

Meteorologia Aeronáutica

Povos antigos prediziam o tempo com base na observação dos astros. Por meio do movimento do Sol, das estrelas e dos planetas, os antigos egípcios podiam prever as estações e as cheias do rio Nilo, tão essenciais para a sobrevivência do povo egípcio. Entretanto, a história da meteorologia pode ser traçada a partir da Grécia Antiga. Aristóteles é considerado o pai da meteorologia, e em 350 a.C., escreveu o livro "meteorológica", onde descreve com razoável precisão o que nós conhecemos atualmente como o ciclo da água, e esboçou que o planeta é dividido em cinco zonas climáticas: a região tórrida em torno do equador, duas zonas frígidas nos pólos e duas zonas temperadas. No século IX, o naturalista curdo Al-Dinawari escreve o *Livro das Plantas*, onde detalha as aplicações da meteorologia na agricultura; naquele momento histórico o mundo islâmico vivia uma revolução agrícola significativa. Al-Dinawari, no seu livro, descreve o céu, os planetas, as constelações, o Sol e a Lua, as fases lunares e destacou as estações secas e úmidas. Também detalhou fenômenos meteorológicos, como o vento, tempestades, raios, neves, enchentes, vales, rios, lagos, poços e outras fontes de água.¹

Em 1021, o árabe Alhazen escreveu sobre a refração atmosférica da luz e mostrou que a refração atmosférica da luz solar acontece apenas quando o disco solar está a 18° ou menos abaixo da linha do horizonte. Com base nisto, Alhazen, utilizando também recursos complexos de geometria, concluiu que a altura da atmosfera terrestre deveria ser de aproximadamente 79 km, o que é bastante razoável com os resultados atuais. Alhazen também concluiu que a atmosfera reflete a luz, pelo fato de que as estrelas menos brilhantes do céu começam a desaparecer quando o

¹ <http://pt.wikipedia.org/wiki/Meteorologia>

sol ainda está 18° abaixo da linha do horizonte, indicando o término do crepúsculo ou o início do amanhecer. Em 1121, Al-Khazini, cientista muçulmano de origem greco-bizantina, publicou o *Livro do Equilíbrio da Sabedoria*, o primeiro estudo sobre o equilíbrio hidrostático. No século XIII, o germânico Alberto Magno foi o primeiro a propor que cada gota de chuva tinha a forma de uma pequena esfera, e que esta forma significa que o arco-íris é produzido pela luz que interage com cada gotícula de chuva. O filósofo inglês Roger Bacon foi o primeiro a calcular o tamanho angular do arco-íris e afirmou que o topo do arco-íris não pode se erigir mais do que 42° acima do horizonte. No final do século XIII e início do século XIV, o alemão Teodorico de Freiberg e o persa Kamal al-Din al-Farisi continuaram o trabalho de Alhazen, e foram os primeiros a dar as explicações coerentes para o fenômeno do arco-íris. Entretanto, Teodorico vai mais longe e explica também o arco-íris secundário.

Em 1441, o filho do rei coreano Sejong, o príncipe Munjong, inventou o primeiro pluviômetro padronizado. Vários pluviômetros foram enviados em todo o território dominado pela dinastia Joseon como uma ferramenta oficial para o recolhimento de impostos, com base no potencial de colheita que uma área fértil poderia oferecer. Em 1450, o italiano Leone Battista Alberti desenvolveu um anemômetro de placa oscilante, que ficou conhecido como o primeiro registro histórico de um instrumento capaz de medir a velocidade do vento. Em 1494, Cristóvão Colombo experimenta em sua navegação um ciclone tropical, o que leva ao primeiro relato escrito por um europeu de um furacão. Em 1592, Galileu Galilei construiu o primeiro termoscópio, que via a elevação de uma coluna de óleo num tubo capilar com a elevação da temperatura. Em 1611, Johannes Kepler escreve o primeiro tratado científico sobre cristais de neve: *Strena Seu de Nive Sexangula* ("Neve Hexagonal, uma Dádiva de Ano Novo"). Em 1643, o italiano

Evangelista Torricelli inventou o barômetro de mercúrio. Em 1648, o francês Blaise Pascal redescobre que a pressão atmosférica diminui com a altura, e deduz que existe um vácuo acima da atmosfera. Em 1654, Ferdinando II de Medici estabeleceu a primeira rede de observação do tempo, que consistia de estações meteorológicas em Florença, Cutigliano, Vallombrosa, Bolonha, Parma, Milão, Innsbruck, Osnabrück, Paris e Varsóvia. Os dados coletados eram enviados para a central em Florença, em intervalos regulares de tempo. Em 1662, o inglês Christopher Wren inventou o pluviômetro basculante de drenagem automática. Em 1686, o inglês Edmund Halley apresenta um estudo sistemático dos ventos alísios e das monções e identifica o aquecimento solar como a causa dos movimentos atmosféricos. Em 1716, Halley sugere que auroras boreais e austrais são causadas por "eflúvios magnéticos" que se deslocam ao longo das linhas do campo magnético da Terra.

Em 1714, o alemão Gabriel Fahrenheit cria uma escala confiável para medir a temperatura com um termômetro de mercúrio. Em 1735, o inglês George Hadley elabora uma explicação ideal para a circulação atmosférica global por meio do estudo dos ventos alísios. Em 1738, o holandês Daniel Bernoulli publicou o livro *Hidrodinâmica*, iniciando a teoria cinética dos gases e estabeleceu as leis fundamentais da teoria dos gases. Em 1742, o astrônomo sueco Anders Celsius sugere que a escala centígrada para a medição da temperatura seria mais adequada, o que seria o antecessor da escala Celsius atual. No ano seguinte, quando o americano Benjamin Franklin é impedido de assistir a um eclipse lunar por um furacão, Franklin concluiu que os furacões se locomovem no sentido contrário de seus ventos. Em 1761, o escocês Joseph Black descobriu que o gelo absorve calor sem alterar sua temperatura no momento da fusão. Em 1772, o estudante Daniel Rutherford descobre o nitrogênio, que ele chama de "ar flogistado", que seria o resíduo

gasoso de uma combustão, segundo a teoria do flogisto. Em 1777, o francês Antoine Lavoisier descobriu o oxigênio e desenvolve uma explicação para a combustão, e no seu livro de 1783, intitulado *Réflexions sur le phlogistique*, Lavoisier despreza a teoria do flogisto e propõe uma teoria calórica.

Ainda em 1783, o primeiro higrômetro de cabelo é apresentado pelo suíço Horace-Bénédict de Saussure. Em 1802-1803, o inglês Luke Howard escreve o livro *Sobre a Modificação das Nuvens* em que ele atribui nomes latinos aos vários tipos de nuvem. Em 1804, o escocês John Leslie observa que uma superfície negra e fosca irradia calor com mais eficiência do que uma superfície polida, o que sugere a importância da radiação de corpo negro; o comportamento da atmosfera depende também do calor irradiado pelos continentes e oceanos. Em 1806, o inglês Francis Beaufort introduziu seu sistema de classificação da velocidade do vento, conhecido atualmente como escala Beaufort. Em 1808, o inglês John Dalton defende a teoria calórica em um novo sistema químico, e descreve as combinações da matéria, especialmente gases, e ainda propõe que a capacidade térmica dos gases varia inversamente com o peso atômico. Em 1824, o francês Nicolas Léonard Sadi Carnot analisa a eficiência dos motores a vapor usando a teoria calórica e desenvolve a noção de reversibilidade e, ao postular que tal coisa não existe na natureza, estabelece as bases para a segunda lei da termodinâmica. A chegada do telégrafo elétrico em 1837 permitiu, pela primeira vez, um método prático para a rápida coleta de dados meteorológicos de superfície de uma grande área. Tais dados poderiam ser usados para produzir mapas atmosféricos de superfície e estudar como a atmosfera evolui ao longo do tempo. Para fazer sucessivas previsões meteorológicas com base nesses dados, seria necessária uma rede confiável de observação atmosférica, mas isso não foi possível até 1849, quando o

Smithsonian Institute começou a estabelecer uma rede de observação nos Estados Unidos sob a liderança de Joseph Henry.

Redes semelhantes de observação atmosférica foram estabelecidas na Europa nesta época. Em 1854, o Governo do Reino Unido designou Robert FitzRoy para o novo escritório do *Meteorological Statist to the Board of Trade*, com o papel de reunir observações meteorológicas no mar. O escritório de FitzRoy tornou-se a Agência Meteorológica do Reino Unido em 1854, o primeiro serviço nacional de meteorologia em todo o mundo. Em 1856, o americano William Ferrel propôs a existência de uma célula de circulação em latitudes médias, e o ar seria então defletido para leste para criar os ventos do oeste. No final do século XIX, toda a extensão da interação em larga escala da força de gradiente de pressão e força de deflexão, que faz com que as massas de ar se movam ao longo de isóbaras, foi entendida. Ainda neste momento, os primeiros atlas de nuvens foram publicados, incluindo o International Cloud Atlas, que se ativo na imprensa desde então. As primeiras previsões diárias do tempo diárias feitas pelo escritório de FitzRoy foram publicadas no jornal *The Times* em 1860. No ano seguinte foi introduzido um sistema de aviso de tempestades, baseado em içamento de cones, nos principais portos ingleses. Durante a segunda metade do século XIX, muitos países estabeleceram serviços meteorológicos nacionais. O Departamento Meteorológico da Índia (1875) foi fundado como consequência da passagens de sucessivos ciclones tropicais e severas monções, que estiveram relacionados com a fome nas décadas anteriores. O Escritório Central Finlandês de Meteorológica (1881) foi fundado como parte do Observatório Magnético da Universidade de Helsinque. O Observatório Meteorológico do Japão em Tóquio foi o precursor da Agência Meteorológica do Japão e iniciou a elaboração de mapas meteorológicos de superfície em 1883. A Agência de Meteorologia

dos Estados Unidos (1890) foi estabelecida sob a tutela do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos. A Agência Australiana dos Estados Unidos (1906) foi estabelecida por lei para unificar os serviços meteorológicos estaduais existentes.

Em 1904, o cientista norueguês Vilhelm Bjerknes foi o primeiro a argumentar em seu artigo *A Previsão do Tempo como um Problema de Mecânica e de Física* que a previsão do tempo deveria ser possível a partir de cálculos baseados em leis naturais. Mas apenas no final do século XX que os avanços na compreensão da física atmosférica levaram à fundação da previsão numérica do tempo. A compreensão cinemática de como exatamente a rotação da Terra afeta a circulação atmosférica global ainda não era completa no século XIX. O francês Gustave-Gaspard Coriolis publicou um artigo em 1835 sobre a produção de energia das máquinas com peças rotacionais, tais como rodas d'água. Entretanto, somente em 1912 descobriu-se a presença desta força na atmosfera. Logo após a Primeira Guerra Mundial, um grupo de meteorologistas na Noruega, liderada por Vilhelm Bjerknes, desenvolveu o modelo norueguês de ciclones, que explica a geração, intensificação e o final do ciclo de vida de ciclones extratropicais, introduzindo a idéia de frentes, ou seja, as fronteiras bem definidas entre as massas de ar. O grupo norueguês de pesquisas meteorológicas incluía Carl-Gustaf Rossby, que foi o primeiro a explicar o escoamento atmosférico em grande escala segundo a dinâmica de fluidos, Tor Bergeron, quem determinou pela primeira vez o mecanismo pelo qual se forma a chuva, e Jacob Bjerknes. Em 1922, o inglês Lewis Fry Richardson publicou *Previsão do Tempo por Processos Numéricos*, após reunir notas e derivações durante o período no qual ele trabalhou como motorista de ambulância na Primeira Guerra Mundial. Richardson observou que pequenos termos nos prognósticos das equações envolvendo a dinâmica de fluidos na atmosfera terrestre

poderiam ser desprezados, e de como soluções numéricas do tempo poderiam ser encontrados ao relacionar graficamente as variáveis atmosféricas no tempo e espaço. Entretanto, o grande número de cálculos necessários era grande demais para ser concluído sem o uso de computadores, e o tamanho da rede meteorológica e a distância entre uma estação meteorológica e outra, além dos grandes intervalos de tempo utilizados nos cálculos levaram a resultados pouco realísticos nas análises de fenômenos meteorológicos em fortalecimento. Mais tarde, concluiu-se que tais resultados pouco realísticos eram devido às instabilidades numéricas

A partir de 1950, tornaram-se viáveis as previsões numéricas por meio de computadores. As primeiras previsões do tempo derivadas de operações computacionais usaram modelos barotrópicos, ou seja, usavam apenas a variáveis da pressão atmosférica, que prediziam com razoável sucesso a evolução de áreas de alta ou baixa pressão.

Em 1960, a natureza caótica da atmosfera foi observada pela primeira vez e matematicamente descrita por Edward Lorenz, fundador da teoria do caos. Estes avanços levaram ao uso atual da previsão conjunta na maioria dos grandes centros de previsão, e a levar em conta a incerteza decorrente da natureza caótica da atmosfera. Nos últimos anos, modelos climáticos têm sido desenvolvidos, que apresentam uma resolução comparável aos antigos modelos de previsão do tempo. Tais modelos climáticos são usados para investigar mudanças climáticas em longo prazo, tais como os efeitos que podem ser causados por emissões humanas de gases do efeito estufa. No abril daquele ano, foi lançado com sucesso o primeiro satélite meteorológico de sucesso, o TIROS-1, e marcou início da era em que as informações meteorológicas tornaram-se disponíveis a nível global.

A Meteorologia é a ciência que estuda as condições e o comportamento físico da atmosfera. Enquanto que a Climatologia é uma sub-área da meteorologia que estuda o comportamento médio da atmosfera para um determinado período, através de métodos estatísticos. Quando às observações atmosféricas contínuas inseridas durante um período de longo de tempo de 30 anos, para uma localidade, é conhecido como a normal climatológica.²

O meteorologista previsor do tempo aplica as leis da física clássica, a sinótica, a dinâmica e as técnicas matemáticas que rege o domínio do movimento da atmosfera, para o estudo das condições de tempo. O climatologista utiliza as técnicas estatísticas para inserir e concluir informações sobre o estudo do clima. Portanto, a Climatologia dependente da Meteorologia.

Meteorologia Aeronáutica é o ramo da meteorologia aplicado à aviação e que visa, basicamente, a segurança, a economia e a eficiência dos vôos. A Meteorologia Aeronáutica atualmente vem obtendo, nas últimas décadas, um alto grau de desenvolvimento de técnicas de observação/previsão e sofisticação de equipamentos, acompanhando paralelamente a evolução da aviação e, nisso contribuindo para um maior grau de segurança e economia das operações aéreas.



² Consulte o endereço:
http://www.inmet.gov.br/html/informacoes/curiosidade/tempo_clima.html

Hora UTC (Universal Time Coordinated) ou Hora Zulu:

É a hora computada no Meridiano de Greenwich, na Inglaterra.

Adorada internacionalmente como horário padrão para a aviação a fim de se evitar as complicações e o risco de erro nos cálculos de fusos horários. É também conhecida por GMT - Hora Média de Greenwich.

Vetores Meteorológicos:

Conjunto de fatores que determinam as *Condições Climáticas* e as características do voo. A saber:

- *Temperatura*: condição de calor ou frio em uma região, medida em graus.
- *Isotermas*: são linhas que definem regiões com a mesma temperatura.
- *Isóbaras*: são linhas que definem regiões com a mesma pressão.
- *Umidade Relativa do Ar*: quantidade de água, no estado de vapor, presente na atmosfera.
- *Pressão Atmosférica*: peso vertical da atmosfera sobre uma área horizontal.
- *Vento*: ar em movimento devido às diferenças de pressão próximo à superfície terrestre.
- *Nuvem*: conjunto visível de partículas de água líquida e/ou gelo, em suspensão na atmosfera, a partir de 30 metros de altura.
- *Nevoeiro*: conjunto visível de partículas microscópicas de água líquida em suspensão na atmosfera junto ao solo (até 30m), capaz de reduzir a visibilidade a menos de 1 km.
- *Névoa*: turvação atmosférica menos intensa que o nevoeiro e que não reduz a visibilidade a menos de 1 km. Subdivide-se em *névoa seca* (poeira e

fumaça) e *névoa úmida* (mesma composição do nevoeiro). Também de 0 a 30m,

- *Visibilidade*: máxima distância horizontal que se pode enxergar a olho nu.

De maneira aproximada, é verificada pela identificação visual nítida de objetos com distâncias diferentes no terreno, como por exemplo, construções, montanhas, antenas, etc. É afetada pela chuva, neblina, nevoeiro e smog fotoquímico.

- *Teto*: distância vertical entre o solo e as nuvens que cobrem mais da metade do céu.

- *Ponto de Orvalho*: temperatura na qual o vapor d'água condensa sobre uma superfície sólida. Ocorre quando a temperatura dessa superfície fica igual ou menos à temperatura do ar local.

- *Geadas*: ocorrência de temperatura inferior a 0°C, podendo ou não formar gelo sobre as superfícies expostas. Isso depende da porcentagem local de umidade do ar.

- *Chuva*: precipitação de água condensada que cai gravitacionalmente na superfície terrestre.

- *Chuvisco*: precipitação de gotículas de água que cai gravitacionalmente na superfície terrestre. Geralmente, a quantidade de gotículas é tão grande que reduz consideravelmente a visibilidade.

- *Granizo*: precipitação de gelo que cai gravitacionalmente na superfície terrestre.

- *Saraiva*: precipitação de gelo com mais de 5 mm que cai gravitacionalmente na superfície terrestre.

- *Neve*: precipitação de cristais de gelo formados pelo congelamento do vapor de água que está em suspensão no ar atmosférico.

Circulação Geral na Atmosfera:

- *Movimentos Verticais de Ar:* correntes ascendentes ou descendentes.
- *Movimentos Horizontais de Ar:* ventos, causados pelas diferenças de pressão.

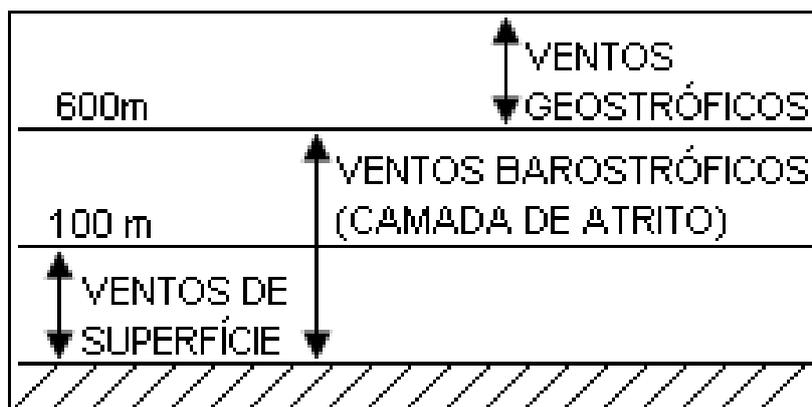


Forças que atuam sobre os ventos:

- *Força do Gradiente de Pressão:* deslocam os ventos das altas para as baixas pressões.
- *Força de Coriolis:* no Hemisfério Sul, desloca os corpos para a esquerda e, no Hemisfério Norte, para a direita.

Classificação dos Ventos Atmosféricos:

1. *Ventos de Superfícies:* de 0 a 100 metros do solo.
2. *Ventos Barostróficos:* regidos apenas pela Força do Gradiente de Pressão, somente dentro da *Camada de Atrito* (de 0 a 600 metros do solo).
3. *Ventos Geostróficos:* regidos também pela força de Coriolis, porém acima da Camada de Atrito.



Circulação Inferior (até 20 mil pés ou 6 mil metros): ventos polares, ventos de oeste e ventos alíseos. Deslocam-se dos pólos para o Equador em zig-zag.

Circulação Superior (acima de 20 mil pés ou 6 mil metros): jet stream ou corrente de jato. Desloca-se do Equador para os pólos em espiral.

Circulação Secundária:

1. *Brisa Marítima:* vento que sopra durante o dia, do mar para a terra.
2. *Brisa Terrestre:* vento que sopra durante a noite, da terra para o mar.
3. *Vento de Vale:* vento que sobe a encosta de vales profundos, durante o dia.
4. *Vento de Montanha:* desce a encosta de vales profundos, durante a noite.
5. *Vento Anabático:* vento que sobe encostas externas de montanha, durante o dia.
6. *Vento Catabático:* desce encostas externas de montanha, durante a noite.
7. *Vento de Monções:* semelhante às brisas marítimas e terrestres, mas em grande escala.
8. *Efeito Fohen:* ar frio e úmido que sobe o barlavento (frente) da montanha e chega quente e seco a sotavento (costas) da montanha.

Zona de Confluência Intertropical (ITCZ):

Região próxima ao Equador, aonde o ar frio que chega dos dois pólos se encontra. Sua posição varia durante as 4 estações do ano, de 15° N e 5° S, de acordo com o movimento do sol. No verão do Hemisfério Norte a ITCZ se encontra mais ao norte e, no verão do Hemisfério Sul, a ITCZ se encontra mais ao sul. Também conhecida como Confluência Intertropical (CIT), Frente Intertropical (FIT), ou Equador Meteorológico.

Nos mapas sinóticos, especificamente nas SIG WX PROG, a ITCZ é representada da seguinte forma:



Turbulência:

Agitação vertical de ar que altera o deslocamento de uma aeronave causando vôo desconfortável.

Tipos de Turbulência:

1. *Turbulência de Solo:* agitação de ar que surge quando ventos mais ou menos intensos têm seu fluxo modificado pela presença de edifícios, pontes, depressões ou outros obstáculos artificiais próximos do aeródromo. A gravidade é maior durante o pouso, já que o piloto faz aproximação com o mínimo de motor. Quase nunca é detectada devido à inexistência de elementos visíveis que a denunciem.

2. *Turbulência de Trovoada:* pode surgir na frente das nuvens, antes de um pouso, provocadas pelo ar frio descendente, que forma rajadas perigosas, em contraste com o ar quente da região. Podem ser detectadas pela presença de nuvens de rolo.

3. *Cortante do Vento (wind shear)*: variação da direção e intensidade do vento próximo ao solo. Pode arrastar uma aeronave em aproximação para fora do eixo da pista. Se isso ocorrer, só restará ao piloto a opção de arremeter.

4. *Esteira de Turbulência*: deslocamento de ar produzido por aeronaves pesadas (mais de 136 toneladas) durante o pouso ou a decolagem. Para evitá-la, uma segunda aeronave, leve (até 7 toneladas) ou média (de 7 a 136 toneladas), deverá aguardar cerca de 3 minutos para pousar ou decolar.

Massa de Ar:

É um conjunto de ar de grande volume e de mesmo comportamento, originado a partir de sua permanência por um longo período numa determinada região. Sua velocidade de deslocamento é de 800 a 1200 km/dia.

Classificação das Massas de Ar:

As massas de ar são classificadas de 3 formas diferentes. A saber:

1. *Conforme seu teor de umidade:*

- Continentais (secas) - **c**
- Marítimas (úmidas) - **m**

2. *Conforme a região de origem:*

- Equatoriais - **E**
- Tropicais - **T**
- Polares - **P**
- Árticas ou Antárticas - **A**

3. *Conforme sua temperatura:*

- Frias - k
- Quentes - w

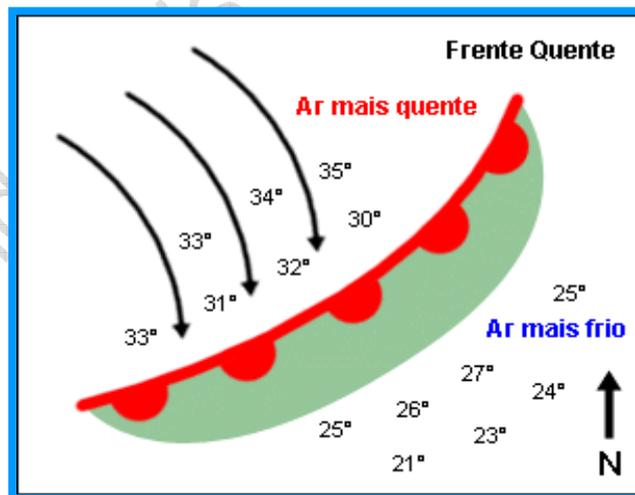
Exemplos:

- Manaus (cEw) = massa de ar continental equatorial quente
- Brasília (cTw) = massa de ar continental tropical quente
- Rio de Janeiro (mTw) = massa de ar marítima tropical quente

Frente: é a superfície limite entre duas massas de ar de características diferentes.

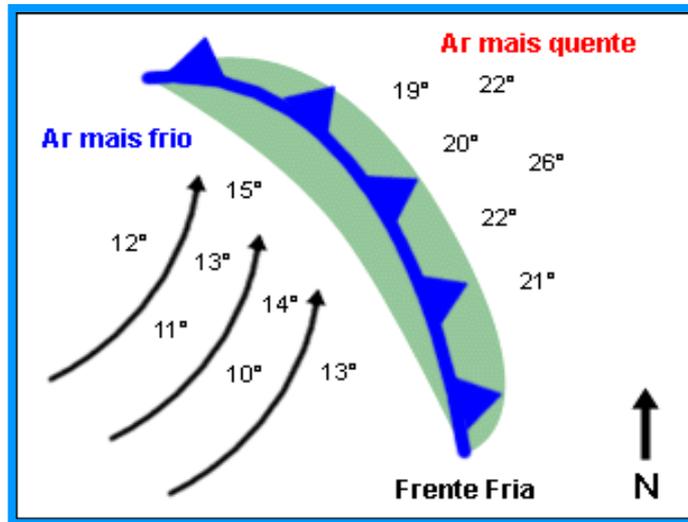
Formação de Frentes:

1. *Frente Quente:* massa de ar quente que avança na direção de uma massa de ar mais frio. O ar quente, mais leve, passa por cima da massa de ar frio, que recua. Sua velocidade de deslocamento é baixa devido a pouca densidade do ar quente. Pelo mesmo motivo, fenômenos de grande intensidade não são notados.

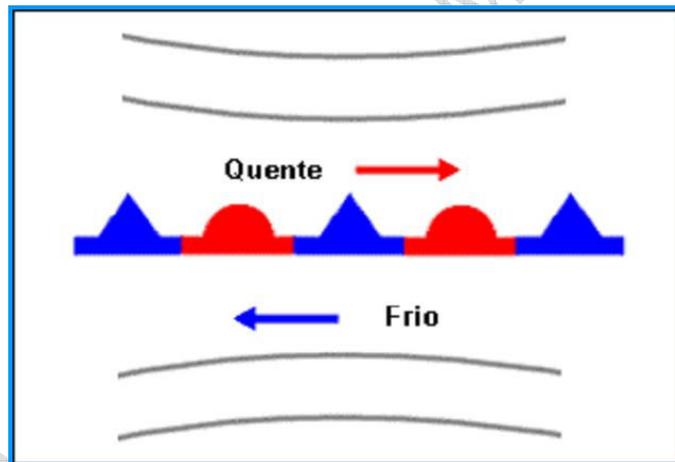


2. *Frente Fria:* massa de ar frio que avança na direção de uma massa de ar mais quente. O ar frio, mais pesado, penetra por baixo do ar quente deslocando-o para cima. O resfriamento do ar quente causa névoa e formação de nuvens baixas e cinzentas que, poderão provocar grandes

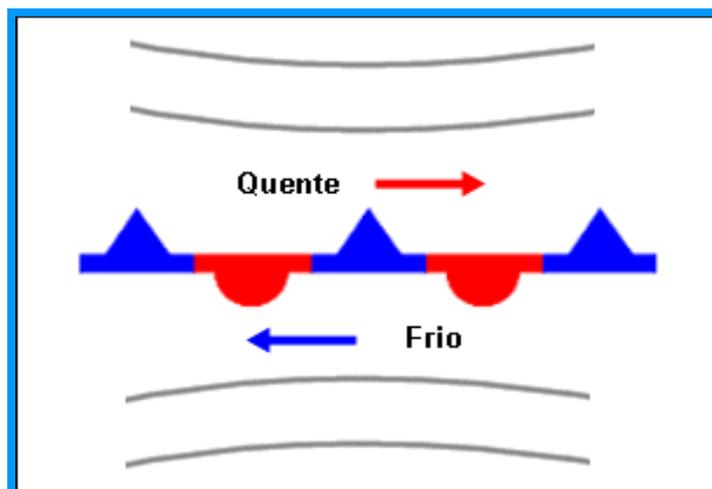
chuvas. Devido a maior densidade do ar frio, as frentes frias são mais rápidas e mais violentas.



3. *Oclusa*: é quando uma frente fria se sobrepõe a uma frente quente.



4. *Frente Estacionária*: é quando ocorre o equilíbrio entre uma frente quente e outra fria.



Formação de Chuvas:

As chuvas se originam de nuvens formadas pelo resfriamento de massas de ar que se elevam na atmosfera. As nuvens são formadas por gotículas de água que permanecem em suspensão. Cada gotícula fica sujeita à força gravitacional, ao empuxo e à ação de correntes ascendentes de ar.

Quando as gotículas crescem até uma dimensão suficiente para sobrepujar as correntes ascendentes, a força gravitacional predomina, ocorrendo à precipitação (chuva).

Formação de Tempestades:

As tempestades são causadas por nuvens do tipo Cumulonimbus (Cb) que isoladas não representam risco para a aviação, mas agrupadas ou alinhadas em fileiras são de extremo perigo.

Os Cbs se originam de frentes frias e linhas de instabilidade (L.I.), que são mais frequentes em setembro (transição entre o inverno e a primavera), quando a diferença de temperatura e de densidade entre as massas de ar tropicais e polares é maior.

As nuvens do tipo Grandes Cúmulos (Tcu), se transformam em Cbs quando as gotículas de água presentes no topo da nuvem congelam, formando a característica *bigorna*.

Neste instante, em que coexistem gotas de água e cristais de gelo dentro da nuvem, as cargas elétricas se separam e soltam faíscas que geram os trovões pelo aquecimento e rápida expansão do ar. Assim a trovoada é sempre o produto final de um Cb.

Os Cbs associados às frentes frias são mais fáceis de identificar, porque formam na maioria das vezes verdadeiras paredes, estendendo-se

por todo o horizonte na rota de vôo. As linhas de instabilidade são mais perigosas porque causam rajadas, turbulência severa, raios, formação de gelo e granizo. Nelas, os Cbs agrupam-se em uma fileira única e estreita, de 200 a 600 km.

Muitas vezes, os Cbs são precedidos de uma impressionante "nuvem rolo" a baixa altura do solo, que coincide com as rajadas e provoca extrema turbulência.

As L.I. nem sempre causam chuva. Fora da área de precipitação ocorrem os *tornados*, que existem no Brasil, embora não sejam tão freqüentes e destrutivos como os americanos.

O cisalhamento (ação cortante do vento), que desloca partes das nuvens em direções diferentes também pode ser notado.

A passagem das L.I. não dura mais que 30 minutos e o tempo retorna ao normal depois, no entanto sua evolução explosiva e rápido deslocamento são especialmente perigosos para a aviação, mesmo contando-se com radares de terra ou de bordo, que podem mostrar uma falsa brecha ou abertura logo preenchida por uma nova célula de Cb.

Códigos Meteorológicos:

São informações simples e precisas que podem ser rapidamente transmitidas pelos sistemas de telecomunicação. Exemplo: METAR.

METAR: é um tipo de observação meteorológica de rotina para a aviação emitida de hora cheia em hora cheia pelos aeródromos. Possui 6 grupos de informações:

- 1º grupo: dados do local, dia e hora;

- 2º grupo: direção e velocidade do vento;
- 3º e 4º grupo: visibilidade, tempo significativo e nuvens;
- 5º grupo: temperatura do ar, ponto de orvalho;
- 6º grupo: pressão do ajuste do altímetro (QNH).

```

→ METAR SBRJ 131200Z 03002KT 9999 FEW025 23/17 Q1021 = ←
METAR SBJR 131200Z 10001KT CAVOR 22/17 Q1020 =
METAR SBGL 131200Z 09003KT 9999 FEW020 22/19 Q1021 =
METAR SBAF 131200Z 11004KT 9999 FEW020 24/19 Q1023 =

```

- SBRJ = Sul - Brasil - Rio de Janeiro (Aeroporto Santos Dumont).
- 13 = dia 13.
- 1200 Z = 12 horas zulu (horário UTC) = 9 horas no Brasil (fuso-horário).
- 030 = direção do vento 30°.
- 02Kt = velocidade do vento 2 nós.
- 9999 = visibilidade acima de 10 km.
- FEW = pouca nebulosidade (1 a 2/ 8 do céu).
- 025 = base das nuvens no FL 25 = 2500 pés.
- 23/17 = temperatura do ar = 23°C / ponto de orvalho = 17°C.
- Q1021 = valor da pressão atmosférica = 1021 hPa ou milibaras.

Observações:

- CAVOK (Clear and Visibility OK) = tempo excelente para o vôo (Céu de Brigadeiro).
- Visibilidade \geq 10 km, nuvens acima de 1500 m e ausência de Cumulonimbus.
- NOSIG = não haverá variação significativa nas próximas 2 horas.
- 9999 = visibilidade maior que 10 km. Quando a visibilidade for menor que 10 km, será expressa em metros. Ex: 3000 = 3km.
- 0000 = visibilidade menor que 100 metros.
- Quanto maior for a distancia entre os números de temperatura e ponto de orvalho, menor a probabilidade de chuva ou nevoeiro (ar mais seco).

- No mundo todo, a temperatura é registrada em graus centígrados.
- Quando alguma temperatura for desconhecida, será substituída por X. Ex: 18/XX.

Mapas Sinópticos:

A partir de fotografias feitas por satélites, os **CMAs 1 e 2** - *Centros Meteorológicos de Aeródromos de 1ª e 2ª Classe*, reorganizam as informações captadas em 2 tipos de mapas sinópticos diferentes:

SIG WX PROG (Carta Prognóstico de Tempo Significativo):

É uma previsão geral do tempo que mostra os principais fenômenos meteorológicos significativos ao vôo. É elaborada de 6 em 6 horas, nos horários sinópticos (0000, 0600, 1200 e 1800 Z) e em 2 níveis distintos:

- Da superfície (SFC) ao FL 250 (=25 mil pés).
- Do FL 250 ao FL 450 (=45 mil pés).

A SIG WX PROG descreve 4 comportamentos distintos para a nebulosidade:

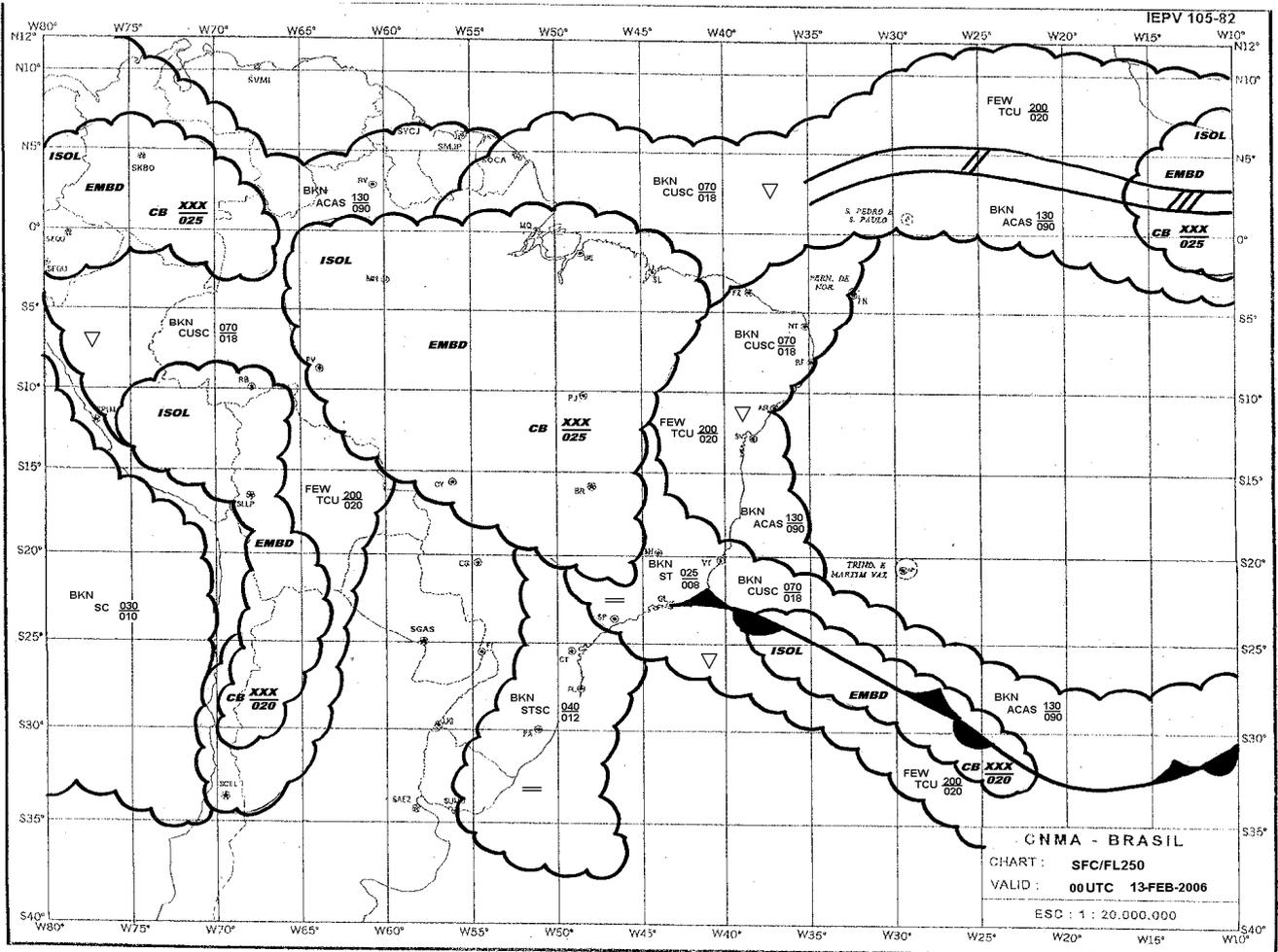
- **FEW**: pouco = 1 a 2/8 do céu;
- **SCT**: esparso = 3 a 4/8 do céu;
- **BKN**: nublado = 5 a 7/8 do céu;
- **OVC**: encoberto = 8/8 do céu.

Devido à maior rapidez e facilidade de interpretação, alguns meteorologistas empregam abreviaturas em inglês ao invés de sinais.

Exemplos:

- **MIST** = névoa úmida;
- **FOG** = nevoeiro;
- **RAIN** = chuva;
- **SCT RAIN** = chuva esparsa;
- **SHWR** = pancadas de chuva;
- **TSHWR** = trovoada c/ pancadas de chuva;
- **TCU** = topo de cúmulus;
- **CUSC** = cúmulus / stratocúmulus;
- **STSC** = stratus / stratocúmulus;
- **ACAS** = altocúmulus / altostratus;
- **ISOL** = isolado;
- **EMBED** = embutido.

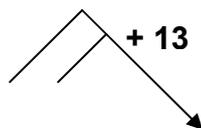
Obs.: Sua validade é de 3 horas antes e 3 horas depois da divulgação (6 horas no total).



WIND ALOFT PROG (Carta Prognóstico de Vento Superior):

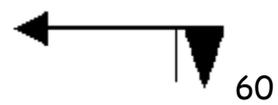
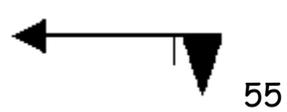
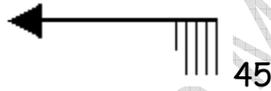
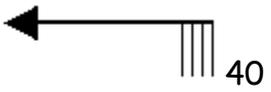
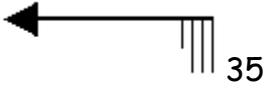
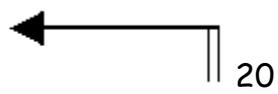
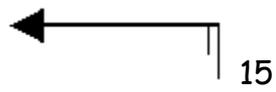
Indica a intensidade, direção e temperatura dos ventos. Também é elaborada nos horários sinópticos. No Brasil, entretanto, só são feitas as cartas 0000 e 1200 Z. Os vôos com decolagem entre 0600 e 1800 Z usam cartas emitidas às 000 Z, e os vôos com decolagem entre 1800 e 0600 Z usam cartas emitidas às 1200 Z. Como os ventos variam conforme a altitude, há uma tabela internacional de níveis padrão.

Exemplo:

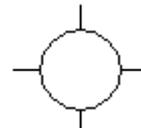


= vento a 15 nós, na direção 300° e com temperatura 13° (a haste do desenho indica de onde vem o vento).

INTENSIDADE DOS VENTOS (em Kts)



ESTADO DO CÉU



ensolarado



sem nuvens



sem nuvens, sem vento



sereno



parcialmente nublado



muito nublado



coberto



coberto, sem vento

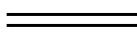


chuvoso

NÉVOAS E CHUVAS



névoa seca



névoa úmida



nevoeiro baixo



nevoeiro



garoa



chuva



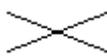
chuva leve
contínua



chuva pesada
contínua



neve



chuva congelada



trovoada



pancadas



grãos de gelo



granizo



Altostratus



Cúmulus



Stratocúmulus



Stratus



Nimbostratus



Cumulunimbus

FRENTES:



frente quente



frente fria



oclusa

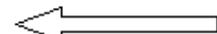


estacionária



dissipação

VENTOS:



vento quente



vento frio



vento leste



vento oeste

PRESSÃO ATMOSFÉRICA



- centro de alta pressão – A



- centro de baixa pressão – B

TEMPERATURA

11 ar a -11° C

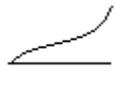
+6 ar a +6° C

10 água a 10° C

TIPOS DE NUVENS

 Cirrus

 Cirrocúmulus

 Cirrostratus

 Alto-cúmulus

Princípio de funcionamento dos Termômetros de Bulbo Seco e Molhado:

Esses 2 termômetros trabalham conjuntamente e formam um instrumento denominado Psicrômetro.

O 1º termômetro registra a temperatura do ar.

O bulbo do 2º termômetro é envolvido por uma gaze umedecida que é então ventilada para que ocorra a evaporação da água presente. Assim, o 2º termômetro registra uma temperatura igual ou menor que a primeira.

A diferença entre as duas temperaturas observadas é chamada *Depressão Psicrométrica* e lançando-a em tabelas específicas obtemos a *Umidade Relativa do Ar* e o *Ponto de Orvalho*.

Princípio de funcionamento de Barômetro Aneróide:

O Barômetro Aneróide mede a pressão, mas não a registra. Ele possui uma caixa cilíndrica de metal de onde foi retirado todo o ar (câmara de vácuo). Essa caixa é tampada por uma placa bem fina e ondulada que fica em contato com um ponteiro.

Ocorrendo qualquer mudança de pressão do ar, a tampa se movimenta e aciona o ponteiro, que desliza sobre a escala indicando o valor da pressão atmosférica.

Princípio de funcionamento de Barômetro de Mercúrio:

O Barômetro de Mercúrio foi inventado por Torricelli, no século XVII e também não registra a pressão medida. Ele é formado por um tubo de vidro de um metro de comprimento, fechado na extremidade superior. A extremidade inferior do tubo se comunica com um recipiente aberto; ambos cheios de mercúrio. O mercúrio presente no tubo não escorre devido à pressão exercida pelo ar (*Pressão Atmosférica*).

Torricelli fez essa experiência ao *Nível do Mar* (NM), verificando que a coluna de mercúrio media 76 cm de altura. Assim, convencionou-se que a pressão atmosférica no NM é de 760 mmHg ou 1 ATM.

Ao subir acima do NM, a pressão diminui e, ao descer abaixo do NM, a pressão aumenta. A cada 100 de altitude a pressão baixa cerca de 9 mm. O único aparelho que registra continuamente as variações de pressão atmosférica é o *Barógrafo*.

Obs.: no meio aeronáutico, as unidades de medida de pressão empregadas são o hPa (hecto-pascal) ou as milibaras, de acordo com a seguinte relação:

$$1013,2 \text{ hPa} = 1013,2 \text{ milibaras} = 760 \text{ mmHg} = 1 \text{ ATM.}$$

Princípio de funcionamento do Anemômetro:

O Anemômetro mede a velocidade do vento através de um dispositivo de contagem, que marca quantas rotações as conchas dão em um determinado espaço de tempo.

Para medir a velocidade do vento basta olhar para o registro e comparar o numero de rotações com uma tabela que acompanha o aparelho.

Altimetria:

Com o crescimento da aviação mundial, surgiu à necessidade de controlar o trafego aéreo. Assim foram criadas aerovias e, através do radar, os controladores de trafego aéreo passaram a coordenar os vôos para que não houvesse colisões, principalmente quando as condições meteorológicas obrigavam os pilotos a voarem por instrumentos, sem nenhuma visibilidade.

Mas ainda havia um problema a ser resolvido. Que instrumento poderia dizer ao piloto que ele estava na altitude correspondente à aerovia designada para ele?

Tomando por base a pressão ao Nível do Mar (1013,2 hPa), coube então ao altímetro fornecer esta informação ao piloto, sendo denominada QNE.

Mas surgiu então um novo problema. Como o piloto poderia pousar seu avião num aeródromo que não estivesse ao Nível do Mar, num dia em que as condições meteorológicas novamente o obrigassem a voar sem visibilidade?

Se ele usasse a escala do Nível do Mar (QNE), o avião se chocaria violentamente contra a pista. Surgiu então um segundo padrão, variável de aeródromo para aeródromo, sendo denominado QNH.

QNE ou Altitude - Padrão:

É quando o altímetro esta ajustado para a pressão padrão, de 1013, 2 hPa, ao Nível do Mar. É empregado para voar em aerovias.

QNH ou Altitude - Verdadeira:

É quando o altímetro está ajustado para a pressão local, que varia de aeródromo para aeródromo. É empregado para pouso e decolagem.

Obs.: ao Nível do Mar, QNE e QNH se igualam.

Ajuste do Altímetro:

É possível ajustar o altímetro para a escala de pressão que servirá de referência, sempre que necessário. Para isso, existe um botão no instrumento que permite selecionar, na janela de ajustagem, a pressão desejada para a referência.

Normalmente esse ajuste é feito quando a aeronave atinge ou abandona a altitude de cruzeiro (vôo reto horizontal).

Construindo um Pluviômetro:

Para construir um pluviômetro e medir a quantidade de chuva que cai, basta apenas uma garrafa reta e um funil. O funil deve ter margem vertical ou rebordo interno para impedir que as gotas de chuva espirrem para fora.

O diâmetro do funil (A) deve ser igual ao diâmetro da garrafa (B). Havendo dificuldade em encontrar ambos com a mesma medida, pegue um funil maior e corte a parte



de cima ate igualar o diâmetro dele com o da garrafa.

Gradue então a garrafa em milímetros. Introduza o funil na garrafa e coloque os 2 num buraco cavado na terra de modo que a boca do funil fique ligeiramente acima do nível do solo.

Depois de chover, retire a garrafa do buraco e verifique o nível da água da escala. Se o volume observado for de 5 milímetros, por exemplo, essa será a quantidade de chuva que caiu na região, ou seja, o *índice pluviométrico local*.

Construindo um Anemômetro:

Um anemômetro completo é formado por duas partes. A 1ª é a das conchas e mede a intensidade do vento. A 2ª pode ser chamada de cata-vento, mede a direção do vento e pode ser construída de maneira improvisada, de acordo com as orientações descritas a seguir.

Empregando madeira ou metal, a parte de trás da seta deve ser maior que a parte da frente para que possa virar de acordo com a direção do vento.

O sistema giratório consiste num pivô inserido num cano de diâmetro maior. Logo abaixo é fixado um indicador dos 4 pontos cardeais.



Previsão do Tempo pelas Nuvens:

Prever o tempo antes de qualquer vôo é fundamental para garantir a sua segurança. Com um conhecimento básico dos tipos de nuvens, os aviadores poderão evitar as situações de perigo e tirar proveito do bom tempo. P.e. pegando um vento de cauda.

1. Família das Nuvens Altas (acima de 6 mil metros):

- Cirrus (Ci): sem precipitações, mas com aproximação de frente.

Ventos fortes.

- Cirrocúmulus (Cc): idem.
- Cirrostratus (Cs): indicam frente fria, o halo cobre o sol e a

lua.



CIRRUS



2. Família das Nuvens Médias (de 2 a 8 mil metros):

- Altocúmulus (Ac): sem precipitações.
- Altostratus (As): chuva contínua.
- Nimbostratus (Ns): chuvas leves e contínuas.

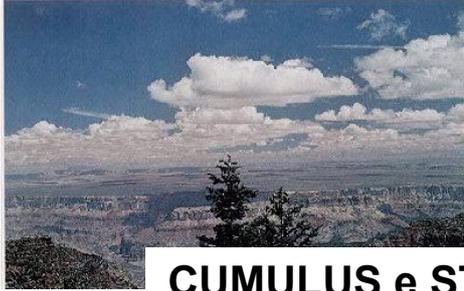


ALTOCUMULOS



3. Família das Nuvens Baixas (de 30 metros a 2 mil metros):

- Stratus (St): chuvisco.
- Stratocúmulus (Sc): chuvas leves e moderadas.



CUMULUS e STRATOCUMULOS

4. Família das Nuvens de Grande Desenvolvimento Vertical (de 30 m a 600 metros):

- Cúmulus (Cu): aguaceiros, chuvas abundantes e de curta duração.
- Grande Cúmulus (Tcu): evolução de cúmulus também com possibilidade de chuva.
- Cumulonimbus (Cb): tempestades com descargas elétricas e ventos fortes com possibilidade de granizo.



Obs. :

- A ocorrência das duas últimas famílias interdita ou fecha aeródromos.

- A observação simultânea de mais de um tipo de nuvem será comum. Nesse caso o clima predominante será correspondente ao tipo de nuvem que predominar o céu.

- As nuvens que tem cúmulus na composição são instáveis (muito movimento de ar) e as nuvens que tem stratus na composição são estáveis (pouco movimento de ar).

- Abaixo de 30m, as formações nebulosas são classificadas como névoa ou nevoeiros.

Sinais Naturais de Bom Tempo:

- Ausência de nuvens baixas ou de grande desenvolvimento vertical no céu.
- Nevoeiro baixo pela manhã, com rápida evaporação do orvalho.
- Céu azul brilhante, límpido e rosado ao pôr-do-sol.
- Visibilidade elevada.
- Movimento intenso de pássaros.
- Lua brilhante, com bordos nítidos.
- Arco-íris à tarde é sinal de que a chuva vai parar.

Sinais Naturais de Mau Tempo:

- Presença de nuvens baixas e de grande desenvolvimento vertical no céu.
- Nevoeiro alto e espesso. Quando se forma sob o Sol, é sinal de chuva durante o dia.
- Céu carregado e alaranjado ou avermelhado ao pôr-do-sol.
- Rajadas de vento multidirecionais, sem rumo definido.
- Brisas de vento repentinas e úmidas.
- Cheiro, nuvens ou redemoinhos de poeira.

- Movimento intenso de mosquitos no interior de edificações.
- Ausência do movimento de pássaros.
- Lua pálida, bordos poucos nítidos e com halo. "Halo longe chuva perto, halo perto chuva longe".
- Arco-íris de manhã é sinal de muita umidade na atmosfera.

Observando o Tempo

De posse de uma tabela igual à apresentada abaixo, será possível registrar os principais vetores meteorológicos que definem as condições climáticas diárias. Embora demande muito tempo, essa análise somente será completa se for feita ao longo de um ano, quando será possível obter o desempenho diferenciado do tempo nas quatro *estações climáticas* (verão, outono, inverno e primavera).

DATA (dd-mm-aa)					
LOCAL (bairro-cidade)					
O	VENT	Direção (N-S- L-O)			
		Velocidade (km/h ou Kts)			
NS	NUVE	Tipo			
		Teto (m ou pés)			
VISIBILIDADE (m)					
TEMPERATURA (°C)					
AS	CHUV	Volume: pluviômetro (mm)			
		Duração (hh:mm)			
OBSERVAÇÕES					

Definições de tempo e clima

Quando falamos das condições meteorológicas de local e momento determinados, estamos falando de **tempo**. Num único dia, ele pode variar bastante: amanhece com sol e calor, depois fica nublado e, à noite, chove e faz frio. Descobrir as condições do tempo pode ser muito útil para nós. Assim, sabemos se é preciso, por exemplo, levar um guarda-chuva no dia seguinte; o agricultor terá condições de controlar melhor sua plantação; o pescador poderá prever como será a pesca e assim por diante. Todos os dias, o noticiário dos jornais e da TV abre um espaço para a previsão do tempo. Dentro de um mapa - que pode ser do Brasil, de um Estado ou de uma região - aparecem desenhos de sol, nuvem, chuva e faixas coloridas que indicam a temperatura dos diferentes lugares. Geralmente, esses dados são colhidos por fotos de satélite e analisados por meteorologistas. Assim é que se faz a previsão. Em alguns países, ela é levada tão a sério que as pessoas não saem de casa sem antes conferir no noticiário as condições do tempo. Nos Estados Unidos e no Japão, por exemplo, a meteorologia é capaz de prever e alertar a população sobre a aproximação de ciclones.

Neste exato momento, Porto Alegre, Rio de Janeiro e Belém registram temperaturas diferentes. Muito provavelmente, o frio na capital do Rio Grande do Sul é mais intenso do que no Rio e faz mais calor em Belém do que nessas outras duas cidades. Isso é influência do **clima**. Ele atua em todos os pontos da Terra, definindo a temperatura média em diferentes épocas do ano, o regime de chuvas, a vegetação e até o tipo de ocupação humana. No Sul do Brasil, por exemplo, predomina o clima subtropical, com inverno frio, verão quente e chuvas bem distribuídas ao longo do ano. Já na região amazônica, as temperaturas são elevadas o ano todo e as chuvas são

abundantes. Em outras partes do mundo, acontece a mesma coisa. Na região da Patagônia, ao sul da Argentina, faz muito frio nessa época do ano, com os termômetros registrando temperaturas abaixo de 0 °C. O deserto do Saara, na África, está localizado numa zona de seca, com chuvas irregulares e diferença diária de temperatura de 20 °C. Diversos fatores influem no clima de uma região, como a latitude (quanto mais longe da linha do Equador, mais frio) e o relevo (em geral, quanto maior a altitude, mais baixa a temperatura). Mas, no século XX, o clima do mundo tem sentido um efeito inédito: a ação humana. As atividades do homem são responsáveis por algumas mudanças climáticas, por exemplo, o desmatamento e emissão de gases de veículos, indústrias e queimadas têm elevado a temperatura média da Terra em até 0,6 °C nos últimos 100 anos - é o chamado efeito estufa.

O tempo é o estado físico das condições atmosférica 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 freqüências de eventos que ocorrem em determinada condição do tempo.

Termologia

É a parte da física que estuda o calor, ou seja, ela estuda as manifestações dos tipos de energia que de qualquer forma produzem variação de temperatura, **aquecimento** ou resfriamento, ou mesmo a

mudança de estado físico da matéria, quando ela recebe ou perde **calor**. A termologia estuda de que forma esse calor pode ser trocado entre os corpos, bem como as características de cada **processo** de troca de calor, são essas as formas de transferências de calor:

- Convecção;
- Irradiação;
- Condução.

Mas o que vem a ser calor? O que é temperatura? Calor é a **energia** térmica em trânsito, ou seja, é a energia que está sempre em constante movimento, sempre sendo transferida de um corpo para outro. Já temperatura é o grau de agitação das moléculas, ou seja, calor e temperatura são conceitos bem diferentes com os quais a termologia trabalha.

O estudo da termologia, assim como os vários outros ramos de estudo da física, possibilita entender muitos fenômenos que ocorrem no cotidiano, como, por exemplo, a dilatação e contração dos materiais, bem como entender por que elas ocorrem e como ocorrem. São essas as formas de dilatação que a termologia estuda:

- Dilatação superficial;
- Dilatação volumétrica;
- Dilatação dos líquidos.

A termologia, mais precisamente a termodinâmica, estuda também os gases, adotando para isso um modelo de gás ideal denominado de gás perfeito, como também as leis que os regem e as transformações termodinâmicas que se classificam em:

- Transformação isotérmica;
- Transformação isobárica;

- Transformação isocórica.³

Voando Mais Alto - Meteorologia

³ <http://www.brasilecola.com/fisica/termologia.htm>

VOANDO MAIS ALTO

Coordenação: Fábio Augusto Giunti Ribeiro

Elaboração: Thales Sarraf Giunti Ribeiro

Revisão: Yasmim Sarraf Giunti Ribeiro

Atibaia - SP - Fevereiro / 2011