

UNIDADE 2: CARACTERÍSTICAS DE TEMPO E CLIMA DA TERRA.

Conteúdo

INTRODUÇÃO	2
2.1 CARACTERÍSTICAS DA ATMOSFERA TERRESTRE.....	3
2.1.1 Definição.....	3
2.1.2 Divisões da Atmosfera.....	3
2.1.3 Variação média da temperatura em cada camada atmosférica	5
2.1.4 Inversão Térmica	6
2.2 RADIAÇÃO SOLAR E BALANÇO DE ENERGIA.....	7
2.3 CENTROS DE BAIXA E ALTA PRESSÃO.....	8
2.4 FORÇAS E EQUILÍBRIOS	10
2.4.1 Força Gradiente de Pressão.....	10
2.4.2 Força Centrífuga	11
2.4.3 Força de Coriolis.....	11
2.4.4 Circulação dos ventos	12
2.5 CIRCULAÇÃO GERAL DA ATMOSFERA	13
2.6 CORRENTES OCEÂNICAS	16
2.7 CLIMA DAS REGIÕES DO GLOBO	17
2.7.1 Elementos do Clima.....	17
2.7.2 Distribuição global da temperatura.....	17
2.7.3 Distribuição global da precipitação	18
2.7.4 Zonas Climáticas.....	20
2.7.5 Tipos de Clima.....	21
2.8 FENÔMENOS CLIMÁTICOS: ENOS – EL NIÑO OSCILAÇÃO SUL.....	25
2.8.1 Para entender o fenômeno ENOS	26
2.8.2 El Niño.....	27
2.8.3 La Niña.....	28

INTRODUÇÃO

Na Meteorologia existe uma diferença entre o tempo e o clima. O tempo é o estado físico das condições da atmosfera em um determinado momento e local. Isto é, a influência do estado físico da atmosfera sobre a vida e as atividades do homem. O clima é o estudo médio do tempo para o determinado período ou mês em uma certa localidade. Também, se refere às características da atmosfera inseridas das observações contínuas durante um certo período. O clima abrange maior número de dados e eventos possíveis das condições de tempo para uma determinada localidade ou região. Inclui considerações sobre os desvios em relação às médias, variabilidade climática, condições extremas e frequências de eventos que ocorrem em determinada condição do tempo.

Uma desigualdade global é responsável pelo clima da Terra: O sol banha os trópicos com luz direta, mas envia apenas raios oblíquos para os pólos. Esse aquecimento desigual da superfície faz com que o ar e as correntes de água se movimentem, criando os padrões meteorológicos de amplo alcance, que caracterizam o clima do planeta. Essas correntes atuam, em conjunto, como um gigantesco aquecedor, movendo o calor solar do equador para os pólos e transportando o ar e a água mais frios em direção oposta.

Ao avançar em direção às frias regiões polares, o ar equatorial aquecido é desviado pela rotação da Terra. No Hemisfério Norte, as correntes de ar são defletidas para a direita e no Hemisfério Sul, para a esquerda. Tal distorção, conhecida como efeito de Coriolis, é tão previsível que permite aos cientistas elaborar mapas de padrões mundiais de circulação do ar na atmosfera superior e de ventos predominantes na superfície da Terra. Medidos durante décadas e mesmo séculos em pontos espalhados do globo, ventos, temperaturas e precipitações fornecem o retrato de um clima planetário dinâmico.

Para entender como se caracterizam os tipos de clima da Terra, será feita uma breve revisão sobre as características da atmosfera, radiação solar e balanço de energia, centros de baixa e alta pressão, forças e equilíbrios, circulação geral da atmosfera e correntes oceânicas.

2.1 CARACTERÍSTICAS DA ATMOSFERA TERRESTRE

2.1.1 Definição

A *atmosfera terrestre* é uma camada de ar que possui cerca de 700km de espessura.

Até uma altura de 25km, os componentes dessa camada podem ser classificados em dois grupos. O primeiro grupo, chamado ar seco, é constituído de nitrogênio, oxigênio e uma minúscula quantidade de hidrogênio e gases nobres (hélio, neônio, argônio, xenônio e criptônio). O segundo grupo de componentes do ar é composto por variados gases: vapor d'água, dióxido de carbono e outros gases de procedência industrial. Variam também as quantidades de líquidos, como as gotas de água e sólidos, como cristais de gelo que, em conjunto, constituem as nuvens. Também podem haver partículas sólidas procedentes das combustões produtoras de fumaças, areia trazida dos desertos pelo vento e pequenos cristais desprendidos do mar.

2.1.2 Divisões da Atmosfera

A *atmosfera terrestre* é dividida em algumas regiões esféricas com base na maneira pela qual a temperatura varia com a altitude. A camada mais baixa é a troposfera, a seguir vem a estratosfera, a mesosfera e a termosfera. Além de fornecer ar, a atmosfera terrestre age como barreira contra a radiação iônica e como receptor do calor solar. A divisão das camadas pode ser vista na Figura 1.

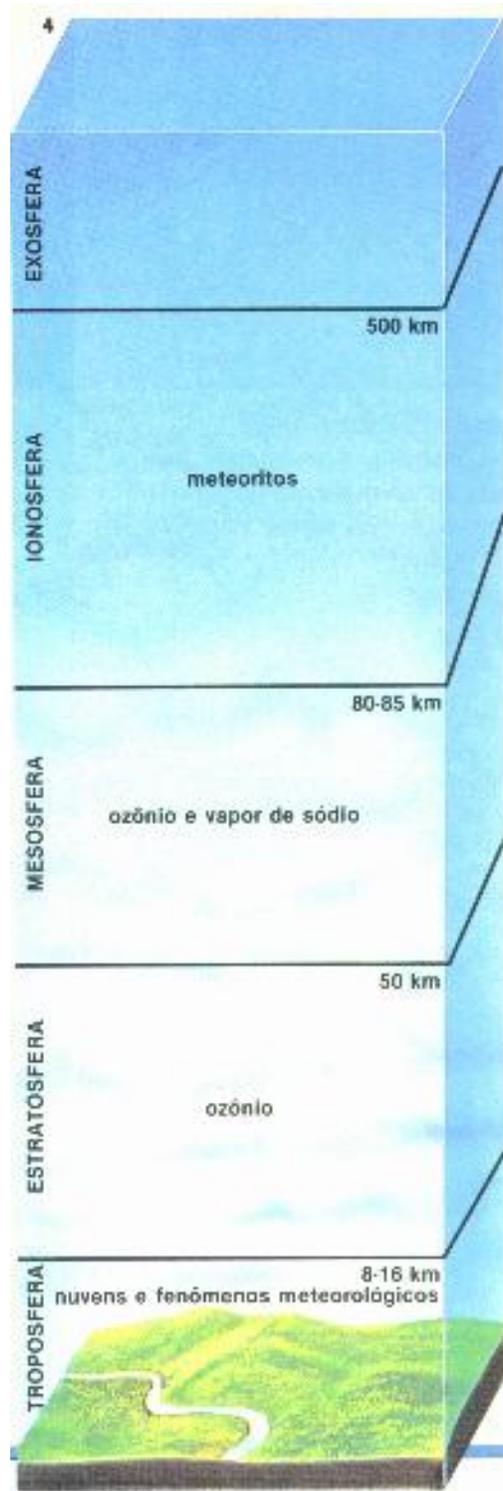


Figura 1. Divisão das camadas da atmosfera terrestre.

2.1.3 Variação média da temperatura em cada camada atmosférica

O que diferencia a troposfera da estratosfera é o modo como a temperatura varia com a altitude (Figura 2). Na troposfera o ar é quente na superfície e vai ficando cada vez mais frio com a altitude, caindo de 5°C a 7°C para cada quilômetro. Por isso os lugares mais altos são mais frios e as montanhas tem os picos cobertos de neve. O ponto mais frio da troposfera é a tropopausa, a partir daí, na estratosfera, a temperatura aumenta com a altitude.

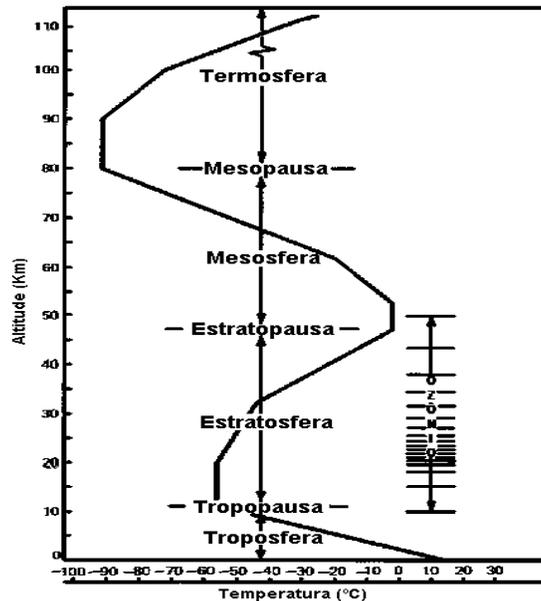


Figura 2. Variação média da temperatura em cada uma das camadas da atmosfera.

A altura da tropopausa varia conforme a latitude, a temperatura e as condições da troposfera. Quando a troposfera está agitada, com muita convecção, a tropopausa fica mais alta. É como se a troposfera inchasse e empurrasse a estratosfera para cima. Quando a tropopausa sobe, ela fica mais fria. Nos trópicos, devido às altas temperaturas no solo, o que provoca muita convecção, a tropopausa tende a ser muito alta e a sua temperatura

muito baixa. Em alguns pontos na região equatorial, a temperatura pode chegar a -80°C . Somente sobre os pólos, no longo inverno polar, é que temperaturas tão baixas também podem ocorrer na troposfera. É interessante que justamente sobre as regiões mais quentes aconteçam as temperaturas mais baixas.

2.1.4 Inversão Térmica

Fenômeno meteorológico que ocorre principalmente em metrópoles e principais centros urbanos, quando o ar quente se forma acima da camada de ar frio. Por ser mais denso, o ar frio que ficou embaixo não sobe e o ar quente que ficou em cima do frio não desce. Na interseção do ar quente e frio, forma-se uma capa que não deixa que os gases poluentes e tóxicos passem para as camadas mais altas da atmosfera. Assim, esses gases acabam criando uma névoa, composta de gases tóxicos, sobre a região. Ocorre geralmente nos dias frios do inverno. Os problemas de saúde causados pela inversão térmica são, entre outros: pneumonia, bronquite, enfisemas, agravamento das doenças cardíacas, mal-estares, irritação dos olhos.

A Figura 3 mostra duas situações, sendo a primeira com a temperatura diminuindo com a altura na troposfera (Figura 3a) e a segunda com ocorrência de inversão térmica (Figura 3b).



(a)



(b)

Figura 3. Esquema mostrando a dispersão de poluentes sem ocorrência de inversão térmica (a); com ocorrência de inversão térmica (b).

2.2 RADIAÇÃO SOLAR E BALANÇO DE ENERGIA

O Sol é a fonte de energia que controla a circulação da atmosfera. O Sol emite energia em forma de radiação eletromagnética, de onda curta, da qual uma parte é interceptada pelo sistema Terra-atmosfera e convertida em outras formas de energia como, por exemplo, calor e energia cinética da circulação atmosférica.

Os continentes, os oceanos, as nuvens e os gases atmosféricos absorvem a radiação de onda curta, emitindo e absorvendo radiação térmica (ou de onda longa), de acordo com suas temperaturas e sua composição física e química e trocam calor entre si de diversas formas: transportando massas de vapor e calor sensível, evaporando e precipitando água (processos termodinâmicos).

O balanço de energia radiante na Terra é complexo, como pode ser observado no esquema representado pela Figura 4. Parte da radiação solar (em torno de 30%) é refletida pela atmosfera e pelas nuvens. Nas regiões tropicais os raios solares estão mais perto da vertical, enquanto que nas regiões polares eles estão muito inclinados com relação ao solo. Assim, a radiação solar é mais intensa e penetrante nas primeiras; nas últimas, o aquecimento resultante é escasso ou nulo.

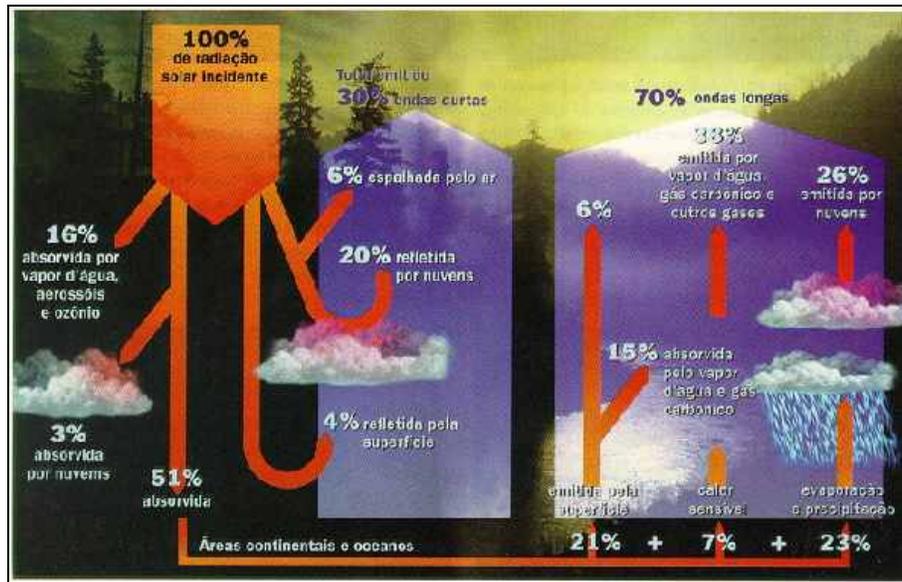


Figura 4. Balanço de energia no sistema Terra-atmosfera.

- **Distribuição de energia que chega do sol:** Durante um dia, a Terra gira uma vez em torno de si mesma e todas as longitudes recebem radiação solar (radiação de onda curta) e emitem e absorvem radiação térmica. Algumas latitudes têm um saldo positivo, e outras um saldo negativo. O excesso absorvido nos trópicos é transportado na direção das latitudes maiores, através das correntes oceânicas e pela circulação da atmosfera. A distribuição horizontal e vertical da temperatura, umidade e ventos (incluída a presença de nuvens, aerossol e diversos gases atmosféricos) influenciam no balanço de energia sobre um dado local ou região. Esse balanço é variável no tempo, mas tende a "fechar" em cada local no período de um ano. Suas características definem o clima regional.

2.3 CENTROS DE BAIXA E ALTA PRESSÃO

Diferenças de temperatura causam diferenças de pressão atmosférica. A taxa de variação da pressão atmosférica entre duas áreas é denominada de *gradiente de pressão* atmosférico e causa o movimento horizontal do ar, ou seja, o vento. A direção dos ventos

sempre se dá de regiões de alta pressão (também chamados de anticiclones) para as de baixa pressão (ciclones) e sua velocidade está relacionada com a magnitude do *gradiente de pressão*. Abaixo é mostrado uma figura esquemática dos sistemas de baixa e alta pressão.

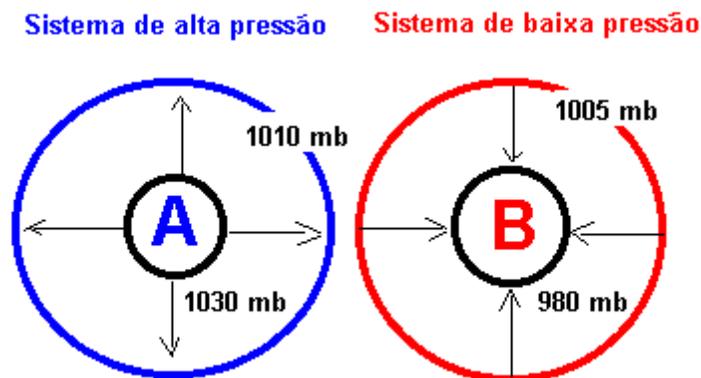


Figura 5. Sistemas de alta e baixa pressão.

Um ciclone (ou depressão ou centro de baixas pressões) é uma região em que ar relativamente quente se eleva e favorece a formação de nuvens e precipitação. Por isso tempo nublado, chuva e vento forte estão normalmente associados a centros de baixas pressões. A instabilidade do ar produz um grande desenvolvimento vertical de nuvens cumuliformes associadas a cargas de água. São indicados num mapa por “**B**” e são locais onde a pressão atmosférica é a mais baixa na sua vizinhança e em volta do qual existe um padrão organizado de circulação de ar. À medida que o ar flui dos centros de altas pressões para um centro de baixas pressões, pela ação do diferencial de pressões, é defletido pela Força de Coriolis de tal modo que os ventos circulam em espiral ao longo das isóbaras, com um desvio no sentido da depressão, e na direção ciclônica, isto é, na direção oposta ao dos ponteiros de um relógio no Hemisfério Norte e no sentido inverso no Hemisfério Sul. Os ciclones são fáceis de reconhecer num mapa de observações à superfície pelos ventos que tendem a fluir com uma rotação horária-HS (e – “em espiral” - na direção dele) e nas imagens de satélite pela configuração em forma de vírgula de bandas de nuvens.

Um anticiclone (ou centro de altas pressões) é uma região em que o ar se afunda vindo de cima (e aquece e fica muito estável) e suprime os movimentos ascendentes

necessários à formação de nuvens e precipitação. Por isso bom tempo (seco e sem nuvens) está normalmente associado aos anticiclones. São indicados num mapa por “A” e é um local onde a pressão atmosférica é a mais alta na sua vizinhança. À medida que o ar flui a partir dos centros de altas pressões é defletido pela Força de Coriolis de tal modo que os ventos circulam em volta dele na direção dos ponteiros de um relógio no Hemisfério Norte (e no sentido inverso no Hemisfério Sul) - a chamada direção anticiclônica. Num anticiclone o movimento do ar é descendente, em espiral, expandindo-se à superfície, enquanto numa depressão o movimento é ascendente, em espiral, concentrando-se à superfície.

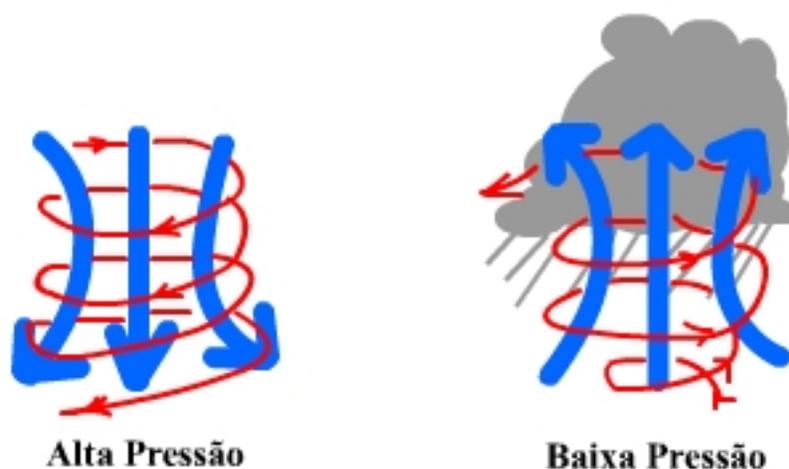


Figura 6. Representação esquemática do movimento do ar nos sistemas de alta e baixa pressão (HN).

2.4 FORÇAS E EQUILÍBRIOS

2.4.1 Força Gradiente de Pressão

O fluxo do vento faz-se no sentido das pressões altas para as pressões baixas e será tanto mais intenso quanto maior for a diferença entre as pressões.

A variação da pressão no sentido horizontal, considerada sobre uma determinada distância, é chamada *Gradiente de Pressão*. A força que desloca o ar no sentido das pressões mais baixas é denominada de *Força do Gradiente de Pressão*. Essa força é que determina a velocidade com que o ar vai fluir. A *Força Gradiente de Pressão* é diretamente proporcional a diferença de pressão e inversamente proporcional a distância entre as isóbaras (linhas que passam pelos pontos de igual pressão).

A *Força do Gradiente de Pressão* é considerada a força motriz dos ventos. Se, no entanto, somente essa força atuasse sobre o ar em movimento, o vento sempre sopraria diretamente das altas para as baixas pressões. Todavia, isso não ocorre exatamente, pois outras forças também influem no deslocamento horizontal do ar, como *Força Centrífuga*, *Força de Coriolis* e *Força de Atrito*.

2.4.2 Força Centrífuga

Como a Terra possui uma forma mais ou menos esférica, achatada nos pólos e dilatada no Equador e gira em torno de seu eixo norte-sul, todos os objetos na sua superfície estão sujeitos a uma *Força Centrífuga*. Essa força exerce grande influência nos corpos que se movem rapidamente na superfície terrestre e pouca influência terá sobre o vento, visto que este tem deslocamento mais lento.

2.4.3 Força de Coriolis

Um corpo em movimento fica sob o efeito de uma força que tende a desviá-lo para a *esquerda* no Hemisfério Sul e para a *direita* no Hemisfério Norte. Essa força desviadora é chamada *Força de Coriolis*, em homenagem ao físico e matemático francês, *Gaspard Gustave Coriolis*, que estudou o deslocamento de uma parcela, relativamente, a superfície da Terra, girando no espaço, determinando o efeito que a referida parcela parecia sofrer, desviando-se de sua trajetória por causa da rotação da Terra. Esta força é expressa por:

$$C = 2 \cdot V \cdot W \cdot \text{SEN } f$$

Onde:

C = Força de Coriolis

2 = Constante

V = Velocidade do vento

W = Velocidade angular da rotação da Terra

f = Latitude onde ocorre o movimento

Como a *Força de Coriolis* é diretamente proporcional ao seno trigonométrico do ângulo da latitude, podemos concluir que ela é máxima nos pólos e mínima no Equador.

2.4.4 Circulação dos ventos

Como já vimos, a *Força do Gradiente de Pressão* força o vento a fluir para fora do centro de alta pressão, divergência de ventos, e para dentro do centro de baixa pressão, convergência dos ventos.

Vejam agora uma alta pressão no Hemisfério Sul. A força do gradiente de pressão atuará para fora do sistema, ao mesmo tempo em que a *Força de Coriolis* atuará para a esquerda da direção. O vento, sob o efeito simultâneo das duas forças, fluirá no sentido anti-horário, determinando a Circulação Anticiclônica.

Para o Hemisfério Norte, a única diferença é que a *Força de Coriolis* atua para a direita, obrigando os ventos a fluírem em torno do sistema, no sentido horário.

O vento que flui equilibrado pela *Força do Gradiente de Pressão* e pela *Força de Coriolis* é denominado de *vento geostrófico*.

Nas baixas pressões, nos dois hemisférios, a *Força do Gradiente de Pressão* atua para dentro do sistema, enquanto a *Força de Coriolis* atua para a esquerda da direção, no Hemisfério Sul e para a direita no Hemisfério Norte. Isso faz com que os ventos fluam, nas baixas pressões, no sentido horário no Hemisfério Sul e no sentido anti-horário no Hemisfério Norte, determinando a *Circulação Ciclônica*.

2.5 CIRCULAÇÃO GERAL DA ATMOSFERA

As regiões equatoriais recebem mais energia solar do que as áreas polares. No equador o calor ganho por radiação é maior do que o calor perdido, enquanto que o inverso se produz nos pólos.

O excesso de calor do equador é transportada para os pólos, enquanto que o excesso de frio dos pólos é trazida para as latitudes mais baixas, num movimento contínuo, que tende a manter um certo equilíbrio em toda a atmosfera. Esse movimento da atmosfera é denominado *Circulação Geral*.

Por causa do aquecimento constante, nas proximidades do equador, tem-se menor pressão. Ao contrário, nos pólos o ar torna-se mais denso e mais pesado, logo a circulação nos níveis inferiores se faz dos pólos para o equador, e ao contrário, nos níveis superiores, nos dois hemisférios.

A Figura 7 ilustra o modelo de três células (modelo de circulação geral da atmosfera) e os ventos resultantes na superfície. Note que estes ventos tem componente zonal maior que o componente meridional.

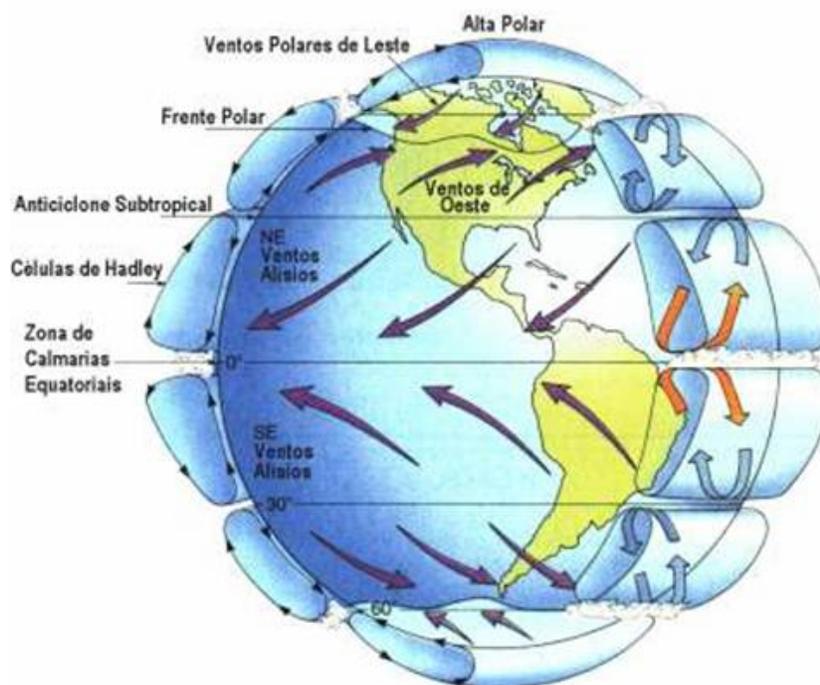


Figura 7. Modelo de *Circulação Geral da Atmosfera*.

Na zona entre o equador e aproximadamente 30° de latitude a circulação se dirige para o equador na superfície e para os pólos em nível superior, formando a chamada *célula de Hadley*. Acredita-se que o ar quente ascendente no equador, que libera calor latente na formação de nuvens cumulus profundas, forneça a energia para alimentar esta célula. Estas nuvens também fornecem a precipitação que mantém as florestas tropicais. Quando a circulação em alto nível se dirige para os pólos, ela começa a subsidir numa zona entre 20° e 35° de latitude. Dois fatores são considerados na explicação dessa subsidência.

Primeiro, quando a corrente de ar se afasta da região equatorial, onde a liberação de calor latente de condensação mantém o ar quente e em flutuação, o resfriamento radiativo produziria um aumento da densidade em alto nível. Segundo, como a *Força de Coriolis* se torna mais forte para latitude crescente, os ventos são desviados para uma direção quase zonal quando atingem 25° de latitude. Isto causa uma convergência de ar em altitude, e conseqüentemente subsidência. O ar subsidente é relativamente seco, pois perdeu sua umidade próximo ao equador. Além disso, o aquecimento adiabático durante a

descida reduz ainda mais a umidade relativa do ar. Consequentemente, esta zona de subsidência é a zona em que se situam os desertos tropicais. Os ventos são geralmente fracos e variáveis próximos das zonas de subsidência, que configuram zonas de alta pressão subtropicais, no HN e no HS. Do centro dessas zonas de alta pressão, a corrente na superfície se divide num ramo que segue em direção aos pólos e num ramo que segue para o equador. O vento para o equador é desviado pela *Força de Coriolis*, adquirindo um componente para oeste, formando os ventos alísios. No HN, os alísios vem de nordeste e no HS de sudeste. Eles se encontram próximo ao equador, numa região de fraco gradiente de pressão, que constitui a zona de baixa pressão equatorial.

No modelo de três células a circulação entre 30° e 60° de latitude é oposta a da célula de Hadley (denominada *Célula de Ferrel*). A corrente na superfície é para os pólos e, devido a *Força de Coriolis*, os ventos tem um forte componente de oeste, formando os ventos de oeste em latitudes médias, que são mais variáveis que os ventos alísios. Examinando o modelo de três células na Figura 7, podemos ver que a circulação em altitude em latitudes médias é dirigida para o equador, e portanto, a *Força de Coriolis* produziria um vento de leste. Contudo, desde a 2ª Guerra Mundial, numerosas observações indicaram que há vento de oeste em altitude, assim como na superfície, em latitudes médias. Portanto, a célula central nesse modelo não se ajusta completamente às observações. Devido a esta complicação e a importância da circulação em latitudes médias em manter o balanço de calor na Terra, os ventos de oeste serão estudados com maiores detalhes no tópico de *Estrutura geral da Atmosfera*.

A circulação em altas latitudes (denominada *Circulação Polar*) é pouco conhecida. Acredita-se que a subsidência nas proximidades dos pólos produz uma corrente superficial em direção ao equador, que é desviada, formando os ventos polares de leste, em ambos os hemisférios. Quando estes frios ventos polares se movem para o equador, eles eventualmente encontram a corrente de oeste de latitudes médias, que é mais quente. A região na qual estas duas correntes se encontram é uma região de descontinuidade, chamada *frente polar*.

2.6 CORRENTES OCEÂNICAS

As águas de superfície dos oceanos estão em constante movimento. As águas oceânicas que possuem em seu movimento uma direção razoavelmente constante fazem parte das chamadas *Correntes Oceânicas*. O sentido das *Correntes Oceânicas* é determinado por diversos fatores, dentre estes a interferência de ventos e a diferenciação entre densidades e salinidade das águas de certas regiões oceânicas. As correntes também variam de acordo com a localidade em que se apresentam no globo. As correntes situadas abaixo da linha do equador possuem sentido anti-horário, opostamente às correntes situadas acima da linha do equador. Já nas regiões oceânicas adjacentes a esta linha, as correntes direcionam-se em sentidos opostos. As temperaturas das *Correntes Oceânicas* podem variar de acordo com sua origem. Assim, correntes que se orientam dos pólos até as regiões mais próximas ao equador possuem temperaturas mais baixas, e correntes que partem do equador para os pólos são correntes quentes. A Figura 8 mostra a localização das *Correntes Oceânicas* no globo.

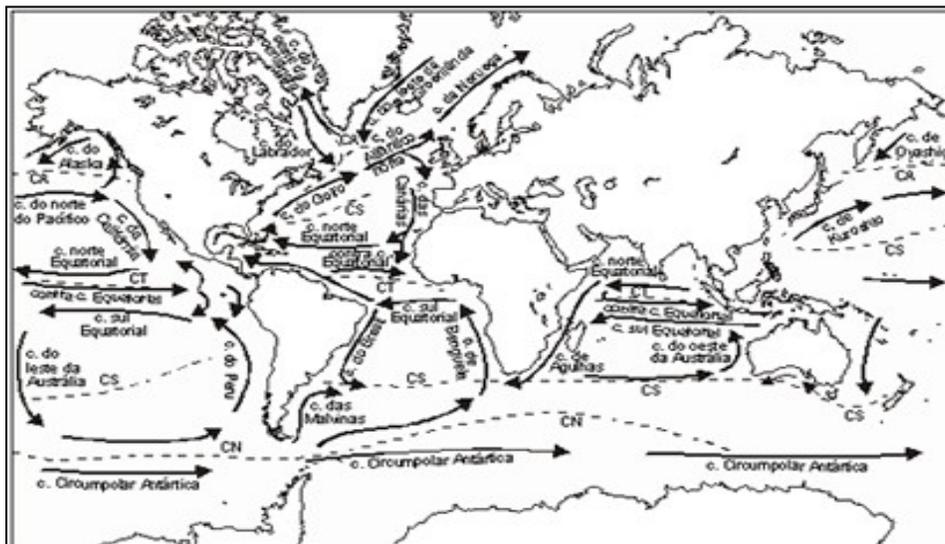


Figura 8. Principais correntes superficiais oceânicas e as maiores regiões de convergência (linha interrompida), onde CA = Convergência Ártica, CS = Convergência Subtropical, CT = Convergência Tropical e CN = Convergência Antártica.

A literatura que liga a oceanografia à climatologia é fértil em terminologia anglo-saxônica que se pretende decodificar de modo a facilitar a compreensão de fenômenos tais como: Gulf stream (Corrente do Golfo), conveyor belt (cinturão de transporte), overturning circulation, upwelling, thermohaline circulation, etc. Estes fenômenos serão estudados com maiores detalhes no tópico de *Estrutura geral dos Oceanos*.

2.7 CLIMA DAS REGIÕES DO GLOBO

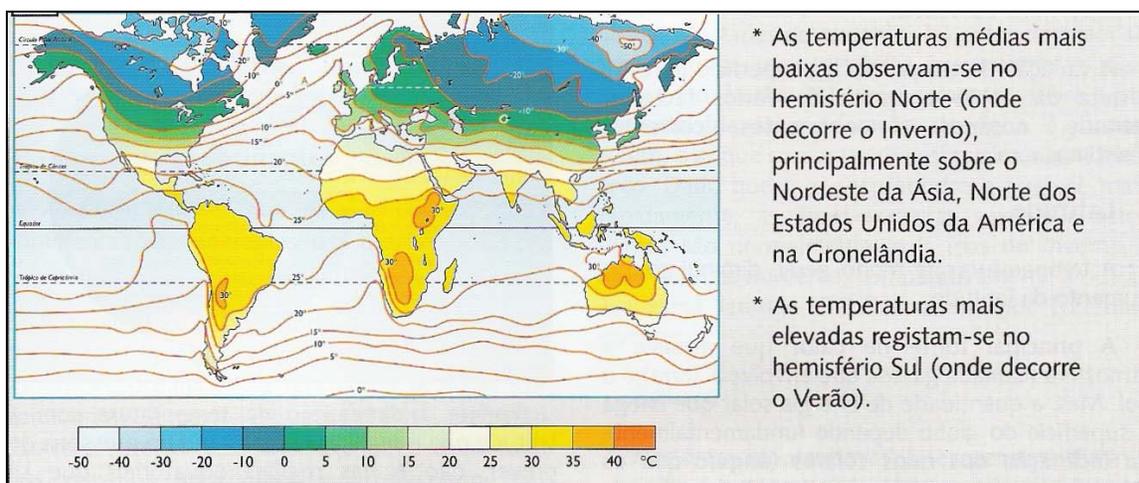
2.7.1 Elementos do Clima

Os elementos que caracterizam o clima de uma região são: temperatura, precipitação, umidade, pressão atmosférica, nebulosidade, vento, entre outros, sendo a temperatura e a precipitação os mais importantes.

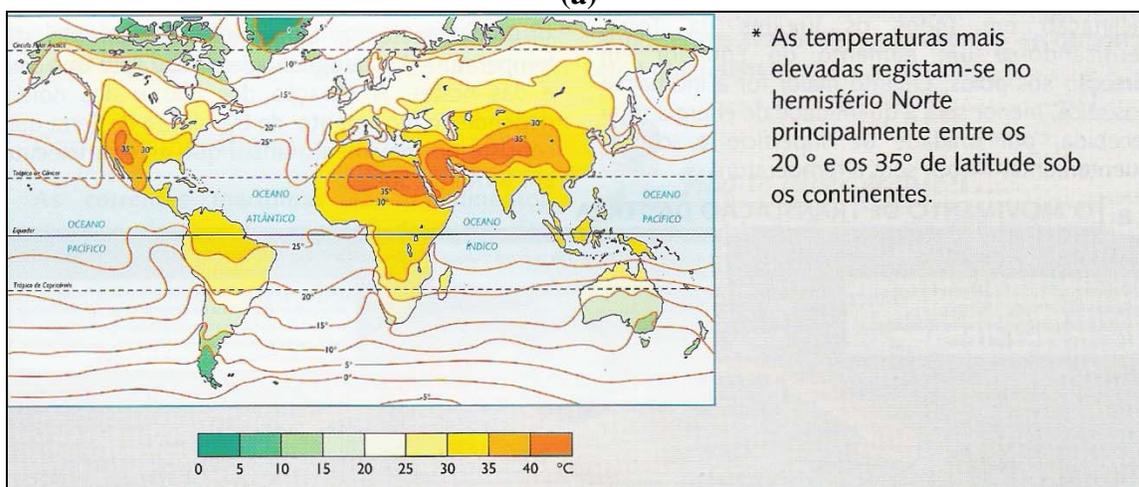
2.7.2 Distribuição global da temperatura

A temperatura encontra-se desigualmente distribuída na superfície da Terra. Para analisar a sua distribuição utilizam-se os valores médios mensais. A variação da temperatura na superfície terrestre resulta da ação conjunta de vários fatores: *Latitude*; *Oceanos e Continentes* (proximidade ou afastamento do oceano); *Correntes Oceânicas* e *Relevo*.

Para se representar a distribuição das temperaturas médias na superfície da Terra utilizam-se *isotermas* (linhas que unem pontos com iguais valores de temperatura média). A Figura 9 mostra a distribuição média da temperatura na Terra nos meses de Janeiro e Julho.



(a)



(b)

Figura 9. Distribuição média da temperatura terrestre para os meses (a) Janeiro e (b) Julho.

Analisando a distribuição das isotermas de Janeiro e de Julho pode-se concluir que a temperatura diminui com o aumento da latitude. As temperaturas médias mais elevadas são registradas na região compreendida entre os Equador e os Trópicos (de Câncer e de Capricórnio), não apresentando grandes oscilações ao longo do ano, enquanto que as temperaturas médias mais baixas são observadas nas regiões a Norte e Sul, respectivamente, dos Círculos Polares Ártico e Antártico.

2.7.3 Distribuição global da precipitação

A precipitação é a queda de água no estado líquido (chuva) ou sólido (neve e granizo). Resulta da condensação do vapor de água que existe na atmosfera. Para se medir a quantidade de precipitação caída por unidade de superfície, durante um certo intervalo de tempo, utiliza-se um *pluviômetro*. A medição exprime-se em *milímetros de altura* (mm) ou em *litros por metro quadrado* (l/m^2). A cada litro por metro quadrado corresponde a um milímetro de altura. A precipitação mensal obtém-se a partir da soma do volume de água caída durante todos os dias de um mês. Do mesmo modo, a precipitação total anual resulta da soma do volume de água caída ao longo dos meses do ano. A variação da precipitação à superfície do globo resulta da ação conjunta de vários fatores: *Latitude* (pressão atmosférica); *Proximidade ou afastamento do Oceano*; *Correntes Oceânicas* e *Relevo*.

A Figura 10 mostra a distribuição da precipitação na superfície da Terra.

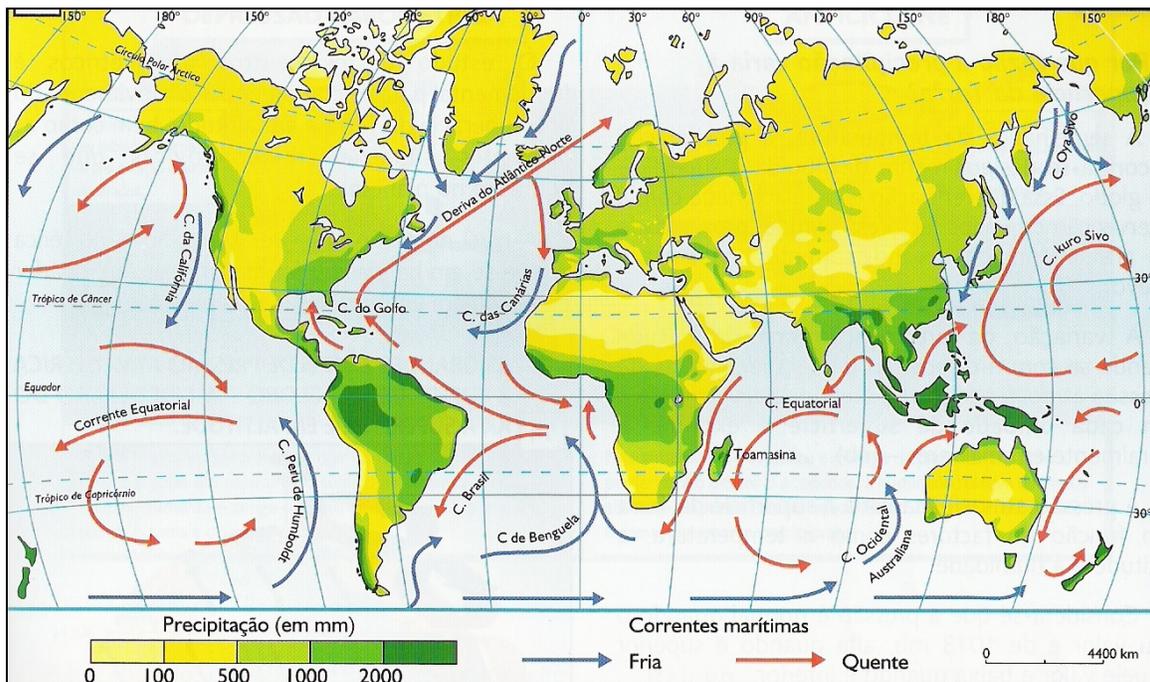


Figura 10. Distribuição da precipitação na superfície da Terra.

À semelhança da temperatura, a precipitação também se distribui de forma irregular à superfície da Terra. Os valores mais elevados são registrados nas regiões equatoriais (América Central, Noroeste da América do Sul, no Sul e Sudeste da Ásia).

Em oposição, os valores mais baixos ocorrem nas regiões tropicais (Norte e Sudoeste do continente africano, interior da Austrália, etc.) e nas regiões polares (Norte do Canadá, Gronelândia, Antártida, Norte da Ásia, etc.). Nestas regiões a precipitação é muito escassa e por vezes nula, sendo ali que se localizam os maiores desertos quentes e frios do mundo.

2.7.4 Zonas Climáticas

Na Terra existem cinco grandes zonas climáticas: uma zona quente, duas zonas temperadas e duas zonas frias, como observa-se na Figura 11.

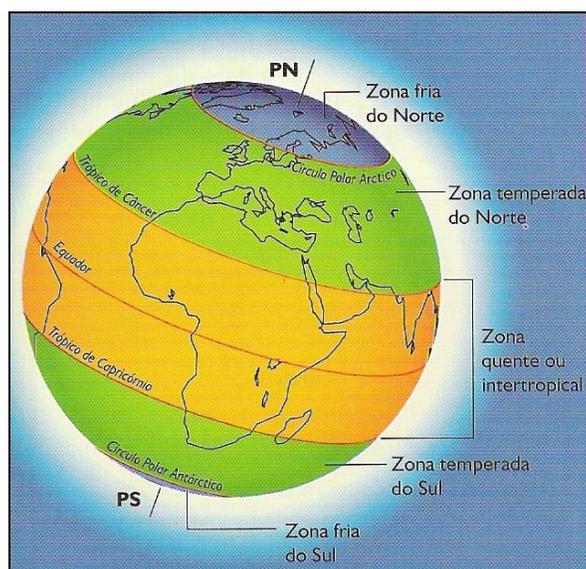


Figura 11. Zonas Climáticas da Terra.

A *zona quente* localiza-se, aproximadamente, entre o equador e os Trópicos de Câncer e Capricórnio. As *zonas temperadas* situam-se entre os trópicos e os círculos polares e as *zonas frias* localizam-se dentro dos círculos polares (uma no Hemisfério Norte e outra no Hemisfério Sul).

2.7.5 Tipos de Clima

Dentro de cada zona distinguem-se vários tipos de clima em função das condições de temperatura e precipitação. Como observa-se na Figura 12, estes agrupam-se em: *Climas Quentes*, *Climas Frios*, *Climas Temperados* e *Climas de Altitude*. (Todos os gráficos mostrados abaixo são referentes ao Hemisfério Norte).

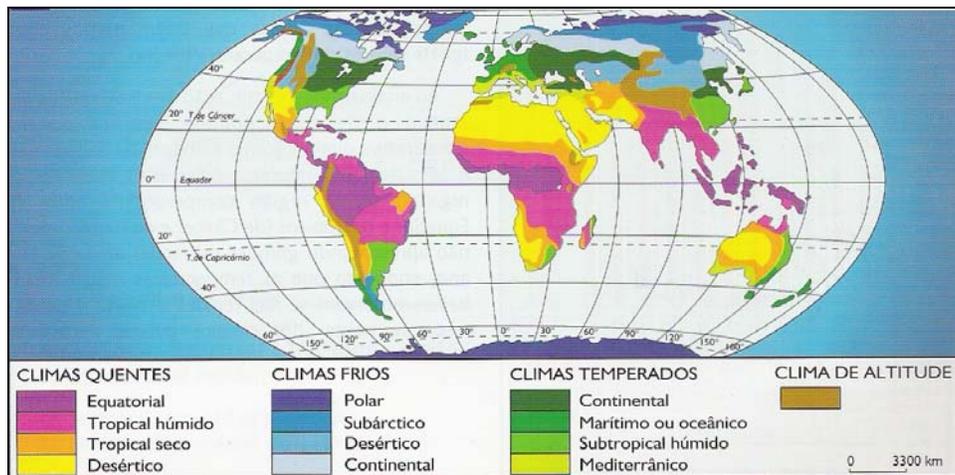
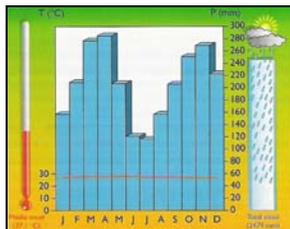


Figura 12. Tipos de Climas da Terra.

- *Climas Quentes:*

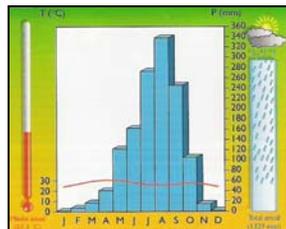
Os climas quentes localizam-se, sensivelmente na zona compreendida entre os trópicos (intertropical) e subdividem-se em três grandes tipos:

Clima Equatorial



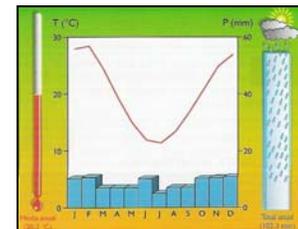
As temperaturas médias mensais variam pouco ao longo do ano. A temperatura média é cerca

Clima Tropical



As temperaturas médias mensais são elevadas e geralmente superiores às do clima equatorial. A

Clima Desértico Quente



As temperaturas médias mensais são bastante elevadas, podendo ultrapassar os 35°C (na

de 25°C. A amplitude térmica anual é muito reduzida.

A precipitação é abundante durante todo o ano, não existindo nenhum período seco.

Não existem estações diferenciadas.

amplitude térmica é baixa, não ultrapassando os 10°C.

A precipitação distribui-se de forma irregular ao longo do ano, o que permite distinguir duas estações: a *seca* e a *úmida*. Se a estação úmida for a mais prolongada trata-se do clima tropical úmido. Se a estação seca for a mais prolongada então estamos na presença do clima tropical seco.

estação quente). A amplitude térmica anual é muito elevada, assim como a amplitude térmica diária.

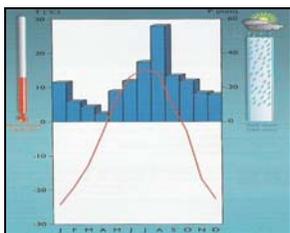
A precipitação é escassa e muito irregular. No entanto, podem ocorrer precipitações muito elevadas, num curto período de tempo.

As estações do ano diferenciam-se pelas diferenças de temperatura.

- *Climas Frios*

Os climas frios localizam-se em latitudes elevadas, a partir de 55° ou 60° até aos pólos. Os climas frios subdividem-se em:

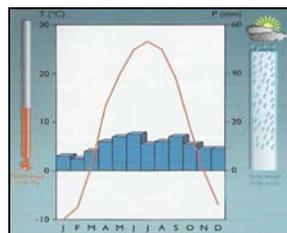
Clima Continental Frio



As temperaturas médias mensais são baixas, não ultrapassando os 15°C no Verão. No Inverno as temperaturas médias mensais são sempre negativas, atingindo valores inferiores a -20°C. A amplitude térmica anual é muito elevada.

A precipitação é escassa e ocorre principalmente no Verão.

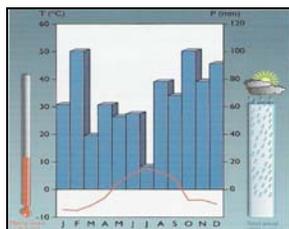
Clima Desértico Frio



No Verão as temperaturas médias mensais são elevadas e no Inverno são baixas. A amplitude térmica anual é muito elevada, assim como a diurna.

A precipitação é muito reduzida e ocorre, principalmente, no Verão. No Inverno ocorre sob a forma de neve.

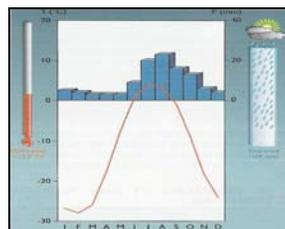
Clima Subártico



O Verão é curto e pouco quente. O Inverno é muito frio e longo. As temperaturas médias mensais são por vezes inferiores a -40°C . A amplitude térmica anual é elevada.

A precipitação anual é muito baixa. Os valores mais elevados são registrados nos meses menos frios. A fraca precipitação que ocorre no Inverno é, geralmente, sob a forma de neve.

Clima Polar



As temperaturas médias mensais são muito baixas. No Inverno chegam a atingir valores inferiores à -50°C . No Verão as temperaturas médias raramente ultrapassam os 10°C . A amplitude térmica anual é muito elevada.

A precipitação é muito reduzida, ocorrendo, sobretudo, na estação mais quente.

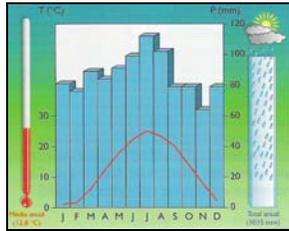
- *Climas Temperados*

Os climas temperados localizam-se, entre os trópicos e os círculos polares de cada hemisfério. Caracterizam-se por terem temperaturas intermédias entre as da zona intertropical (sempre elevadas) e as das zonas polares (constantemente baixas). As precipitações são também moderadas.

Os climas temperados têm quatro estações: o Inverno é a estação mais fria, o Verão é a estação mais quente, a Primavera e o Outono são as estações de transição.

Os climas temperados subdividem-se em quatro tipos:

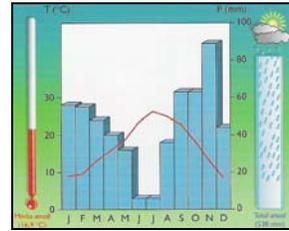
Clima Subtropical Úmido



O Verão é quente. A temperatura média do mês mais quente ultrapassa, freqüentemente, os 22°C. O Inverno tem temperaturas moderadas, raramente inferiores a 0°C. A amplitude térmica anual não é muito elevada.

A precipitação é abundante e regular durante todo o ano, sendo, contudo, mais intensa no Verão.

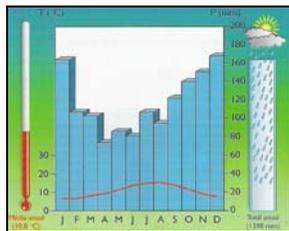
Clima Temperado Mediterrâneo



O Verão caracteriza-se por ser longo e quente. As temperaturas médias mensais oscilam entre os 18°C e os 25°C. Porém, a temperatura máxima pode atingir os 40°C. O Inverno é curto, com temperaturas amenas, raramente inferiores a 8°C. A amplitude térmica anual é pouco acentuada.

A precipitação é escassa e irregular, concentrando-se nos meses de Outono e de Inverno.

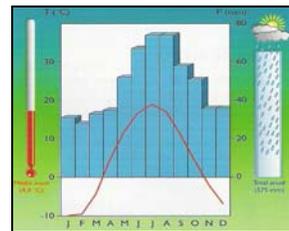
Clima Temperado Marítimo



O Verão é fresco. As temperaturas médias mensais variam entre os 15°C e os 20°C. No Inverno as temperaturas são moderadas, geralmente, superiores a 5°C. A amplitude térmica anual é reduzida.

A precipitação é abundante e distribui-se de forma regular ao longo do ano, embora se registrem valores mais elevados no Outono e Inverno.

Clima Temperado Continental



O Verão é curto e relativamente quente. O Inverno é longo e muito frio. As temperaturas podem ser inferiores a -15°C. A amplitude térmica anual é elevada, podendo ultrapassar os 30°C.

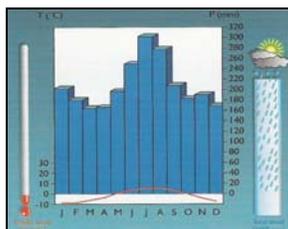
A precipitação anual não é muito elevada, concentrando-se, principalmente nos meses de Verão. No Inverno ocorre, freqüentemente, sob a forma de neve ou granizo.

- *Climas de Altitude*

O Clima de altitude encontra-se em todas as áreas de altitude elevada. A altitude é um fator que condiciona a variação da temperatura e da precipitação: a temperatura

diminui com o aumento da altitude (6,4°C por aproximadamente cada 1000 metros) e a precipitação aumenta até um determinado nível.

Clima de Altitude



O Verão é muito curto, com temperaturas que raramente ultrapassam os 10°C. O Inverno é muito frio. A amplitude térmica anual não é muito elevada.

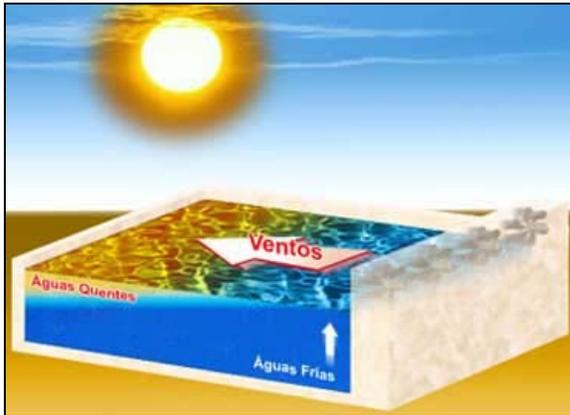
A precipitação anual é muito abundante, ocorrendo, freqüentemente, sob a forma de neve.

2.8 FENÔMENOS CLIMÁTICOS: ENOS – EL NIÑO OSCILAÇÃO SUL

O *ENOS*, ou *El Niño Oscilação Sul* representa um fenômeno de interação oceano-atmosfera, associado a alterações dos padrões normais da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) e dos ventos alísios na região do Pacífico Equatorial, entre a Costa Peruana e no Pacífico oeste próximo à Austrália.

Além de índices baseados nos valores da temperatura da superfície do mar no Oceano Pacífico equatorial, o fenômeno *ENOS* pode ser também quantificado pelo *Índice de Oscilação Sul* (IOS). Este índice representa a diferença da pressão ao nível do mar entre o Pacífico Central (Taiti) e o Pacífico do Oeste (Darwin/Austrália). Esse índice está relacionado com as mudanças na circulação atmosférica nos níveis baixos da atmosfera, consequência do aquecimento/resfriamento das águas superficiais na região. Valores negativos e positivos da IOS são indicadores da ocorrência do *El Niño* e *La Niña* respectivamente.

2.8.1 Para entender o fenômeno ENOS

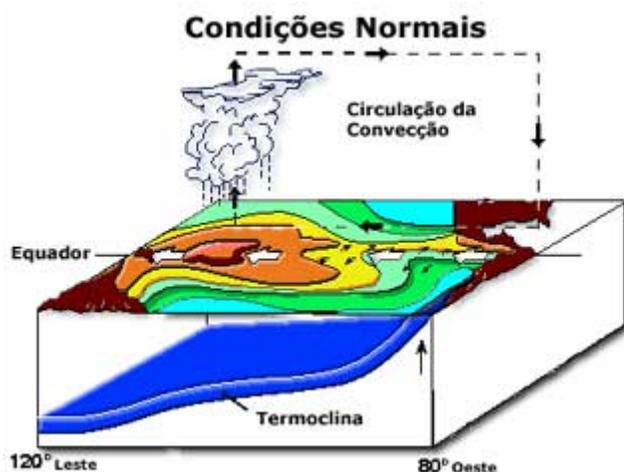


- 1) Imagine uma piscina (obviamente com água dentro), num dia ensolarado;
- 2) Coloque numa das bordas da piscina um grande ventilador, de modo que este seja da largura da piscina;
- 3) Ligue o ventilador;
- 4) O vento irá gerar turbulência na água da piscina;
- 5) Com o passar do tempo, você observará um represamento da água no lado da piscina oposto ao ventilador e até um desnível, ou seja, o nível da água próximo ao ventilador será menor que do lado oposto a ele, e isto ocorre pois o vento está "empurrando" as águas quentes superficiais para o outro lado, expondo águas mais frias das partes mais profundas da piscina.

É exatamente isso que ocorre no Oceano Pacífico sem a presença do El Niño, ou seja, é esse o padrão de circulação que é observado. O ventilador faz o papel dos ventos alísios e a piscina, é claro, do Oceano Pacífico Equatorial. Águas mais quentes são observadas no Oceano Pacífico Equatorial Oeste. Junto à costa oeste da América do Sul as águas do Pacífico são um pouco mais frias. Com isso, no Pacífico Oeste, devido às águas do Oceano serem mais quentes, há mais evaporação. Havendo evaporação, há formação de nuvens numa grande área. Para que haja a formação de nuvens o ar teve que subir. O contrário, em regiões com o ar vindo dos altos níveis da troposfera (região da atmosfera entre a superfície e cerca de 15 km de altura) para os baixos níveis raramente há formação de nuvens de chuva. Mas até onde e para onde vai este ar? Um modo simplista de entender isso é imaginar que a atmosfera é compensatória, ou seja, se o ar sobe numa determinada região, deverá descer em outra. Se em baixos níveis da atmosfera (próximo à superfície) os ventos são de oeste para leste, em altos níveis ocorre o contrário, ou seja, os ventos são de leste para oeste. Com isso, o ar que sobe no Pacífico Equatorial Central e Oeste e desce no Pacífico Leste (junto à costa oeste da América do Sul), juntamente com os ventos alísios em baixos níveis da atmosfera (de leste para oeste) e os ventos de oeste para leste em altos níveis da atmosfera, formam o que os Meteorologistas chamam de célula de *Circulação de Walker*, nome dado ao Sir Gilbert Walker. A Figura

abaixo mostra a célula de *circulação de Walker*, bem como o padrão de circulação em todo o Pacífico Equatorial em anos normais, ou seja, sem a presença do fenômeno El Niño. Outro ponto importante é que os ventos alísios, junto à costa da América do Sul, favorecem um mecanismo chamado pelos oceanógrafos de ressurgência, que seria o afloramento de águas mais profundas do oceano. Estas águas mais frias têm mais oxigênio dissolvido e vêm carregadas de nutrientes e micro-organismos vindos de maiores profundidades do mar, que vão servir de alimento para os peixes daquela região.

Não é por acaso que a costa oeste da América do Sul é uma das regiões mais piscosas do mundo. O que surge também é uma cadeia alimentar, pois os pássaros que vivem naquela região se alimentam dos peixes, que por sua vez se alimentam dos microorganismos e nutrientes daquela região.

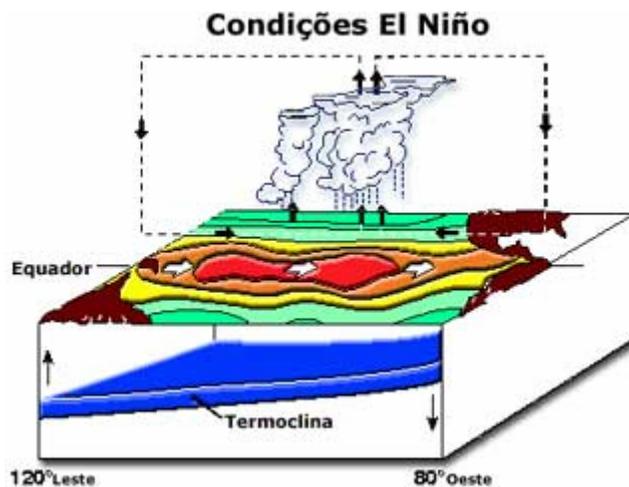


Circulação observada no Oceano Pacífico Equatorial em anos sem a presença do El Niño ou La Niña, ou seja, anos normais. A célula de circulação com movimentos ascendentes no Pacífico Central/Ocidental e movimentos descendentes no oeste da América do Sul e com ventos de leste para oeste próximos à superfície (ventos alísios, setas brancas) e de oeste para leste em altos níveis da troposfera é a chamada *célula de Walker*. No Oceano Pacífico, pode-se ver a região com águas mais quentes representadas pelas cores avermelhadas e mais frias pelas cores azuladas. Pode-se ver também a inclinação da termoclina, mais rasa junto à costa oeste da América do Sul e mais profunda no Pacífico Ocidental.

2.8.2 El Niño

O *El Niño* (ou fase quente do fenômeno *ENOS*) representa o aquecimento anormal das águas superficiais e sub-superficiais do Oceano Pacífico Equatorial. Na atualidade, as anomalias do sistema climático que são mundialmente conhecidas como *El Niño* e *La Niña* representam uma alteração do sistema oceano-atmosfera no Oceano Pacífico

tropical, e que tem conseqüências no tempo e no clima em todo o planeta. Nesta definição, considera-se não somente a presença das águas quentes da “Corriente *El Niño*”, mas também as mudanças na atmosfera próxima à superfície do oceano, com o enfraquecimento dos ventos alísios (que sopram de leste para oeste) na região equatorial. Com esse aquecimento do oceano e com o enfraquecimento dos ventos, começam a ser observadas mudanças da circulação da atmosfera nos níveis baixos e altos, determinando mudanças nos padrões de transporte de umidade, e portanto variações na distribuição das chuvas em regiões tropicais e de latitudes médias e altas. Em algumas regiões do globo também são observados aumento ou queda de temperatura.



Padrão de circulação observada em anos de El Niño na região equatorial do Oceano Pacífico. Nota-se que os ventos em superfície, em alguns casos, chegam até a mudar de sentido, ou seja, ficam de oeste para leste. Há um deslocamento da região com maior formação de nuvens e a *célula de Walker* fica bipartida. No Oceano Pacífico Equatorial podem ser observadas águas quentes em praticamente toda a sua extensão. A termoclina fica mais aprofundada junto à costa oeste da América do Sul principalmente devido ao enfraquecimento dos ventos alísios.

2.8.3 La Niña

Para entender sobre *La Niña*, vamos retornar ao “modelo” descrito no item sobre o ENOS (2.8.1). Imagine a situação normal que ocorre no Pacífico Equatorial, que seria o exemplo da piscina com o ventilador ligado, o que faria com que as águas da piscina fossem empurradas para o lado oposto ao ventilador, onde há então acúmulo de águas. Voltando para o Oceano Pacífico, sabemos que o ventilador faz o papel dos ventos alísios e que o acúmulo de águas se dá no Pacífico Equatorial Ocidental, onde as águas estão mais quentes. Há também aquele mecanismo de ressurgência, que faz com que as águas

das camadas inferiores do Oceano, junto à costa oeste da América do Sul aflorem, trazendo nutrientes e que por isso, é uma das regiões mais piscosas do mundo. Até aqui tudo bem, esse é o mecanismo de circulação observada no Pacífico Equatorial em anos normais, ou seja, sem a presença do El Niño ou La Niña.

Agora, ao invés de desligar o ventilador, vamos ligá-lo com potência maior, ou seja, fazer com que ele produza ventos mais intensos. O que vai acontecer?

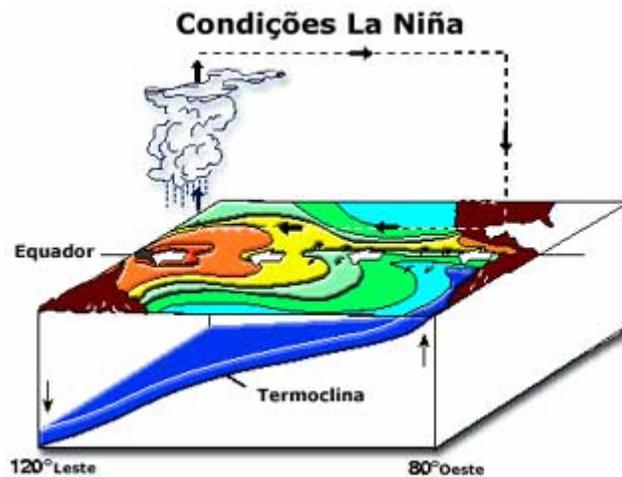
Com os ventos mais intensos, maior quantidade de água vai se acumular no lado oposto ao ventilador na piscina. Com isso, o desnível entre um lado e outro da piscina também vai aumentar. Vamos retornar ao Oceano Pacífico. Com os ventos alísios (que seriam os ventos do ventilador) mais intensos, mais águas irão ficar "represadas" no Pacífico Equatorial Oeste e o desnível entre o Pacífico Ocidental e Oriental irá aumentar.

Com os ventos mais intensos a ressurgência também irá aumentar no Pacífico Equatorial Oriental, e portanto virão mais nutrientes das profundezas para a superfície do Oceano, ou seja, aumenta a chamada ressurgência no lado Leste do Pacífico Equatorial. Por outro lado, devido a maior intensidade dos ventos alísios as águas mais quentes irão ficar represadas mais a oeste do que o normal e, portanto novamente teríamos aquela velha história: águas mais quentes geram evaporação e conseqüentemente movimentos ascendentes, que por sua vez geram nuvens de chuva e que geram a *célula de Walker*, que em anos de *La Niña* fica mais alongada que o normal. A região com grande quantidade de chuvas é do nordeste do Oceano Índico à oeste do Oceano Pacífico passando pela Indonésia, e a região com movimentos descendentes da *célula de Walker* é no Pacífico Equatorial Central e Oriental. É importante ressaltar que tais movimentos descendentes da *célula de Walker* no Pacífico Equatorial Oriental ficam mais intensos que o normal o que inibe, e muito, a formação de nuvens de chuva.

Em geral, episódios *La Niñas* também têm freqüência de 2 a 7 anos, todavia tem ocorrido em menor quantidade que o *El Niño* durante as últimas décadas. Além do mais, os episódios *La Niña* têm períodos de aproximadamente 9 a 12 meses, e somente alguns episódios persistem por mais que 2 anos. Outro ponto interessante é que os valores das anomalias de temperatura da superfície do mar (TSM) em anos de *La Niña* têm desvios menores que em anos de *El Niño*, ou seja, enquanto observam-se anomalias de até 4, 5°C

acima da média em alguns anos de *El Niño*, em anos de *La Niña* as maiores anomalias observadas não chegam a 4°C abaixo da média.

Episódios recentes do *La Niña* ocorreram nos anos de 1988/89 (que foi um dos mais intensos), em 1995/96 e em 1998/99.



As condições que indicam a presença do Fenômeno La Niña estão associadas à intensificação dos ventos alísios e ao declínio da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) no Pacífico Equatorial Leste. As águas adjacentes à costa oeste da América do Sul tornam-se ainda mais frias devido à intensificação do movimento de ressurgência.