

# Climatologia para aviação

**Graduação**  
Livro Didático

› unisul digital

Maurici Amantino Monteiro

# Climatologia para aviação

Curso na modalidade a distância  
**Graduação** | Livro Didático

1ª edição atualizada



## **Universidade do Sul de Santa Catarina**

Reitor

**Mauri Luiz Heerd**

Vice-Reitor e Assessor Jurídico

**Lester Marcantonio Camargo**

Secretária-Geral

**Mirian Maria de Medeiros**

Pró-Reitor Acadêmico

**Rodrigo da Silva Alves**

Pró-Reitor Administrativo

**Ademar Schmitz**

Diretor de Marketing e Comercial

**Luciano Cacace**

Diretor dos Campi Tubarão, Araranguá, Braço do Norte e Içara

**Rafael Ávila Faraco**

Diretor dos Campi Florianópolis, Pedra Branca e UnisulVirtual

**Zacaria Alexandre Nassar**



## **Campus Universitário Unisul Digital**

Diretor

**Zacaria Alexandre Nassar**

Gerência Administrativa

**Larissa Albuquerque Dutra**

Gerência da Rede de Polos

**Moacir Heerd**

Secretário

**Jackson Wiggers**

Copyright © Unisul Digital 2021

Nenhuma parte desta publicação pode ser reproduzida por qualquer meio sem a prévia autorização desta instituição.

### **Graduação | Livro didático**

Conteúdo

**Maurici Amantino Monteiro**

Design Instrucional

**Lis Airê Fogolari**

Projeto Gráfico e Capa

**Equipe Unisul Digital**

Diagramação

**Frederico Trilha**

Revisão Ortográfica

**Diane Dal Mago**

e-ISBN

**978-85-506-0295-0**

M77

Monteiro, Maurici Amantino

Climatologia para aviação : livro didático / Maurici Amantino Monteiro. – 1. ed. atual. – Palhoça : UnisulVirtual, 2021.

35 p. : il. ; 28 cm.

Inclui bibliografia.

e-ISBN 978-85-506-0295-0

1. Climatologia. 2. Tempo (Meteorologia). 3. Mudanças climáticas. 4. Climatologia - Brasil. I. Título.

CDD (21. ed.) 551.6

# Sumário

Introdução | 5

Tempo e clima

Conceitos | 7

Circulação geral da atmosfera

Conceitos | 9

Introdução ao Clima

Tipos de clima | 15

Clima no Brasil

Os climas do Brasil | 20

Massas de ar

As massas de ar atuantes na América do Sul | 25

El Niño

El Niño – Oscilação Sul | 30

Variabilidade e Mudança Climática

O que são e como afetam a aviação | 32

Considerações finais | 35

Referências | 36

Sobre o Professor Conteudista | 38

# Introdução

A Unidade de Aprendizagem (UA) **Climatologia para a Aviação** vem dar maior dimensão aos conhecimentos adquiridos na UA Meteorologia, levando o piloto a ter melhores possibilidades de planejamentos de voo, especialmente a médio e a longo prazo. Além dos alunos envolvidos com a aviação, essa UA proporciona conhecimentos para outras UAs, especialmente aquelas voltadas para o Meio Ambiente.

A UA foi dividida em textos que retratam a Climatologia Dinâmica, calcada na atuação dos sistemas meteorológicos e na interferência de fatores do clima como o relevo, a altitude, a vegetação, a maritimidade e a continentalidade, sempre levando em consideração a operacionalidade da Aviação. Os fatores dinâmicos e estáticos do clima ao interagirem acabam desenvolvendo tipos climáticos distintos (NIMER, 1989; MONTEIRO e SILVA, 2017). A precipitação, a temperatura e a umidade relativa do ar são os elementos do clima mais utilizados para os diversos estudos.

A **Climatologia para a Aviação** trabalha as características climáticas de uma região para fins aeronáuticos e, por isso, foram descritos os sistemas meteorológicos mais frequentes, assim como a nebulosidade que geralmente ocorre associada a cada sistema. O conteúdo desta UA resulta de levantamentos bibliográficos e da experiência do autor principal nas áreas de meteorologia e climatologia por mais de três décadas.

Para a caracterização climática de uma região, a Organização Mundial de Meteorologia (OMM, 2017) recomenda a análise de dados climáticos de um período de pelo menos 30 anos. As médias mensais e anuais são as mais utilizadas para os diversos estudos e correspondem a normal climática (NC). Elas servem para caracterizar o comportamento de um determinado elemento do clima, como por exemplo, uma média climática de 200 mm de precipitação em janeiro e outra de 20 mm em julho, deixam evidentes que o mês de janeiro é mais chuvoso e julho, mais seco. Com base nas NC podemos dizer que choveu acima da média ou ficou mais seco neste mês. Para isso é preciso comparar o total da precipitação registrada neste mês com a NC do mesmo mês. Caso o total esteja acima da NC temos um superávit ou uma anomalia positiva de precipitação para o referido mês e vice-versa. Pensando em aviação, uma chuva acima da média significa mais nebulosidade e mais horas de chuva que podem ser traduzidas em mais turbulência, formação de gelo, visibilidade reduzida e cancelamento de pousos e decolagens, naquele mês e no aeroporto que apresentou tal anomalia. Podemos pensar também em mais umidade, menor amplitude térmica e ventos mais fortes. Portanto, não podemos esquecer que “embutida” em uma média mensal ou anual de precipitação, temperatura ou outro elemento do clima, existe uma variedade de condições atmosféricas. Assim, uma média mensal que ultrapasse a climática em 300% pode ter como forçante um temporal que em poucas horas ocasionou um total pluviométrico superior à média climática do mês e a ocorrência de fortes estabilidades com ar seco que resultou em um mês totalmente seco contabilizam para a NC. Por conta dessa variabilidade é preciso um período mínimo de 30 anos para que a média mensal “suavize” essas diferenças, e assim estão caracterizados os diversos tipos de climas do Brasil e do Mundo. Os estudos sobre a Variabilidade Climática e as Mudanças Climáticas são realizados a partir das médias climáticas.

O livro didático está organizado em sete partes, expostas de maneira que facilite a compreensão dos climas, das massas de ar, da variabilidade e mudança climática e como tudo isso afeta a aviação.

Inicialmente trazemos em seu bojo as definições de tempo e clima, construídas com exemplos vividos no dia a dia da Meteorologia Aeronáutica e da Aviação.

A parte seguinte trata da Circulação Geral da Atmosfera e a formação dos Círculos Polares e dos Trópicos. Destaca as áreas de baixa pressão, responsáveis pelas intensas instabilidades e pela presença de densas florestas em torno do Equador; e as áreas de alta pressão, mantenedoras de estabilidades e contribuintes para a existência de inúmeros desertos localizados sobre os Trópicos.

Os textos 3 e 4 apresentam os diversos tipos de clima, suas localizações e as condições climáticas sazonais de estabilidades e instabilidades atmosféricas, com seus reflexos nos voos em rota e nos procedimentos de pouso e decolagem.

No texto 5 são tratadas as Massas de Ar que atuam na América do Sul com seus respectivos tipos de tempo e comportamento dos elementos do clima, em especial a temperatura e a precipitação.

O texto 6 traduz as interferências do fenômeno El Niño-Oscilação Sul (ENOS) nas condições de tempo. Sob a influência do fenômeno El Niño as instabilidades tornam-se mais ativas e, no La Niña, as estabilidades são reforçadas.

O texto 7 trata de assuntos muito discutidos na atualidade: a Variabilidade Climática e as Mudanças Climáticas, abordando-as conceitualmente e argumentando sobre seus efeitos na aviação.

Assim foi elaborado o livro **Climatologia para a Aviação**, com o objetivo de dar subsídios, especialmente para o piloto a respeito das condições climáticas reinantes em cada estação do ano, em determinada região, para o planejamento de voo em curto prazo, mas especialmente para uma visão das condições climáticas a médio e longo prazo.

Professor Doutor Maurici Monteiro

## Tempo e clima

# Conceitos

Adentramos por um caminho de grande significado social, porém, pouco explorado pela Aviação: a Climatologia. Ela é um ramo das ciências naturais estudada, principalmente, pela Geografia e pela Meteorologia. Na Climatologia Geográfica, o estudo do clima tem uma visão mais holística, associando fatores dinâmicos (sistemas meteorológicos) e estáticos (relevo, continentalidade) para sua melhor compreensão. A Climatologia Meteorológica é mais aplicada, especialmente para a previsão do tempo, fazendo uma análise do complexo atmosférico, em porções individualizadas (MONTEIRO, 1962).

A Aviação, desde a sua gênese, sempre reuniu conhecimento das condições de **tempo** e muito pouco de **clima**. Tal fato pode ser entendido pela dificuldade de dados climáticos, quantitativos e qualitativos, de um determinado lugar ou até mesmo região, para que efetivamente fosse elaborada uma análise climática. No Brasil, ainda existe um vazio muito grande de estações meteorológicas oficiais, especialmente sobre o Centro Oeste e a Amazônia.

Embora as palavras *tempo* e *clima* sejam publicadas e comentadas diariamente, ocorrem equívocos. É preciso atenção a esses conceitos: uma informação de *tempo* é uma condição temporal e não climática.

Neste texto, vamos tratar desses conceitos de uma forma prática, voltada especialmente para a Aviação e para aqueles alunos que já concluíram a Unidade de Aprendizagem Meteorologia. Vamos às discussões sobre *tempo* e *clima*, iniciando pelos conceitos.

## 1.1 Clima

Por **clima** entende-se a sucessão habitual dos tipos de tempo que compõe o cenário atmosférico de uma região ao longo de um período de pelo menos **trinta anos**. Ele é formado pela dinâmica dos sistemas atmosféricos com seus respectivos tipos de tempo e pela influência de fatores geográficos, como a latitude, a longitude, a altitude, o relevo, o solo, a cobertura vegetal, a continentalidade e a maritimidade (MONTEIRO e SILVA, 2017). Portanto, para a compreensão do **clima** é necessário o entendimento da interação entre esses fatores. Conforme aponta o geógrafo Edmon Nimer (1989), além de conhecer as influências dos fatores geográficos ou estáticos que atuam sobre o clima de uma região, é indispensável compreender o mecanismo atmosférico, seu fator genético por excelência.

## 1.2 Tempo

Entende-se por **tempo**, o estado atmosférico em certo momento, considerado em relação a todos os elementos meteorológicos, como a temperatura, a pressão barométrica, o vento, a nebulosidade (MORIZE, 1927). É uma condição que está ocorrendo: um dia ensolarado ou chuvoso, um momento de vento forte.

Para melhor entendimento desses conceitos vamos citar alguns exemplos fundamentados no dia a dia da Aviação.



Imagine um piloto preparando um voo do Rio de Janeiro para Brasília; as primeiras condições meteorológicas verificadas do aeródromo de destino é o Meteorological Terminal Report (METAR). São 12 Universal Time Coordinate (UTC) de um dia de verão e ele vai verificar “o estado atmosférico em certo momento” por meio do METAR das 12 UTC (Z) do dia 13, conforme segue: METAR SBBR 131200Z 12008KT 8000 -TSRA BKN015 FEW035CB 27/23 Q1012.

Naquele momento, às 12 UTC, o observador meteorológico lotado na Estação Meteorológica de Superfície Classe I (EMS-1) de Brasília (SBBR), relatou a seguinte condição de **tempo**: vento soprando de 120 graus (sudeste), com a velocidade de 08 Kt (aproximadamente 15 km/h); visibilidade da superfície reduzida a 8000 metros, devido à ocorrência de chuva fraca que está acompanhada de trovoada (-TSRA); céu nublado com

altura da base da nuvem em 1500 pés (BKN015) ou 450 metros; presença de poucas trovoadas originadas de nuvens chamadas *Cumulonimbus* (Cb), com base a 3500 pés (FEW035CB), aproximadamente 1000 metros (m); temperatura do ar momentânea de 27° C, e a temperatura do ponto de orvalho de 23° C. A pressão atmosférica ajustada ao nível médio do mar (NMM) para fins aeronáuticos é de 1012 hectopascal (hPa).

! Essa é uma condição momentânea de **tempo**, que muda constantemente.

Lembrando que é verão, e um Especialista em Meteorologia Aeronáutica ao dar uma instrução ou *briefing* meteorológico ao piloto pode informá-lo: “Essa condição de **tempo** é habitual em Brasília, no entanto, durante a tarde, a instabilidade verificada no METAR, através da presença de nuvens *cumulonimbus*<sup>1</sup>, deve se intensificar, devido ao calor”. Veja que o Especialista está fazendo uma previsão, considerando o **clima** de Brasília, pois associa o calor ao aumento da instabilidade, condição que é climática em todo Centro Oeste nas tardes de verão. Também poderia informar que “normalmente chove nas tardes de verão em Brasília, e a chuva vem acompanhada de trovoadas, sempre sujeitas a temporais”.

! Essa é uma condição climática, que sofre constantes variações por interferências de fenômenos como o El Niño, a La Niña e os bloqueios atmosféricos.

Um previsor para elaborar um Terminal Aerodrome Forecast (TAF) utiliza como ferramentas o METAR, o diagrama Termodinâmico SKEW T, imagens de satélites e os Modelos Numéricos de Previsão de Tempo. Porém, não há dúvidas que em toda essa análise ele está levando em conta o comportamento do *clima* de determinada época do ano, com suas condições climáticas de instabilidade ou estabilidade.

Agora que já conseguimos diferenciar **tempo** e **clima**, é interessante, em um planejamento de voo, pensar no **clima** da região para onde pretende voar. Isso ajuda muito a evitar transtornos, principalmente nos procedimentos de pousos e decolagens. Além disso, a Climatologia será fundamental para planejamentos de médios e longos prazos. Nesse sentido, foram elaborados uma sequência de textos com a intenção de dar tal aporte ao piloto que queira conhecer o **clima** de uma região onde uma aeronave possa estar decolando ou pousando.

Começamos, após o entendimento sobre o que é **tempo** e **clima**, com a Circulação Geral da Atmosfera, a partir da qual ocorre a gênese da climatologia. O próximo texto mostra que a irregular distribuição da energia solar ao longo da superfície terrestre é a responsável pela formação de cinturões (faixas alongadas) de baixas e altas pressões. A diferença de pressão atmosférica gera ventos que se elevam e se afundam na atmosfera em forma de correntes ascendentes e descendentes, respectivamente. Condições de instabilidade atmosférica como as trovoadas, as turbulências (**tempo**) são geradas na elevação do ar, e quando há afundamento do ar pelo predomínio de correntes descendentes ocorre estabilidade, mantendo o ar seco, presença de poucas nuvens e chuva muito irregular (**tempo**).

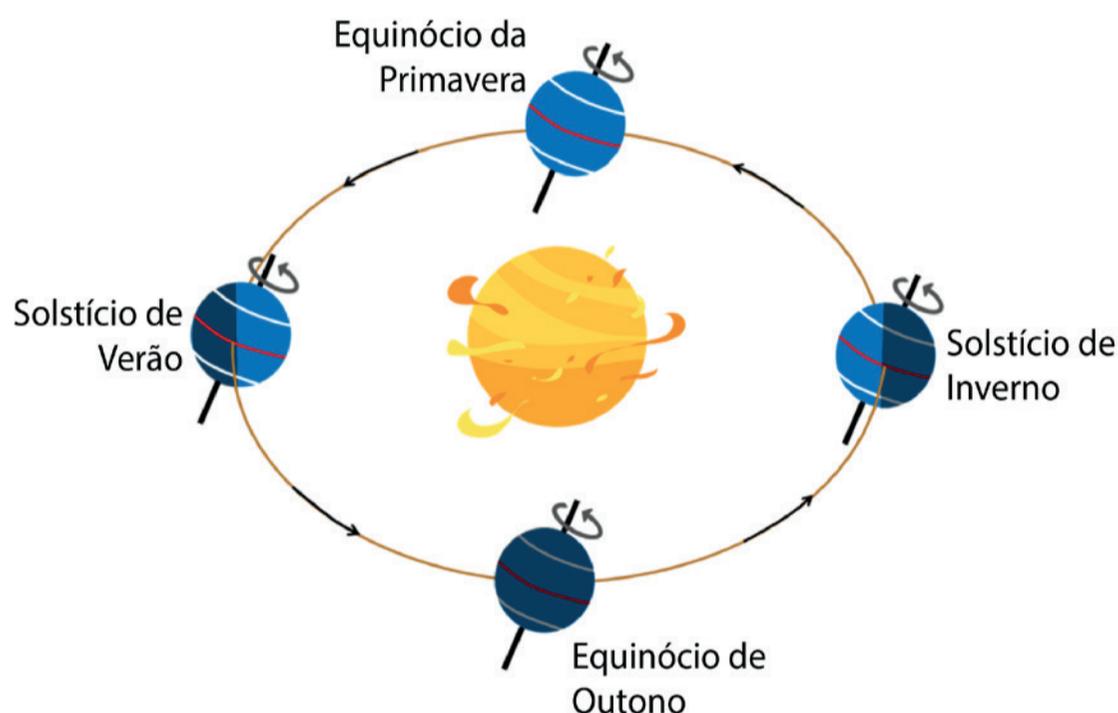
>> A persistência dessas condições sobre uma região acaba definindo seu clima.

1- Cumulonimbus (CB) são “formações nebulosas com grande desenvolvimento vertical, também identificadas como tempestades de trovoadas ou *thunderstorms*, (...)” (REDEMET, 2019.)

### Conceitos

A causa primária da circulação do ar é a diferença de radiação solar recebida pela Terra em suas diferentes latitudes, devido ao movimento de translação que a Terra executa em torno do Sol, de forma elíptica. Durante esse movimento, ilustrado na Figura 1, a Terra viaja a uma velocidade de cerca de 108 mil quilômetros por hora e leva 365 dias e 6 horas para dar uma volta completa ao redor do Sol. O movimento de translação é o responsável pela sucessão das estações do ano (verão, outono, inverno e primavera) e altera a intensidade de luz e calor que incide no planeta, a cada estação.

Figura 1 – Esquema das estações do ano no movimento de translação da Terra



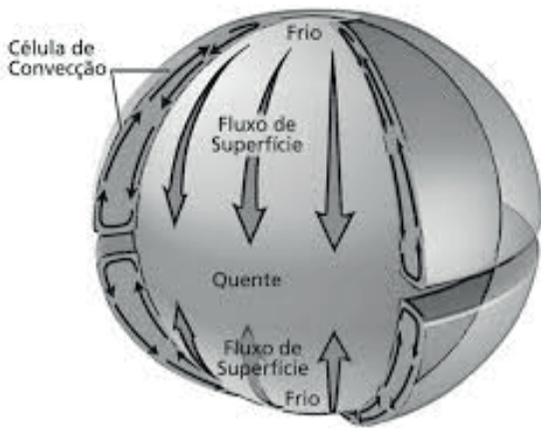
Fonte: Adaptado de Movimentos da Terra em Só Geografia (2007-2019).

Condição semelhante se verifica diariamente, através do movimento de rotação, com o surgimento dos dias e das noites, respectivamente, elevando e diminuindo as temperaturas do ar. O **movimento de rotação** dura 23 horas, 56 minutos e 4 segundos, equivalente a uma volta completa da Terra em torno de si mesma.

As regiões polares recebem menos radiação e são mais frias, logo o ar é mais denso, mais pesado. Como as moléculas de ar estão mais próximas umas das outras, formam uma enorme massa de ar denso com pressão atmosférica mais alta. As regiões equatoriais recebem mais radiação e são as mais quentes, com ar menos denso. Nessa condição, o peso da atmosfera é menor, devido a maior dispersão das moléculas de ar, resultando em uma grande área de baixa pressão atmosférica.

A diferença de pressão atmosférica existente entre uma área ou região força a movimentação do ar na horizontal, fazendo com que a massa de ar mais densa se desloque em direção a menos densa em busca de equilíbrio. No centro da massa de ar existe um centro de ação que é o anticiclone responsável pela estabilidade do ar e pela origem dos ventos, os quais fluem em direção a baixa pressão ou ciclone. No entanto, os ventos que fluem das regiões polares não chegam diretamente ao equador, devido a presença de uma grande área de baixa pressão localizada a 66° e 33' de cada hemisfério, denominado de Círculo Polar ou cinturão de baixas pressões, que atrai para si os ventos oriundos dos polos e dos cinturões de alta pressão tropical. A Figura 2 modela como seria o deslocamento do ar (vento) em superfície diretamente do polo para o equador.

Figura 2 – Circulação global numa Terra sem rotação (Hadley)



Fonte: Adaptado de Meteorologia Básica – Física/UFPR (2019).

Vamos detalhar melhor esta dinâmica iniciando pelo Equador, que é a região onde os fluxos do Hemisfério Sul (HS) e Hemisfério Norte (HN) se encontram. Lembrando que o Equador tratado aqui não é aquele físico localizado a 0°; trata-se do Equador Meteorológico ou Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) que possui oscilações em torno de 3° a 5° de latitude, aproximadamente. Nesse caso, o Equador chega ao interior da Amazônia no verão do HS e ao extremo norte da América do Sul, no verão do HN.

Sobre o Equador, área de baixa pressão, o ar quente e úmido ascende na atmosfera (fluxo de ar ascendente), forma nuvens do tipo *cumuliformes* (maior desenvolvimento vertical em relação ao horizontal) que provocam chuvas abundantes. Para a aviação essa condição é de voo turbulento devido à presença de correntes convectivas nas nuvens cumuliformes, formação de gelo e granizo. Nos pousos e decolagens, o problema é pela restrição de visibilidade horizontal pelas chuvas que, quase sempre, são em forma de pancadas.

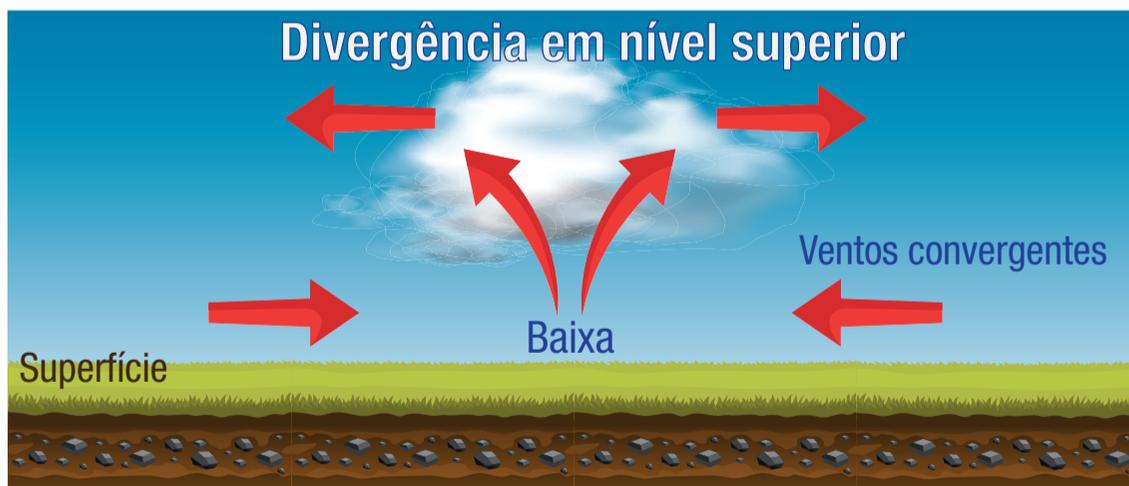
A Floresta Amazônica, na América do Sul, a Floresta do Gabão e Congo, na África, estão localizadas nas latitudes equatoriais e são alimentadas pelas constantes chuvas das instabilidades atmosféricas geradas localmente.

» Só lembrando um pouco da Meteorologia: Em condições atmosféricas normais há diminuição de temperatura com a altitude no valor de 1 °C/100 m. No entanto, dentro de uma nuvem a diminuição é menor, de 0,6 °C/100 m, devido a umidade elevada. Após o topo da nuvem o decréscimo volta a ser de 1 °C/100 m. O resfriamento lento e contínuo do ar com a altitude, sobre o Equador, acaba gerando um turbilhão de ar frio em níveis elevados da atmosfera, nas proximidades da camada da atmosfera chamada Tropopausa, que registra temperatura média global de 65,5 °C negativos.

A tropopausa é o nome dado à camada intermediária entre a Troposfera e a Estratosfera, situada a uma altura média em torno de 17 km no Equador.

A Figura 3 representa uma condição atmosférica simplificada de ascensão do ar no Equador. Em superfície ocorre a convergência e ascensão de ar quente e úmido até chegar à Tropopausa. Nesta camada da atmosfera o ar sofre divergência, deslocando-se em direção aos Polos.

Figura 3 – Convergência de ventos de superfície e elevação de ar quente e úmido na atmosfera por meio das correntes ascendentes



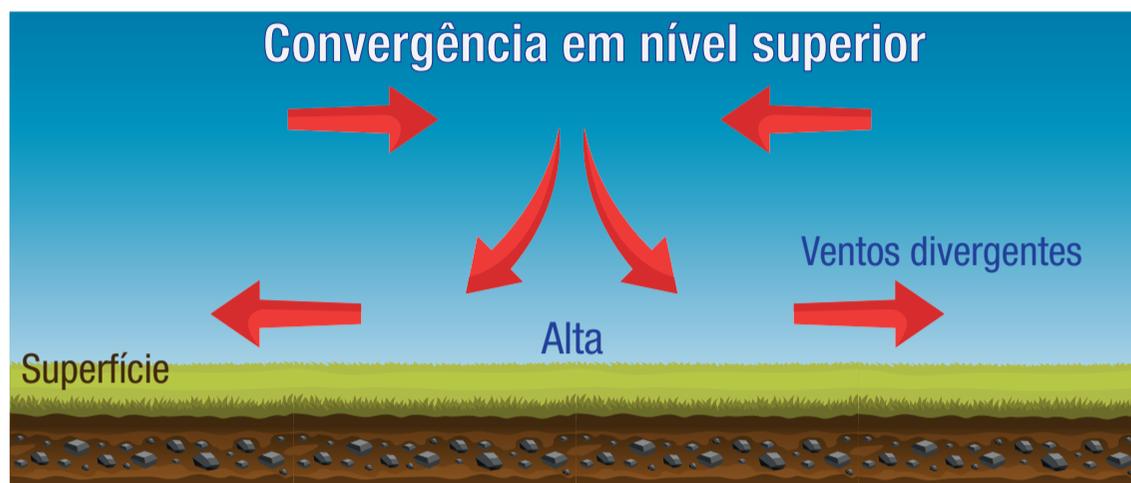
Fonte: Adaptado de Meteorologia Básica – Física/UFPR (2019).

O ar frio em altitude tende a escoar para as maiores latitudes, sendo desviada para a direita no HN e para a esquerda no HS pela *Força de Coriolis*. O deslocamento do ar frio, em altitude, ocorre do Equador até a latitude de 23° 27' de cada hemisfério (lembrando que muitos autores tratam essa latitude como 30°). Ao chegar nessa latitude o ar afunda, torna-se seco e aquece por compressão, numa proporção de 1 °C/100 m, fenômeno conhecido como **subsidiência** (termo é aplicado ao movimento descendente de fluxo de ar). A *subsidiência* favorece a formação da estabilidade atmosférica, resultando em poucas nuvens e ausência de chuva. Nesse caso, os voos são suaves pela inexistência de correntes convectivas, porém em grandes

altitudes a atuação de jatos (ventos fortes em altos níveis da atmosfera) geralmente ocasiona turbulências, devido ao cisalhamento do ar provocado por ventos com direções e velocidades distintas, em distâncias e níveis próximos. Outro problema que a estabilidade ocasiona é a formação de névoas e nevoeiros que restringem significativamente a visibilidade horizontal.

A Figura 4 apresenta, de maneira simplificada, a convergência de ventos em altos níveis, próxima a **Tropopausa**, e o afundamento do ar de altos níveis da atmosfera até a superfície, onde ocorre divergência pela atuação da alta pressão.

Figura 4 - Convergência de ventos em altitude e afundamento de ar frio e seco na atmosfera por meio das correntes descendentes.



Fonte: Adaptado de Meteorologia Básica – Física/UFPR (2019).

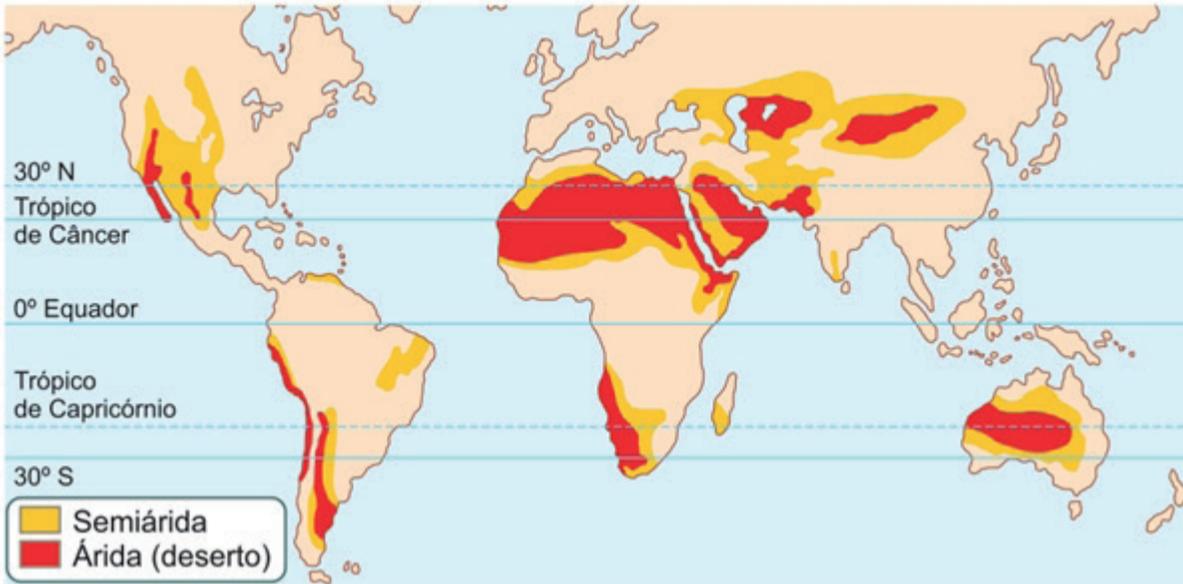
Como esse processo é persistente, resulta em estabilidade atmosférica predominante na latitude de 23°27' Sul (S) e Norte (N), Trópico de Capricórnio e Câncer, respectivamente.

O Trópico de Capricórnio passa pelos seguintes países: Brasil, Argentina, Paraguai, Chile, África do Sul, Moçambique, Namíbia, Madagascar, Botsuana e Austrália. No Brasil, o Trópico de Capricórnio atravessa os estados de São Paulo, Paraná e Mato Grosso do Sul. O Trópico de Câncer passa pelos seguintes países: México, Estados Unidos, Bahamas, Havaí, Egito, Argélia, Chade, Mauritânia, Líbia, Mali, Níger, Arábia Saudita, Bangladesch, China, Emirados Árabes, Índia, Myanmar, Omã e Taiwan.

O predomínio da estabilidade atmosférica sobre os Trópicos é o responsável pela existência atual dos grandes desertos. Os desertos do Atacama, na América do Sul; Namib, na África, Great Victoria, Great Sandy, Tanami, Simpson e Gibson, na Austrália estão localizados no Trópico de Capricórnio. No Trópico de Câncer encontra-se o Saara, o maior deserto quente do mundo, localizado na região norte da África. Para a aviação, operar em regiões desérticas ou próximo a elas é correr o perigo de ser atingido por Tempestades de Areia (Sand Storms) que se movimentam com muita rapidez e reduzem a visibilidade horizontal e vertical a ZERO. Outra situação é a ocorrência de temperaturas muito elevadas que reduzem a potência das turbinas em função da densidade do ar. Isso exige análise mais cuidadosa do peso total da aeronave (avião, combustível, passageiros, tripulantes e bagagens) a temperatura ambiente e a extensão da pista.

A Figura 5 mostra o efeito da estabilidade sobre os Trópicos que resultou na formação e manutenção dos desertos tropicais como o Saara, o Atacama, Kalahari e os australianos. Observe que todos estão em mesma latitude, seguindo a linha dos Trópicos.

Figura 5 – Efeitos da estabilidade na manutenção dos desertos tropicais

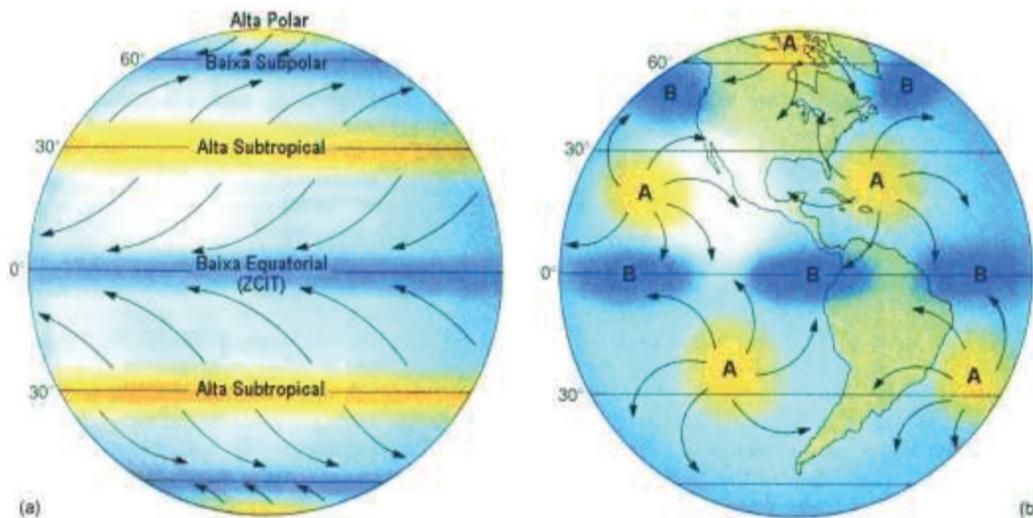


Fonte: Gabarito ENEM (2020, adaptado de SALGADO-LABOURIAL, M-L, 1994). Disponível em: <<https://descomplica.com.br/gabarito-enem/questoes/2019/primeiro-dia/no-hemisferio-sul-sequencia-latitudinal-dos-desertos-representada-na-imagem-sofre-uma-interruptao/>>. Acesso em: 22 de outubro de 2020.

O fluxo descendente de ar ao tocar a superfície da Terra sobre os Trópicos é deslocado em superfície para as grandes áreas ou Cinturões de baixa pressão dos Círculos Polares e para o Equador. Isso acontece porque o afundamento do ar nos Trópicos desenvolve sistemas de alta pressão, que no HS surge sobre o Pacífico, próximo à costa chilena; no Atlântico, entre o Brasil e a África do Sul. Essas altas são sistemas que atuam permanentemente e são as responsáveis pela manutenção do Cinturão de alta pressão sobre o Trópico de Capricórnio. No HN, a alta dos Açores é um exemplo de sistema que mantém a estabilidade permanente no Trópico de Câncer.

A Figura 6a mostra as áreas alongadas de altas pressões sobre os Trópicos e de baixas pressões sobre o Equador e os Círculos Polares. Na Figura 6b, os fluxos de ventos divergentes e anti-horários partindo das altas sobre o Trópico de Capricórnio para o Equador e para o Círculo Polar Antártico; e, no sentido horário e divergente, sobre o Trópico de Câncer para o Equador e para o Círculo Polar Ártico.

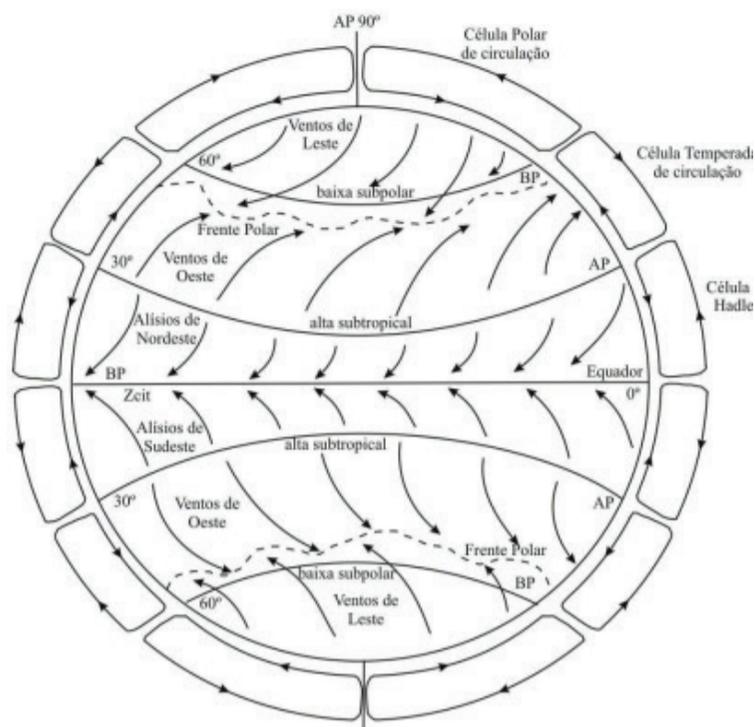
Figura 6 – Comportamento dos fluxos de ar no Hemisfério Sul e Norte



Fonte: Apostila de Meteorologia do curso de Física da UFPR. Disponível em: <<http://fisica.ufpr.br/grimm/aposmeteo/cap8/cap8-2.html>>. Acesso em 29 de outubro de 2020.

A Figura 7 mostra uma síntese da Circulação Geral da Atmosfera, com as células de Hadley, Ferrel e Polar; todas são modelos de circulação fechada da atmosfera terrestre. A célula de Hadley é formada a partir da elevação das correntes quentes e úmidas no Equador e a descida de ar frio e seco nos Trópicos. Entre os Trópicos e os Círculos Polares surgem as células de Ferrel, formadas a partir da elevação de ar nos Círculos Polares e a descida nos Trópicos, e as células Polares, originadas a partir da ascensão do ar nos Círculos Polares e a descida no Polos.

Figura 7 – Esquema da Circulação Geral da Atmosfera e a formação das células de Hadley, Ferrel e Polar



Fonte: TORRES; MACHADO, 2008 (adaptado de FORSDYKE (1969); RETALLACK (1977); STRAHLER (1982); TUBELIS E NASCIMENTO (1984) E AYOADE (2003).

A circulação Geral da Atmosfera é a responsável pelo surgimento de grandes áreas de instabilidade e de estabilidade e, em consequência, pela formação dos diversos tipos de clima sobre a superfície da Terra. O Capítulo 3 apresenta os diversos tipos de clima, suas localizações e as distintas condições climáticas dos sistemas meteorológicos, de temperatura, precipitação, umidade e nebulosidade.

# Tipos de clima

Os diversos climas são formados por condições de estabilidade ou de instabilidade, com seus respectivos tipos de tempo e nebulosidade característica. Assim, nos climas equatoriais e tropicais predominam as instabilidades com nebulosidade do tipo convectiva. Naqueles climas de maiores latitudes, dominam as estabilidades e a nebulosidade estratiforme.

A instabilidade ocorre quando há perturbações atmosféricas ocasionadas por sistemas instáveis. Segundo Monteiro (2007):

Os sistemas instáveis, de modo geral, estão inseridos nas massas de ar quentes e úmidas onde ocorre a ascensão do ar quente; podem também ser desenvolvidos pelo contraste térmico entre duas massas de ar com densidades diferentes. O tempo, de modo geral, é chuvoso e as temperaturas ficam estáveis (pequena amplitude térmica) devido a presença constante de grande quantidade de vapor d'água. (MONTEIRO, 2007, p. 55).

Lembrando de uma regra praticada na Meteorologia Aeronáutica de que toda nuvem que tem em seu nome a palavra cumulus, é nuvem de tempo instável: *Cumulus* (Cu), *Cumulonimbus* (Cb), *Alto cumulus* (Ac) e *Cirrocumulus* (Cc). Nesse caso, a instabilidade está associada com a presença de turbulência no interior da nuvem, já que é formada por correntes convectivas e apresenta maior desenvolvimento vertical em relação ao horizontal. A estabilidade ocorre quando há domínio dos sistemas de alta pressão, conforme Monteiro (2007)

Os sistemas estáveis são representados pelas altas pressões atmosféricas ou anticiclones e se caracterizam pela subsidência. Como o ar descendente é comprimido e aquecido, torna-se difícil a formação de nuvens e de precipitação, ou seja, os anticiclones geram tempo bom (MONTEIRO, 2007, p. 45).

Quando há formação de nuvem sob domínio de ar estável, esta apresenta maior desenvolvimento horizontal em relação ao vertical, como os *Stratus* (St), *Altostratus* (As), *Nimbostratus* (Ns) e *Cirrustratus* (Cs). Embora algumas nuvens como o *Nimbostratus* (Ns) sejam um tanto turbulentas, sua pouca espessura reduz esse efeito.

Para fins de climatologia aeronáutica, estudaremos os seguintes tipos de clima: Equatorial, Tropical, Subtropical, Temperado e Polar.

## Clima Equatorial

Localizado nas latitudes próximas à Linha do Equador (Amazônia, África e Indonésia), o clima equatorial apresenta temperaturas elevadas, com médias anuais de temperaturas mínimas entre 22 °C e 24 °C e de temperaturas máximas de 30 °C a 33 °C. Em geral, a amplitude térmica é pequena, porém, nos meses de chuva mais irregular (abril a setembro), a amplitude térmica é expressiva, com mínimas próximas aos 20 °C e máximas em torno dos 35 °C.

A Figura 8 apresenta o comportamento térmico das temperaturas mínimas, médias e máximas, respectivamente, ao longo do ano na cidade de Manaus-AM, localizada a 3° de Latitude Sul. Nela a variação térmica (amplitude) das temperaturas é pouco expressiva, porém nos meses mais secos chega a quase 10 °C.

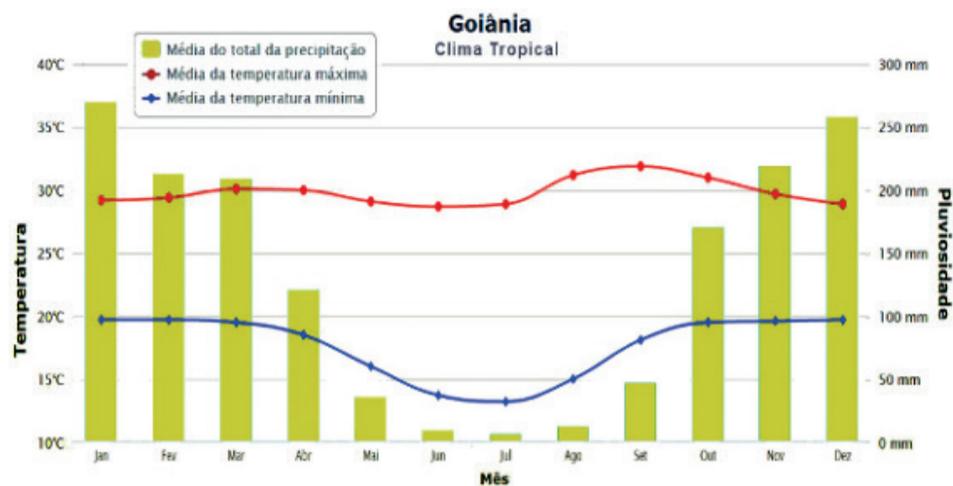
Figura 8 – Comportamento térmico das temperaturas mínimas, médias e máximas de Manaus/Am, conforme a média climática da série histórica de 1981 a 2010

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
T. Mín.	23,1	23,1	23,2	23,2	23,4	23	23,1	23,4	23,7	23,9	23,7	23,5
T. Méd.	26,3	26,3	26,3	26,4	26,6	26,7	27	27,6	28	28	27,6	26,9
T. Máx.	30,9	30,8	30,9	31	31,1	31,4	32,1	33,1	33,5	33,4	32,6	31,7

Fonte: Normais Climatológicas do Brasil – 1981/2010 – INMET.



Figura 9 – Comportamento climático das temperaturas mínimas e máximas e da precipitação em Luanda/Angola (8°S), representativos de clima tropical



	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
<b>T. Mín.</b>	23,3	23,9	23,9	23,9	22,8	20,0	18,3	17,8	19,4	21,7	22,8	23,3
<b>T. Máx.</b>	28,3	29,4	30,0	29,4	27,8	25,0	23,3	23,3	24,4	26,1	27,8	28,3
<b>Prec.</b>	25,4	35,6	76,2	116,8	12,7	1,3	0	1,3	2,5	5,1	27,9	20,3

Fonte: Sistema de Classificação Bioclimática Mundial e BBC Weather

## Clima Subtropical

O clima subtropical é uma transição entre o clima tropical e o temperado e ocorre em partes das Américas do Sul, do Norte, África e na Ásia.

Apresenta as quatro estações do ano bem definidas nas regiões distantes dos desertos que estão presentes, principalmente no HN. No decorrer do verão predominam as massas de ar tropicais e, no inverno, as polares. As estações do outono e primavera apresentam condições intermediárias, sendo que no outono as massas tropicais perdem intensidade, enquanto as polares intensificam-se gradualmente. Na primavera, as massas polares perdem intensidade e as tropicais intensificam-se também gradualmente.

Como é um clima de transição entre as condições climáticas tropicais e temperadas, apresenta tipos de tempo atmosférico tropical e temperado. Assim, no verão predomina a convecção com as trovoadas e pancadas de chuva de final de tarde e noite. Nesta época do ano, os temporais com chuva intensa, aglomerados de trovoadas (céu parcialmente nublado ou nublado de *Cumulonimbus* – Cb) ocorrem quando há formação de baixa pressão ou cavado invertido ou influência de frente fria. Nessas condições, os voos tornam-se desagradáveis devido à forte turbulência, formação de gelo e o risco da aeronave ser atingida por saraiva (granizo com 5 mm de diâmetro ou mais). Nos pousos e decolagens ocorrem as turbulências em baixo nível da atmosfera e a redução da visibilidade horizontal. As melhores condições de voo são verificadas nas madrugadas e manhãs, quando as condições atmosféricas ficam mais estáveis.

No **outono**, o processo convectivo deixa de existir e as instabilidades, quase sempre, ocorrem associadas as frentes frias que são os sistemas mais frequentes dos climas subtropicais nesta época do ano. Os voos no interior das frentes irão depender da maior ou menor instabilidade presente nos sistemas atmosféricos. Caso uma frente fria apresente forte instabilidade, haverá muitos *Cumulonimbus* (Cb) embutidos provocando turbulências severas e formação intensa de gelo na aeronave. Nas frentes frias mais lentas, que apresentem predomínio de nebulosidade estratificada, os voos tendem a ocorrer por instrumentos e os pousos e decolagens dificultados pelo teto baixo por *Stratus* (St) e a visibilidade horizontal reduzida por névoas, nevoeiros e chuviscos. Após a passagem das frentes frias, as condições atmosféricas ficam associadas aos sistemas de alta pressão que são os centros de ação das massas de ar frio. Esses sistemas deixam o tempo estável com poucas nuvens ou céu claro, ar úmido nas noites, seco nas tardes e temperaturas baixas, que favorecem a formação de geadas. As condições de voo são suaves, assim como os pousos e as decolagens. No entanto, em algumas madrugadas e início das manhãs há formação de nevoeiros que deixam os aeródromos fechados para pouso e decolagem por várias horas.

No **inverno** predominam os sistemas de alta pressão, com temperaturas baixas, geadas e tempo estável, com poucas nuvens ou céu claro. A neve é um fenômeno frequente no inverno tanto do HS quanto do HN. No HS, as serras gaúchas e catarinenses e no HN, as províncias chinesas próximas ao Planalto do Tibet, são regiões de ocorrência de neve nesta época do ano, inclusive com ocorrência de nevascas. Como as latitudes subtropicais são regiões frontogenéticas (onde há formação de frentes frias), pelo menos uma vez por semana as condições de tempo são dominadas pelas frentes frias, com as mesmas condições de voo descritas para o outono. Os nevoeiros noturnos são frequentes nesta época do ano, mantendo os aeródromos fechados no decorrer das noites e início das manhãs. Em situações de ar mais úmido, o fechamento de alguns aeródromos por nevoeiros segue noite e dia.

A **primavera** é a estação do ano em que as condições atmosféricas tornam mais instáveis. Diferente do verão em que as instabilidades com trovoadas e chuvas ocorrem na tarde e noite, na primavera as instabilidades são mais frequentes nas madrugadas e manhãs. Normalmente surgem nas áreas de baixa pressão com apenas um pequeno núcleo de *Cumulonimbus* (Cb) e horas depois esse núcleo torna-se um Sistema Convectivo de Mesoescala (SCM), originando fortes temporais com várias trovoadas, chuva intensa, ventania e granizo. Essa condição é mais instável e mais frequente na primavera de anos de El Niño, com destaque para a região do Mar do Caribe, que devido a temperatura do Atlântico Norte ser mais elevada, favorecendo a formação de tempestades tropicais, com ventos intensos de mais de 100 km/h e chuvas torrenciais. Ao contrário, em anos de La Niña, o desenvolvimento dessas tempestades é raro. As condições atmosféricas são melhores para voo nesta época do ano.

Para o enfrentamento das condições de instabilidade é preciso muita cautela por parte do piloto:

- a. Verificar junto ao órgão de meteorologia aeronáutica a tendência de ampliação ou enfraquecimento do sistema.
- b. Qual a direção do deslocamento das tempestades.
- c. Analisar os METAR ou SPECI (boletins meteorológicos oriundos das observações do tempo nos aeródromos) do destino e alternativa.
- d. Analisar outras ferramentas importantes para o planejamento de voo, como os TAF e as Cartas SIGWX (Significant Weather Chart).

Países como a Argélia, Egito e Marrocos sofrem muita influência do Deserto do Saara e apresentam enormes amplitudes térmicas e poucas instabilidades.

## Clima Temperado

O clima temperado localiza-se entre os Trópicos (23° 27') e os Círculos Polares (66° 33'), tornando-se mais autêntico a partir da latitude de 30°, quando apresenta as características sazonais ainda mais distintas em relação ao clima subtropical. Nestas condições, esse tipo de clima pode ser encontrado na América do Norte (EUA e Centro-Sul do Canadá), Europa, boa parte da China e da Rússia e o Extremo-Sul da Groelândia, localizados no HN. No HS, no Extremo-Sul do Rio Grande do Sul, no Uruguai e Centro-Sul da Argentina e Chile.

Nessas latitudes, o Clima Temperado apresenta grande amplitude térmica anual com verões quentes e invernos gelados e chuvas mais concentradas no verão. Normalmente os verões registram temperaturas médias por volta dos 20°C e os invernos, médias negativas, com variações em torno de -5°C a -15°C. As chuvas de verão são influenciadas por sistemas de baixa pressão e frentes frias e quase sempre de intensidade fraca a moderada. A convecção, com sua característica de chuva em forma de pancadas associadas a trovoadas, é muito ocasional. As chuvas de invernos são frontais e por influência de jatos, e ocorrem em estado sólido (chuva congelada). A neve é comum e, em situação em que intensos sistemas de alta pressão declinam consideravelmente, as temperaturas e a atmosfera apresenta umidade elevada, ocorrem nevascas que podem persistir por vários dias, mantendo os aeródromos inoperantes.

## Clima Polar

O Clima Polar localiza-se entre os Círculos Polares (66° 33') e o Polo Geográfico (90°). A Antártida, Norte da Europa, extremo norte do Canadá, norte do Alasca, Sibéria, Groenlândia e norte da Península da Escandinávia são regiões do planeta que estão sob o domínio do Clima Polar. Estas regiões estão cobertas de gelo e neve na maior parte do ano. O inverno é muito rigoroso com temperaturas médias por volta dos 10 a 25°C negativas e, normalmente, ocorrem nevascas. O verão é curto e apresenta temperaturas médias positivas que variam de 5 a 15°C, aproximadamente. O trimestre junho, julho e agosto é o mais quente no HN e o de dezembro, janeiro e fevereiro no HS. A Antártida é um grande continente montanhoso coberto de gelo e a região polar do Norte está coberta pelo Oceano Ártico, sempre gelado. Na verdade, é uma vasta planície gelada, porém durante um breve período do verão as temperaturas ficam elevadas e ocasionalmente chegam aos 30°C.

Nos Polos, as melhores condições para operações aéreas ocorrem em meados do verão e inverno e as piores no outono e primavera, devido à presença de frentes frias bem organizadas, que favorecem a ocorrência de intensas nevascas, resultando em teto baixo, visibilidade muito reduzida e muito gelo acumulado. As nuvens apresentam estrutura semelhante aquelas das latitudes médias, porém são mais baixas em todos os estágios: baixo (*Stratus* – *St* e *Stratocumulus* – *Sc*), médio (*Altostratus* – *As*, *Nimbostratus* – *Ns*) e alto (*Cirrus* – *Ci*, *Cirrocumulus* – *Cc*, *Cirrostratus* – *Cs*). Quase sempre o outono é mais nublado em relação à primavera. No inverno, as condições de voo são boas, com visibilidade excelente e sem nuvens, devido a secura do ar sobre o gelo, provocada pelos sistemas de alta pressão. No entanto, ocorrem tempestades frequentes associadas a passagem de sistemas frontais, com nuvens muito baixas, visibilidade reduzida pela neve soprada por ventos moderados e turbulências. No verão, as frentes frias são mais fracas, logo as tempestades com ventos mais fortes, teto baixo e visibilidade reduzida diminuem suas ocorrências. No entanto, como há mais umidade, ocorrem mais nuvens e nevoeiros em áreas extensas e aumenta a possibilidade de chuva. Durante as tardes, nas regiões do interior, pode ocorrer a formação de nuvens *Cumulus* (*Cu*) e raramente *Cumulonimbus* (*Cb*).

Abordamos neste capítulo a organização de vários climas da superfície da Terra e o modo como interferem na Aviação. A seguir estudaremos os climas brasileiros e suas particularidades provocadas especialmente por fatores estáticos do clima, como a latitude e a longitude.

## Clima no Brasil

# Os climas do Brasil

O território brasileiro possui uma extensão de 8.511.965 km<sup>2</sup>, abrangendo uma diversidade de formas de relevo como planaltos, planícies, depressões e montanhas. Além da geomorfologia do relevo, no Brasil atuam diversas massas de ar que, ao interagir com certas formas de relevo criam regiões climáticas relativamente homogêneas. Essas regiões são analisadas por distintas classificações climáticas, sendo que boa parte trata o clima como um estado médio e de caráter estático. *Arthur Strahler*, seguindo uma vertente da dinâmica atmosférica, desenvolveu uma classificação climática que tem com base a dinâmica das massas de ar. Como as condições de tempo que afetam a aviação surgem no interior das massas de ar e nas áreas de contato entre elas, com características distintas, abordaremos a classificação climática do país através dos seguintes climas: Equatorial, Tropical e Temperado, representados na Figura 10. Ressalta-se que o clima Temperado até a latitude de 30°S será considerada como clima Subtropical.

Figura 10 – Climas Zonais no Brasil



Fonte: adaptado, IBGE Educa (adaptado de NIMER, 1979). Disponível em: <<https://educa.ibge.gov.br/jovens/conheca-o-brasil/territorio/20644-clima.html>>. Acesso em: 22 de outubro de 2020.

## Equatorial

É um clima que apresenta um período de tempo instável, com umidade elevada e chuvas diárias, seguido de outro de estabilidade, com ar mais seco e chuvas irregulares. Abrange os Estados do Amazonas, Roraima, Rondônia, Mato Grosso, Pará e Amapá.

Os meses de janeiro, fevereiro, março e abril são os mais úmidos, e os de julho, agosto e setembro, os mais secos, na maior parte da região. A exceção ocorre em Roraima, que registra chuvas mais abundantes de maio a agosto, com pico máximo em junho, e irregulares de outubro a março, com menor média mensal em fevereiro. Isso ocorre devido a posição da Intertropical Convergence Zone (ITZC) que durante o verão do HS se localiza em torno de 5° de latitude sul, deixando Roraima em condições de estabilidade atmosférica.

Nos meses mais úmidos é comum a formação de nevoeiros na madrugada que se estendem em boa parte da manhã. Este fenômeno também pode ser observado quando associado a nuvens baixas do tipo *Stratus* (St), após fortes pancadas de chuva com trovoadas, de ocorrência especialmente à tarde. Quando há formação de baixa pressão, geralmente desenvolvem-se vários núcleos de *Cumulonimbus* (Cb, que atingem grandes áreas da Amazônia. Essas instabilidades se deslocam de leste para oeste e duram vários dias. Os *Cumulonimbus* (Cb) geralmente alcançam 15.000 m de altitude, aproximadamente 50.000 pés, forçando os voos a realizarem grandes desvios da rota e prejudicando as operações de pousos nos aeródromos da região, devido à turbulência e, principalmente, à restrição da visibilidade horizontal. Nos meses mais secos, a nebulosidade é mais esparsa, geralmente formada por pequenos *Cumulus* (Cu) e *Alto cumulus* (Ac), a chuva ocorre irregularmente e há grande amplitude térmica diária. Portanto, nesse período, ocorrem dias quentes e secos intercalados por outros com pancadas de chuva oriundas de nuvens do tipo *Cumulus* (Cu), como as *Cumulus congestus* (Cu con) e/ou *Cumulonimbus* (Cb). As condições de pouso e decolagem dos voos em rota tornam-se excelentes.

## Tropical

O clima Tropical típico, que apresenta um período chuvoso e outro seco, ocupa uma grande área do território, atingindo os estados de Mato Grosso do Sul, Mato Grosso, Minas Gerais, Goiás, São Paulo, Tocantins, norte do Paraná, oeste da Bahia e sul do Piauí, Maranhão e Pará.

As condições climáticas apresentam-se instáveis nos meses de verão, tendo como sistema atmosférico mais importante na formação de nuvens a convecção. A convecção está intimamente relacionada com o comportamento da ITZC. Nos anos em que a ITZC fica mais afastada do HS a convecção é fraca e ocorre pouco desenvolvimento de nuvens convectivas, como os *Cumulonimbus* (Cb). Ao contrário, naqueles anos em que a ITZC se aproxima do HS, as instabilidades são frequentes, especialmente nas tardes. Com maior instabilidade favorecida pela posição da ITZC, por vezes, ocorre a formação da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), que é uma área de nebulosidade organizada a partir do transporte de calor e umidade da Amazônia para o Atlântico Sul, geralmente onde se encontra uma frente estacionária, no litoral da região Sudeste. Na ZCAS, a nebulosidade é intensa e a chuva apresenta-se persistente, porém a instabilidade tende a ser mais severa no período da tarde, com formações de núcleos de *Cumulonimbus* (Cb), chuva forte e, por vezes, granizo. Voar dentro de uma nebulosidade associada a ZCAS é estar quase todo tempo sofrendo com turbulências e formação de gelo. Os *Cumulonimbus* (Cb) estão sempre embutidos nas camadas de nuvens, o que exige do piloto muita atenção.

No clima Tropical típico a estabilidade começa a se intensificar a partir de abril e segue até setembro, sendo que os meses mais secos são junho, julho e agosto. Neste período, os sistemas de tempo instável se afastam e os de alta pressão dominam a região, especialmente um sistema de alta pressão atmosférica localizado a 500 hPa, equivalente a 5.500 metros de altitude, que funciona como um bloqueio atmosférico a entrada de sistemas de tempo instável, na região. Voar nestas condições de estabilidade é confortável, pois há pouca nebulosidade e não há ventos fortes em altitude. As dificuldades ocorrem entre a superfície e a altitude de 4.000 pés, aproximadamente, no trimestre mais seco. A forte estabilidade e a ação do homem através das queimadas criam um cenário de muita fumaça e material particulado em suspensão que reduzem a visibilidade tanto na horizontal, quanto na vertical. Quase sempre são registradas nos boletins meteorológicos da região as siglas HZ e FU, informando da presença de visibilidade reduzida por névoa seca ou fumaça, respectivamente.

Além do clima tropical típico, existe o tropical Atlântico, presente nas regiões litorâneas do Sudeste e Nordeste, apresenta grande influência da umidade vinda do Oceano Atlântico pelos ventos alísios de sudeste e de nordeste. A umidade vinda do oceano favorece a formação de nuvens predominantemente *cumuliformes*, do tipo *Cumulus* (Cu), que ocasionalmente trazem chuva para a região no período da tarde. Nessas condições os voos são tranquilos e a turbulência, quando ocorre, é de fraca intensidade. Além das condições de tempo favorecidas pelos alísios, as frentes frias são as grandes responsáveis pelas chuvas melhor distribuídas que ocorrem no litoral do Rio de Janeiro, Espírito Santo e Bahia. Sob a influência das frentes frias as condições de voo são quase sempre desagradáveis, devido à turbulência e a formação de gelo. O teto baixo e a visibilidade reduzida pela chuva causam muitos transtornos para as operações de pousos quando as frentes frias se

tornam estacionárias por dois a três dias no litoral. As condições atmosféricas das demais regiões litorâneas estão associadas, em parte, aos alísios de sudeste e às instabilidades provenientes da ITCZ. Essas são bem instáveis, com aglomerados de *Cumulonimbus* (Cb) e chuvas intensas que podem ocorrer a qualquer momento do dia entre os meses de fevereiro e maio, especialmente no Litoral Norte do Nordeste

Outro fenômeno que traz muita instabilidade para o litoral do Nordeste, especialmente para os estados do Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas e Sergipe, são as “ondas de leste”. Essas ondas de leste são, segundo Vaz (2011), distúrbios ondulatórios de leste que frequentemente atingem a Costa Leste do Nordeste do Brasil e provocam eventos de precipitação intensa ao longo de toda a faixa costeira. Essa precipitação anômala ocorre em forma de fortes pancadas procedentes de intensa nebulosidade de *cumulus* e *cumulonimbus* que deixam a visibilidade horizontal muito reduzida por um período de três dias, aproximadamente principalmente no outono e inverno.

## Subtropical

O clima subtropical abrange os estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e partes do Paraná, São Paulo e Mato Grosso do Sul. Pela sua posição latitudinal, é um clima que recebe atuação de algumas massas de ar que atuam no Brasil, principalmente as tropicais e polares e, por isso, apresenta a maior diversidade de condições de tempo em relação as demais regiões climáticas do país. A frente fria é o sistema meteorológico que mais influencia as condições de tempo no decorrer do ano (MONTEIRO, 2007, p. 55). Formada a partir do avanço das massas de ar frio sobre as quentes, além de gerar instabilidades com muitas nuvens em vários níveis da Troposfera, chuva, trovoadas e, ocasionalmente queda de granizo, favorece a organização de outros sistemas como o cavado invertido, a baixa pressão e a ZCAS.

No verão, representado pelos meses de dezembro, janeiro e fevereiro, o processo convectivo é o principal fator organizador de instabilidades. Normalmente, no período da manhã o tempo é estável com presença de algumas nuvens, especialmente pequenos *Cumulus* (Cu) e *Alto cumulus* (Ac), e no decorrer da tarde e início da noite, aproximadamente entre 19 e 21 UTC, favorecidas pelo calor, as instabilidades aumentam e os pequenos *Cumulus* (Cu) vão se transformando em *Cumulus congestus* (Cu con) e passam ao estágio de *Cumulonimbus* (Cb), representada na Figura 11, quase sempre de maneira isolada. No entanto, quando há formação de baixa pressão e, principalmente, quando ocorrea passagem de uma frente fria pelo oceano, a convecção é intensificada e surgem aglomerados de *Cumulonimbus* (Cb), gerando condições favoráveis a ocorrência de temporais com chuva forte, trovoadas, rajadas de ventos e, eventualmente queda de granizo.

Figura 11 – Aeronave cruzando próximo a aglomerado de *cumulonimbus*

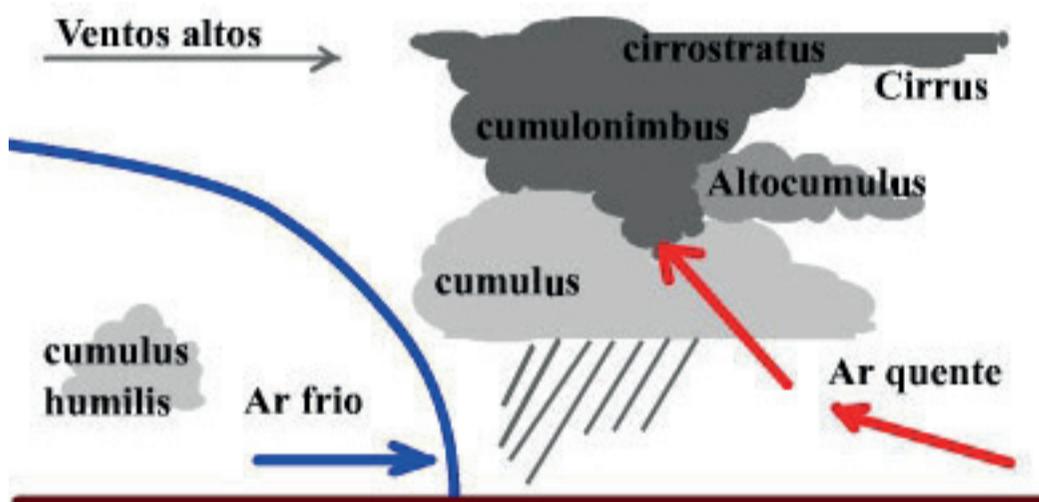


Fonte: <[http://pt.gde-fon.com/download/nuvem-negra-de-trovoada\\_avio\\_cu\\_tempestade/65059/2560x1600](http://pt.gde-fon.com/download/nuvem-negra-de-trovoada_avio_cu_tempestade/65059/2560x1600)>. Acesso em: 18 de fevereiro de 2019

No outono (março, abril e maio), as instabilidades formadas a partir da convecção atuam somente na primeira quinzena de março. A partir da segunda quinzena de março, seguindo durante o inverno (junho, julho, agosto), as instabilidades ocorrem associadas à passagem de frentes frias, a formação de cavados invertidos e baixas pressões, sendo reforçadas por sistemas em altitude, como os jatos, os cavados e os vórtices ciclônicos. Normalmente, há passagem de uma frente fria uma vez por semana, pelo Sul do Brasil, conforme Oliveira (1986).

A dinâmica com as frentes frias funciona da seguinte maneira: durante dois a três dias que antecedem a chegada da frente fria, as condições atmosféricas da região de abrangência do clima subtropical ficam sob domínio do Anticiclone Semifixo do Atlântico Sul (ASAS), com ventos soprando do quadrante norte, temperaturas em elevação, umidade relativa do ar elevada na madrugada e baixa a tarde, e pressão atmosférica em declínio. Essa dinâmica atmosférica é conhecida como “pré-frontal” e a nebulosidade de ocorrência mais frequente é do tipo *Stratocumulus* (Sc). Com a aproximação, começam a surgir a nebulosidade *Cirrus* (Ci), *Cirrostratus* (Cs) e *Cirrocumulus* (Cc), indicando a presença de ventos fortes em altitude (jatos). Na chegada da frente fria, as nuvens de maior desenvolvimento vertical, os *Cumulus* (Cu) e *Cumulonimbus* (Cb) são as primeiras a se manifestar com chuva mais forte, rajadas de ventos e, eventualmente, queda de granizo, observe na Figura 12.

Figura 12 - Disposição das nuvens associadas a uma frente fria, ressaltando a formação de *Cumulonimbus* (Cb) no encontro das massas de ar quente e frio.



Fonte: <[https://lh3.googleusercontent.com/-5mjVqFiukB8/VZ7saX5AmBI/AAAAAAAAAGKA/0U0Fhcrrhjo/s391-lc42/Nuvens\\_Fria.jpg](https://lh3.googleusercontent.com/-5mjVqFiukB8/VZ7saX5AmBI/AAAAAAAAAGKA/0U0Fhcrrhjo/s391-lc42/Nuvens_Fria.jpg)>. Acesso em: 21 de abril de 2019.

O momento de chegada da frente fria é de muita atenção do piloto quando está fazendo procedimentos para pouso ou decolagem, devido à restrição da visibilidade horizontal, da turbulência em baixos níveis da atmosfera e a superfície, a queda de granizo e principalmente a possibilidade de ocorrer fortes rajadas descendentes, caracterizando um microburst ou microexplosão, conforme Migão e Oliveira (2011, p. 4). Para as subidas e descidas e para os voos em rota no interior da massa de nuvens, atenção em especial as turbulências e a formação de gelo. Em voos em grandes altitudes, acima de 20.000 pés, o cuidado é com a Clear Air Turbulence (CAT) provocada pelo cisalhamento do ar na base da corrente de jato.

Após a passagem da rampa frontal, em condições pós-frontal, o tempo vai ficando gradativamente estável; a nebulosidade que passa a predominar é o *Stratus* (St), *Stratocumulus* (Sc) e *Altostratus* (As), e as chuvas ficam mais fracas. Nesta etapa, as turbulências ficam mais fracas e o gelo predominante é do tipo escarcha. Em grandes altitudes, nessa condição, os jatos se mantêm bem ativos. Após a passagem da frente fria, que demora em torno de 12 a 24 horas para se deslocar sobre um determinado aeródromo, as condições de tempo passam a ser influenciadas por uma massa de ar polar. A massa de ar frio, tendo como centro de ação um anticiclone ou alta pressão, deixa o tempo estável e seco, favorecendo a ocorrência de dias com poucas nuvens ou céu claro, grande amplitude térmica, com temperaturas mínimas ao amanhecer e em rápida elevação durante o dia, umidade alta na madrugada e baixa a tarde. Em massas de ar frio muito intenso, ocorre geadas entre a madrugada e as primeiras horas da manhã. Um fenômeno que se forma nesta época do ano, o outono, em condições pós frontal e que causa muitos transtornos para a aviação, é o nevoeiro. O nevoeiro restringe a visibilidade horizontal a menos de 1.000 metros e a vertical a poucos metros, sendo que por vezes o céu fica obscurecido.

A primavera é a época do ano em que as massas de ar frio perdem intensidade e as tropicais passam a influenciar as condições de tempo. As frentes frias começam a se deslocar pelo oceano e se ligam a “Baixa do Chaco”, sistema que se forma em uma região descrita por Nimer (1979) como uma estreita zona baixa, quente e árida, a leste dos Andes e ao sul do Trópico, que corresponde ao Chaco argentino-paraguaio. A Baixa do Chaco tem uma importância fundamental na ligação da frente fria com as instabilidades vindas das baixas latitudes favorecidas pelo jato (MONTEIRO, 2007). Na verdade, parte da umidade e calor da Amazônia é transportada pelos Jatos de Baixos Níveis (JBN) e a Baixa do Chaco é uma fonte receptora, favorecendo a formação de instabilidades em si e distribuindo para a frente fria, sobre o oceano Atlântico. Nesse caso, as condições de tempo são muito instáveis, com núcleos de cumulonimbus, chuvas intensas, rajadas de ventos em superfície e queda de granizo, especialmente sob o Paraguai, oeste do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina e sudoeste do Paraná. Esses temporais têm início na madrugada e se mantêm bem ativos até as primeiras horas da manhã. Nesse período, sob domínio desses temporais, as operações de pousos e decolagens no Paraguai, e de alguns aeroportos brasileiros, como o de Passo Fundo/RS, Chapecó/SC, Foz do Iguaçu e Cascavel/PR e Ponta Porã/MS tornam-se perigosas. Além dos pousos e decolagens, os voos em rota são afetados, devido a turbulência e a formação de gelo. Esse foi o caso do voo da LATAM, que partiu de b a formação de outros tipos de nuvens e, por vezes, de Cumulonimbus (Cb).

No próximo capítulo vamos estudar as massas de ar que atuam na América do Sul. Veremos que o efeito da latitude, longitude, relevo, continentalidade e maritimidade é muito importante para a determinação física de cada massa de ar.

# As massas de ar atuantes na América do Sul

Massas de ar são definidas como um grande volume de ar com características “homogêneas” no plano horizontal e em relação à temperatura e à umidade ou vapor d’água. Uma massa de ar se estende sobre uma grande área, geralmente de milhares de quilômetros.

Figura 13. Posição aproximada das massas de ar atuantes na América do Sul



Fonte: TORRES; MACHADO, 2008 (adaptado de FORSDYKE, 1969; TUBELIS, NASCIMENTO, 1984 E NIMER, 1989)

Como o ar se aquece, não através da radiação emitida pelo sol, mas sim pelo contato com a superfície terrestre, uma camada de ar na baixa Troposfera ao permanecer acima de uma determinada superfície, por um período de tempo suficiente para adquirir as características físicas desta superfície, pode ser considerada uma massa de ar, e a superfície passa a ser a região de origem da referida massa de ar. A região de origem é o fator essencial determinante das propriedades iniciais de uma massa de ar, que poderá ser tanto polar como tropical, e estes dois tipos são subdivididos em continentais e marítimas.

As massas de ar que se desenvolvem em sistemas de alta pressão estagnadas das regiões polares são caracterizadas por baixas temperaturas que adquirem naquele lugar, em consequência são massas de ar frio. Aquelas que se desenvolvem sobre os trópicos são mais aquecidas e, portanto, são massas de ar quente.

As massas de ar que se originam sobre oceanos normalmente possuem mais vapor d’água em suas camadas mais baixas, são as massas de ar úmidas ou marítimas. Por outro lado, aquelas que se originam sobre áreas de terra são relativamente secas, e são chamadas de massas de ar secas ou continentais.

Existem outros fatores que modificam as massas de ar como a vegetação, o solo e o relevo. O relevo provoca modificações locais muito sensíveis nas massas de ar pois funciona como forçante na elevação do calor e umidade, quando em condições de barlavento e, em situação de sotavento, aumenta a estabilidade com a descida do ar.

Na América do Sul as massas de ar que atuam durante o ano são: a Massa Equatorial Continental (mEc), a Massa Tropical Atlântica (mTa), a Massa Tropical Continental (mTc) e a Massa Polar (mP); representadas na Figura a seguir.

## Massa Equatorial Continental (mEc)

Esta massa de ar, apesar de ser continental, é úmida, quente e instável, devido sua fonte de origem, que é a região Amazônia Ocidental, ou conforme Rodrigues e Monteiro (2008), ocorre na região de convergência dos alísios, nas terras baixas do Equador ou proximidades. Está intimamente relacionada com a posição da ITCZ, onde forma-se uma grande área de ventos fracos conhecida como Doldrums. Alcança sua máxima abrangência no HS, entre os meses de outubro e março, e influencia as condições climáticas do Peru, Bolívia, Paraguai, Uruguai e norte da Argentina. No Brasil, sua influência atinge a Amazônia e as regiões Centro-Oeste, Sudeste e Sul. No HN, sua maior abrangência ocorre nos meses de maio a agosto e atinge a Colômbia, Venezuela, Guiana, Suriname, Guiana Francesa e o estado de Roraima, no Brasil. Como é uma massa de ar instável, sua manifestação ocorre através de temperaturas elevadas, umidade relativa do ar alta e nuvens do tipo convectivas (Cumulus – Cu e Cumulonimbus – Cb), formadas geralmente no período da tarde e se estendem até a noite, com pancadas de chuva, descargas elétricas e ocasionalmente rajadas de vento e granizo.

## Massa Tropical Atlântica (mTa)

Existem duas massas de ar oceânicas, quentes e úmidas que atuam no Brasil. Uma origina-se no Atlântico Sul, tendo como centro de ação o Anticiclone Semifixo do Atlântico Sul, localizado no Trópico de Capricórnio, entre a América do Sul e a África. A outra, a mTa, tem como centro de ação o Anticiclone Semifixo do Atlântico Norte, nas proximidades das Ilhas dos Açores. Esses centros de ação ou alta pressão dão origem aos ventos predominantes ou alísios que fluem dos Trópicos para o Equador.

A mTa do Atlântico Sul, através do seu anticiclone, tem atuação durante o ano nos estados brasileiros da Bahia, Tocantins, Mato Grosso, Goiás, Minas Gerais, Mato Grosso do Sul, Espírito Santo, Rio de Janeiro, São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, no Paraguai, norte da Argentina e Uruguai. No litoral do Nordeste, Sudeste e Sul, os ventos que sopram do oceano transportam umidade e favorecem a presença de muitas nuvens e, bastante chuva no verão, conforme Mendonça e Danni-Oliveira (2007). No interior dessas regiões, nos demais estados brasileiros e nos outros países, a ação da mTa é no sentido de transportar calor e favorecer a convecção tropical, responsável pela formação de nebulosidade convectiva que traz as chuvas no decorrer da tarde e início da noite, típicas de verão. Nas demais épocas do ano a mTa atua como forçante na gênese e manutenção das instabilidades associadas aos sistemas de tempo instável, principalmente as frentes frias.

A mTa do Atlântico Norte, através do Anticiclone dos Açores, tem atuação durante o ano nos estados do Rio Grande do Norte, Ceará e Maranhão, com destaque para o mês de julho, conforme Kayano e Andreoli (2009). Sua presença é percebida através dos ventos constantes de leste a nordeste e na formação de nebulosidade *cumuliforme* do tipo *cumulus* de bom tempo. As chuvas associadas a essa mTa são escassas e de ocorrência mais litorânea, na maior parte do ano. No período mais chuvoso desses estados nordestinos (fevereiro a abril), a mTa do Atlântico Norte tem um papel fundamental na organização e posição da ITCZ, que é o sistema responsável pelas fortes chuvas que atingem o Rio Grande do Norte, o Ceará e o Maranhão. Se o Anticiclone se posicionar mais ao norte em relação a sua posição normal, provocará deslocamento da ITCZ para norte e, por outro lado, se ficar mais ao sul, a ITCZ acompanhará esse deslocamento.

## Massa Tropical Continental (mTc)

É uma massa de ar quente e seca que tem sua origem em uma região descrita por Nimer (1979) como uma estreita zona baixa, quente e árida, a leste dos Andes e ao sul do Trópico, que corresponde ao Chaco argentino-paraguaio. A mTc se espalha pelo Paraguai, e pelos estados do Sul, do Centro-Oeste, estado do Tocantins, interior de São Paulo, Minas Gerais, Bahia, Piauí, Maranhão, Pará e Rondônia, quando há condições persistentes de tempo muito estável, apresentando amplitude térmica alta, umidade relativa do ar muito baixa, presença de poucas nuvens e sem registro de chuva. De acordo com Monteiro (2007, p. 66):

“Enquanto a mTc estiver atuando, o ar continuará seco e a persistência dessa estabilidade resultará em estiagens, principalmente no interior do Sul do Brasil.”

A estabilidade provoca muita nevoa e a nebulosidade convectiva quando se forma não tem umidade suficiente para provocar chuva, porém quando ocorre precipitação isolada, ela não chega ao solo devido a secura do ar, fenômeno conhecido como “virga”. Sua atuação é máxima no inverno do interior do Brasil e no Sul do Brasil, Paraguai e norte da Argentina, quando ocorrem bloqueios atmosféricos, onde os sistemas instáveis como as frentes ficam semi-estacionárias ao sul da latitude de 30°S.

## Massa Tropical Pacífica (mTp)

A Massa de ar Tropical Pacífica tem como centro de ação o Anticiclone Semifixo do Pacífico Sul e atua durante o ano em boa parte do litoral chileno. A mTp é muito estável devido a subsidência e a influência da Corrente de Humboldt no transporte das águas frias subantárticas, que através dos ventos oeste e sudoeste, favorecem a advecção de umidade e a formação de nebulosidade para a região costeira, conforme PNUMA - GEO COPIAPÓ, 2009. A nebulosidade predominantemente formada de Stratus (St) e Stratocumulus (Sc) é mais intensa durante a noite e início da manhã. No decorrer do dia o céu tende a ficar de parcialmente nublado a claro. Apesar da nebulosidade constante a chuva não ocorre devido à forte estabilidade provocada pelo Anticiclone. Conforme Mendonça e Romero (2008), as chuvas são causadas exclusivamente por frentes frias. O nevoeiro é um fenômeno muito presente na região costeira e oceano sob domínio da mTp, sobretudo no inverno.

## Massa Polar

Figura 14: Esquema representando os centros de ação das massas de ar da América do Sul.



Fonte: TORRES; MACHADO, 2008 (adaptado de MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2007)

A massa de ar polar tem como centro de ação o Anticiclone que migra de latitudes altas para os trópicos, passando do Pacífico para o continente Sul-Americano em torno dos 55° S no verão, e 40° S no inverno, conforme Monteiro e Furtado (1995). Quando sua trajetória é sobre o Atlântico, a massa é conhecida por Massa de ar Polar Atlântica (mPa) e avança para norte até ser assimilada pela Massa Tropical Atlântica (MENDONÇA e DANNI-OLIVEIRA, 2007). Essa trajetória ocorre durante o ano, sobretudo no verão, e quando o Anticiclone está nas proximidades do litoral do Uruguai e Sul do Brasil, ocasiona ventos frios, úmidos e fortes, de sul a sudeste, que transportam umidade e favorecem a formação de nebulosidade estratificada com precipitação leve e continua do tipo chuvisco no litoral de Santa Catarina (MONTEIRO e FURTADO, 1995).

“[...] nos invernos mais rigorosos, a mPc chega a declinar as temperaturas no Sudeste, Centro-Oeste e sul da Amazônia provocando a “friagem da Amazônia”.

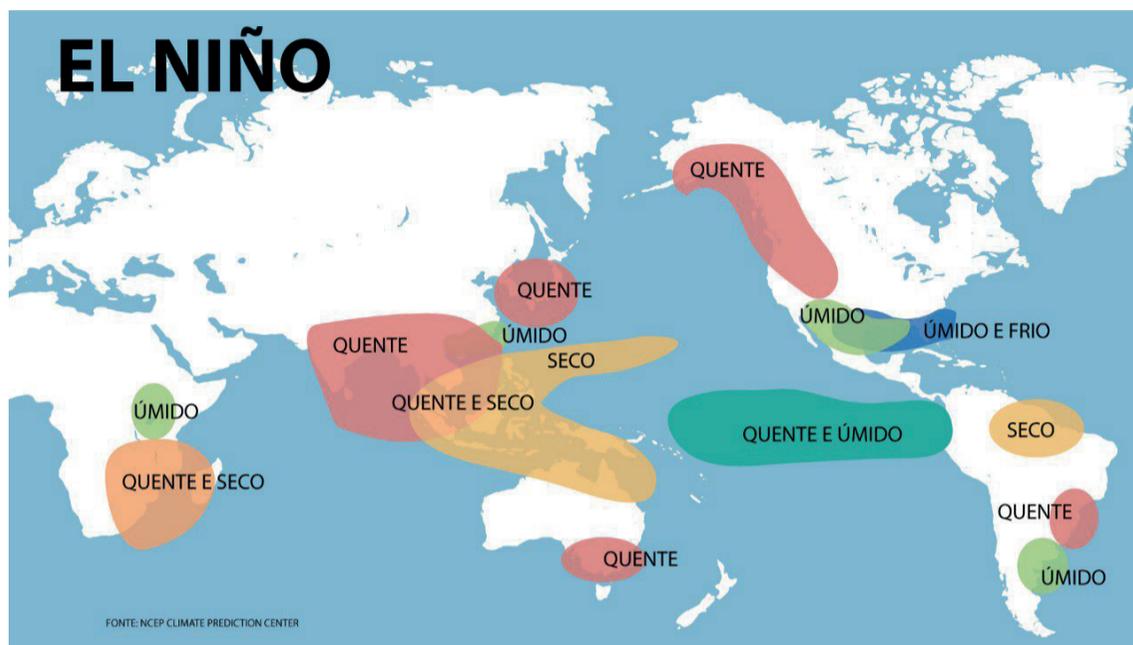
A Figura 14 representa os centros de ação que atuam na América do Sul que podem ser positivos (anticiclones) ou negativos (depressões ou ciclones), e constituem as fontes geradoras das principais massas de ar.

Vimos neste capítulo a importância das massas de ar na formação das condições de tempo estáveis e instáveis. Agora veremos a influência dos fenômenos globais El Niño e La Niña na intensificação das condições de tempo.

## El Niño – Oscilação Sul

O El Niño-Oscilação Sul é um fenômeno de interação entre a atmosfera e o oceano, associado à alteração cíclica dos padrões normais da temperatura da superfície do mar e dos ventos alísios na região do Pacífico Equatorial, entre a costa peruana e a Austrália. Conforme GRIMM (2009), o fenômeno é a principal fonte de variabilidade climática interanual global, com reflexos em muitos lugares do planeta, incluindo o Brasil.

Figura 15 - Efeitos do fenômeno El Niño pelo mundo



Fonte: NOAA | Arte: Hugo Galdino/Notícias Agrícolas.

O fenômeno apresenta duas fases, uma negativa, denominada de El Niño, e uma positiva, chamada La Niña. Ambos possuem características distintas na formação dos tipos de tempos atmosféricos.

O El Niño está relacionado com tempo mais seco nas regiões tropicais, e mais úmido nas extratropicais. Isso significa dizer que sob o domínio desse fenômeno boa parte da América do Sul registrará condições atmosféricas mais estáveis do que o normal, resultando em anomalias negativas de precipitação, umidade relativa do ar e temperatura mínima. A anomalia positiva que se destaca é a da temperatura máxima, devido à secura do ar durante as tardes. Essa condição é favorável à aviação pela inexistência de turbulência e gelo. Por outro lado, há muita restrição de visibilidade horizontal por névoas, especialmente a névoa seca, e também por fumaça oriunda das queimadas favorecidas por chuvas irregulares e abaixo da média climática. Nas regiões extratropicais, ao contrário, o tempo tende a ficar mais instável, com anomalias positivas de precipitação, umidade e temperatura mínima. A temperatura máxima fica pouco alterada, ou levemente abaixo da média, devido a maior nebulosidade, associadas principalmente a passagem de frentes frias. Para a aviação, a presença de ar mais úmido significa mais nebulosidade, mais turbulências, formação de gelo, visibilidade reduzida por nevoeiros, especialmente no período noturno.

A La Niña está associada as condições atmosféricas mais úmidas nas regiões tropicais e mais secas nas extratropicais. Nesse caso, esse fenômeno reforça as instabilidades que ocorrem, principalmente, sobre a Amazônia e o Nordeste, ocasionando trovoadas mais numerosas e chuvas mais frequentes, refletindo em mais turbulência e formação de gelo para os voos. Nas extratropicais, a estabilidade é reforçada ocasionando ar mais seco, devido ao enfraquecimento de sistemas de tempo instável como as frentes frias. Com isso, os voos ficam mais suaves.

Kayano e Andreoli (2009, p. 219), ao caracterizarem o clima da Região Nordeste do Brasil (NEB), enfatizam o comportamento da chuva na região sob influência do fenômeno ENOS:

“O efeito do ENOS é particularmente notável no setor norte do NEB, cujas anomalias negativas (positivas) de precipitação são associadas a episódios de El Niño (La Niña),”

Da mesma forma, MARENGO e NOBRE (2009), apontam a La Niña como o fenômeno que deixa a Amazônia mais úmida e o El Niño, mais seca, apesar de algumas anomalias verificadas como nos anos de 1972-73, quando a Amazônia ficou mais úmida.

Por outro lado, no Sul do Brasil, Grimm, Ferraz e Gomes (1998) verificaram que existem anomalias positivas de precipitação em anos de El Niño, e negativas, em La Niña. As anomalias positivas ocorrem devido à intensificação do Jato Subtropical que ocasiona bloqueio no avanço das frentes frias pelo Sul do Brasil. Assim, o tempo instável estacionário traz chuva persistente, resultando em chuva acima da média, e dependendo da intensidade da chuva, enchentes. Monteiro (2007, p. 89) salienta que:

“Em período de atuação de El-Niño as chuvas ficam acima da média em Santa Catarina e é comum a ocorrência de grandes enchentes, apesar de não ser o único causador das inundações”

Em anos de La-Niña, especialmente na primavera ocorrem as menores precipitações (GRIMM et. al. 1996), devido ao enfraquecimento dos sistemas de tempo instável. As condições de voo são suaves, devido a pouca nebulosidade e a secura do ar.

Como vimos, o El Niño intensifica as instabilidades e a La Niña a estabilidade. A estabilidade também pode ser reforçada quando há atuação de bloqueios atmosféricos. Dependendo dessas modificações na dinâmica atmosférica podem ocorrer alterações significativas no padrão climático que se traduzem como Variabilidade Climática. A Mudança Climática é algo mais complexo, mais sutil, mesmo assim podemos arriscar alguns efeitos na aviação.

# O que são e como afetam a aviação

## Variabilidade Climática

A variabilidade climática é definida como uma variação temporária das condições climáticas, em torno da média climatológica. É a maneira pela qual os elementos do clima variam dentro de um determinado período. Rodrigues e Monteiro (2008) citam como exemplo de um caso de variabilidade natural do clima, quando uma sequência de anos chuvosos no Sul do Brasil, em uma determinada década, é seguida por períodos de chuva dentro da normalidade ou mais secos.

Diversos fatores e distúrbios atmosféricos contribuem para a variabilidade climática, entre eles destacamos o bloqueio atmosférico porque provoca sensíveis alterações nos elementos do clima enquanto atua. É caracterizado pela presença de um sistema de alta pressão, também conhecido por alta de bloqueio, na região onde os ventos são de oeste, em torno da latitude de 45°S. Quando esta alta se estabelece, torna-se persistente e impede a propagação dos sistemas transitórios, tais como frentes, ciclones e anticiclones para menores latitudes (MONTEIRO, 2007; AMBRIZZI, et. all, 2009). O bloqueio pode ocorrer em qualquer época do ano, sendo menos frequente durante os anos de El Niño, e mais constantes nos anos de La Niña (MARQUES e RAO, 1996).

No Sul do Brasil, quando ocorre bloqueio, normalmente os sistemas de tempo instável ficam semi-estacionários sobre o Uruguai e o sul do Rio Grande do Sul por mais de uma semana. Nesse caso, há intensa nebulosidade nas camadas baixas da Troposfera, principalmente os *Stratocumulus* (Sc), nas camadas médias, os *Altostratus* (As) e os *Nimbostratus* (Ns) e nas altas, os *Cirrus* (Ci); constantes formações de *Cumulonimbus* (Cb) e chuva moderada a forte. Do centro ao norte do Rio Grande do Sul, em Santa Catarina, no Paraná e até nas regiões Sudeste e sul do Centro-Oeste, o tempo fica estável com poucas nuvens, temperaturas elevadas para a época do ano e baixa umidade relativa do ar, especialmente no período da tarde. A modificação desse quadro sinótico só muda quando a alta de bloqueio perde intensidade ou muda de posição. Nesse caso, onde houve ocorrência de tempo instável persistente, ocorreram precipitação e umidade acima da média, amplitude térmica baixa, com temperaturas mínimas mais elevadas e máximas mais baixas em relação à média climática. Para a aviação foram mais horas de voos dentro de nuvens, mais turbulências, formação de gelo e riscos de alternar devido ao teto e a visibilidade reduzida. Por outro lado, onde persistiu a estabilidade, a precipitação e umidade ficaram abaixo da média, e as temperaturas acima da média climática. Para a aviação são condições mais suaves para os voos, no entanto, para os procedimentos de pousos e decolagens ocorrem mais restrições de visibilidade por influência das névoas e da fumaça oriunda das queimadas e incêndios florestais.

## Mudança Climática

A mudança climática é um termo que designa uma tendência de alteração da média climática no tempo, sem retornar às características anteriores, conforme Rodrigues e Monteiro (2008). Elas têm ocorrido naturalmente ao longo de milhões de anos e nosso planeta já passou por períodos mais frios (eras glaciais) e mais quentes (períodos interglaciais).

Os estudos e pesquisas sobre mudanças climáticas apontam que a concentração de gases do efeito estufa (carbônico – CO<sub>2</sub>, metano – CH<sub>4</sub> e óxido nitroso – N<sub>2</sub>O) tem aumentado significativamente nos últimos tempos como resultado das atividades industriais, do elevado número de veículos automotores, dos desmatamentos e das queimadas. Com isso o balanço de radiação, o albedo (razão entre a quantidade de radiação refletida e a quantidade total recebida), a circulação local dos ventos, o balanço hídrico e a amplitude térmica sofrem modificações significativas. Estas alterações têm induzido a mudanças climáticas, entre as quais a mais

especulada é o aumento da temperatura média global, com conseqüente derretimento das geleiras e das calotas polares, elevação do nível do mar e desaparecimento de algumas ilhas, aumento de condições extremas de tempo como fortes ondas de calor e de frio, assim como de temporais com enchentes devastadoras e estiagens prolongadas.

As projeções climáticas futuras apontam para um cenário ainda mais adverso, em que a média global da temperatura do ar, projetada por modelos, terá um aumento de 1,4 a 5,8°C em 2100 e a média global do nível do mar poderá subir de 9 a 88 cm até o mesmo ano. Essas projeções indicam que este aquecimento poderia variar por região e ser acompanhado pelo aumento da frequência e intensidade de alguns fenômenos climáticos extremos (IPCC, 2001). O ano de 1998 foi o mais quente desde o início das observações meteorológicas, em 1861, com +0,54°C acima da média histórica de 1961-90. No século XXI, os anos de 2003, 2005, 2006 e 2007 estão entre os mais quentes dos últimos 30 anos (MARENGO, 2009).

Marengo (2009), comentando sobre os possíveis impactos da mudança climática no Brasil, conclui que: com o aquecimento global algumas regiões do Brasil e da América do Sul terão seus índices de temperatura e chuva aumentados, e em outras, diminuídos. As chuvas isoladas serão mais violentas e os temporais, mais frequentes.

A análise comparativa entre as séries históricas (1961-1990/1981-2010) do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), realizada pelo autor principal desta apostila (MONTEIRO), aponta para uma tendência de aumento da precipitação e da temperatura em algumas estações meteorológicas da Região Sul do Brasil. O aumento da precipitação está associado a episódios de chuvas fortes (temporais) provocados por frentes frias e sistemas de baixa pressão, reforçados por sistemas de altitude como os jatos, cavados e vórtices ciclônicos. Também tem sido frequente a presença de nuvens prateleira ou shelf cloud, que apresenta um formato circular, com várias camadas. Esse formato possivelmente é originado por ventos intensos que giram no interior e na parte externa da nuvem, que provoca temporais com chuva forte, descargas elétricas e rajadas fortes de ventos. A formação desse aglomerado de *cumulonimbus* ocorre, especialmente nos dias muito quentes e úmidos, que favorecem o processo convectivo e provoca temporais com chuva forte, concentração de descargas elétricas e rajadas fortes de ventos. Devido à forte instabilidade presente na nuvem prateleira, uma aeronave em procedimento de pouso e decolagem deve evitar a proximidade da nuvem para não ser atingida por *turbulência severa*, com grande risco de ser alvejada por um *microburst*. O procedimento correto é aguardar o deslocamento do fenômeno que, de modo geral, é rápido.

## Influência das Mudanças Climáticas na Aviação

A aviação é muito sensível a mudança de tempo, sendo comum arremetidas quando há chuva com trovoadas sobre um aeródromo, tornando muito reduzida a visibilidade horizontal pela chuva ou quando ocorre o rebaixamento rápido da altura das bases das nuvens. Nesses casos, normalmente, as aeronaves seguem para as alternativas, causando transtornos para os passageiros e custos adicionais para as empresas, através de gasto com combustível e acomodações dos passageiros. Nesse sentido, o nevoeiro também tem uma grande participação, mantendo aeronaves no solo por muitas horas, prejudicando a pontualidade dos voos.

Com as Mudanças Climáticas a tendência é que essas condições tornem-se mais frequentes, pois as instabilidades e as estabilidades devem intensificar-se através de mudanças em extremos climáticos como as ondas de calor, de frio, enchentes, secas e incêndios florestais mais frequentes, considerando um aumento médio global das temperaturas entre 1,8°C e 4,0°C até 2100 (IPCC, 2007a,b).

Vejamos o que pode ocorrer com o aumento das instabilidades que devem se manifestar através dos diversos sistemas de tempo instável como as baixas pressões, cavados invertidos e frentes frias. Estando a atmosfera mais aquecida, haverá mais calor sendo disponibilizado para maiores altitudes e transportado para os sistemas de baixa pressão (lembrando que são os sistemas de baixa pressão e similares, como os cavados, as frentes frias, os vórtices, que atraem, através da convergência, esse calor). Isso poderá intensificar a convecção de verão através do aumento da estrutura das nuvens *Cumulonimbus* (Cb) e favorecer a formação de mais nuvens *cumuliformes* no interior das frentes frias, de cavados ou de sistemas de baixa pressão. Com isso, a aviação sofrerá com mais turbulências e formação de gelo em voo e maiores riscos nas aproximações finais para pouso, devido à intensificação de *windshear* naqueles aeródromos que já registram este fenômeno, restrições mais intensas e duradouras da visibilidade horizontal pela chuva, além de aumentar

o risco do surgimento de *microbusts* e tornados nas proximidades dos aeródromos. Os sistemas de alta pressão também ficarão mais ativos e com isso haverá aumento da estabilidade atmosférica, resultando na intensificação de névoas, nevoeiros e teto baixo por *Stratus* (St). Essa é uma condição que já causa enormes transtornos para a aviação devido as dificuldades de pouso e decolagens, deve piorar.

Por outro lado, com o aumento das estabilidades, os incêndios florestais tendem a aumentar devido ao déficit hídrico e elevadas temperaturas. Conforme a ANAC (2020), os focos de incêndios, ainda que associados apenas a ventos fracos, podem reduzir drasticamente a visibilidade e comprometer a segurança do voo, aumentando a probabilidade de colisão com morros, serras, fios de alta tensão, entre outros obstáculos. Por isso mesmo, quando a fumaça provoca diminuição da visibilidade para valores iguais ou inferiores a 5000 metros, o fenômeno será reportado no METAR e no TAF como FU.

Com o aumento dos incêndios, tanto em sua frequência quanto extensão e intensidade, algumas práticas já recomendada pela ANAC (2020) tendem a se tornarem comuns. É o caso da recomendação de, ainda na fase de planejamento de voo, consultar as informações disponíveis na internet a respeito de fumaça e queimadas, especialmente para voos na região Sul da Amazônia e Centro-Oeste do Brasil. Adicionalmente, é importante manter-se atualizado com imagens de satélite para conferir se há focos de incêndio ao longo da rota. Para maior segurança, outra recomendação é se habilitar em operação Instrument Flight Rules (IFR).

## Considerações finais

A Unidade de Aprendizagem **Climatologia para a Aviação** trouxe para você, aluno do Curso de Ciências Aeronáuticas ou de outros cursos, interessados em conhecimentos sobre clima, uma roupagem distinta para a Climatologia Dinâmica, ao descrever a importância da dinâmica atmosférica dos sistemas atmosféricos, dos climas, das massas de ar, da variabilidade climática e das mudanças climáticas atuando sobre a aviação. A distinção está no comportamento da nebulosidade estratiforme e cumuliforme e nas condições de tempo que apresentam características próprias, especialmente no verão e inverno.

Esperamos que os conhecimentos adquiridos nesta UA, somados aos de Meteorologia e ainda outros ligados à Aviação, proporcionem a você experiências suficientes para um excelente planejamento de voo a curto, médio e a longo prazo.

## Referências

- AMBRIZZI, T; MARQUES, R; NASCIMENTO, E. Bloqueios Atmosféricos. **Tempo e Clima no Brasil**. Iracema F. A. Cavalcante [et al] organizadores. São Paulo: Oficina de Textos, 463p. 2009
- CPTEC. **Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos**. Disponível em: <https://www.cptec.inpe.br/> . Acesso em: 22 abr. 2019.
- FEDEROVA, N. **Meteorologia Sinótica**. Vol. 2 UFPEL. Ed. Universitária, 2001.
- GRIMM, A. M. Variabilidade Interanual do Clima no Brasil. **Tempo e Clima no Brasil**. Iracema F. A. Cavalcante [et al] organizadores. São Paulo: Oficina de Textos, 463p. 2009.
- GRIMM, A. M.; PATSKO, C. H.; FEUSER, V. R. Identificação de Anomalias de Temperatura da Superfície do Mar no Pacífico Relacionadas com Anomalias de Precipitação na Região Sul do Brasil. In: IX **Congresso Brasileiro de Meteorologia. Campos do Jordão. São Paulo**, 1996. **Anais...** p. 284 – 289.
- GRIMM, A. M.; FERRZ, S. E.; GOMES, J. Precipitation anomalies in southern brazil associated with el niño and la niña events. **Journal of Climate**, v. 11, n. 11 p. 2863 – 2880, 1998.
- INMET. **Instituto Nacional de Meteorologia**. Normais Climatológicas do Brasil. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisclimatologicas>. Acesso em: 22 abr. 2019.
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change, **Synthesis Report f the Intergovernmental Panel on Climate Change**. [(eds)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK. 2001.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). Climate Change 2007: The Physical Science Basis, IPCC Working Group I, 4th. Assessment Report. **Summary for Policymakers**, 18 p., 2007a.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). Climate Change 2007: Climate Change impacts, adaptation and vulnerability, IPCC Working Group II, 4th. Assessment Report. **Summary for Policymakers**, 23 p., 2007b.
- KAYANO, M; ANDREOLI, R. V. Clima da Região Nordeste do Brasil. **Tempo e Clima no Brasil**. Iracema F. A. Cavalcante [et al] organizadores. São Paulo: Oficina de Textos, 463p. 2009
- MARENGO, J. A. Mudanças Climáticas: Detecção e cenários futuros para o Brasil até o final do século XXI. **Tempo e Clima no Brasil**. Iracema F. A. Cavalcante [et al] organizadores. São Paulo: Oficina de Textos, 463p. 2009.
- MARENGO, J. A.; NOBRE, C.A. Clima da Região Amazônica. **Tempo e Clima no Brasil**. Iracema F. A. Cavalcante [et al] organizadores. São Paulo: Oficina de Textos, 463p. 2009
- MARQUES, R. F. C. e RAO, V. B. Bloqueio atmosférico no hemisfério sul durante o período de 1980 a 1993. In: **Climanálise Especial**: edição comemorativa de 10 anos. São José dos Campos-São Paulo, INPE/CPTEC, 1996.
- MENDONÇA, M.; ROMERO, H. 8º Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica. Alto Caparaó/MG, 2008.
- MENDONÇA, Francisco; DANNI-OLIVEIRA, Inês Moresco. **Climatologia**: noções básicas e climas do Brasil. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.
- MIGÃO, C. E.; OLIVEIRA, J. L. F. A geografia das microexplosões: espaços e efeitos. **XII Simpósio Nacional de Geografia Urbana**. Belo Horizonte, 2011.
- MONTEIRO, C. A. F. Da necessidade de um caráter genético à classificação climática (Algumas considerações metodológicas a propósito do Brasil Meridional). **Revista Geográfica**. Rio de Janeiro, IPGH, v. 57, n. 31, p. 29-44, 1962.
- MONTEIRO, M. A. **Dinâmica atmosférica e a caracterização dos tipos de tempo na Bacia Hidrográfica do Rio Araranguá**. Tese. Departamento de Geografia. Centro de Ciências Humanas e da Educação. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2007.

MONTEIRO, M. A.; FURTADO, S.M.de A. O Clima do trecho Florianópolis – Porto Alegre: uma abordagem dinâmica. **Revista do Departamento de Geociências** – GEOSUL, Florianópolis: Editora UFSC, n. 19/20, p. 116 – 133, 1º e 2º semestre de 1995.

MONTEIRO, M. A. ; SILVA, P.V. . **Fatores Estáticos e Dinâmicos na Formação do Clima de Santa Catarina. Cadernos Geográficos.** Florianópolis, 36. p. 27 - 35, mai. 2017.

MORIZE, H. Contribuição ao estudo do clima do Brasil. **Observatório Nacional do Rio de Janeiro.** Rio de Janeiro, 2ª ed. 1927.

“Movimentos da Terra” em Só Geografia. Virtuoso Tecnologia da Informação, 2007-2019. Acesso em 09/05/2019. Disponível na Internet em <http://www.sogeografia.com.br/Conteudos/GeografiaFisica/Movimentos/>

NIMER, E. Clima. **Geografia do Brasil: Região Sul.** In: Série Recursos Naturais e Meio Ambiente, nº 4, Rio de Janeiro: IBGE, 1979. P.151-187.

NIMER, E. **Climatologia do Brasil.** 2ª ed. Rio de Janeiro: IBGE, Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 1989. 422 p: il.

NOBRE, C; SELLERS. P. SHUKLA, J. Amazonian deforestation and regional climate change. **Journal of Climate**, v. 4, 1991. P 957-988.

NOVA ESCOLA. **As estações do ano e a translação ao redor do Sol.** Disponível em: <https://novaescola.org.br/plano-de-aula/3461/as-estacoes-do-ano-e-a-translacao-ao-redor-do-sol>. Acesso em: 28 de maio de 2019.

OLIVEIRA, A. S. **Interações entre Sistemas Frontais na América do Sul e a convecção da Amazônia.** 1986. 134 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos.

PENA, R. F. A. “O que é rotação e translação?”; **Brasil Escola.** Disponível em <<https://brasilecola.uol.com.br/o-que-e/geografia/o-que-e-rotacao-translacao.htm>>. Acesso em 16 de abril de 2019.

RODRIGUES, M. L.; MONTEIRO, M. A. **Caderno de estudos: domínios climáticos do mundo /** Maria Laura Rodrigues [e] Maurici Monteiro, Centro Universitário Leonardo Da Vinci. – Indaial : ASSELVI, 2008. 120 p. il.

VAZ, J. C. M. 2011. **Análise das ondas de leste sobre a costa leste do nordeste do Brasil para o período entre 1999-2009.** Dissertação do Mestrado. Programa de Pós-graduação em Meteorologia do Instituto de Geociências do Centro de Ciências Matemáticas e da Natureza da Universidade Federal do Rio de Janeiro (PPGM-IGEO-CCMNUFRJ).

# Sobre o Professor Conteudista

## Maurici Amantino Monteiro

Formado em Meteorologia Aeronáutica pela Escola de Especialistas de Aeronáutica (1980). Bacharel em Geografia pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) (1993). Licenciado em Geografia pela UFSC (1994). Mestre em Geografia Física pela UFSC (1997): Poluição atmosférica no entorno da Usina Termelétrica Jorge Lacerda. Especialista em Meteorologia pela Faculdade de Meteorologia da Universidade Federal de Pelotas (2003): a importância do Código *Synop* para a previsão de tempo. Doutor em Geografia Física pela UFSC (2007): Dinâmica atmosférica e a caracterização dos tipos de tempo na Bacia Hidrográfica do Rio Araranguá. Atuou na previsão de tempo da EPAGRI/CIRAM de novembro de 1997 a novembro de 2008, como consultor da Fundação de Apoio ao Desenvolvimento Rural Sustentável do Estado de Santa Catarina (FUNDAGRO). Coordenador do setor de meteorologia e clima da FUNDAGRO, no período de dezembro de 2008 a julho de 2015. Atualmente, é professor de Meteorologia e Climatologia para a Aviação, no Curso de Ciências Aeronáuticas da Unisul Virtual, e analista das condições climáticas de áreas de influências de Usinas Hidrelétricas na Empresa Aquaeris Engenharia e Soluções Ambientais Ltda., na qual é Gerente Técnico e Administrador. Possui publicações relacionadas às condições de tempo e clima de Santa Catarina; participação no Atlas Geográfico de Santa Catarina (2014) e na 1ª e 2ª edição do Atlas de Desastres Naturais do Estado de Santa Catarina. Professor Conteudista do livro didático de Meteorologia e de Climatologia para a Aviação do Curso de Ciências Aeronáuticas da Unisul Virtual. Tem experiências em monitoramento de condições atmosféricas para fins de alerta a Defesa Civil do Estado de Santa Catarina, em Meteorologia Aeronáutica e em Climatologia, atuando, principalmente, nos seguintes temas: Dinâmica atmosférica do Sul do Brasil, Efeitos do Tempo e do Clima para a Aviação, Desastres Socioambientais, Climatologia de áreas influenciadas por Usinas Hidrelétricas e EIA RIMA de Climatologia.

