar é possível identificar, através das isóbaras, as zonas de baixa e alta pressão e assim, o comportamento do vento na região. As forças responsáveis por controlar o vento são: força de gradiente de pressão, força de coriolis, força de fricção e força centrípeta.

Como já exposto, o movimento do ar é convergente nos centros de alta e divergente nos centros de baixa, porém, o efeito da força de coriolis faz com que a trajetória do vento seja circular. No hemisfério norte, a circulação do ar é no sentido anti-horário nos centros de baixa e no sentido horário nos centros de alta, enquanto no hemisfério sul se dá o contrário. Esta análise é de vital importância para se prever a direção e sentido do vento observando a carta sinótica.

4.2 Atividades convectivas e nebulosidade

Convecção é uma forma de propagação de calor que se dá em meios fluidos pela diferença de densidade entre duas porções. Sabe-se que, na troposfera, o aquecimento do ar se dá por condução a partir da superfície. Desta forma, o ar aquecido passa a ser menos denso e o empuxo sofrido por ele superará seu peso, provocando movimento ascendente. Esta tendência natural desencadeia uma queda de pressão à superfície, o que facilita a convergência de ar para esta região.

Inicialmente, uma massa de ar se mantém em repouso próximo à superfície e em equilíbrio térmico com ela. Quando a terra se aquece, passa a existir troca de calor por condução: as moléculas de ar com menores energias cinéticas em relação às moléculas da superfície (temperaturas mais baixas) começam a “roubar” energia por ocasião das colisões. As principais forças que atuam sobre essa porção de ar são o seu peso e o empuxo por estar imersa em fluido.

Inicialmente, há equilíbrio:

$$P = E ; mg = \mu gV$$

Onde:

m : massa da porção de ar considerada

g : aceleração local da gravidade

μ : densidade do ar ao redor (no qual está imersa a porção considerada)

V : volume da porção de ar considerada

Após o aquecimento, o volume da porção de ar aumenta por efeito da dilatação térmica e passa a ser igual a V' , provocando empuxo mais intenso. Como o seu peso se mantém constante, haverá uma força resultante para cima, responsável pelo movimento ascendente, esta força terá intensidade de:

$$Fr = E - P = \mu gV' - mg$$

Matematicamente, é possível demonstrar que a convecção se dará quando a densidade do ar que ascende for menor que a densidade do ar ao redor.

$$E > P ; \mu gV' > mg ; \mu > \frac{m}{V'} ; \text{logo: } \mu > \rho$$

Onde:

ρ : Densidade da porção de ar considerada

V' : Volume da porção de ar após o aquecimento

O “vácuo” criado pelo movimento vertical é preenchido pelo ar das regiões vizinhas, há desta forma, convergência de ar para os centros de baixa pressão.

A massa de ar que desenvolve movimento vertical para cima se expande e sofre uma queda de temperatura, o que a princípio pode gerar controvérsias, uma vez que segundo a equação de Clapeyron, o volume e a temperatura são diretamente proporcionais. Porém o processo não se dá à pressão constante, o que garante a não linearidade entre variações de volume e pressão.

O ar se comporta, na natureza, como um gás ideal e, por ser um péssimo condutor de calor, faz com que todo o processo seja praticamente adiabático e a variação de temperatura se dá devido ao trabalho exercido pelo gás.

Do enunciado da primeira lei da termodinâmica, tem-se que a energia interna pode variar em função do trabalho ou do calor:

$$\Delta U = Q - \tau$$

Onde:

ΔU : Energia Interna do gás

Q : Calor recebido ou cedido pelo gás

τ : Trabalho exercido pelo gás ou realizado sobre ele

No movimento ascendente do ar através da atmosfera, as trocas de calor são desprezíveis, logo:

$$\Delta U = -\tau$$

O ar, à medida que sobe, vai sendo submetido a pressões cada vez menores, o que vai gerar uma tendência a ele se expandir. Como o volume do gás está aumentando, o trabalho é exercido pelo gás, sendo por tanto, positivo. Como o trabalho tem sinal positivo, a variação de energia interna terá sinal negativo.

Sabe-se, do estudo da termodinâmica que:

$$\Delta U = C_n R \Delta \theta$$

Onde:

C: Constante que depende da composição molecular do gás

n: Número de mols

R: Constante dos gases ideais

$\Delta\theta$: Variação de temperatura

Desta forma, a expansão adiabática de uma porção de ar em movimento ascendente vai produzir uma redução de temperatura. Esse resfriamento causa neste ar uma redução da pressão máxima de vapor, ou seja: esta amostra terá menor capacidade de conter vapor d' água. Neste processo, a umidade relativa aumenta com o resfriamento até atingir um valor de 100%, onde a temperatura é chamada de Temperatura do Ponto de Orvalho (TPO). A partir de então, o vapor excedente passa a se condensar, formando as nuvens.

Quando a massa de ar atinge seu nível de condensação, ou seja, a altitude em que o ar atinge a temperatura do ponto de orvalho e se satura, a condensação das moléculas de vapor vai liberar energia sob a forma de calor latente, responsável por aquecer a massa de ar e fazer com que o movimento ascendente se perdue.

Este cenário proporciona a formação de nuvens de desenvolvimento vertical chamadas de cumulonimbus (cb), as quais estão comumente associadas ao mau tempo. No interior dessas nuvens, há um gradiente de pressão que produzirá ventos intensos e grande turbulência. A presença de uma Cb pode causar precipitação em pancadas, relâmpagos, chuvas de granizo, etc.

4.3 Restrição de visibilidade

Na navegação de cabotagem, executa-se periodicamente, a marcação de pontos notáveis da costa para a determinação das linhas de posição do navio. Neste contexto, é vital que o navegante tenha boa visibilidade, o que ocasionalmente não ocorre. Assim, o piloto deve ser capaz de prever a possibilidade da ocorrência de nevoeiros a partir das medições obtidas dos instrumentos de bordo, o entendimento pleno

destes fenômenos é imprescindível para a boa navegação e para a salvaguarda da vida humana no mar.

4.3.1 nevoeiro

O nevoeiro é formado pela condensação do ar próximo a superfície a partir do instante em que a temperatura do ponto de orvalho é atingida, saturando-o. O processo de formação dos nevoeiros se apóia sobre o mesmo princípio físico que o processo de formação das nuvens. Há o resfriamento do ar e redução da sua capacidade de conter vapor d' água, porém no caso do nevoeiro, o processo se dá nas camadas próximas à superfície.

Há, basicamente, dois tipos de nevoeiro: de radiação e de advecção. O primeiro se dá normalmente sobre o continente enquanto o segundo ocorre sobre a superfície do mar, sendo assim, de grande importância para o navegante.

O nevoeiro de advecção se forma quando há o deslocamento horizontal de uma massa de ar quente e úmida sobre uma superfície mais fria. Durante este processo, há a necessidade da ocorrência de fraco vento para possibilitar a mistura o ar inferior com as camadas de ar imediatamente acima e dar prosseguimento ao desenvolvimento do nevoeiro. Para sua dissipação, a superfície deve se aquecer para, então, aquecer o ar e cessar a condensação ou a velocidade do vento deve aumentar. O navegante pode analisar a possibilidade da ocorrência de nevoeiro de advecção medindo a temperatura do ar, sua TPO e a temperatura da superfície do mar (TSM). As condições propícias para o desenvolvimento de um nevoeiro de advecção são: $T > TPO > TSM$. Para Lobo e Soares (2007), a diferença entre a temperatura e a TPO de 1°C em mar aberto e 2°C próximo à costa e umidade relativa superior a 95% são condições ideais para formação de nevoeiros de advecção.

Os nevoeiros se tornam um perigo à navegação por que reduzem a visibilidade a menos de 1 km e em casos de nevoeiros densos pode ser reduzida a menos de 100 metros.

O nevoeiro de radiação, por sua vez, é formado quando há resfriamento da superfície terrestre, a partir do pôr do sol. Sendo assim, é mais comum na madrugada e pela manhã.

4.3.2 névoa

Assim como ocorre na formação do nevoeiro, para que haja névoa, é necessário que o ar que se resfrie para temperaturas além da temperatura do ponto de orvalho. O vapor d' água se condensará e gotículas de água ficarão suspensas em níveis próximos à superfície. Porém no caso da névoa, associa-se às gotículas de água, a grande quantidade de poluentes atmosféricos. É muito comum a ocorrência deste fenômeno nas grandes cidades e metrópoles, sobretudo nos dias frios de inverno, quando ocorrem associados à presença de uma inversão térmica. Caso ocorra produção de ozônio na baixa atmosfera o evento é caracterizado como *smog*. A névoa é pouco prejudicial para o bom exercício da navegação, tendo em vista que não se forma sobre o mar. O navegante pode se deparar com dificuldades quando se deseja efetuar uma marcação visual de um ponto situado no centro urbano sujeito à névoa.

4.4 Ciclones tropicais

As características meteorológicas da região tropical são peculiares. Diferentemente dos sistemas extratropicais, os tropicais são barotrópicos, ou seja, têm variação de pressão. Quando as diferenças de pressão são associadas à presença de ar quente e úmido, há intensificação da atividade convectiva, caracterizando a região tropical. O navegante, quando opera nesta região, deve estar atento para a formação de grandes nuvens cumulonimbus, trovoadas e rajadas de vento.

Os ciclones tropicais são grandes perturbações na atmosfera terrestre onde a pressão é mais baixa e a temperatura mais alta que as regiões vizinhas. Para que um ciclone tropical se forme, a temperatura

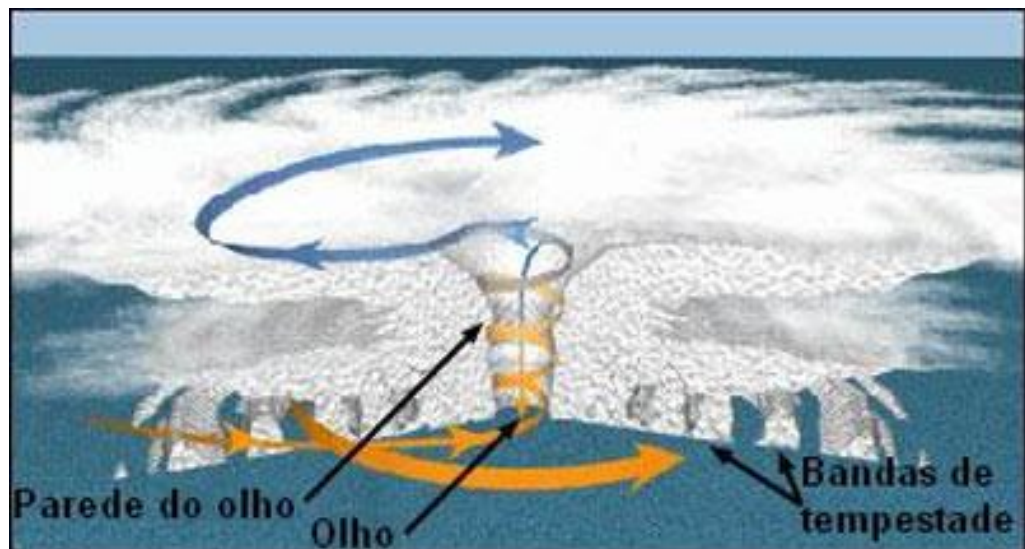
da superfície do mar deve ser alta, segundo Lobo e Soares (2007) superior à 27°C. Isto por que será intensificado o processo de evaporação da água do mar e o calor latente liberado pelo vapor d' água a partir do nível de condensação é a principal fonte de energia do ciclone.

A diferença de pressão entre o centro do ciclone e suas vizinhanças provoca ventos intensos e este aspecto deve ser de conhecimento amplo do navegante, que deve ter especial atenção e efetuar a manobra evasiva. Segundo Valgas e Lobo (2007), as condições geográficas do continente africano têm acentuada influência na temperatura e umidade do ar na região do atlântico norte. O mesmo não ocorre no atlântico sul, o que o torna praticamente imune da ocorrência de ciclones tropicais.

A faixa compreendida entre os paralelos 5°N e 15°N é a região mais sujeita a ocorrência de tormentas tropicais nos meses de julho a outubro, que correspondem aos meses em que o equador térmico e consequentemente a ZCIT estão nesta região.

A parede do olho é um círculo de tempestades severas que o envolve o centro do ciclone. É nesta região que são encontrados os ventos mais fortes, onde a precipitação é mais intensa e as nuvens alcançam maior intensidade.

Figura 14: Ciclone Tropical



Fonte: www.achetudoeregiao.com.br

Segundo Ahrens (2004), um furacão é uma intensa tempestade de origem tropical que sustenta ventos que excedem 74 nós e se formam sobre o Atlântico Norte e no leste do oceano Pacífico Norte. Por um acordo internacional, ciclone tropical é o termo geral para designar toda tempestade tipo furacão que é originado sobre águas tropicais.

Em relação à sua localização, Byers (1959), diz que há 8 regiões de ciclones tropicais: um no Atlântico Norte, dois no norte do Pacífico, dois na região da Índia, um no Pacífico Sul, e dois no sul do oceano Índico. De todas as regiões do planeta, a do sudoeste do Pacífico Norte tem ciclones tropicais com maior frequência. O oeste do Atlântico Norte e o mar do Caribe é talvez a região de furacões mais conhecida no mundo. Os furacões desta região, apesar de serem menos intensos que os do oriente, recebem muito mais atenção devido aos danos que proporcionam.

4.4.1 medidas a serem tomadas pelo navegante em uma área sujeita a ciclones tropicais

Quando operando em regiões sujeitas ao surgimento de ciclones tropicais, o navegante deve atentar para alguns aspectos:

- Verificar a velocidade e direção do vento. Já que uma apreciável variação na direção e intensidade do vento é sinal de perigo.
- Ter atenção especial com o estado do mar e o surgimento de grandes marulhos (vagalhões longos e baixos). A direção desses marulhos pode indicar aproximadamente o centro do ciclone e, normalmente, esse aviso é anterior à queda do barômetro.
- Observar a cobertura do céu. Céu coberto com nuvens do tipo cirrus (rabo de galo), seguidos por altostratus ou cumulus tocados pelo vento, é indício de mau tempo (o vórtice das nuvens indica a direção da tormenta).
- Efetuar a leitura correta e horária do barômetro. Caso a leitura barométrica indique o valor de 3,0 mb (ou mais) abaixo daquela normal para a região e época do ano, deve-se

ficar atento, pois pode significar início de perigo. Se o barômetro continuar a cair e indicar 5,0 mb (ou mais) abaixo do normal, é hora de considerar a possibilidade de se estar em uma área sujeita às conseqüências de uma tempestade;

4.4.2 indícios da aproximação de um ciclone tropical

Ao longo de sua derrota, o navegante pode observar alguns aspectos que podem ser indícios do surgimento de um ciclone tropical, dentre eles podem-se destacar:

- A primeira indicação de um ciclone tropical é a presença de ondas longas. As ondas longas são aquelas em que as cristas passam na razão de quatro por minuto. Essa ondulação pode ser constatada vários dias antes da chegada da tormenta. Em águas profundas, a onda provém da direção geral da origem da tormenta, isto é, da posição do centro, quando a vaga foi gerada. Quando o centro está entre 500 a 1.000 milhas de distância, o barômetro sobe, normalmente, um pouco e o céu permanece relativamente claro. O período normal do marulho em águas profundas do Oceano Atlântico é de cerca 7 a 8 segundos, ou seja, eles passam à razão de, aproximadamente, 8 por minuto. O marulho gerado por um furacão é cerca de duas vezes mais longo, com as cristas passando à razão de 4 por minuto (isto é, períodos de, aproximadamente, 15 segundos).
- Quando o ciclone se aproxima, surge uma seqüência de nuvens parecida com a que ocorre à aproximação de uma frente quente nas médias Latitudes. A cerca de 300 a 600 milhas, surgem cirrus fibrosos muito brancos (rabos de galo). Normalmente, esses cirrus parecem convergir na direção de onde vem a tormenta. Essa convergência é mais aparente nas horas do nascer e pôr-do-Sol.
- Pouco depois do aparecimento desses cirrus, mas às vezes antes, o barômetro inicia uma longa e vigorosa queda. A princípio, a queda é tão gradual que apenas parece alterar a variação normal

diária nos trópicos (duas máximas e duas mínimas) da maré barométrica. Quando a razão de queda aumenta e ocorre uma baixa mais ou menos contínua, os cirrus tornam-se mais confusos e entrelaçados e, gradualmente, cedem espaço a um véu contínuo de cirrostratus. Abaixo desse véu formam-se altostratus e, depois, estratocumulus. Essas nuvens, ao se condensarem, acarretam instabilidade do tempo.

- Uma chuva fina começa a cair. À proporção que a queda do barômetro se torna mais rápida, o vento aumenta em rajadas e a sua intensidade sobe para 22 a 40 nós (forças 6 a 8 na Escala Beaufort). No horizonte surge uma escura muralha de pesados cumulonimbus (Cb), denominada barra da tormenta.
- Quando os cirrus aparecem, seus pontos de convergência proporcionam uma boa indicação da direção do centro. Se a tormenta for passar afastada em um bordo do observador, o ponto de convergência rondará vagarosamente na direção do movimento da tormenta. Se o centro for passar perto do observador, o ponto de convergência permanecerá estacionário, como em marcação constante. Quando a barra torna-se visível, parecerá, durante várias horas, estacionada no horizonte. A parte mais escura dessas nuvens indicará a direção do centro. Se a tormenta se desloca para passar em um bordo, a barra parecerá derivar, vagarosamente, ao longo do horizonte. Se a posição da barra permanece fixa, a tormenta dirige-se diretamente para o navio.
- Quando a barra se aproxima, o barômetro cai mais rápido e o vento aumenta. O mar, que gradualmente foi se encrespando, torna-se tempestuoso. Chuvas fortes começam a cair. O dia fica sombrio, as pancadas de água se tornam contínuas e o barômetro cai precipitadamente, ao mesmo tempo em que o vento aumenta de intensidade. Nessa situação, o centro poderá estar entre 100 e 200 milhas de distância.
- Quando o centro se aproxima, a chuva cai torrencialmente e a fúria do vento é indescritível; o mar fica montanhoso; os topos

das enormes vagas explodem e se misturam à chuva, enchendo todo o ar de borrifos; objetos à curta distância tornam-se invisíveis. Até mesmo os maiores navios terão imensas dificuldades de manobrar e podem sofrer pesadas avarias.

4.4.3 manobras evasivas na área da tormenta

Se o navio estiver na área da tormenta, segundo Catalão, a ação a executar dependerá da sua posição em relação ao centro da tempestade e da direção do movimento do sistema. A primeira preocupação é determinar se o navio está no semicírculo perigoso ou no semicírculo navegável (ou de manobra).

Como vimos, a área circular da tormenta deve ser dividida em duas partes semicirculares. No semicírculo perigoso a velocidade do vento se soma com a velocidade de deslocamento do sistema; no semicírculo de manobra (ou navegável) a velocidade do vento se opõe à velocidade do movimento do sistema. Assim, no Hemisfério Norte, como a circulação em torno do centro é no sentido anti-horário e o sistema se desloca na direção geral Oeste (ou seja, para a esquerda), o semicírculo perigoso é o semicírculo da direita; o semicírculo esquerdo é o semicírculo navegável. No Hemisfério Sul, onde a circulação em torno do centro do ciclone ocorre no sentido horário e o sistema também se desloca na direção geral Oeste, o semicírculo perigoso é o semicírculo da esquerda e o semicírculo navegável é o semicírculo da direita.

Em virtude da soma da velocidade do vento com a velocidade de translação do furacão, os ventos são mais fortes e os mares mais tempestuosos no semicírculo perigoso. Cada semicírculo pode, ainda, ser dividido em dois quadrantes. O quadrante dianteiro do semicírculo perigoso é o mais difícil para a navegação, mas o quadrante traseiro deste semicírculo é quase tão severo. O mais favorável é o quadrante traseiro (de ré) do semicírculo navegável.

A plotagem das posições sucessivas do centro da tormenta indica a localização do navio em relação aos semicírculos. Entretanto, se essa

plotagem for baseada nos boletins meteorológicos, o tempo decorrido entre a observação que originou o boletim e a sua recepção a bordo poderá fazer com que, nesse tempo, a direção do movimento da tormenta mude. O uso do radar pode indicar o semicírculo em que o navio se encontra, mas o vento é o guia de maior confiança.

No Hemisfério Norte, quando o vento rondar para a direita (isto é, no sentido horário) o navegante estará no semicírculo perigoso; quando o vento rondar para a esquerda (ou seja, no sentido anti-horário), o navio estará no semicírculo navegável. No Hemisfério Sul ocorre o oposto, isto é, se o vento ronda gradualmente para a esquerda (no sentido anti-horário), o navio estará no semicírculo perigoso; se o vento ronda para a direita (no sentido horário), o navio estará no semicírculo navegável.

Estas regras só são válidas para o observador parado ou com baixa velocidade pois, no início do seu desenvolvimento, o ciclone tropical tem velocidade de translação relativamente pequena e, conseqüentemente, menor que a da embarcação. Assim, é preciso considerar o movimento próprio do navio. Se estiver em dúvida, parar o navio até conseguir determinar em que semicírculo o mesmo se encontra. Se o vento permanecer em rumo constante enquanto o navio estiver parado, mas aumentar de intensidade com o aumento da queda do barômetro, o navio estará sobre a rota da tormenta, ou muito próximo dela.

Além disso, é sempre prudente registrar continuamente a leitura do barômetro. O vento pode não rondar se o olho da tormenta estiver pela proa (pressão atmosférica diminuindo) ou pela popa (pressão atmosférica aumentando) do navio. Nessas condições, a indicação do barômetro é fundamental.

Como regra geral, no Hemisfério Norte um navio no semicírculo perigoso deve manobrar para colocar o vento na bochecha de boreste e proceder com a velocidade máxima possível; um navio no semicírculo navegável deve manobrar para colocar o vento na alheta de boreste, procedendo com a máxima velocidade possível. Se estiver na trajetória da tormenta, o navio deve manobrar para ter o vento entrando pela

alheta profunda de boreste (marcação relativa 160°) e navegar com a máxima velocidade possível até que esteja francamente no interior do semicírculo navegável, quando, então, a regra para este semicírculo deve passar a ser seguida.

Figura 15: Manobras Evasivas na Área da Tormenta

TABELA RESUMO DAS SITUAÇÕES E MANOBRAS			
HEMISFÉRIO	LOCALIZAÇÃO	SITUAÇÃO	MANOBRA
HEMISFÉRIO NORTE	<i>Semicírculo Perigoso</i> ou da <i>direita</i>	O vento ronda para a <i>direita</i> (N-NE-E-SE-S-SW-W-NW).	Governar em rumo que permita receber o vento na bochecha de BE (45° relativos) e navegar na maior velocidade possível. Se necessário, capear.
	<i>Semicírculo de Manobra</i> ou da <i>esquerda</i>	O vento ronda para a <i>esquerda</i> (N-NW-W-SW-S-SE-E-NE).	Governar em rumo que permita receber o vento na alheta de BE (135° relativos) e navegar na maior velocidade possível. Se necessário correr com o tempo.
	Na rota da tormenta, <i>avante do centro</i>	O vento permanece constante com o navio parado e aumenta de velocidade; o barômetro desce.	Governar em rumo que permita receber o vento duas quartas para a direita da alheta de BE (160° relativos) e navegar na maior velocidade possível. Quando estiver razoavelmente dentro do <i>Semicírculo de Manobra</i> , usar a regra desse semicírculo
	Na rota da tormenta, <i>na retaguarda do centro</i>	O vento permanece constante com o navio parado e diminui de velocidade; o barômetro sobe.	Evitar o <i>centro</i> , governando no melhor rumo possível. Não se esquecer da tendência de a tormenta encurvar-se para a direita, para o N e para E.
HEMISFÉRIO SUL	<i>Semicírculo Perigoso</i> ou da <i>esquerda</i>	O vento ronda para a <i>esquerda</i> (N-NW-W-SW-S-SE-E-NE).	Governar em rumo que permita receber o vento na bochecha de BB (315° relativos) e navegar na maior velocidade possível. Se necessário, capear.
	<i>Semicírculo de Manobra</i> ou da <i>direita</i>	O vento ronda para a <i>direita</i> (N-NE-E-SE-S-SW-W-NW).	Governar em rumo que permita receber o vento na alheta de BB (225° relativos) e navegar na maior velocidade possível. Se necessário, correr com o tempo.
	Na rota da tormenta, <i>avante do centro</i>	O vento permanece constante com o navio parado e aumenta de velocidade; o barômetro desce.	Governar no rumo que permita receber o vento duas quartas para a esquerda da alheta de BB (200° relativos) e navegar na maior velocidade possível. Quando estiver razoavelmente dentro do <i>Semicírculo de Manobra</i> , usar a regra desse semicírculo.
	Na rota da tormenta, <i>na retaguarda do centro</i>	O vento permanece constante com o navio parado e diminui de velocidade; o barômetro sobe.	Evitar o centro, governando no melhor rumo possível. Não esquecer da tendência da tormenta encurvar-se para a esquerda, para o S e para E.

Fonte: <https://sites.google.com/site/catalaocml/home/manobrar-mau-tempo>

4.5 Sistemas sinóticos

Quando os centros de baixa pressão em escala sinótica se localizam nas regiões de latitudes médias, ocorre um fenômeno denominado ciclone extratropical. Este tem importância vital, contribuindo para o equilíbrio térmico do planeta, reduzindo a temperatura da região tropical e elevando as das regiões polares.

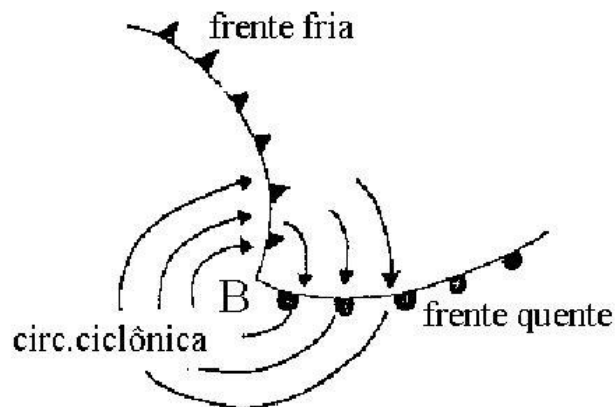
A maioria dos ciclones extratropicais produz ventos fortes e chuvas moderadas a torrenciais. Assim como o ciclone tropical, intensos ciclones extratropicais também são capazes de causar a maré de tempestade, uma elevação do nível do mar associada ao sistema

Uma peculiaridade dos ciclones extratropicais é o fato de ocorrerem numa zona baroclínica, ou seja, onde há diferenças de temperatura entre as massas de ar. Neste contexto, surgiram os sistemas frontais.

Frente é um conceito muito usado pela Meteorologia e é definido como a fronteira entre duas massas de ar de características distintas (temperatura e umidade).

A estrutura do ciclone extratropical é composta pelas frentes quente e fria que giram em torno do centro de baixa.

Figura 16: Representação das Frentes em um Sistema Extratropical



Fonte: www.meteoropole.com.br

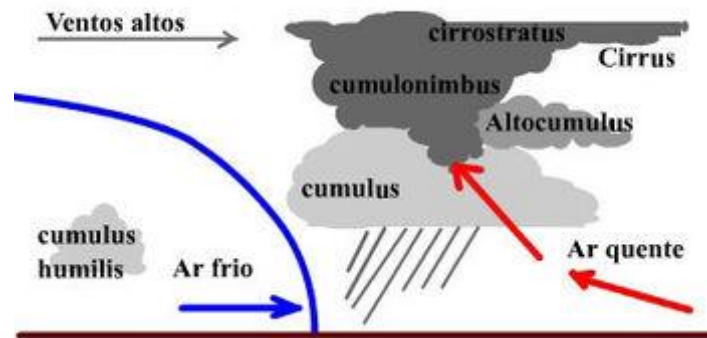
A massa de ar frio quando se desloca, provoca na massa de ar menos densa (quente) movimento ascendente ao longo da rampa formada pela inclinação da superfície frontal.

4.5.1 frente fria

Uma frente fria é uma zona de transição onde uma massa de ar frio e seco (polar, movendo-se para o equador) está a substituir uma massa de ar mais quente e úmido (tropical, movendo-se para o pólo).

O ar frio e seco, por ser mais denso, se desloca junto à superfície ocupando o lugar do ar mais quente e úmido, que por ser menos denso sobe para os altos níveis. Segundo Lobo e Soares (2007), este escoamento do ar quente em forma de correntes ascendentes provoca desenvolvimento de atividades convectivas, que serão mais intensas quanto maior for a inclinação da superfície frontal.

Figura 17: Frente fria



Fonte: www.Wikipédia.org

Ainda de acordo com Lobo e Soares (2007), o navegante que opera na região de uma depressão extratropical, observa ventos fortes e mar agitado, principalmente durante o inverno (época do ano mais propensa ao surgimento de frentes frias).

Alguns parâmetros podem ser observados pelo piloto para acompanhar a passagem da frente, dentre eles podemos observar:

Na aproximação da frente fria:

- A pressão do ar diminui
- A temperatura aumenta
- O vento predominante no HN é do quadrante norte, normalmente NW ou N, e no HS de SW ou S

- A nebulosidade aumenta decorrente da intensificação da convecção na aproximação da frente

Após a passagem da frente fria:

- A pressão atmosférica aumenta
- A temperatura do ar cai
- Direção do vento predominante no HS é do quadrante sul, normalmente SW, e no HN é de NW
- A visibilidade se reduz durante as pancadas de chuva
- Observa-se trovoadas

4.5.2 frente quente

Uma frente quente é uma zona de transição onde uma massa de ar quente e úmida está a substituir uma massa de ar fria. As frentes quentes deslocam-se do equador para os pólos. Como o ar quente é menos denso que o ar frio, a massa de ar quente sobe por cima da massa de ar mais frio e geralmente ocorre precipitação.

A frente quente é caracterizada pela suave inclinação da superfície frontal, o que se traduz em baixa atividade convectiva e extensas faixas de nebulosidade.

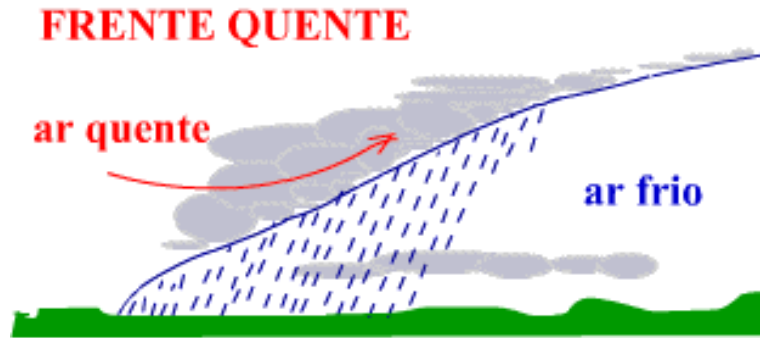
Na aproximação da frente quente:

- Redução lenta e gradual da pressão
- A temperatura do ar se mantém praticamente constante
- O vento é fraco e sopra de NE no HS e de SE no HN
- A visibilidade é boa até o início da garoa

Após a passagem da frente quente:

- Há uma queda de pressão atmosférica
- O vento predominante é, no HS, de NW e no HN de SW
- A temperatura do ar aumenta

Figura 18: Frente quente



Fonte: www.wikipedia.org

5 PRINCIPAIS PUBLICAÇÕES E INSTRUMENTOS DE COLETA DE DADOS

No dia-a-dia a bordo, uma gama de ferramentas estão disponíveis para que o navegante possa obter informações sobre diversos aspectos, como o meteorológico. Equipamentos de bordo e publicações devem ser plenamente entendidas para que as interpretações sejam corretas e possibilitem prever fenômenos meteorológicos que possam por em risco a embarcação, a carga ou a vida humana.

5.1 Anemômetros e anemoscópios

O anemômetro é o equipamento utilizado para medir a intensidade do vento enquanto o anemoscópio a sua direção. É importante ressaltar que a intensidade e a direção do vento medidas, com estes equipamentos, são os componentes vetoriais relativos ao movimento do navio. A rosa de manobra é uma alternativa, mesmo que rudimentar, para calcular a velocidade e direção reais do vento.

Existem vários tipos de anemômetro, o mais antigo deles é o anemômetro de copo, que consiste em uma haste com quatro conchas que giravam impulsionadas pela força do vento e a rotação da haste indicava indiretamente a velocidade do vento. Com o avanço tecnológico, instrumentos mais sofisticados foram desenvolvidos e medidas cada vez mais precisas podem ser obtidas. O anemômetro sônico é um exemplo, que através de ondas sonoras, realiza medidas em alta frequência (várias medições por segundo) das três componentes do vetor velocidade do vento.

Além da aplicação para a previsão de fenômenos meteorológicos, as características do vento devem ser consideradas durante a manobra do navio, pois produzem força sobre ele.

5.2 Barômetros

Barômetros são instrumentos utilizados para medir a pressão atmosférica, logo é evidente a importância deste equipamento a bordo para a previsão de possíveis fenômenos meteorológicos.

O primeiro barômetro foi desenvolvido por Evangelista Torricelli e ao longo dos anos foram sendo criados equipamentos cada vez mais modernos, o tipo mais utilizado nos navios é o barômetro aneróide. Estes são constituídos de uma pequena caixa de metal, fechada a vácuo e funcionam sem líquido. Um dos lados desta caixa é ligado a uma resistente mola que não permite que a caixa se abra; a posição do lado móvel da caixa é indicada por um ponteiro e funciona da seguinte maneira: se expande caso a pressão do ar diminua e comprime caso a pressão aumente.

5.3 Higrômetros

Dispositivo utilizado para medição da umidade do ar atmosférico. O primeiro higrômetro foi inventado por Leonardo Da Vinci, no século XV. Este era muito arcaico, pois media o peso do algodão embebido de água. A quantidade de vapor de água na atmosfera era medida pelo peso do algodão que em ambientes mais úmidos são mais pesados e mais leves em ambientes secos (CÍCERO, 2012).

Atualmente, os higrômetros se utilizam da variação de resistência elétrica causada pela mudança dielétrica do meio, que varia com a umidade do ar.

5.4 Termômetros

Termômetros são equipamentos amplamente conhecidos e são usados diariamente. A bordo de um navio, sua aplicação não é menos importante.

Tem como objetivo no navio entre outras coisas medir a temperatura na superfície do mar (TSM), a temperatura do ponto de

orvalho (TPO), medir a temperatura da atmosfera para conseguir a umidade relativa do ar (BURGESS, 1997).

Os termômetros Também foram altamente modificados, com os avanços tecnológicos, chegando às formas digitais e integradas aos sistemas no passado. Porém muitas embarcações ainda possuem as formas tradicionais.

5.5 Imagens de satélites meteorológicos

De acordo com (ACKERMAN, 2011), Satélites trazem dados complementares para uso na meteorologia. Eles completam os dados que não são retirados das análises de superfície, balão meteorológico ou outro método. Estes possuem basicamente duas orbitas a geoestacionária e a baixa orbita da terra. O primeiro orbita o planeta inteiro numa altitude de 36000 quilômetros enquanto o segundo faz a orbita em regiões polares numa altitude de 850 quilômetros de altitude (FIGURA 8).

Na maioria os satélites são administrados pelo NOAA divisão do governo dos Estados Unidos, pela METEOSAT na Europa, no Japão pelo GMS.

Um destaque desses satélites são os americanos GOES que possui um completo sistema de monitoramento e coleta de imagens de inúmeras formas e além de utilizar as melhores resoluções de imagem (ACKERMAN, 2011).

Além do GOES também tem os satélites polares administrados pelos Estados Unidos, que monitoram, por exemplo, os icebergs e sua trajetória, o degelo das calotas polares, a intensidade da nebulosidade nesses locais e intensidade dos ventos (ACKERMAN, 2011).

Eles produzem em imagens no espectro visível com imagens do sol refletidas na superfície da terra ou incididas na terra aonde se consegue diferenciar as nuvens, vegetação pelo reflexo e albedo deles.

Satélites podem ainda ser no espectro infravermelho aonde se diferencia as áreas pelo calor emitido pelas superfícies incidentes o que ajuda a verificar a altura das nuvens além de sua intensidade. Por

último este também podem ser vistos pelo vapor de água aonde o equipamento vê a concentração de vapor de água na área terrestre. Principalmente utilizados para verificação na troposfera aonde se desenvolvem as tempestades e quanto maior a claridade da imagem maior será a quantidade de vapor de água (ACKERMAN, 2011).

5.6 Boletins meteoromarinha

O Boletim meteorológico que fornece informações em relação ao tempo nas áreas de atuação da Marinha, com normas estabelecidas pela OMM. O documento é composto por cinco partes, embora apenas três tenham importância de caráter prático para o navegante:

A Parte I é constituída de avisos de mau tempo para locais com ventos de força maior ou igual a 7 na escala Beaufort, ondas de 3 metros ou maiores, visibilidade restrita a 1 quilometro ou menos e ressacas com ondas de 2,5 metros na arrebentação.

A Parte II, um resumo descritivo do tempo que é feito uma síntese do tempo nas áreas costeiras e oceânicas com força e direção dos ventos, ondas, posição das frentes e deslocamento delas e desenvolvimento do sistema na hora.

A Parte III é a previsão do tempo que é dividida em dois, um com validade de 24 horas e outro com validade de 48 horas. Ela fornece as previsões para a área costeira e oceânica divulgando estado do tempo, estado do céu, ventos predominantes, ondas, visibilidade e tendência da temperatura para tempo futuro.

5.7 Cartas sinóticas

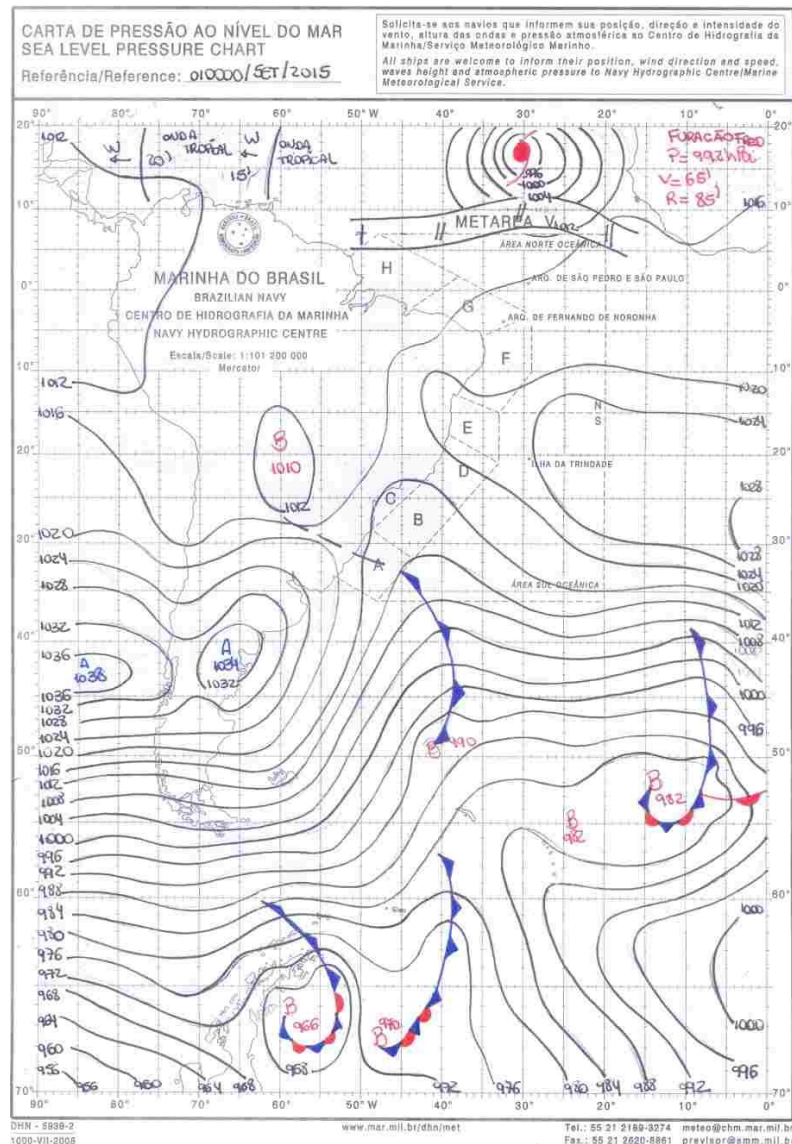
A carta sinótica de pressão a nível médio do mar é um artifício gráfico imprescindível para a análise do tempo numa determinada região. Nela estão traçadas as isóbaras, que são linhas formadas por pontos de mesma pressão (medida em hPa). Em regiões de valores mais baixos de pressão são plotados os centros de baixa pressão ou ciclone e

regiões circundadas por valores maiores são plotados os centros de alta pressão. Pode-se considerar que o vento sopra paralelo às isóbaras.

Cartas sinóticas são divulgadas pela DHN no Brasil para a informação no alto mar e regiões costeiras. Estas são divididas em áreas perto da costa e oceânicas. Quando o vento é indicado vem com uma seta na direção, um círculo indicando a cobertura do céu e traços na outra extremidade indicando a velocidade (LOBO e SOARES, 1999).

As cartas sinóticas são transmitidas por fac-símile ou internet, para que o navio consiga receber a forma gráfica. São colocadas ao meio-dia e meia-noite do meridiano de Greenwich (DHN, 2014).

Figura 19: Carta Sinótica Fornecida pela DHN



Fonte: <https://www.mar.mil.br/dhn/chm/meteo/prev/cartas/cartas.html>

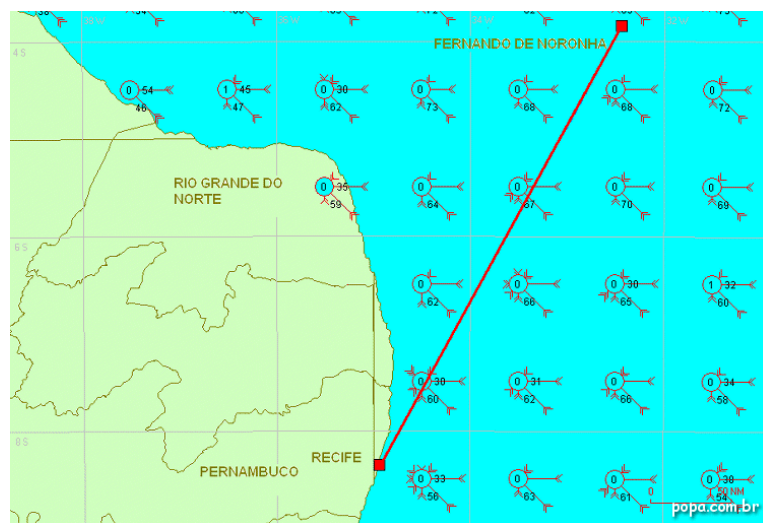
Também é possível observar na carta sinótica a representação da Zona de Convergência Intertropical, o que também é muito importante tendo em vista que é uma região de intensa atividade convectiva e normalmente associada a mal-tempo.

5.8 Cartas piloto

As Cartas Piloto apresentam informações meteorológicas e oceanográficas de fundamental importância para o navegante, tanto na fase de planejamento, como na de execução da derrota.

O Atlas de Cartas Piloto é constituído por 12 cartas, na Projeção de Mercator, escala 1:10.000.000, sendo uma para cada mês do ano. Para a navegação, as principais informações das Cartas Piloto referem-se a ventos e correntes marítimas. Entretanto, as cartas apresentam, ainda, informações sobre declinação magnética (mostrando linhas isogônicas e linhas de mesma variação anual da declinação), temperatura do ar e temperatura da água do mar. Ademais, no verso das Cartas Piloto constam, também, informações sobre nevoeiro, visibilidade, temperatura, vento médio e ocorrência de ventos fortes nos principais portos e ilhas do Brasil.

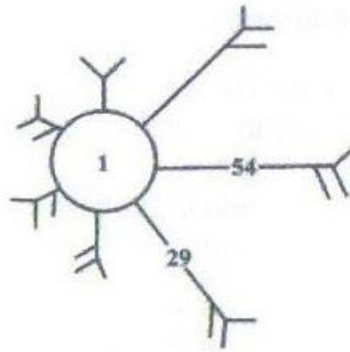
Figura 20: Carta Piloto do Litoral Nordeste Brasileiro



Fonte: www.popa.com.br

Nas áreas da carta piloto são representadas rosas dos ventos que fornecem ao usuário diversas informações sobre o tempo daquela região.

Figura 21: Rosa dos Ventos da Carta Piloto



Fonte: Lobo e Soares, Meteorologia e Oceanografia (2007)

Na rosa dos ventos, as direções predominantes são indicadas pelas direções das flechas. A frequência com que ocorre vento daquela direção é indicada pelo tamanho da flecha (a frequência percentual pode ser indicada também por um número na flecha) enquanto a intensidade é indicada pelas barbelas na sua extremidade, onde cada traço equivale a um nível na escala Beaufort. O número no interior do círculo representa a frequência percentual em que ocorre calmaria nesta região.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para execução de uma boa navegação, mantendo segura tanto a vida humana quanto os bens materiais, é necessário que haja planejamento e conhecimento das adversidades que podem vir a serem enfrentadas. Para isso o bom entendimento dos elementos e fenômenos meteorológicos, bem como a correta interpretação dos equipamentos de bordo é imprescindível para a formação de um bom marinheiro.

Apesar de todo o conhecimento e dos avisos, acidentes ainda acontecem. Esses desastres, além de causarem danos severos às embarcações, trazem mortes e danos ambientais irreversíveis. Cabe aos navegantes minimizar ao máximo essas perdas e o conhecimento meteorológico é fundamental para que o navio evite áreas sujeitas aos perigosos fenômenos climáticos

A meteorologia é, sem dúvidas, um dos instrumentos principais empregados na navegação, é a ciência se aplicando à arte.

REFERÊNCIAS

ACKERMAN, S. A.; KNOX, J. A. **Meteorology- Understanding the Atmosphere**. 3. ed. Sudbury, Massachusetts: Jones & Bartlett Learning, 2011.

AHRENS, C. Donald. **Essentials of Meteorology: An invitation to the atmosphere**. 4ed. 2004.

BARRY, ROGER, CHORLEY, RICHARD J. **Atmosfera, Tempo e Clima**. 9ed. 2012.

BURGESS, C. R. **Meteorology for seafarers**. Glasgow: Brown, Son & Ferguson, 1997.

BYERS, Horace Robert. **General Meteorology**. 3ed. 1959.

CATALÃO. **Manobras em Ciclones Tropicais**. Disponível em: <<https://sites.google.com/site/catalaocml/home/manobrar-mau-tempo>>. Acesso em: 05 de setembro. 2015.

LOBO, Paulo Roberto Valgas, Carlos Alberto Soares. **Meteorologia e Oceanografia: usuário navegante**. Rio de Janeiro: DHN, 2007.

WIKIPEDIA. **Ciclones Tropicais**. Disponível em: <www.wikipedia.com.br>. Acesso em: 05 de setembro. 2015.