

Estrutura geral da atmosfera

Ventos de oeste, ventos de leste e circulação geral

- Desde a época dos grandes navegadores, sabe-se que em baixos níveis ocorre a predominância de ventos de oeste nas latitudes médias e de leste nos trópicos;
- Além do mais, são separados por um cinturão de anticiclones subtropicais em cerca de 25°N e 25°S, os quais são de larga-escala, quentes e dinâmicos (ajuste geostrófico dos westerlies e dos easterlies). Eles também são formados pela conservação de momento angular aplicada em corpos em rotação;
- Considerando $ur = \text{cte}$ (onde u é a velocidade zonal e r é a distância ao eixo de rotação):
 - um corpo afastando-se do equador: aproxima-se do eixo de rotação e adquire movimento para leste;
 - da mesma forma, ao aproximar-se do equador: afasta-se do eixo de rotação e adquire movimento para oeste.

OBS: Os efeitos de atrito, inércia e instabilidade do escoamento podem alterar significativamente este mecanismo.

Nas *Figuras 1 a 5* seguem esquemas da estrutura e da circulação geral da atmosfera:

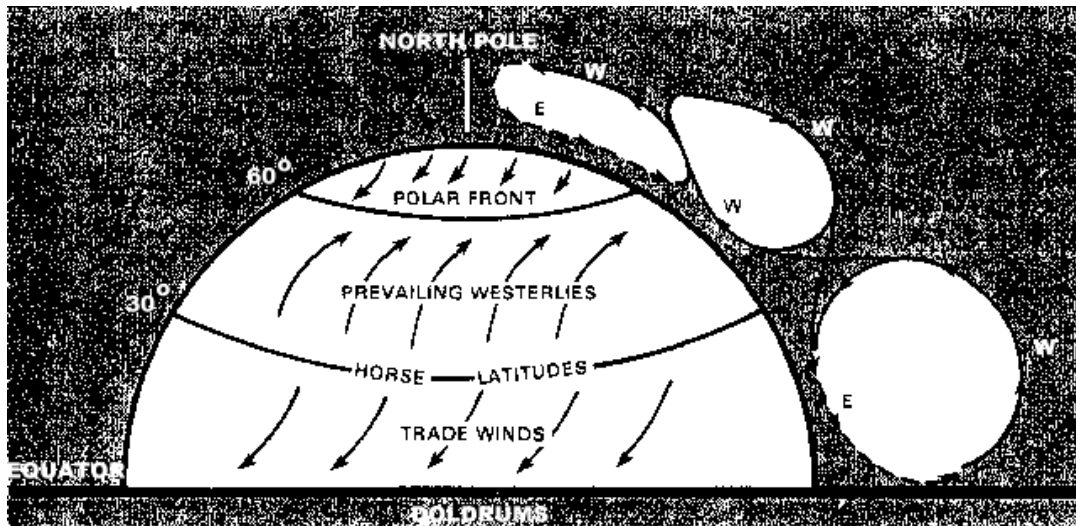


Figura 1: Esquema da circulação horizontal e vertical geral da atmosfera.
 Fonte: <http://www.globalsecurity.org/wmd/library/policy/army/fm/3-6/3-6apc.htm> . Acessado em 04/08/10.

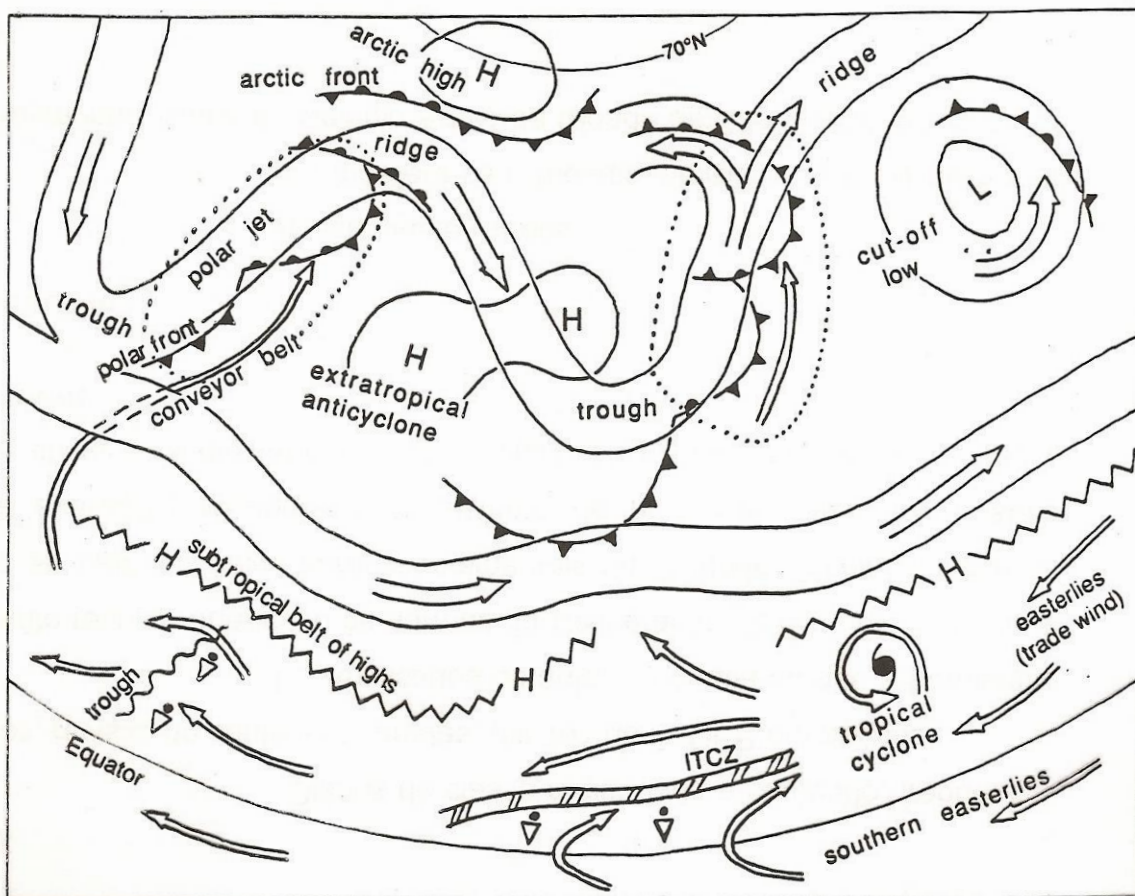


FIGURE 1-2. Dynamic structure of the atmosphere.

Figura 2: Esquema simplificado da estrutura dinâmica da atmosfera, para o HN.

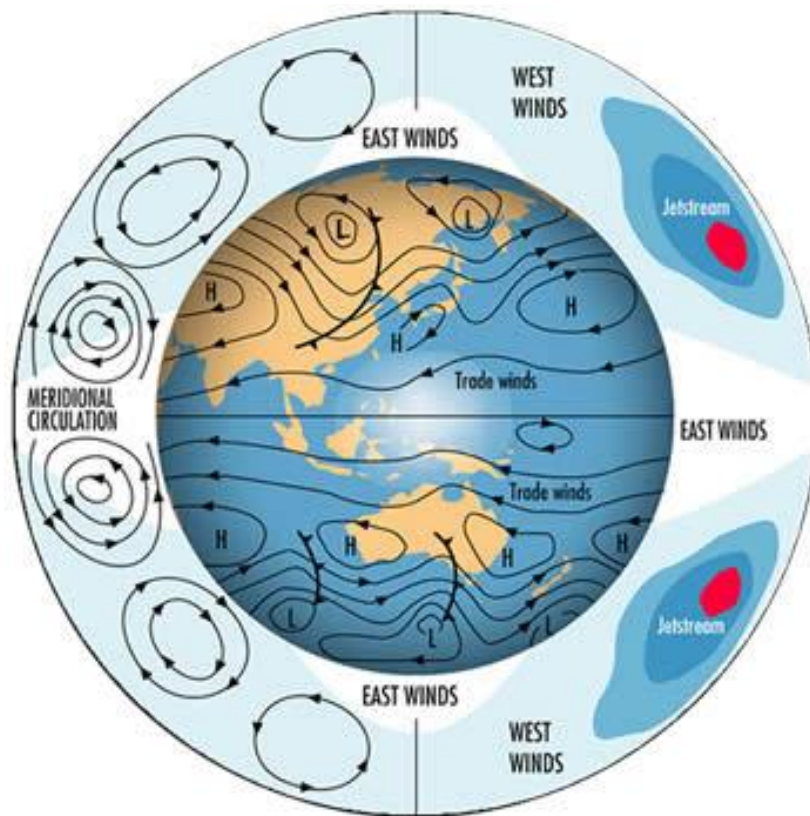


Figura 3: Esquema simplificado da estrutura geral da atmosfera. Fonte: Notas de aula da professora Amanda Sabatini.

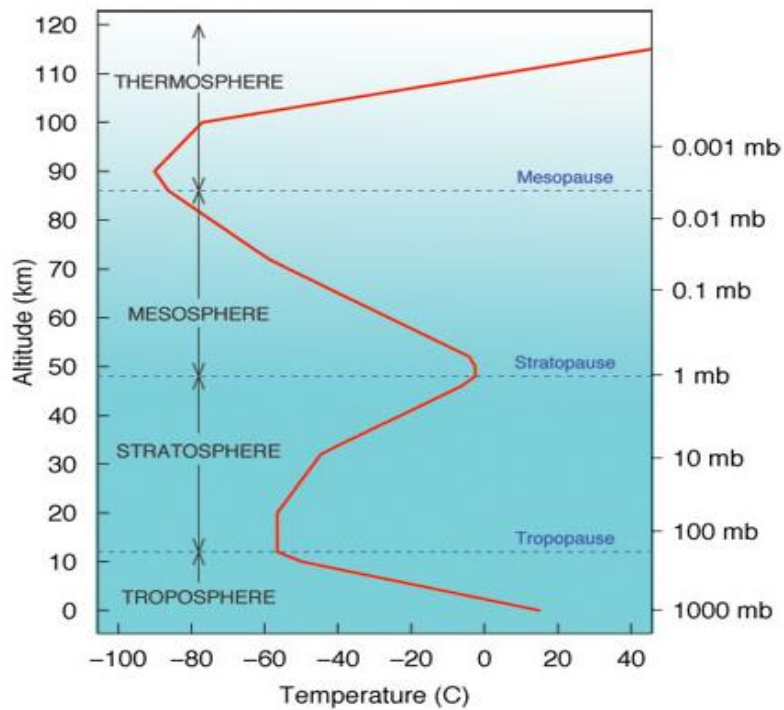


Figura 4: Esquema da estrutura vertical da atmosfera. Fonte: <http://www.learner.org/courses/envsci/>. Acessado em 04/08/10.

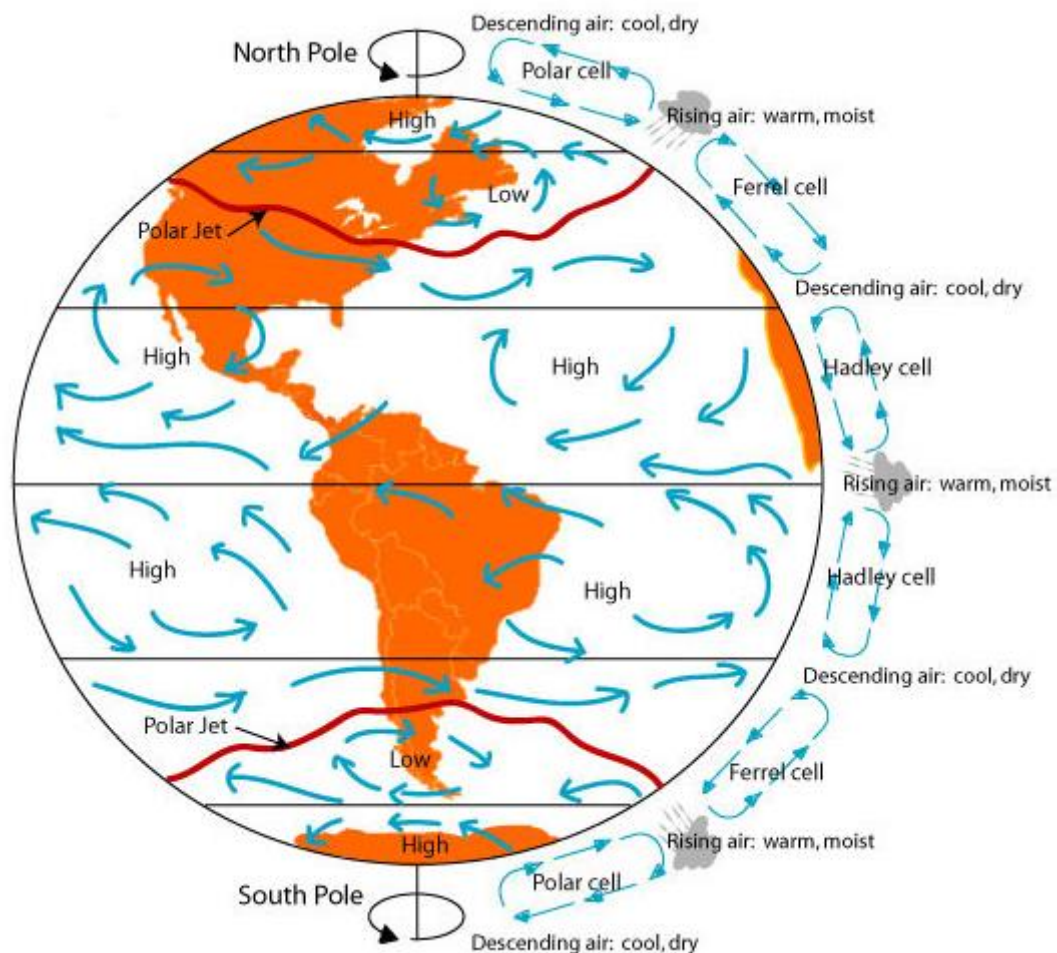


Figura 5: Esquema da circulação geral da atmosfera.

Fonte: <http://www.learner.org/courses/envsci/>. Acessado em 04/08/10.

Frentes e jatos

- Uma feição básica dos movimentos atmosféricos é a existência de intensas e estreitas (em relação à escala sinótica) zonas baroclínicas, as quais são chamadas zonas frontais;
- As partes mais baroclínicas das zonas frontais são camadas inclinadas denominadas frentes. Acima das zonas frontais, na alta troposfera, estão os jatos ou correntes de jato. Conforme sua localização, podem ser classificados como jatos polares ou jatos subtropicais;

- As ondulações de escala planetária são mais proeminentes nos jatos polares do que nos jatos subtropicais; ondulações muito amplificadas em geral separam-se em grandes vórtices (baixas desprendidas).

Ondas nas correntes de jato

- Quase todos os padrões do escoamento extratropical estão dinamicamente relacionados com a curvatura ciclônica ou anticiclônica das correntes de jato:
 - Região com maior curvatura ciclônica é o cavado;
 - Região com maior curvatura anticiclônica é a crista;
- O movimento vertical e o desenvolvimento de sistemas de tempo são extremamente diferentes nas duas seguintes regiões entre cristas e cavados:
 - Região ativa: a jusante do cavado, onde normalmente é encontrado movimento ascendente de ar, sendo favorável para ciclogêneses, frontogêneses, formação de nuvens e precipitação; esta é a região onde a frente polar é gerada ou intensificada próxima à superfície, devido à convergência e ao cisalhamento favorável do vento.
 - A região ativa é o local favorecido para as esteiras transportadoras, a qual consiste em uma corrente de ar que transporta ar úmido e quente das regiões tropicais até as latitudes médias, chegando a alcançar até a região dos ciclones extratropicais e eventualmente até o jato polar. A maior parte da precipitação nas latitudes médias ocorre em regiões onde a esteira transportadora se eleva. A porção

inicial da esteira transportadora frequentemente aparece como jatos de baixos níveis, o qual apresenta seu máximo (25 a 30m/s) a cerca de 1 km acima da superfície.

- Região inativa: a montante do cavado, onde encontra-se o anticiclone de latitudes médias, frontólise junto à superfície e dissipação de nuvens.
- Quando a atmosfera encontra-se estaticamente estável na região ativa, ocorre chuva pouco intensa, mas persistente formada por nuvens tipo nimbostratus. Por outro lado, chuvas convectivas e tempestades ocorrem em condições termicamente instáveis da atmosfera na região ativa; tempestades severas se formam nas regiões onde o jato polar e o jato subtropical se afastam, pois aí se dá a maior advecção de vorticidade ao nível da corrente de jato
- O raciocínio é exatamente o mesmo no caso dos jatos subtropicais, lembrando que as ondulações são menos pronunciadas.

Ciclones e anticiclones em latitudes médias

O fluxo de oeste na zona frontal é frequentemente instável, principalmente com grandes intensidades nas correntes de jato. Esta é a instabilidade baroclínica que provoca a amplificação das ondulações no escoamento zonal e a correspondente 'quebra' em vórtices.

- Os vórtices com rotação *ciclônica* são os *ciclones* de latitudes médias ou ciclones extratropicais (para diferenciá-los dos ciclones tropicais).
- Outros nomes: depressões ou baixas, uma vez que a pressão atmosférica é menor do que na área adjacente;

- Por vezes, uma onda na corrente de jato polar contém vários ciclones no mesmo segmento frontal, sendo assim denominado família de ciclones associada a uma onda longa; quando a onda é curta a ponto de conter apenas um ciclone, é chamada de onda curta.
- Vórtices com rotação *anticiclônica* são chamados *anticiclones*, os quais podem ser de três tipos distintos:
 - Anticiclone quente, o qual em geral alcança até os altos níveis (~10 km); sua posição usual é nos subtrópicos entre os ventos de oeste e os ventos de leste; ele aparece nas latitudes médias (40-60°) com cristas e vórtices anticiclônicos do jato polar;
 - Anticiclone frio, o qual é confinado nos níveis baixos (entre 1 e 3km acima da superfície) e coincide com o ar polar, geralmente movendo-se na direção do equador;
 - Anticiclone de transição, o qual está associado com a frente polar e participa nas rápidas mudanças de tempo nas latitudes médias; estes anticiclones no escoamento de oeste são de tipo combinado (quente e frio) e tipicamente apresentam dois centros: um do tipo frio (núcleo a leste, abaixo do cavado em ar superior) e um do tipo quente (núcleo a oeste, acima do qual se encontra a crista nos níveis altos).

O tempo nos trópicos

- Os fenômenos dominantes no cinturão tropical são os easterlies, os cavados, os ciclones tropicais e a zona de convergência intertropical. Existem ondulações nos easterlies assim como nos westerlies, mas as cristas não foram citadas por não participarem de forma ativa nas mudanças do tempo;
- A intensidade típica dos easterlies é de 5m/s, bem menor do que nos westerlies;
- Os cavados nos easterlies estão freqüentemente associados a chuvas convectivas esparsas. Grandes aglomerados convectivos se formam a montante do cavado, e não necessariamente a jusante, como nas latitudes médias;
- A região de convergência dos easterlies do HN com os do HS é a chamada Zona de Convergência Intertropical (ZCIT ou ITCZ);
- Médias no tempo dos easterlies não necessariamente mostram a direção leste exatamente (ex: Golfo do México e China apresentam southeasterlies enquanto no noroeste da África, northeasterlies);
- Já as médias zonais do vento nos diversos níveis verticais na região dos easterlies mostram a existência de uma pequena porém importante componente meridional; em ambos os hemisférios, o ar se aproxima do equador nos níveis baixos e se afasta do equador nos altos níveis, movimento este que se combina com ar (quente) ascendente próximo ao equador e ar (frio) descendente nos subtropicais. Essa circulação é conhecida como *Circulação de Hadley*;

- A célula de Hadley está diretamente relacionada aos regimes de precipitação, pois o ramo ascendente propicia a formação de chuva no cinturão das florestas tropicais e o ramo descendente, o qual atua na região dos anticiclones subtropicais, onde dominam condições mais secas. A aproximação das células de Hadley dos dois hemisférios se dá na ITCZ, situação tal que favorece a convecção na baixa troposfera. Em alguns locais, como no leste da África e no Océano Índico, os easterlies cruzam o equador devido à atuação de baixas pressões formadas nas baixas latitudes do hemisfério que estiver no verão; assim, o ar que cruza o equador passa a respeitar o balanço de forças no hemisfério ao qual ele chegou, e este balanço requer um vento de oeste: este é o mecanismo de formação dos *equatorial westerlies*;
- Os equatorial westerlies ocupam parte da região que normalmente é ocupada pelos alíseos em outras estações; desta forma a região de transição entre os equatorial westerlies e os alíseos remanescentes é a própria ITCZ afastada do equador. Esta aparição sazonal de equatorial westerlies significa a chegada da estação chuvosa de verão e compõem as chamadas Monções na Ásia, África e Austrália;
- A corrente de ar mais proeminente que cruza o equador é a East African Jet, a qual consiste em um intenso escoamento de sul que flui sobre o Índico Oeste durante o verão do HN;
- Os equatorial westerlies podem aparecer somente em um dos lados do equador, o qual é usualmente o lado que está no verão; apenas na América do Sul e oceanos tropicais adjacentes, que os equatorial westerlies quase sempre aparecem no HN. O fluxo mais proeminente de ar tropical para as latitudes médias ocorre na pluma

tropical, uma massa nebulosa que se separa da ITCZ e se alonga em direção às latitudes mais altas; esta situação normalmente ocorre quando o jato subtropical se aproxima do equador;

- Alguma semelhança com esteiras transportadoras, exceto pelo fato de que a origem das nuvens na pluma tropical está no topo dos cumulonimbus tropicais enquanto que as esteiras transportadoras captam ar tropical dos baixos níveis o qual só atinge a alta troposfera nas tempestades das latitudes médias;
- Algumas vezes, acima de oceanos tropicais com temperaturas superiores a 27°C, os cavados mais intensos nos easterlies se desenvolvem em ciclones tropicais (tufões, furacões).

Principais modelos da estrutura vertical

Na *Figura 6*, segue esquema dos principais modelos da estrutura vertical:

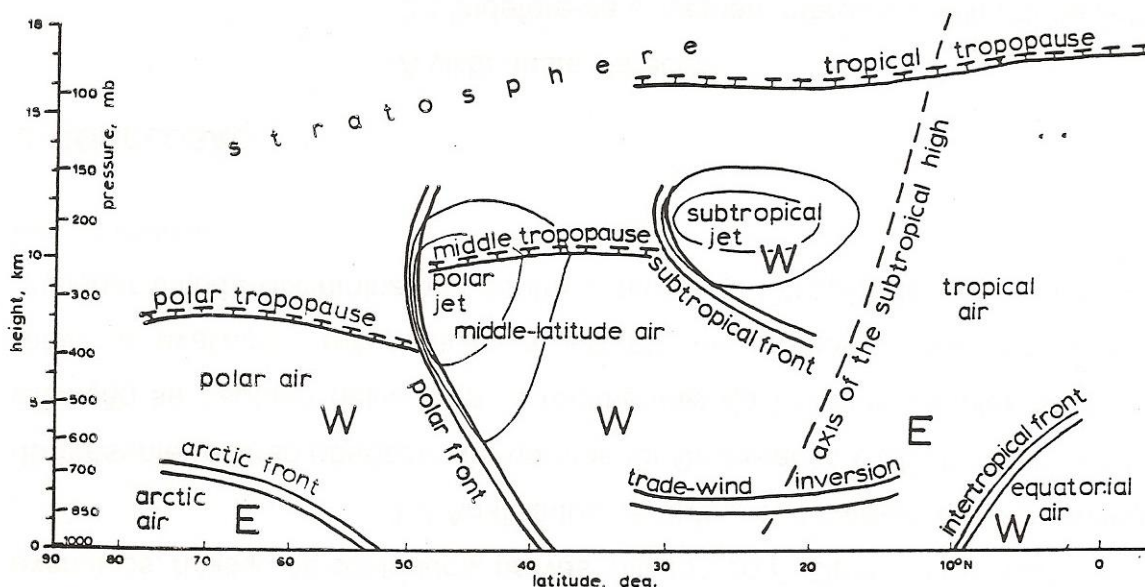


Figura 6: Esquema de partes da estrutura geral da atmosfera em uma seção meridional vertical. As direções predominantes do vento estão indicadas por E (leste) e W (oeste).

WESTERLIES	A maior parte da atmosfera em regiões com latitudes maiores do que 20° se movimenta predominantemente com um vento de oeste; quaisquer desvios em relação ao vento de oeste são chamados de distúrbios ou de anomalias.
EASTERLIES	O fluxo de ar médio e mais freqüente próximo ao equador e até 20° é de leste; na superfície são chamados alíseos; os desvios em relação a esse quadro são chamados de distúrbios tropicais.
ALTAS SUBTROPICAIS	A natureza quase-permanente do cinturão de altas pressões próximas a 20° justifica sua inclusão dentre as principais características da atmosfera; sua estrutura vertical é inclinada, de modo que a aproxima-se do equador na medida em que se eleva.
INVERSÃO SUBTROPICAL DOS ALÍSEOS	Feição permanente das altas subtropicais, caracterizada por subsidência cobrindo largas áreas nos subtrópicos, daí seu nome.
MASSAS DE AR	Grandes volumes de ar com propriedades físicas relativamente uniformes (ex: ar polar, ar de latitudes médias e ar tropical).
FRENTES	Camadas ou superfícies de descontinuidade que se formam em regiões de convergência; muitos dos fenômenos de tempo estão 1sua localização; são normalmente inclinadas na direção do ar mais denso (mais frio).
FRENTE POLAR	Camada entre o ar polar e o ar de latitudes médias; como a baroclinicidade dos westerlies está concentrada na camada frontal da frente polar, ela está sempre associada ao jato polar.
FRENTE SUBTROPICAL	Separa o ar tropical do ar de latitudes médias na média troposfera e raramente é observada abaixo de 500 hPa; é formada pela convergência horizontal que intensifica o contraste térmico no lado polar dos altos níveis da célula de Hadley; sua identificação é muito difícil em cartas isobáricas, mas é normalmente detectável em secções verticais.
FRENTE ÁRTICA E ANTÁRTICA	É o limite entre o ar ártico (antártico) e o restante do ar polar, a qual não está associada a nenhuma corrente de jato.
INVERSÃO DOS ALÍSEOS	Associada às altas subtropicais, existe praticamente sempre uma camada de inversão bem desenvolvida

	que limita a convecção à camada de mistura próxima à superfície; ela se prolonga em direção ao polo nos setores quentes de ciclones extratropicais.
CORRENTE DE JATO	Zonas de ventos fortes quase retilíneos ou em forma de onda, cujos meandros podem se desprender em vórtices altamente energéticos; os vórtices das correntes de jato são facilmente distinguíveis de ciclones tropicais pois o vento máximo em um jato é próximo à tropopausa, enquanto que no ciclone tropical é próximo à superfície.
JATO POLAR OU JATO DA FRENTE POLAR	Estruturalmente associado à frente polar e à quebra média da tropopausa/tropopausa polar; o máximo de vento é encontrado próximo ao nível de 300hPa (podendo ser detectado em 500 e em 200hPa) com largura aproximada de 1000km.
JATO SUBTROPICAL	Estruturalmente associado à frente subtropical, entre o ar de latitudes médias e o ar tropical; o vento máximo é normalmente encontrado próximo a 11 km de altura ou aproximadamente 250 hPa; em geral, ele é menos espesso que o jato polar, podendo ser identificado em 200 e 300 hPa apenas.
TROPOSFERA	Porção da atmosfera abaixo da tropopausa; nela, a estabilidade do ar é em geral bem menor do que na estratosfera e assim favorece movimentos verticais e as alterações associadas de tempo na troposfera.
TROPOPAUSA	Camada de transição entre troposfera instável e estratosfera estável; sua altura está associada às principais massas de ar, apresentando variações abruptas nas regiões dos jatos; usualmente, 3 tropopausas distintas podem ser distinguidas, a polar, a média e a tropical.
TROPOPAUSA POLAR	Entre o jato polar e a região polar propriamente dita, com alturas típicas da ordem de 6 a 8,5 km, ou entre 450 e 300 hPa; nos cavados e ciclones de latitudes médias, ela abaixa um pouco (400 a 450 hPa)
MÉDIA TROPOPAUSA	Aparece tipicamente entre 9,5 e 11km (210 a 270hPa) na região entre as duas correntes de jato na média troposfera; atinge 13 a 15km em regiões com tempestades severas.
TROPOPAUSA TROPICAL	Cobre a região entre os jatos subtropicais de ambos os hemisférios e com elevação de cerca de 17 km (120 a 80 hPa); as vezes, ela se estende sobre o jato subtropical, na região da média tropopausa; nos

	trópicos, também pode ocorrer dupla tropopausa quando desenvolve-se uma tropopausa tropical secundária, a qual ocorre entre 200-250 hPa.
--	--

OBS1: todas estas estruturas podem aparecer de forma alterada e bastante diferente desses modelos conceituais.

OBS2: as massas de ar e os fenômenos atmosféricos transformam-se uns nos outros, o que torna muito difícil (ou impossível) determinar os limites exatos onde um acaba e outro começa; isto faz a meteorologia uma difícil e desafiante profissão.

Referências

Djuric, Dusan 1994. Weather Analysis - Chapter I, Prentice-Hall Inc.

Sites:

http://www.dca.iag.usp.br/www/material/ritaynoue/aca-0422/2009_aulas%20amanda/ (acessado em 03/08/10)

<http://www.learner.org/courses/envsci/> (acessado em 04/08/10)

<http://www.globalsecurity.org/wmd/library/policy/army/fm/3-6/3-6apc.htm>
(acessado em 04/08/10)