

# 2

# PROJEÇÕES CARTOGRÁFICAS; A CARTA NÁUTICA

## 2.1 MAPAS E CARTAS; O PROBLEMA DA REPRESENTAÇÃO DA TERRA SOBRE UMA SUPERFÍCIE PLANA

Embora a distinção seja um tanto convencional, é oportuno iniciar este Capítulo estabelecendo a diferença entre os conceitos de **mapa** e **carta**:

**MAPA:** é a representação do globo terrestre, ou de trechos da sua superfície, sobre um plano, indicando fronteiras políticas, características físicas, localização de cidades e outras informações geográficas, sócio-políticas ou econômicas. Os mapas, normalmente, não têm caráter técnico ou científico especializado, servindo apenas para fins ilustrativos ou culturais e exibindo suas informações por meio de cores e símbolos.

**CARTA:** é, também, uma representação da superfície terrestre sobre um plano, mas foi especialmente traçada para ser usada em navegação ou outra atividade técnica ou científica, servindo não só para ser examinada, mas, principalmente, para que se trabalhe sobre ela na resolução de problemas gráficos, onde os principais elementos serão ângulos e distâncias, ou na determinação da posição através das coordenadas geográficas (latitude e longitude). As **CARTAS** permitem medições precisas de distâncias e direções (azimutes).

Desta forma, os documentos cartográficos utilizados em navegação são sempre chamados de Cartas, ou, mais precisamente, Cartas Náuticas.

## O PROBLEMA DA REPRESENTAÇÃO DA TERRA SOBRE UMA SUPERFÍCIE PLANA

A única forma rigorosa de representar a superfície da Terra é por meio de globos, nos quais se conservam exatamente as posições relativas de todos os pontos e as dimensões são apresentadas em uma escala única. Entretanto, os detalhes que a navegação exige obrigariam à construção de um globo de proporções exageradas (em um globo de 1,28m de diâmetro,

por exemplo, a escala é de aproximadamente 1/10.000.000, o que não permite representar detalhes inferiores a 2km). Este inconveniente e mais as dificuldades que se apresentariam para o traçado da derrota ou a plotagem de pontos a bordo afastam de cogitações este sistema.

Por isso, interessa representar sobre uma folha de papel (isto é, no plano) a totalidade ou uma parte da superfície terrestre, aproximadamente esférica. É impossível fazer isto sem deformações ou distorções, pois a superfície de uma esfera (ou de um elipsóide) não é desenvolvível no plano.

**SISTEMAS DE PROJEÇÕES CARTOGRÁFICAS** são métodos utilizados para representar a superfície de uma esfera (ou de um elipsóide), no todo ou em parte, sobre uma superfície plana. O processo consiste em transferir pontos da superfície da esfera (ou elipsóide) para um plano, ou para uma superfície desenvolvível em um plano, tal como um cilindro ou um cone.

## 2.2 SELEÇÃO DO SISTEMA DE PROJEÇÃO: CONDIÇÕES DESEJÁVEIS EM UMA REPRESENTAÇÃO DA SUPERFÍCIE DA TERRA SOBRE UM PLANO

**SELEÇÃO DA PROJEÇÃO:** a construção de uma carta requer a seleção de um sistema de projeção. Este sistema será escolhido de maneira que a carta venha a possuir as propriedades que satisfaçam às finalidades propostas para sua utilização.

Cada projeção tem características distintas, que a tornam adequada para determinados usos, embora nenhuma projeção possa atender completamente a todas as condições desejáveis. As características distintas de cada sistema de projeção são mais notáveis em cartas que representam grandes áreas. À medida que a área representada se reduz, as diferenças entre as várias projeções passam a ser menos conspícuas, até que, nas cartas de escala muito grande, como nas cartas de portos ou outras áreas restritas, todas as projeções tornam-se praticamente idênticas.

O ideal seria construir uma carta que reunisse todas as propriedades, representando uma superfície rigorosamente semelhante à superfície da Terra. Esta carta deveria possuir as seguintes propriedades:

1. Representação dos ângulos sem deformação e, em decorrência, manutenção da verdadeira forma das áreas a serem representadas (conformidade).
2. Inalterabilidade das dimensões relativas das mesmas (equivalência).
3. Constância das relações entre as distâncias dos pontos representados e as distâncias dos seus correspondentes na superfície da Terra (equidistância).
4. Representação dos círculos máximos por meio de linhas retas.
5. Representação das loxodromias (linhas de rumo) por linhas retas.
6. Facilidade de obtenção das coordenadas geográficas dos pontos e, vice-versa, da plotagem dos pontos por meio de suas coordenadas geográficas.

As propriedades acima relacionadas seriam facilmente conseguidas se a superfície da Terra fosse plana ou uma superfície desenvolvível. Como tal não ocorre, torna-se impossível a construção da carta-ideal, isto é, da carta que reúna todas as condições desejáveis.

A solução será, portanto, construir uma carta que, sem possuir todas as condições ideais, possua aquelas que satisfaçam determinado objetivo. É, pois, necessário, ao se fixar o sistema de projeção escolhido para representar determinada região, considerar o fim a que se destina a carta em projeto, para, então, estabelecer quais as deformações que poderão ser admitidas, quais as que terão de ser anuladas e que propriedades deverão ser preservadas.

A Cartografia Náutica necessita representar a linha de rumo (loxodromia) como uma linha reta e de modo que essa reta forme com as transformadas dos meridianos um ângulo constante e igual ao seu azimute. Desta forma, o tipo de projeção escolhido deverá satisfazer essa exigência.

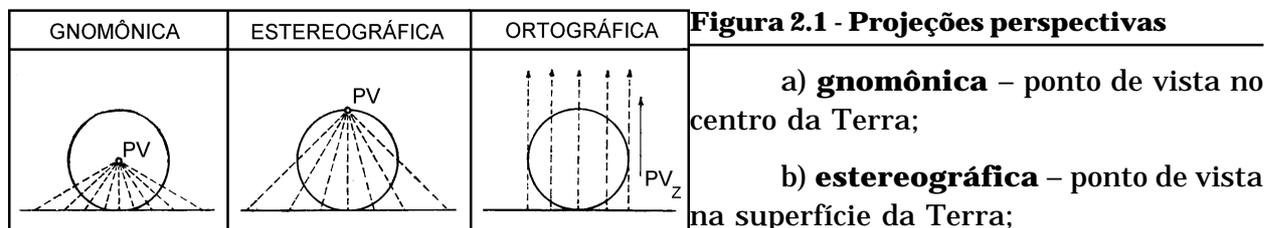
## 2.3 CLASSIFICAÇÃO DOS SISTEMAS DE PROJEÇÕES

As projeções, quanto ao **método de construção**, classificam-se em: **geométricas, analíticas e convencionais**.

**Projeções geométricas** se baseiam em princípios geométricos projetivos. Podem ser subdivididas em: **projeções perspectivas e pseudo-perspectivas**.

As **projeções perspectivas** são as obtidas pelas interseções sobre determinada superfície dos feixes de retas que passam pelos pontos correspondentes da superfície da Terra e por um ponto fixo, denominado **ponto de vista**.

O **ponto de vista** é sempre considerado como situado sobre a direção da vertical do ponto central da porção da superfície da Terra que se deseja representar e pode estar disposto a qualquer distância do centro da Terra, desde o infinito até coincidente com esse próprio centro. Porém, ele é geralmente situado em três posições, surgindo então uma importante classificação das **projeções perspectivas** (Figura 2.1):



c) **ortográfica** – ponto de vista no infinito.

**Projeções pseudo-perspectivas** são projeções perspectivas nas quais se recorre a algum artifício, de maneira a se obter determinada propriedade.

Um exemplo desse tipo de projeção é a projeção cilíndrica equatorial estereográfica, na qual o ponto de vista não fica fixo, mas vai percorrendo o equador, situando-se sempre no anti- meridiano do ponto a projetar.

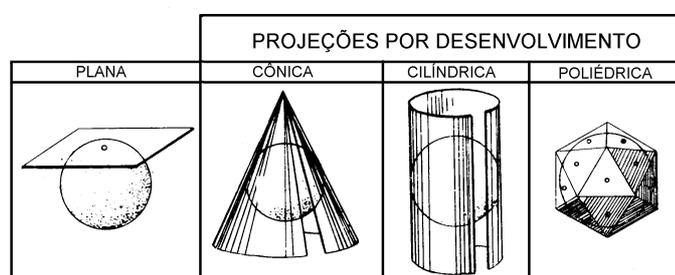
**Projeções analíticas** são aquelas que perderam o sentido geométrico propriamente dito, em consequência da introdução de leis matemáticas, visando-se conseguir determinadas propriedades.

Em virtude das diversas adaptações que as projeções deste grupo podem sofrer quando se deseja obter essa ou aquela propriedade, tal grupo assume grande importância.

**Projeções convencionais** são as que se baseiam em princípios arbitrários, puramente convencionais, em função dos quais se estabelecem suas expressões matemáticas.

Outra importante classificação dos sistemas de projeções é segundo a superfície de projeção adotada. Essa superfície pode ser um plano ou uma superfície auxiliar desenvolvível em um plano. Daí a classificação em projeções planas e projeções por desenvolvimento (Figura 2.2).

**Figura 2.2 -**



A projeção é então dita plana, quando a superfície de projeção é um plano. Esse plano poderá ser tangente ou secante à superfície da Terra.

A projeção plana é geralmente chamada azimutal, em virtude de os azimutes em torno do ponto de tangência

serem representados sem deformações. As projeções azimutais são também chamadas zenitais.

A projeção é por desenvolvimento, quando a superfície de projeção é uma superfície desenvolvível.

De acordo com a natureza dessa superfície desenvolvível, as projeções desse tipo se classificam em cônicas, cilíndricas e poliédricas.

Incluídas no grupo das projeções cônicas estão as projeções policônicas. Nestas, em vez de apenas um cone, a superfície de projeção adotada compõe-se de diversos cones tangentes à superfície da Terra.

Os sistemas de projeções são também classificados de acordo com a situação da superfície de projeção.

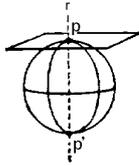
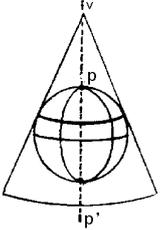
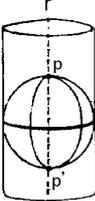
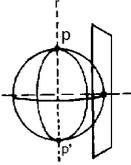
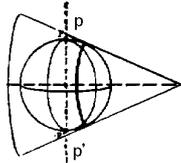
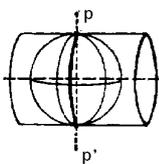
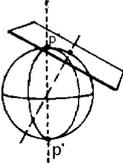
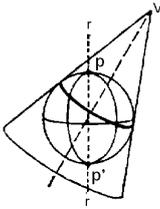
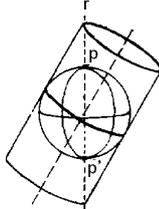
Essa classificação é feita, no caso das projeções planas ou azimutais, de acordo com a posição do plano de projeção e do ponto de tangência ou pólo da projeção; e, no caso das projeções por desenvolvimento, segundo a posição do eixo da superfície cônica ou cilíndrica.

As projeções planas ou azimutais são, então, classificadas em (Figura 2.3):

- polares** – ponto de tangência no pólo; eixo da Terra perpendicular ao plano de projeção;
- equatoriais** ou **meridianas** – ponto de tangência no equador; eixo da Terra paralelo ao plano de projeção; plano de projeção paralelo ao plano de um meridiano;
- horizontais** ou **oblíquas** – ponto de tangência em um ponto qualquer da superfície da Terra; eixo da Terra inclinado em relação ao plano de projeção.

As **projeções por desenvolvimento** são classificadas em (Figura 2.3):

**Figura 2.3 - Classificação das projeções segundo a situação da superfície de projeção**

PLANAS	CÔNICAS	CILÍNDRICAS
 <p>POLAR - plano tangente no pólo</p>	 <p>NORMAL - eixo do cone paralelo ao eixo da Terra.</p>	 <p>EQUATORIAL - eixo do cilindro paralelo ao eixo da Terra.</p>
 <p>EQUATORIAL - plano tangente no equador.</p>	 <p>TRANSVERSA - eixo do cone perpendicular ao eixo da Terra.</p>	 <p>TRANSVERSA - eixo do cilindro perpendicular ao eixo da Terra.</p>
 <p>HORIZONTAL - plano tangente em um ponto qualquer.</p>	 <p>HORIZONTAL - eixo do cone inclinado em relação ao eixo da Terra.</p>	 <p>HORIZONTAL - eixo do cilindro inclinado em relação ao eixo da Terra</p>

a. **normais** – eixo do cone paralelo ao eixo da Terra;

**equatoriais** – eixo do cilindro paralelo ao eixo da Terra;

b. **transversas** – eixo do cone perpendicular ao eixo da Terra;

**transversas ou meridianas** – eixo do cilindro perpendicular ao eixo da Terra;

c. **horizontais ou oblíquas** – eixo do cone ou cilindro inclinado em relação ao eixo da Terra.

As projeções são, ainda, classificadas segundo as **propriedades que conservam**, em: equidistantes, equivalentes, conformes e afiláticas.

a. As **projeções equidistantes** são as que não apresentam deformações lineares, isto é, os comprimentos são representados em escala uniforme.

A condição de equidistância só é obtida em determinada direção e, de acordo

com essa direção, as projeções equidistantes se subclassificam em **equidistantes meridianas**, **equidistantes transversais** e **equidistantes azimutais**.

As **projeções equidistantes meridianas** são aquelas em que há equidistância segundo os meridianos.

As **projeções equidistantes transversais** são as que apresentam equidistância segundo os paralelos.

As **projeções equidistantes azimutais** ou **equidistantes ortodrômicas** são as que não apresentam distorções nos círculos máximos que passam pelo ponto de tangência. As **projeções equidistantes azimutais** são sempre **projeções planas**.

b. As **projeções equivalentes** são as que não deformam as áreas, isto é, as áreas na carta guardam uma relação constante com as suas correspondentes na superfície da Terra.

c. **Projeções conformes** são as que não deformam os ângulos e, decorrente dessa propriedade, não deformam também a forma das pequenas áreas.

As projeções azimutais podem ser consideradas um caso particular das projeções conformes, em virtude da propriedade que possuem de não deformarem os ângulos (azimutes) em torno do ponto de tangência. Porém, nem todas as projeções azimutais são conformes em toda extensão.

d. As **projeções afiláticas** são aquelas em que os comprimentos, as áreas e os ângulos não são conservados. Entretanto, podem possuir uma ou outra propriedade que justifique sua construção. A **projeção gnomônica**, por exemplo, apresentando todas as deformações, possui a excepcional propriedade de **representar as ortodromias como retas**. Por isto, é utilizada em Cartografia Náutica, conforme adiante explicado.

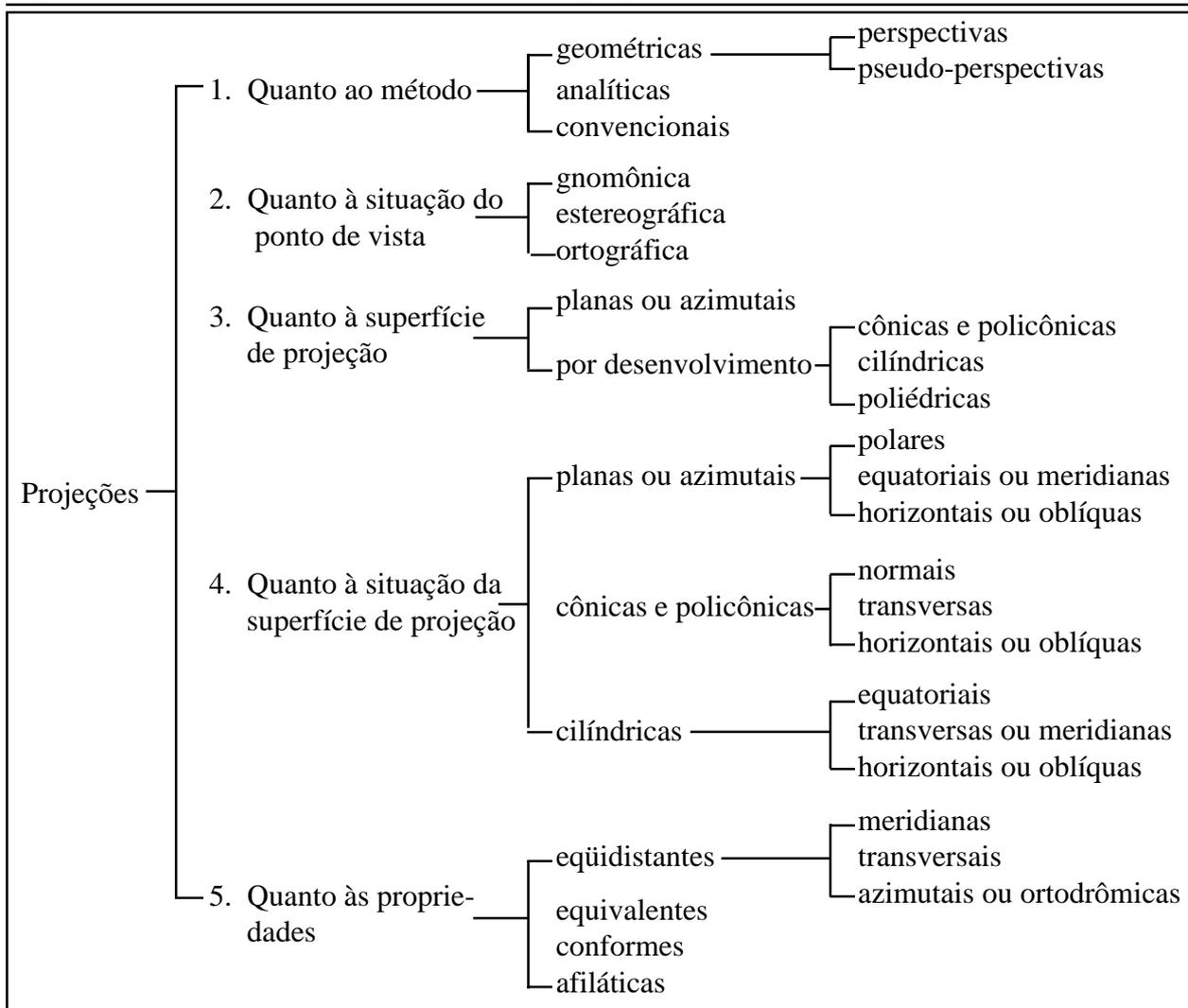
Um sumário das diversas classificações dos **sistemas de projeções** é apresentado na Figura 2.4.

## 2.4 DESIGNAÇÃO DOS SISTEMAS DE PROJEÇÕES

De uma maneira geral, as projeções são mais conhecidas pelos nomes de seus autores do que, propriamente, pelas designações de suas propriedades ou de suas classificações. Isto acontece, principalmente, com as **projeções analíticas e convencionais**.

É, por exemplo, o caso da projeção cilíndrica equatorial conforme, mais conhecida como Projeção de Mercator; e da projeção azimutal equivalente, conhecida como Projeção Azimutal de Lambert.

**Figura 2.4 - Sumário das classificações das projeções**



Convém, entretanto, se desejarmos estabelecer uma regra para designar os diferentes tipos de projeções, especificando suas características, mencionar seus elementos na seguinte ordem:

- natureza da superfície de projeção adotada (plano, cilindro ou cone);
- situação da superfície de projeção em relação à superfície da Terra; e
- classificação da projeção quanto à propriedade que conserva.

Assim, dir-se-á: projeção cônica normal equidistante meridiana; projeção plana polar gnomônica; projeção cilíndrica transversa conforme; etc.

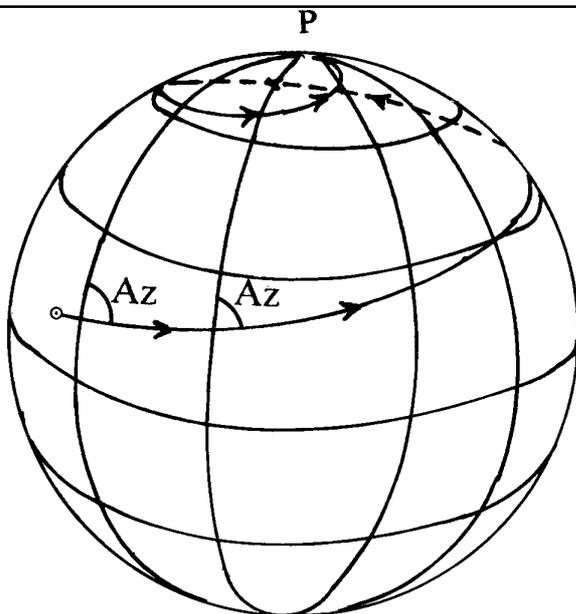
## 2.5 PROJEÇÕES UTILIZADAS EM CARTOGRAFIA NÁUTICA; A PROJEÇÃO DE MERCATOR

### 2.5.1 A PROJEÇÃO DE MERCATOR

Conforme já visto, a menor distância entre dois pontos na superfície da Terra (considerada esférica para os fins comuns da navegação) é o arco de círculo máximo que os une, ou seja, uma **ortodromia**.

A navegação sobre uma ortodromia, porém, exige constantes mudanças de rumo, pois os arcos de círculo máximo formam ângulos variáveis com os meridianos. A utilização da agulha náutica obriga os navegantes a percorrer, entre dois pontos na superfície da Terra, não a menor distância entre eles, mas uma linha que faz um ângulo constante com os sucessivos meridianos, igual ao seu azimute. Esta linha é o **rumo**, a **loxodromia** ou **curva loxodrômica** e, também conforme mencionado no Capítulo anterior, tem, na esfera, a forma de uma espiral que tende para os pólos, exceto na caso dos meridianos, paralelos e equador (Figura 2.5).

Figura 2.5 - Loxodromia



Desta forma, uma exigência básica para utilização de um **sistema de projeção** em Cartografia Náutica é que represente as **loxodromias**, ou **linhas de rumo**, por **linhas retas**. Essa condição indispensável é atendida pela Projeção de Mercator, nome latino do seu idealizador, Gerhard Krämer, cartógrafo nascido em Flanders, em 1512. Mercator publicou, em 1569, sua Carta Universal (planisfério), na qual as loxodromias eram representadas por linhas retas.

## 2.5.2 CLASSIFICAÇÃO DA PROJEÇÃO DE MERCATOR

A Projeção de Mercator pertence à classe das **projeções por desenvolvimento cilíndrico** e à categoria das **projeções conformes**. Da condição de **conformidade**, isto é, da inexistência de deformações angulares, surge a propriedade de manutenção da forma da pequenas figuras.

A Projeção de Mercator é uma modalidade **equatorial** das **projeções cilíndricas**, isto é, o cilindro é considerado tangente à superfície da Terra no equador (Figura 2.6 a & b).

Figura 2.6 (a) - Projeção cilíndrica

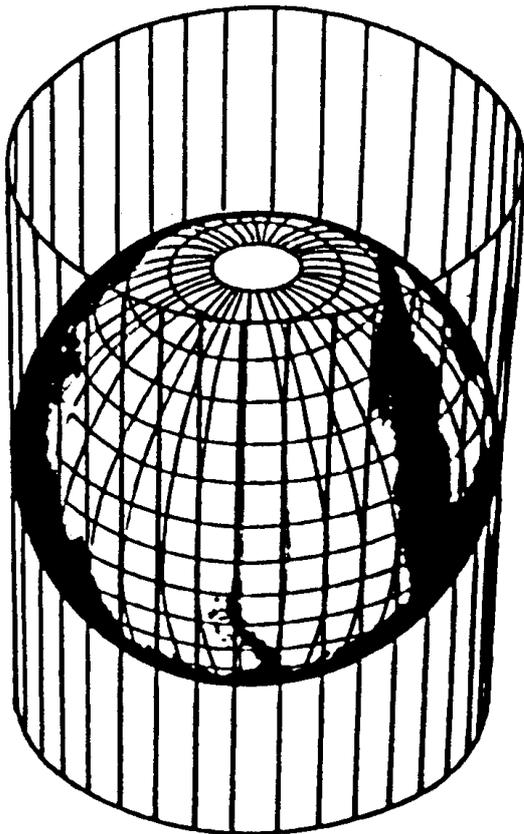
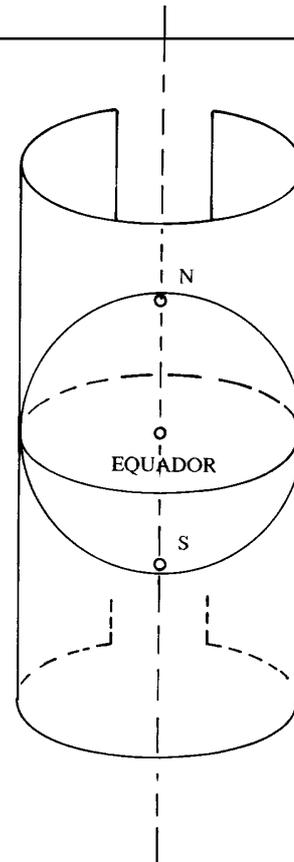


Figura 2.6 (b) - Cilindro tangente no equador



A Projeção de Mercator é classificada, portanto, como uma **projeção cilíndrica equatorial conforme**.

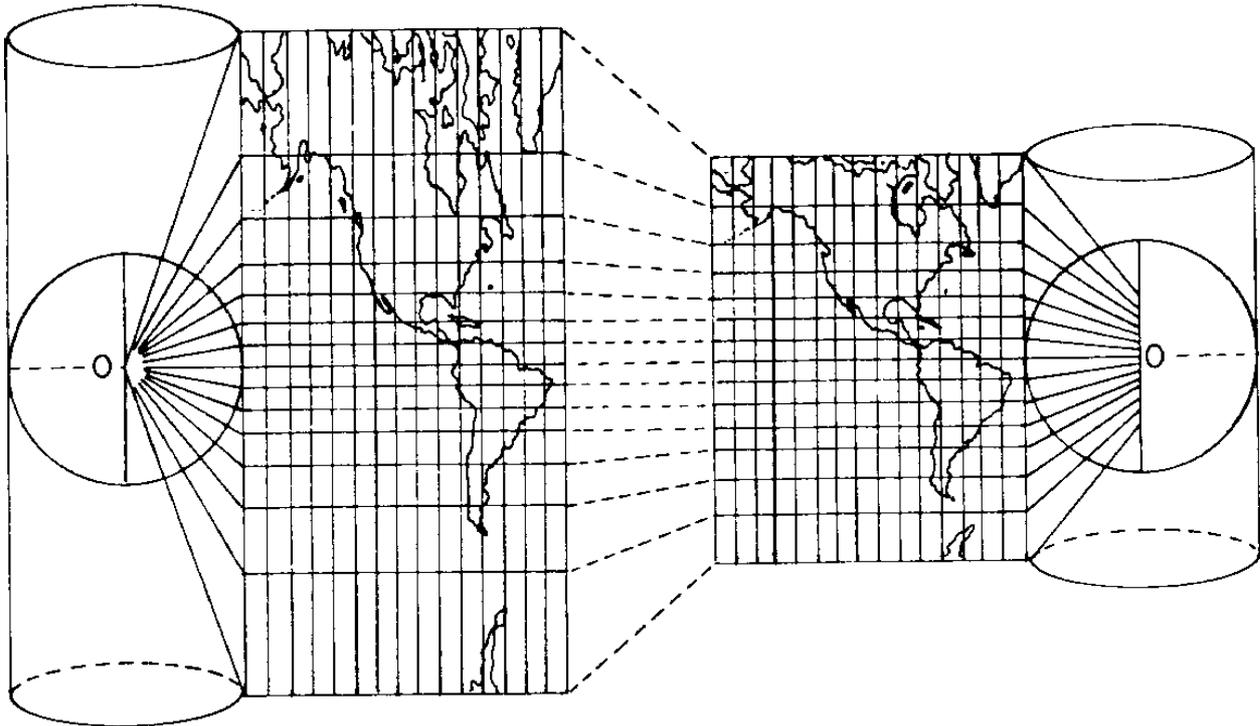
**CILÍNDRICA:** pois a **SUPERFÍCIE DE PROJEÇÃO** é um cilindro, isto é, a **SUPERFÍCIE DA TERRA** (ou parte dela) é projetada em um cilindro.

**EQUATORIAL:** o **CILINDRO** é tangente à superfície da Terra no **EQUADOR**.

**CONFORME:** os **ÂNGULOS** são representados **SEM DEFORMAÇÃO**. Por isto, as formas das pequenas áreas se mantêm, sendo, assim, a projeção também denominada **ORTOMORFA**.

Na realidade, a Projeção de Mercator é uma **projeção convencional** e, portanto, não obedece a um conceito geométrico definido, embora seja inspirada em uma **projeção cilíndrica**. A figura 2.7 apresenta as diferenças e semelhanças entre a Projeção de Mercator e uma **projeção cilíndrica gnomônica**. Entretanto, para maior facilidade de compreensão, pode-se considerar a Projeção de Mercator como uma **projeção cilíndrica equatorial conforme**.

**Figura 2.7 - Projeções cilíndricas**

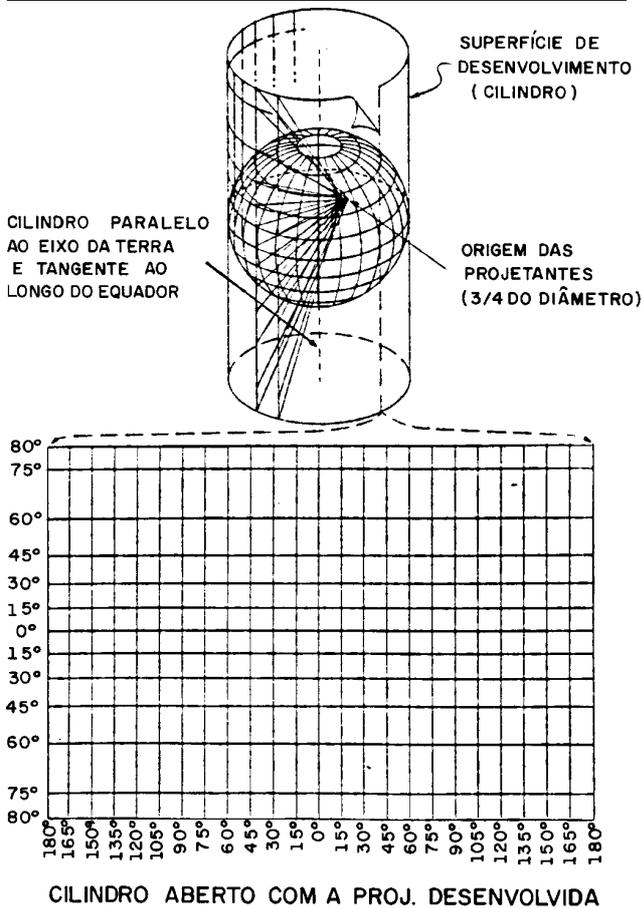


MER

## CILÍNDRICA GNOMÔNICA

A Figura 2.8 ilustra o desenvolvimento da Projeção de Mercator, cujas características são apresentadas na Figura 2.9.

**Figura 2.8 - Projeção de Mercator**



**Figura 2.9 - Características da projeção de Mercator**

SUPERFÍCIE DE DESENVOLVIMENTO	CILINDRO
PROJEÇÃO	CONFORME
TANGÊNCIA	EQUADOR
MERIDIANOS	LINHAS RETAS IGUALMENTE ESPAÇADAS
PARALELOS	LINHAS RETAS DESIGUALMENTE ESPAÇADAS
INTERSEÇÃO DE PARALELOS E MERIDIANOS	90°
USO	CARTAS NÁUTICAS E MAPAS EM PEQUENA ESCALA NOS QUAIS DISTORÇÕES NAS ALTAS LATITUDES SÃO ACEITÁVEIS

## 2.5.3 VANTAGENS E LIMITAÇÕES DA PROJEÇÃO DE MERCATOR

### a. VANTAGENS DA PROJEÇÃO DE MERCATOR

1. Os meridianos são representados por linhas retas, os paralelos e o equador são representados por um segundo sistema de linhas retas, perpendicular à família de linhas que representam os meridianos.
2. É fácil identificar os pontos cardiais numa Carta de Mercator.
3. É fácil plotar um ponto numa Carta de Mercator conhecendo-se suas coordenadas geográficas (Latitude e Longitude). É fácil determinar as coordenadas de qualquer ponto representado numa Carta de Mercator.
4. Os ângulos medidos na superfície da Terra são representados por ângulos idênticos na carta; assim, direções podem ser medidas diretamente na carta. Na prática, distâncias também podem ser medidas diretamente na carta.
5. As **LINHAS DE RUMO** ou **LOXODROMIAS** são representadas por linhas retas.
6. Facilidade de construção (construção por meio de elementos retilíneos).
7. Existência de tábuas para o traçado do reticulado.

### b. LIMITAÇÕES DA PROJEÇÃO DE MERCATOR

1. Deformação excessiva nas altas latitudes.
2. Impossibilidade de representação dos pólos.
3. Círculos máximos, exceto o equador e os meridianos, não são representados por linhas retas (limitação notável nas Cartas de Mercator de pequena escala, representando uma grande área).

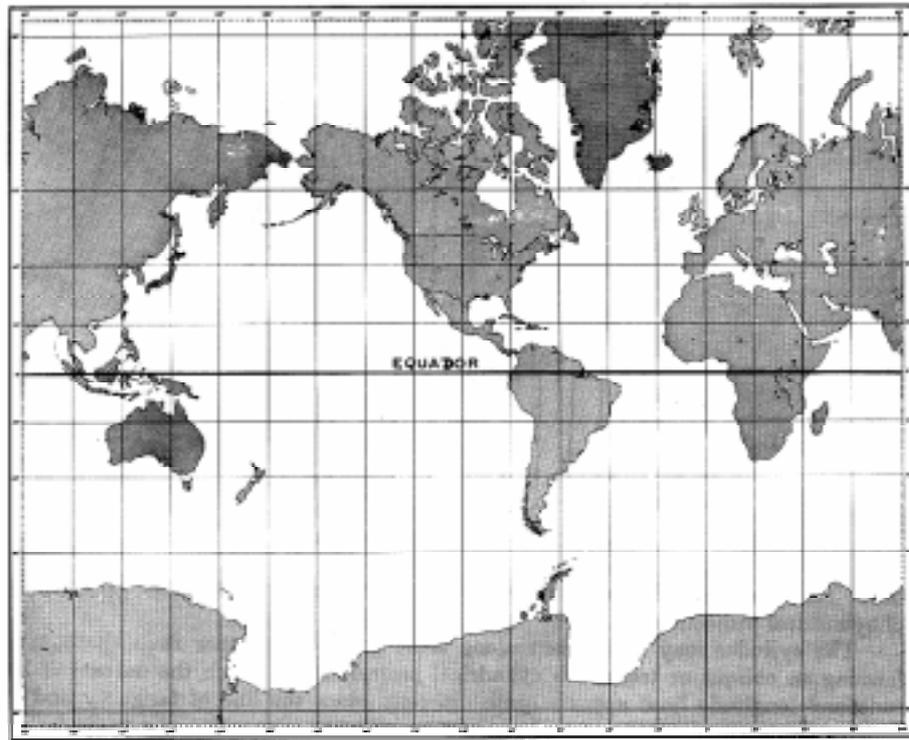
## 2.5.4 LATITUDES CRESCIDAS E MEDIÇÃO DE DISTÂNCIAS NAS CARTAS DE MERCATOR

Quando comparada com o globo, a Projeção de Mercator exhibe enormes deformações de áreas nas altas latitudes.

O exemplo mais vezes citado é o da Groenlândia que, quando apresentada numa Projeção de Mercator, aparece maior que a América do Sul, apesar desta última ter área nove vezes maior (Figura 2.10).

A Figura 2.11 ajuda na compreensão desta característica da projeção. Em **A** mostra-se verticalmente um fuso, ou setor, do globo terrestre, com dois círculos desenhados em posições diferentes, para melhor entendimento das deformações que irão ocorrer. Em **B** esticaram-se **horizontalmente** os dois meridianos exteriores de forma a ficarem paralelos.

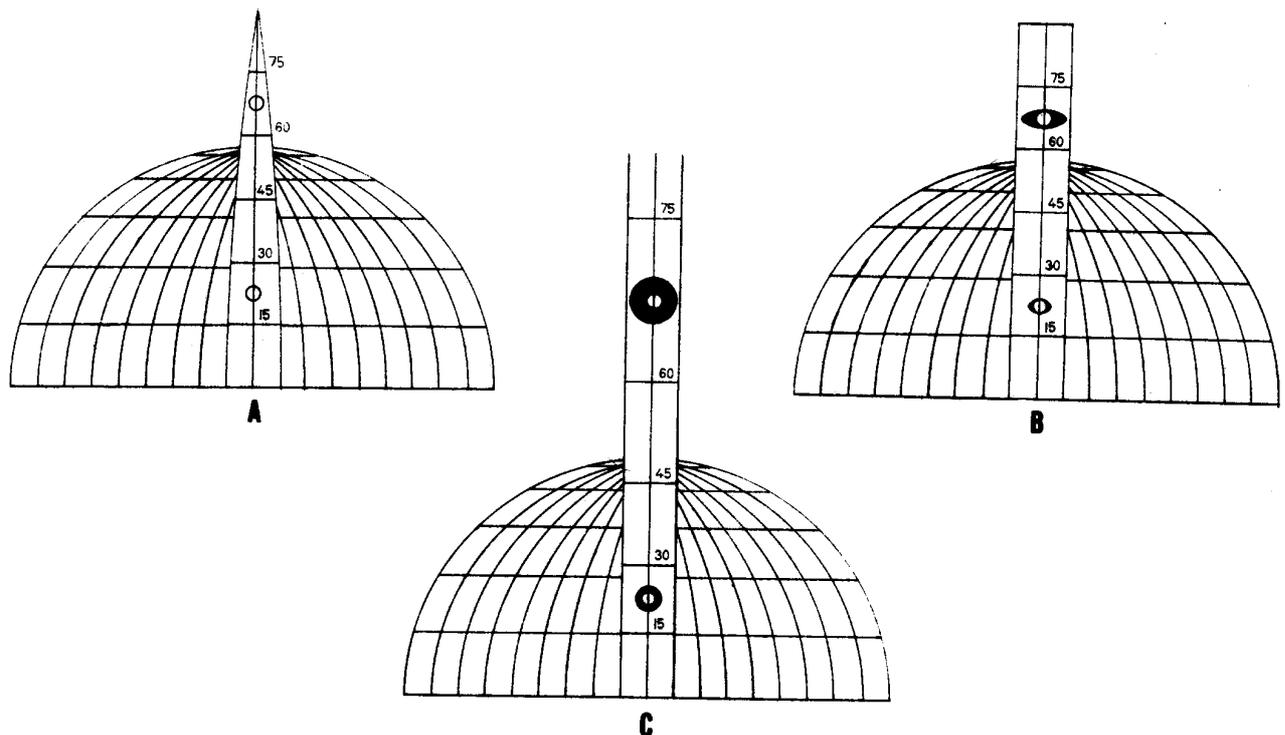
**Figura 2.10 - Mapa Mundi na projeção de Mercator**



Verifica-se aí que, em consequência, os círculos transformaram-se em elipses, ficando o do Norte mais distorcido que o do Sul.

Uma vez que a projeção é **conforme**, ela deve conservar as formas em áreas pequenas. Assim, tem-se que esticar agora **verticalmente** o setor até que as elipses retornem novamente à forma circular, o que se apresenta em **C**.

**Figura 2.11 - A projeção de Mercator e as latitudes crescidas**



É de notar que, uma vez que a parte Norte do setor foi mais distendida que a Sul, o círculo superior ficou com um diâmetro sensivelmente maior que o inferior.

Assim, na Projeção de Mercator à medida que a latitude cresce os arcos de paralelos vão sendo aumentados numa razão crescente, com os arcos de meridiano sofrendo aumentos na mesma proporção (para que seja mantida a condição de **conformidade**).

Nascem daí dois conceitos importantes. O primeiro deles é o de **latitude crescida**.

**LATITUDE CRESCIDA** correspondente a um determinado paralelo é o comprimento do arco de meridiano compreendido entre a projeção do paralelo considerado e o equador, tomando-se para unidade de medida o comprimento do arco de 1 minuto do equador (1 minuto de Longitude).

Ademais, numa Carta de Mercator a escala das Longitudes é constante, mas, como visto, a escala das Latitudes cresce à medida que a Latitude aumenta, Assim, a escala da Carta varia na razão da Latitude e, desta forma, **as distâncias só serão verdadeiras se forem lidas na escala das Latitudes**. Este é um cuidado fundamental a ser observado na utilização de uma Carta Náutica na Projeção de Mercator.

## 2.5.5 UTILIZAÇÃO DA PROJEÇÃO DE MERCATOR

Do ponto de vista da navegação, a Projeção de Mercator resolveu graficamente os problemas da estima com tal sucesso que sua popularidade é inextinguível e seu emprego incomparável: a loxodromia é representada por uma linha reta, que faz com as transformadas dos meridianos um ângulo constante e igual ao seu azimute.

A impossibilidade de representação dos pólos e o valor exageradamente crescente das deformações lineares e superficiais nas altas latitudes, constituem as limitações mais acentuadas da projeção de Mercator. Ela é geralmente limitada pelo paralelo de 60°, porque, nesta latitude, as deformações já se apresentam excessivas. Entretanto, podemos utilizá-la satisfatoriamente até a latitude de 80°, desde que sejam tomadas precauções especiais quanto ao uso da escala das distâncias.

Além da Cartografia Náutica, a Projeção de Mercator é também empregada nas seguintes classes de cartas: cartas-piloto, de fusos horários, magnéticas, geológicas, celestes, meteorológicas, aeronáuticas e mapas-mundi.

## 2.5.6 OUTRAS PROJEÇÕES USADAS EM CARTOGRAFIA NÁUTICA

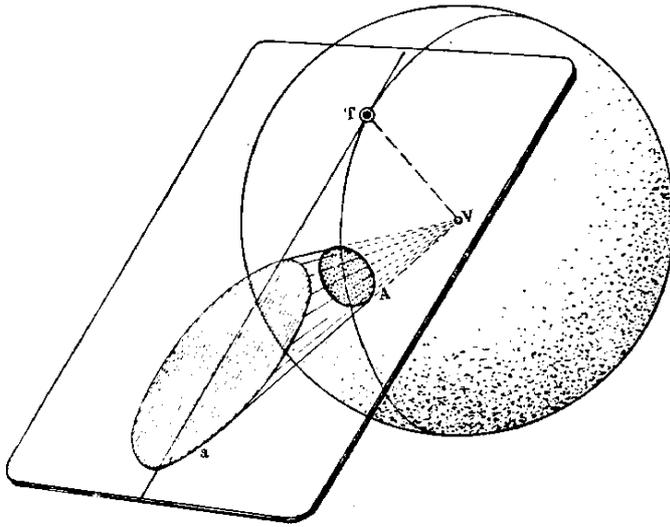
### a. PROJEÇÃO GNOMÔNICA

Conforme anteriormente mencionado, embora a menor distância entre dois pontos na superfície da Terra seja o **arco de círculo máximo** que os une (**ortodromia**), a navegação é normalmente conduzida por uma **loxodromia**, ou **linha de rumo**, que faz com os sucessivos meridianos um ângulo constante e igual ao seu azimute. Quando os dois pontos da superfície da Terra estão próximos, a **loxodromia** praticamente se confunde com a **ortodromia**: a diferença é de 1 milha para dois pontos afastados de 350 milhas, na latitude de 40°.

Todavia, quando os dois pontos estão muito afastados, a diferença pode ser da ordem de centenas de milhas: a diferença entre as distâncias loxodrômica e ortodrômica de Sidney, na Austrália, a Valparaíso, no Chile, é de 748 milhas.

Assim, para singraduras muito extensas torna-se imperativa a adoção do caminho mais curto, isto é, da **derrota ortodrômica**, sendo necessário, para o seu planejamento, dispor de cartas construídas em um sistema de projeção que represente os **círculos máximos** como **linhas retas**. Este sistema é a **projeção plana gnomônica** ou, como é normalmente denominada, **projeção gnomônica**.

**Figura 2.12 - Projeção Gnomônica**

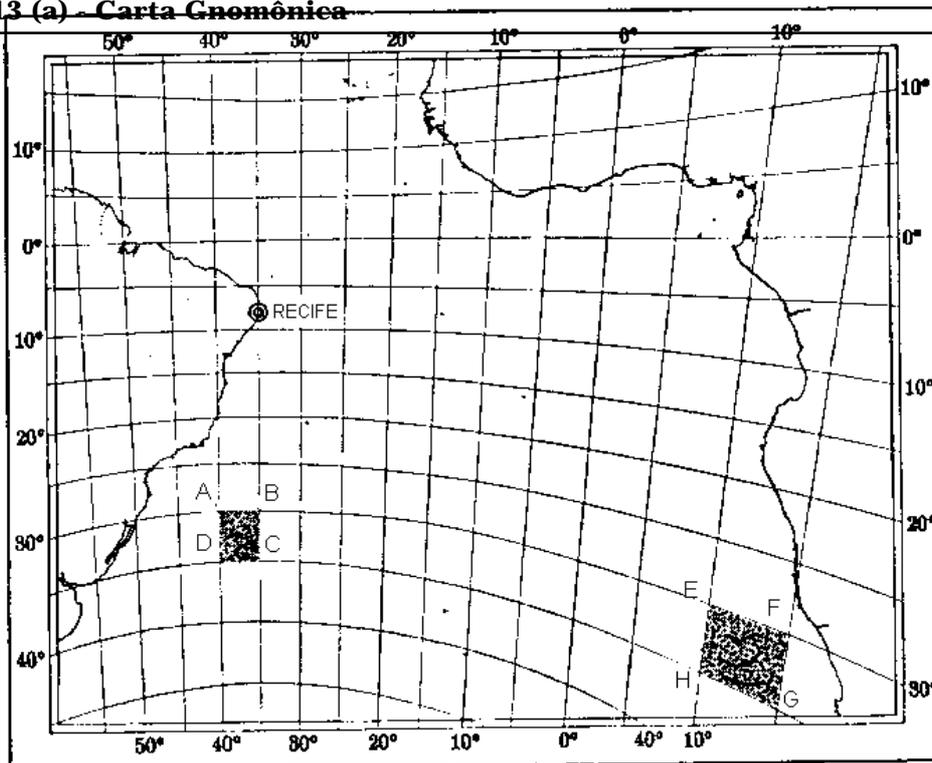


A **projeção gnomônica** utiliza como **superfície de projeção** um **plano tangente à superfície da Terra**, no qual os pontos são projetados geometricamente, a partir do centro da Terra (Figura 2.12). Esta é, provavelmente, a mais antiga das projeções, acreditando-se que foi desenvolvida por Thales de Mileto, cerca de 600 a.C.

A **projeção gnomônica** apresenta todos os tipos de deformações. A projeção não é equidistante; a escala só se mantém exata no ponto de tangência, variando rapidamente à medida que se afasta desse

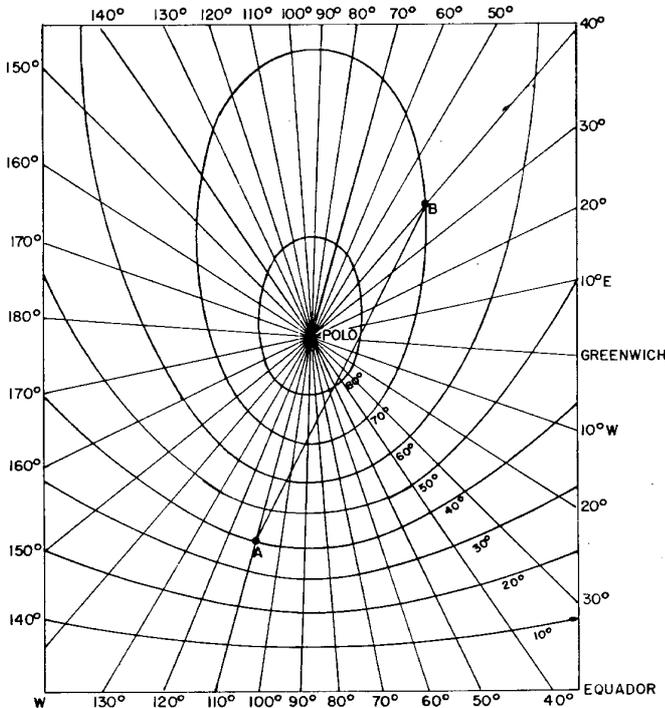
ponto. Ademais, a projeção não é conforme, nem equivalente. As distorções são tão grandes que as formas, as distâncias e as áreas são muito mal representadas, exceto nas proximidades do ponto de tangência.

**Figura 2.13 (a) - Carta Gnomônica**



A Figura 2.13a, onde está representado um reticulado da **projeção gnomônica**, com ponto de tangência em Recife, ilustra as deformações apresentadas pela projeção. Podem ser comparadas as diferenças de formas, áreas e dimensões entre dois retângulos de 5° de lado, um situado relativamente próximo do **ponto de tangência** e outro **bem afastado desse ponto**.

**Figura 2.13 (b) - Carta Gnomônica**



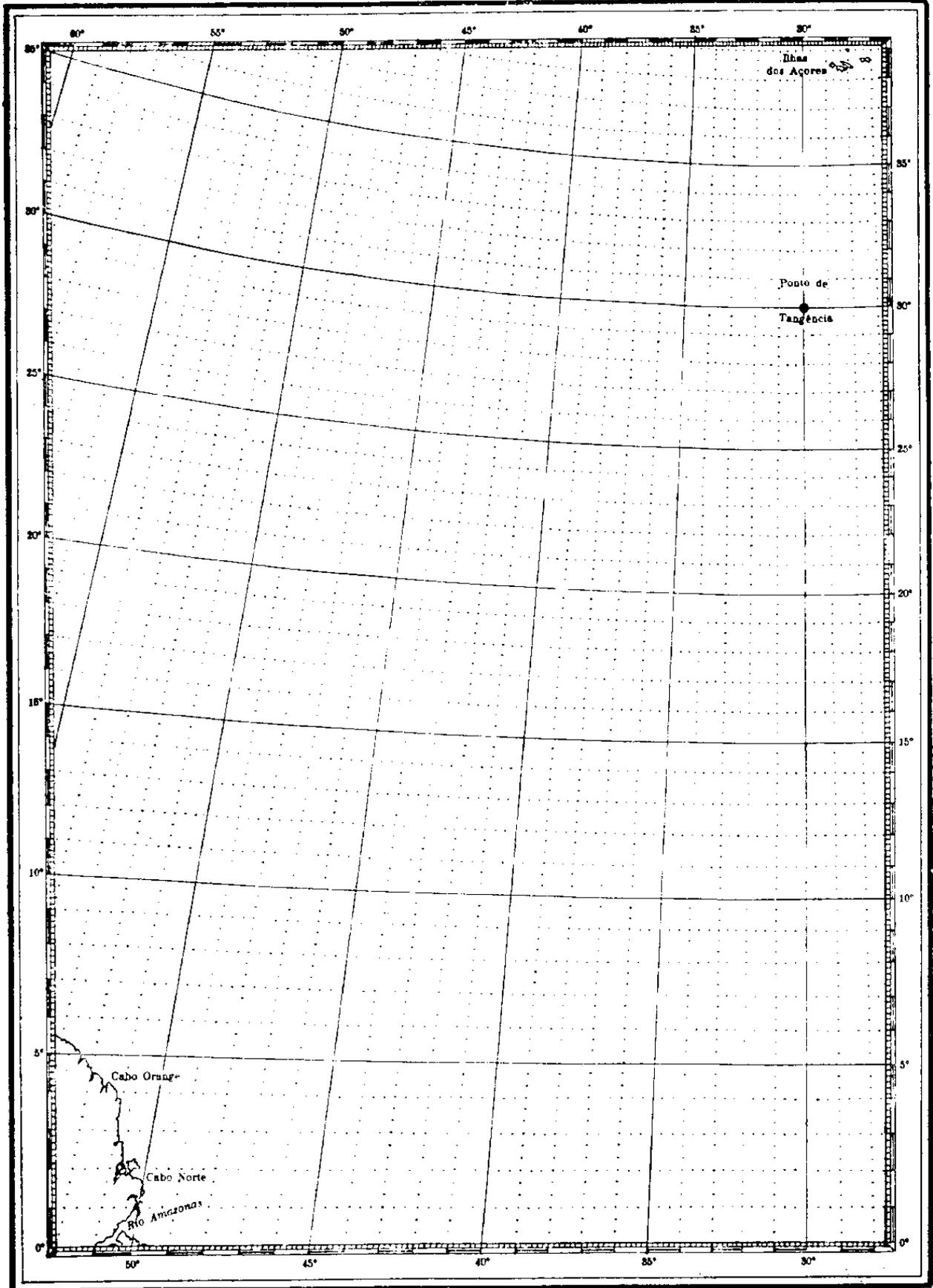
Entretanto, conforme citado, a **projeção gnomônica** tem a propriedade única de representar todos os **círculos máximos** por **linhas retas**. Os **meridianos** aparecem como retas convergindo para o pólo mais próximo. Os **paralelos**, exceto o **equador** (que é um **círculo máximo**) aparecem como **linhas curvas** (Figura 2.13b). Além disso, na **projeção gnomônica**, como em todas as **projeções azimutais**, os azimutes a partir do **ponto de tangência** são **representados sem deformações**.

Em Cartografia Náutica, a **projeção gnomônica** é, então, empregada principalmente na construção de Cartas para Navegação Ortodrômica (Figura 2.14), que serão estudadas com detalhe no Capítulo 33 (Volume II). Ademais, é também aplicada em **radiogoniometria com estação fixa**, aproveitando-se a propriedade da **projeção gnomônica** de representar sem deformações os azimutes (marcações) tomados a partir do **ponto de tangência** (que, neste caso, será a posição da estação radiogoniométrica). Por outro lado, sabe-se que não é possível representar as regiões polares na Projeção de Mercator, devido à sua impossibilidade material da representar o pólo e por causa das deformações excessivas apresentadas em Latitudes muito altas. Esta importante lacuna pode ser preenchida pela **projeção gnomônica**.

Na Figura 2.14, por exemplo, se for desejada a **derrota ortodrômica** do Cabo Orange para o Arquipélago dos Açores, basta traçar na carta, construída na projeção gnomônica, uma linha reta conectando os dois locais. Esta linha representa o arco de círculo máximo que passa pelos dois pontos, constituindo, assim, a menor distância entre eles.

Figura 2.14 - Carta para Navegação Ortodrômica

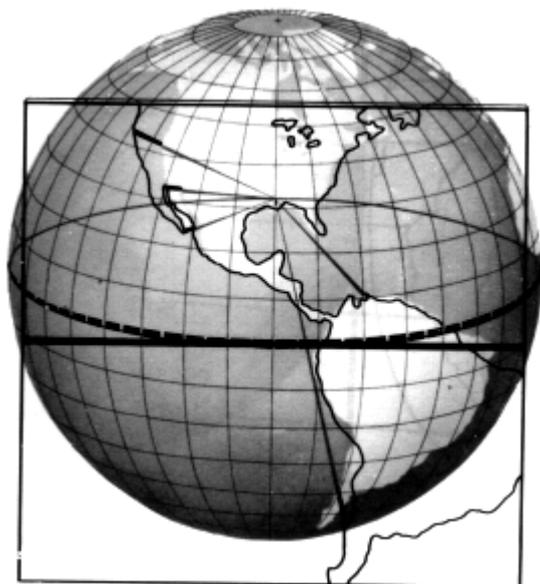
Redução de um trecho da Carta No. 1280



## b. PROJEÇÃO ESTEREOGRÁFICA

A **projeção estereográfica** resulta da projeção geométrica de pontos da superfície da Terra sobre um plano tangente, desde um **ponto de vista** situado na posição oposta ao ponto de tangência (Figura 2.15). Esta projeção é também chamada de **azimutal ortomorfa**.

**Figura 2.15 - Projeção Estereográfica Equatorial**



**Figura 2.16 - Mapa do Hemisfério Ocidental na Projeção Estereográfica**

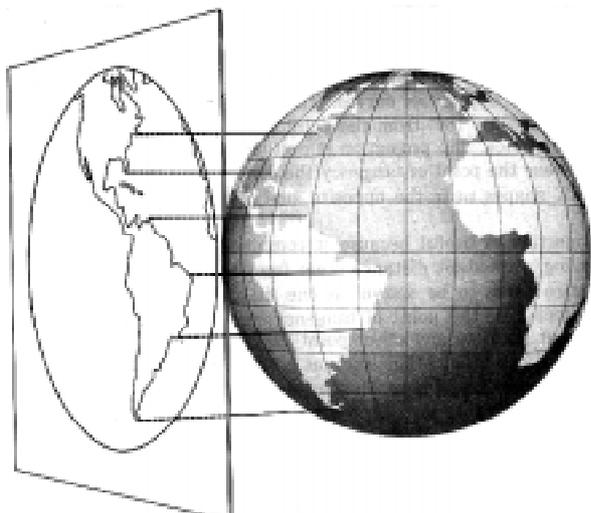


A escala em uma **projeção estereográfica** aumenta com a distância do **ponto de tangência**, porém mais lentamente que em uma **projeção gnomônica**. Um hemisfério completo pode ser representado em uma **projeção estereográfica**, sem distorções excessivas (Figura 2.16). Tal como em outras **projeções azimutais**, os **círculos máximos** que passam pelo **ponto de tangência** aparecem como linhas **retas**. Todos os demais círculos, incluindo meridianos e paralelos, são representados como círculos ou arcos de círculos.

O principal uso da **projeção estereográfica** em Cartografia Náutica é para construção de cartas das regiões polares.

## c. PROJEÇÃO ORTOGRÁFICA

**Figura 2.17 - Projeção Ortográfica Equatorial**



Projetando-se geometricamente pontos da superfície da Terra tendo como **ponto de vista** o infinito (linhas projetantes paralelas), sobre um **plano tangente**, tem-se uma **projeção ortográfica** (Figura 2.17). Esta projeção não é **conforme**, nem **equivalente**, nem **eqüidistante** em toda sua extensão. Sua principal aplicação em Cartografia Náutica ocorre no campo da navegação astronômica, onde ela é útil para apresentar ou para solucionar graficamente o triângulo de posição e para ilustração de coordenadas astronômicas.

**Figura 2.18 - Mapa Ortográfico do Hemisfério Ocidental**

Se o plano é tangente a um ponto do equador, como normalmente ocorre, os **paralelos** (incluindo o equador) aparecem como **linhas retas** e os **meridianos** como **elipses**, exceto o meridiano que passa pelo ponto de tangência, que aparece como uma **linha**

**reta**, e o que está a  $90^\circ$ , que é representado por um círculo (Figura 2.18).

#### **d. PROJEÇÃO AZIMUTAL EQÜIDISTANTE**

É uma projeção na qual a **escala de distâncias** ao longo de qualquer **círculo máximo** que passa pelo **ponto de tangência** é constante. Se o **ponto de tangência** está situado em um dos **pólos**, os **meridianos** aparecem como **linhas retas radiais** e os **paralelos** como **círculos concêntricos**, igualmente espaçados. Se o plano é tangente em qualquer outro ponto, os círculos concêntricos representam distâncias do ponto de tangência. Neste caso, meridianos e paralelos aparecem como curvas. A **projeção azimutal eqüidistante** pode ser usada para representar toda a Terra, sendo que, nesta situação, o ponto  $180^\circ$  defasado do ponto de tangência aparece como o maior dos círculos concêntricos. A projeção não é conforme, nem equivalente, nem perspectiva. Próximo ao ponto de tangência as distorções são pequenas, porém crescem com a distância, até que, nas imediações do lado oposto da Terra, as formas tornam-se irreconhecíveis (Figura 2.19a).

A **projeção azimutal eqüidistante** é útil porque combina as três características possíveis de se encontrar nas projeções azimutais:

- as **distâncias** a partir do **ponto de tangência** são representadas sem distorções;
- as **direções** (azimutes) a partir do **ponto de tangência** são representados sem deformações; e
- permite representar toda a superfície da Terra em uma carta.

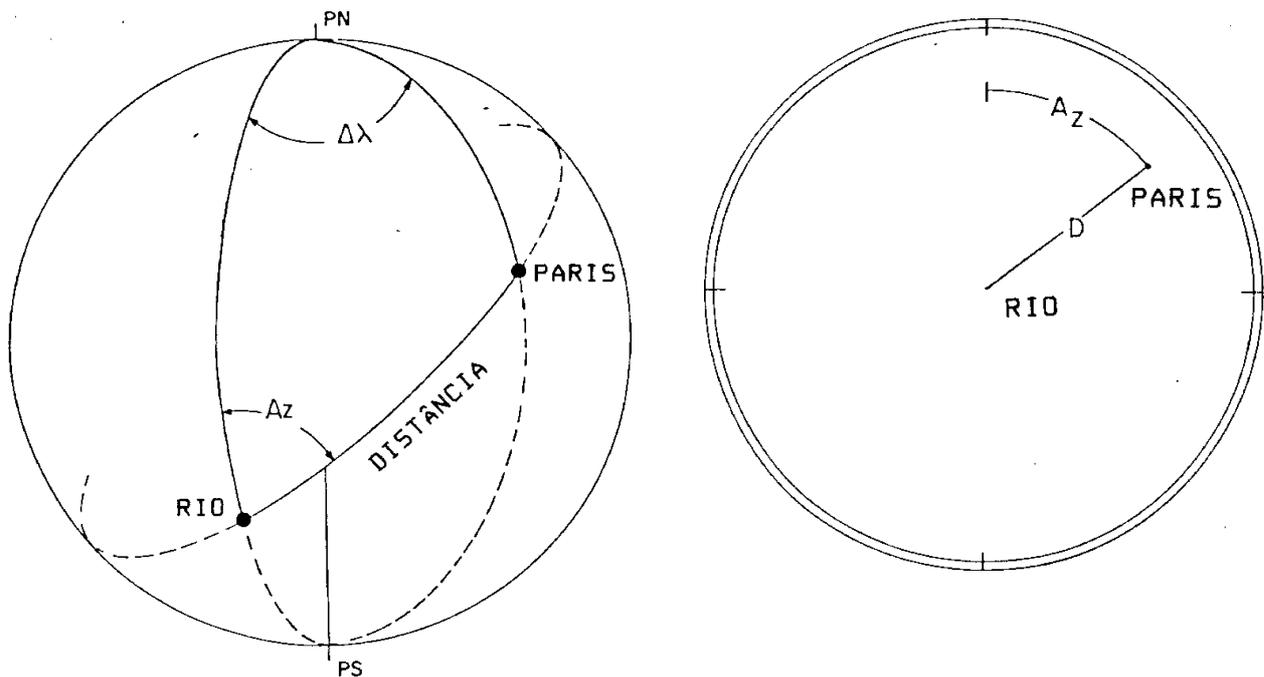
**Figura 2.19 (a) - Projeção Azimutal Eqüidistante**

---

Assim, se um porto ou aeroporto importante for escolhido como **ponto de tangência**, o azimute (rumo), a distância e a derrota deste ponto para qualquer outro ponto na superfície da Terra são determinados com rapidez e precisão, tal como mostrado nas figuras 2.19 **b** & **c**. Se uma estação de comunicações for escolhida como **ponto de tangência** de uma carta na **projeção azimutal eqüidistante**, as trajetórias dos sinais rádios para/da estação tornam-se aparentes. Ademais, pode-se determinar facilmente a direção para a qual deve ser orientada uma antena. A projeção é, também, usada na construção de cartas polares e do Identificador de Estrelas (“Star Finder and Identifier”, N° 2102 – D), que será estudado posteriormente.

**Figura 2.19 (b) - Na superfície da Terra**

**Figura 2.19 (c) - Na Carta Azimutal Eqüidistante**



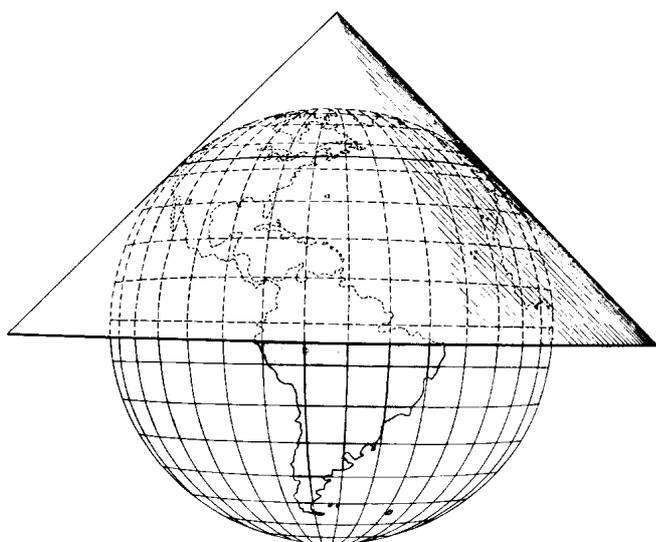
### e. PROJEÇÕES CÔNICAS

Uma **projeção cônica** é produzida pela transferência de pontos da superfície da Terra para um cone, ou uma série de cones, que são, então, desenvolvidos em um plano, para formar a carta. Se o eixo do cone coincide com o eixo da Terra, como ocorre normalmente quando se usam **projeções cônicas** em Cartografia Náutica, os **paralelos** aparecem como **arcos de círculos** e os **meridianos** ou como **linhas retas**, ou como **curvas**, convergindo para o pólo mais próximo. As deformações excessivas são evitadas limitando a área representada na carta à parte do cone próxima à superfície da Terra. O paralelo ao longo do qual não há distorções é denominado **paralelo padrão**.<\$&figura 2.20[v]>

As características das **projeções cônicas** variam, pelo uso de cones tangentes em vários paralelos, usando um cone secante ou uma série de cones.

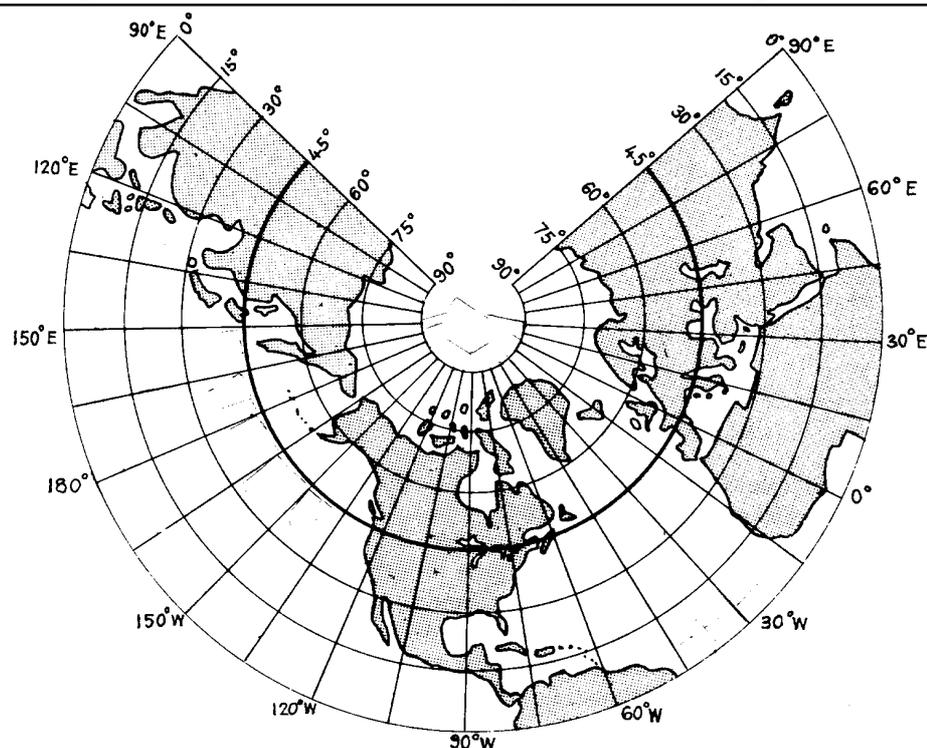
Uma **projeção cônica simples** utiliza um único cone tangente à superfície da Terra (Figura 2.20). A altura do cone aumenta à medida que a Latitude do **paralelo de tangência** diminui. No **equador** a altura do **cone** é **infinita** e este torna-se um **cilindro**. No **pólo** a altura é **zero** e o **cone** transforma-se em um **plano**.

**Figura 2.20 - Projeção Cônica Simples**



Quando o cone é desenvolvido em um plano para formar uma carta, os **meridianos** aparecem como **linhas retas** convergindo para o **vértice do cone**. O **paralelo padrão**, no qual o cone é tangente à Terra, é representado por um **arco de círculo** cujo centro é o **vértice do cone** (ponto de interseção de todos os meridianos).

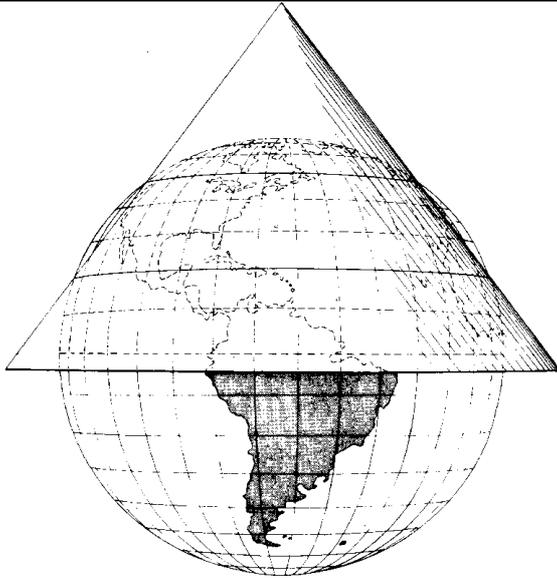
**Figura 2.21 - Mapa do Hemisfério Norte na Projeção Cônica Simples**



Os outros paralelos aparecem como círculos concêntricos, com a distância ao longo de cada meridiano entre paralelos consecutivos representada em relação correta com a distância na Terra, sendo, assim, derivada matematicamente. Por isso, a **projeção cônica simples** não é **perspectiva** (apenas os meridianos são projetados geometricamente). O **pólo** é representado por um círculo (Figura 2.21).

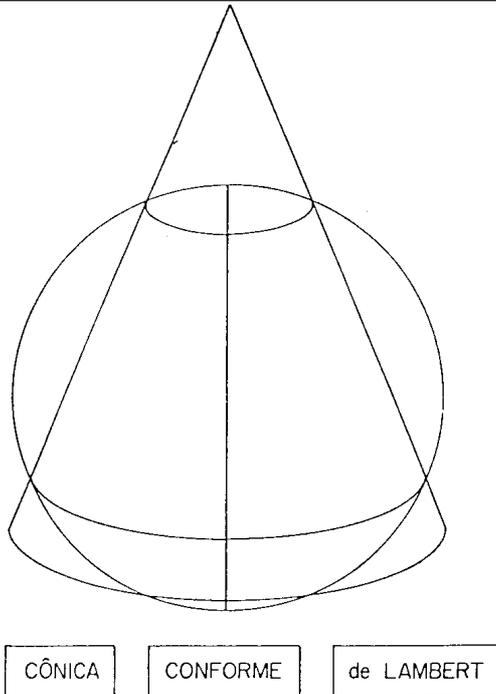
A **escala** é correta ao longo do **paralelo padrão** e de qualquer **meridiano**. Todos os outros paralelos são representados com deformações (comprimentos maiores que o correto), sendo que os erros aumentam à medida que aumenta a distância do paralelo padrão. Como a escala não é a mesma em todas as direções em torno de cada ponto, a projeção não é conforme, sua principal desvantagem para navegação. Além disso, também não é equivalente.

**Figura 2.22 (a) - Cone secante com dois paralelos padrões**



De vez que a escala é correta ao longo do **paralelo padrão** e varia uniformemente para cada lado deste paralelo, com distorções relativamente pequenas nas regiões próximas ao paralelo padrão, a **projeção cônica simples** é útil para representação de uma área com grande desenvolvimento em Longitude e comparativamente estreita em Latitude. A projeção foi desenvolvida no Século II DC por Cláudio Ptolomeu para cartografia de uma área

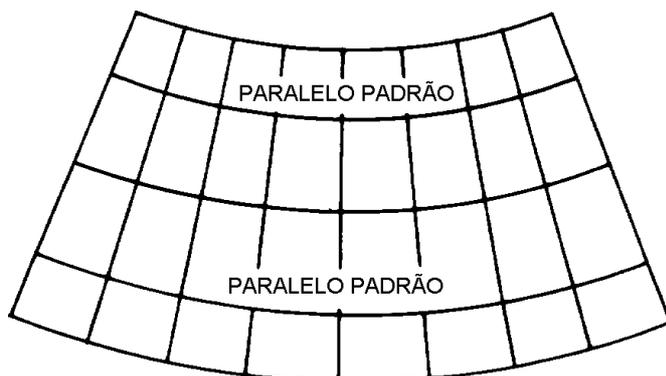
**Figura 2.22 (b) - Geométrica Modificada**



com estas características, o Mediterrâneo.

A **Projeção Conforme de Lambert** aumenta a faixa de Latitude da projeção cônica simples pelo uso de um **cone secante**, que intercepta a superfície da Terra em dois **paralelos padrões** (Figura 2.22 a & b).

**Figura 2.23 - Carta na Projeção de Lambert**



Ademais, o espaçamento entre os paralelos é alterado matematicamente, de modo que a distorção ao longo dos paralelos e ao longo dos meridianos seja a mesma, o que torna a projeção **conforme** (Figura 2.23).

Esta projeção, idealizada por Johann Heinrich Lambert no Século XVIII, é a projeção cônica mais utilizada em navegação, embora seu emprego maior seja em cartas aeronáuticas.

Uma **linha reta** na Projeção Conforme de Lambert aproxima-se tanto de um **círculo máximo** que os dois podem ser considerados idênticos para os propósitos de navegação. Marcações radiogoniométricas, de sinais rádio que se propagam por círculos máximos, podem ser plotadas nesta projeção sem a correção que necessitam quando são plotadas em uma Carta de Mercator. Esta característica, ganha sem o sacrifício da conformidade, tornou a Projeção Conforme de Lambert adequada para cartas aeronáuticas, pois em navegação aérea faz-se intenso uso de marcações-rádio. Em Cartografia Náutica, esta projeção tem sido empregada, em uma forma ligeiramente modificada, em altas latitudes, para cartas polares.

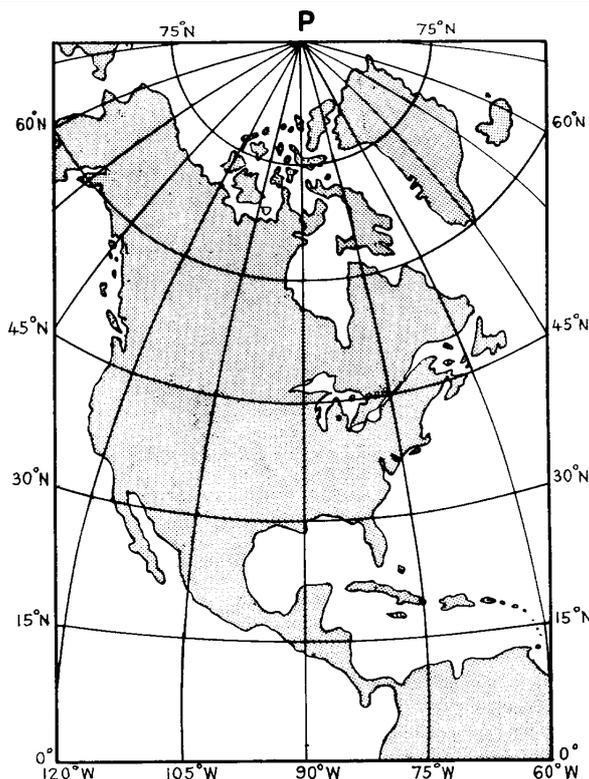
A Figura 2.24 compara as três projeções mais utilizadas em Cartografia Náutica.

**Figura 2.24 -**

	MERCATOR	LAMBERT	GNOMÔNICA
Paralelos	Linhas retas horizontais	Arcos de círculos concêntricos	Curvas (seções de cone) exceto o Equador
Meridianos	Linhas retas verticais, perpendiculares ao Equador	Linhas retas, raio dos paralelos convergindo para o Pólo	Linhas retas
Conforme	Sim	Sim	Não
Círculos máximos	Linhas curvas (exceto os Meridianos e o Equador)	Linhas aproximadamente retas	Linhas retas
Linhas de rumo	Linhas retas. Ângulo medido com qualquer Meridiano	Linhas curvas	Linhas curvas
Escala de distâncias	Variável -- será usada a do paralelo médio	Aproximadamente constante	Variável -- será medida por ábacos impressos nas cartas
Aumento da escala	Aumenta com a distância do Equador	Aumenta com a distância do paralelo central da projeção	Aumenta com a distância ao centro da projeção
Usos para o navegante	Navegação em geral -- Costeira e Estimada	Navegação Costeira, Estimada e Eletrônica	Determinação da ortodrômia

**Figura 2.25 - Projeção Policônica**

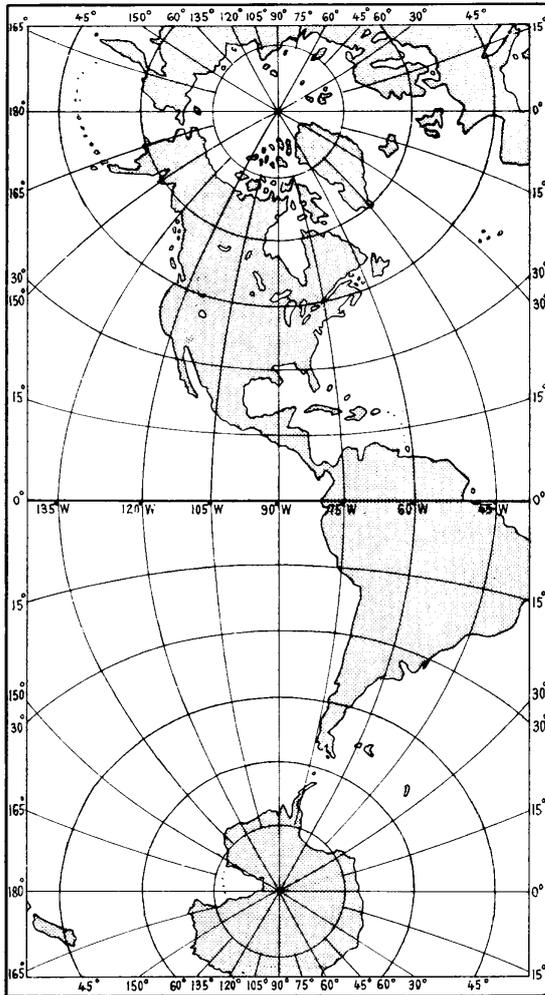
As limitações em Latitude das outras projeções cônicas podem ser essencialmente eliminadas pelo uso de uma série de cones tangentes, resultando em uma **projeção policônica** (Figura 2.25). Nesta projeção, que não é perspectiva, cada paralelo é a base de um cone tangente. Nas bordas da carta, a área entre paralelos é expandida, para eliminar as partes que ficariam sem recobrimento. A escala é correta ao longo de qualquer paralelo e ao longo do meridiano central da projeção. Ao longo dos outros meridianos, a escala aumenta com o aumento da diferença de longitude para o meridiano central. Os paralelos aparecem como círculos não concêntricos e os meridianos como linhas curvas convergindo para o pólo, com a concavidade voltada para o meridiano central.

**Figura 2.26 - Mapa na Projeção Policônica**

A **projeção policônica** é muito usada em Atlas (Figura 2.26). Entretanto, como não é conforme, não é costumeiramente utilizada em navegação.

## f. PROJEÇÃO TRANSVERSA DE MERCATOR

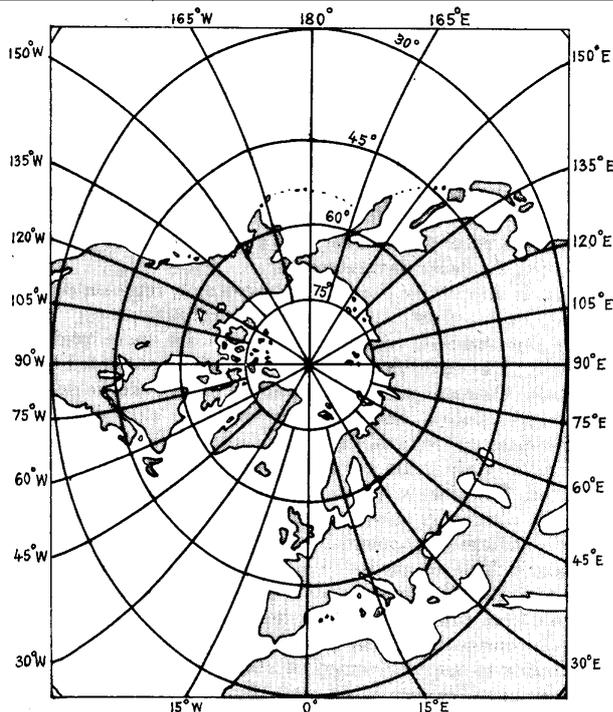
Figura 2.27 - Mapa na Projeção Transversa de Mercator



Um caso especial da Projeção de Mercator é a Projeção Transversa de Mercator ou **projeção cilíndrica transversa ortomorfa (conforme)**, na qual o cilindro é tangente à superfície da Terra ao longo de um **meridiano de tangência**. Como a área de deformação mínima nesta projeção ficará próxima ao **meridiano de tangência**, a Projeção transversa de Mercator torna-se útil para cartas cobrindo uma grande faixa de Latitudes e uma faixa estreita de Longitudes de cada lado do **meridiano de tangência** (Figura 2.27) ou para cartas de regiões polares (Figura 2.28). Além disso, é algumas vezes usada em **cartas celestes** que apresentam a configuração do céu nas várias estações do ano.

Em uma carta na Projeção Transversa de Mercator, próximo ao **meridiano de tangência** uma **linha reta** aproxima-se muito de um **círculo máximo** na esfera terrestre. É nesta área que a carta é mais útil.

Figura 2.28 - Projeção Transversa de Mercator (meridiano de tangência 090°E - 090°W)



O sistema UTM (Universal Transversa de Mercator) é uma grade quilométrica superposta a um reticulado da Projeção Transversa de Mercator, para fins técnico-científicos ou militares. O sistema UTM é muitas vezes utilizado para construção de Folhas de Bordo e Folhas de Sondagens produzidas em Levantamentos Hidrográficos e para cartas militares (exemplo: Carta de Bombardeio).

## 2.5.7 CARTAS POLARES

As excessivas deformações nas altas latitudes e a impossibilidade de representação dos pólos limitam o uso da Projeção de Mercator para cartografia das regiões polares. Há necessidade, então, de selecionar outras projeções para representação dessas áreas.

As principais considerações para escolha de um sistema de projeção conveniente para navegação polar são:

- a. **CONFORMIDADE** – é desejável que os ângulos (direções) sejam corretamente representados, de modo que a plotagem possa ser feita diretamente sobre a carta, sem correções complicadas;
- b. **REPRESENTAÇÃO DOS CÍRCULOS MÁXIMOS** – como os círculos máximos (ortodromias) são mais úteis em altas Latitudes que as linhas de rumo (loxodromias), é desejável que os círculos máximos sejam representados por linhas retas;
- c. **ESCALA CONSTANTE** – é desejável que se tenha uma escala constante em toda a carta;
- d. **LIMITES DE USO** – limites amplos de utilização são desejáveis, para reduzir ao mínimo o número de projeções necessárias.

As **3** projeções comumente selecionadas para **cartas polares** são a Transversa de Mercator, a Conforme de Lambert modificada e a projeção polar estereográfica. São, ainda, utilizadas a projeção gnomônica e a azimutal equidistante. Próximo ao pólo há pouco o que se escolher entre elas, pois aí todas são essencialmente conformes e em todas os círculos máximos são praticamente representados por linhas retas. Entretanto, conforme a distância ao pólo aumenta, devem ser consideradas as características distintas de cada projeção.

A Projeção Transversa de Mercator é conforme e o tipo de distorção que apresenta é familiar a quem está acostumado a usar uma Carta de Mercator. As distâncias podem ser medidas da mesma maneira que em uma Carta de Mercator. Assim, na cartografia das regiões polares as vantagens da Projeção de Mercator, tais como facilidade de construção e plotagem rápida dos pontos, podem ainda ser aproveitadas pela rotação do cilindro de 90° em azimute, ficando agora tangente em um meridiano, o qual passa a ser o equador fictício. Nesta projeção, dentro das regiões polares, os paralelos são praticamente circunferências concêntricas e os meridianos divergem ligeiramente de linhas retas; os arcos de círculos máximos também podem ser considerados linhas retas, desprezando-se o pequeno erro cometido. Um pequeno inconveniente na medida de ângulos pode resultar da curvatura dos meridianos (Figura 2.27). A projeção é excelente para uso em uma faixa estreita em torno do meridiano de tangência e para emprego com sistema automático de navegação que gera Latitude e Longitude.

A Projeção Conforme de Lambert modificada é virtualmente conforme em toda sua extensão e as distorções de escala mantêm-se pequenas quando a carta estende-se até cerca de 25° a 30° do pólo. Além desse limite, as distorções crescem rapidamente. Um círculo máximo é praticamente uma linha reta em qualquer ponto da carta. Distâncias e direções podem ser medidas diretamente na carta. A Projeção Conforme de Lambert modificada (ou Projeção de Ney) usa um paralelo muito próximo ao pólo como **paralelo padrão** mais alto. Assim, esta projeção cônica com dois paralelos padrões vai requerer pouca deformação para representar os paralelos como círculos e eliminar o círculo que representaria o pólo.

A outra projeção comumente utilizada em cartografia das regiões polares é a **projeção polar estereográfica**, que é **conforme** em toda sua extensão e na qual um **círculo máximo** difere muito pouco de uma **linha reta**. A distorção de escala não é excessiva para uma distância considerável do pólo, mas é maior que na Projeção Conforme de Lambert modificada. A variação de escala pode ser reduzida usando um plano secante, que corte a Terra em um paralelo intermediário entre o pólo e o paralelo mais afastado, de forma que as distorções sejam divididas, com a porção dentro deste paralelo padrão comprimida e a porção fora dele expandida.

## 2.6 A CARTA NÁUTICA; UTILIZAÇÃO E INTERPRETAÇÃO DE UMA CARTA NÁUTICA NA PROJEÇÃO DE MERCATOR

### 2.6.1 DEFINIÇÃO DE CARTAS NÁUTICAS

São os documentos cartográficos que resultam de levantamentos de áreas oceânicas, mares, baías, rios, canais, lagos, lagoas, ou qualquer outra massa d'água navegável e que se destinam a servir de base à navegação; são geralmente construídas na Projeção de Mercator e representam os acidentes terrestres e submarinos, fornecendo informações sobre **profundidades**, **perigos à navegação** (bancos, pedras submersas, cascos soçobrados ou qualquer outro obstáculo à navegação), **natureza do fundo**, **fundeadouros** e **áreas de fundeio**, **auxílios à navegação** (faróis, faroletes, bóias, balizas, luzes de alinhamento, radiofaróis, etc.), **altitudes e pontos notáveis aos navegantes**, **linha de costa e de contorno das ilhas**, **elementos de marés**, **correntes e magnetismo e outras indicações necessárias** à segurança da navegação.

### 2.6.2 PRINCIPAIS ELEMENTOS REPRESENTADOS EM UMA CARTA NÁUTICA

#### a. RETICULADO

Em uma **Carta de Mercator**, o conjunto dos **meridianos** e **paralelos** é denominado **reticulado**. Ao longo dos meridianos extremos da carta está representada a **escala de latitudes** (onde devem ser sempre medidas as distâncias). Ao longo dos paralelos superior e inferior da carta está representada a **escala de longitudes**.

#### b. ESCALA

Como vimos, em uma **Carta de Mercator** a **escala de longitudes** é constante, enquanto que a **escala de latitudes** varia, em virtude das **latitudes crescidas**.

Denomina-se, então, **escala natural** a escala de latitudes em um determinado paralelo, normalmente o **paralelo médio** (Lat média) da área abrangida. Este é, de fato, o único paralelo representado sem deformações de escala, ou seja, a **escala natural**, na realidade, somente é perfeitamente válida ao longo deste paralelo.