

# Aula 10

## A CIRCULAÇÃO GERAL E OS SISTEMAS DE FLUXO

### **META**

Continuar o estudo da dinâmica do ar, através dos fluxos de energia horizontal que criam tipos de tempos diversos, para a compreensão da dinâmica que produz mudanças climáticas.

### **OBJETIVOS**

Ao final desta aula, o aluno deverá:  
classificar a circulação atmosférica com as suas variações no tempo e no espaço;  
apresentar os sistemas de fluxo e suas ações diferenciadas;  
e explicar algumas perturbações de ordem atmosférica.

### **PRÉ-REQUISITO**

Ter assimilado o conteúdo da aula anterior  
“Mecanismos da circulação e do equilíbrio do ar”

**Josefa Eliane Santana de Siqueira Pinto**

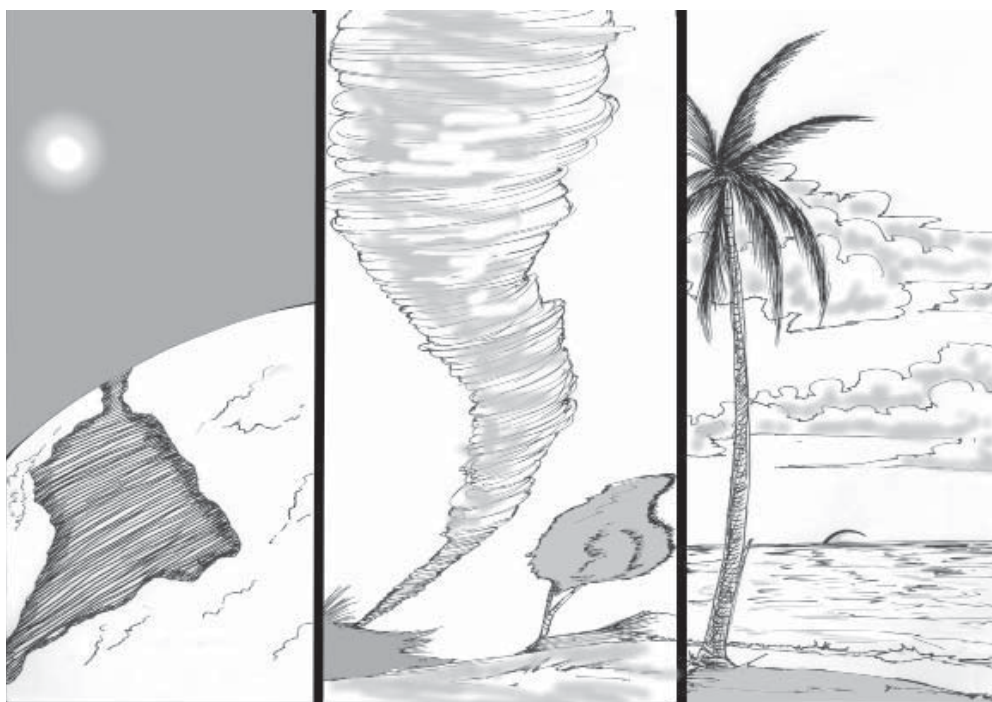
### INTRODUÇÃO

Caro aluno, ou querida aluna: vamos continuar estudando a movimentação do ar que nos envolve. Para melhor compreensão, podemos classificar a circulação atmosférica em três categorias: primárias, secundárias e terciárias, em ordem decrescente de grandeza, tanto em suas escalas de área quanto em escalas de tempo.

A circulação primária é a circulação geral da atmosfera, com padrões em larga escala, ou globais, de vento e pressão que se mantêm ao longo do ano, ou se repetem sazonalmente. É a circulação geral que realmente determina os climas do mundo, que tendem a se dispor em zonas latitudinais.

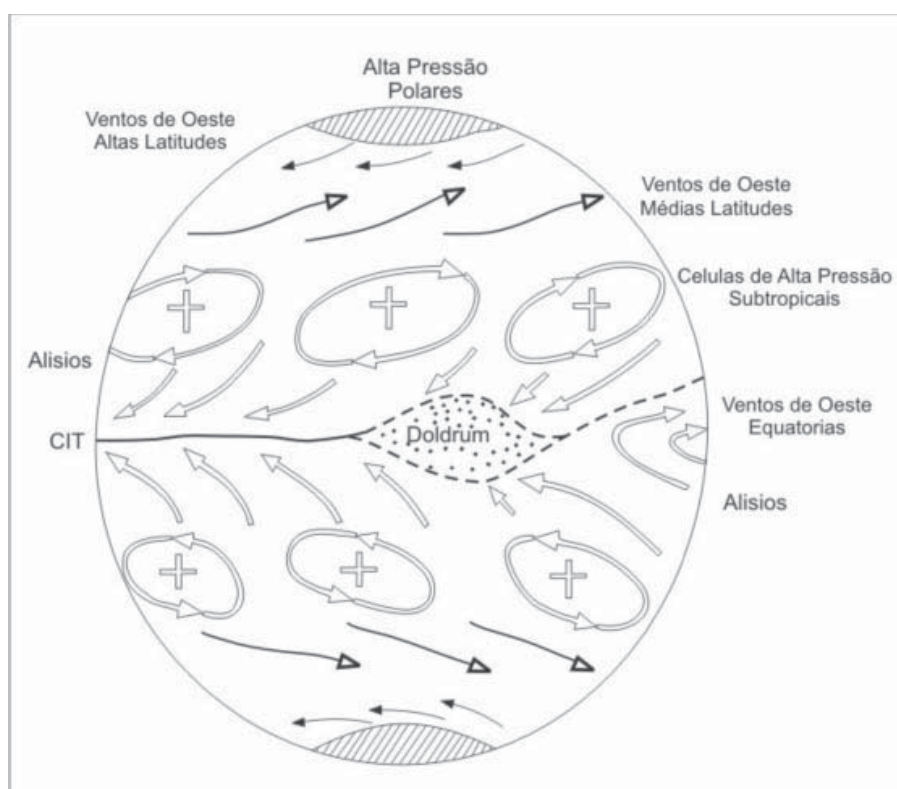
Os sistemas circulatórios secundários constituem-se pelas depressões e anticiclones das latitudes médias e pelas várias perturbações tropicais. São de existência relativamente breve e se movem muito rapidamente. Seus efeitos são localizados.

Os sistemas de circulação terciária consistem principalmente em sistemas de ventos locais, tais como as brisas litorâneas (terrestres e marítimas), os ventos anabáticos e catabáticos (brisas de montanhas) e as ondas de sotavento. São sistemas localizados e controlados por fatores locais, com períodos de existência mais curtos do que os sistemas secundários.



## CIRCULAÇÃO PRIMARIA

A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) - Depressão Equatorial - é a zona limítrofe que separa as massas de ar dos hemisférios Sul e Norte, cuja posição é assinalada por uma ou mais faixas de nuvens, que se movimentam para o norte ou para o sul, durante o verão, estando sua posição média pouco acima do Equador (Equador Térmico). A amplitude maior de sua movimentação é sobre os continentes. Nessa faixa, massas de ar aquecido se dilatam, ascendem e, quando atingem cerca de 10 km de altitude, espalham-se horizontalmente para o norte e para o sul.



As Altas Pressões Subtropicais - Anticiclones (Permanentes, Estacionários ou Semifixos) - são quentes, porque possuem centro aquecido mantido através de subsidência dinâmica. Intensificam-se com a altitude. São estáveis e de movimentação lenta ou nenhuma movimentação. Ocorrem principalmente na zona subtropical e sobre os oceanos. Estão associadas a tempo bom e calmo. Originam áreas semi-áridas ou áridas.

Depressão de Ar Polar (Baixa Subpolar) - Frequentes depressões térmicas ou peliculares, desenvolvem-se completamente no ar instável, polar marítimo (mP) ou ártico (mA). Ocorrem principalmente no verão. São pequenos sistemas, com duração de um a dois dias, geralmente trazem chuvas, tempo instável e são mais comuns nas áreas continentais.

Altas Pressões Polares - Anticiclones Móveis ou Migratórios - São ventos frios e caracterizados pelo ar excepcionalmente frio na troposfera



inferior. Enfraquecem-se com o aumento da altitude onde é substituído nas alturas por baixa pressão. Movem-se rapidamente, têm curta duração e são pouco profundos. Formam-se em zonas de alta latitude, no ar polar continental ou ártico. Podem ser considerados os constituintes dos sistemas meteorológicos.

### SISTEMAS DE VENTOS

Em respostas a esses padrões de distribuição de pressão, há seis sistemas de ventos, três em cada hemisfério. No Hemisfério Norte, estão os alísios de nordeste, os ventos dominantes de oeste e os ventos polares de leste, enquanto no Hemisfério Sul, sopram os alísios de sudeste, os ventos predominantes de oeste e os ventos polares de leste.

As temperaturas elevadas das vizinhanças do equador ocasionam a formação de uma área de baixa pressão e uma permanente ascensão das massas de ar, tornadas mais leves. Para substituí-las, convergem para ali massas frias e mais densas, oriundas das regiões temperadas: são os alísios.

Ao mesmo tempo, atingindo elevadas altitudes, aquelas massas equatoriais perdem seu calor, e, tornadas mais pesadas, tendem a descer, deslizando, então, para as regiões temperadas: são os contra-alísios. Esse circuito é conhecido como Célula de Hadley ou Célula Tropical, responsável por redistribuir calor e umidade entre as latitudes equatoriais e subtropicais. São regulares, constantes e se encontram na região intertropical.

Os ventos de oeste ou westerlies predominam a partir de 40° de latitude, mas sua influência faz-se sentir quase exclusivamente sobre a navegação a vela, enquanto as Correntes de Jato (Jet Stream) são fluxos de ventos fortes, de oeste, sobre as latitudes temperadas. Ocorrem perto da Tropopausa e alteram suas posições de dia para dia. Sua velocidade média é superior a 160 km/h, alcançando, por vezes, 320 km/h.

Assim como há, ao longo dos litorais, variações diárias das diferenças de temperatura e pressão entre a terra e a água, ocorrem também variações entre continentes e oceanos, resultantes das estações do ano, que, por sua vez, provocam circulações convectivas semelhantes às brisas marítimas e terrestres, num período anual. O vento tende a soprar na direção do continente aquecido no verão, e na direção do oceano, no inverno. Ocorrendo nas latitudes tropicais, constituem-se numa irregularidade dos alísios e são chamados de monções. São também denominados de ventos de oeste equatoriais.

## CIRCULAÇÃO TERCIÁRIA: VENTOS LOCAIS OU BAROSTRÓFICOS

São ventos que decorrem de diferenças de aquecimento entre duas áreas circunvizinhas, que fluem sobre pequenas distâncias, não indo além de 60 ou 80 km por hora. São sistemas de ventos de variação diurna e ocorrem com frequência e regularidade em muitas áreas tropicais. Ganham importância maior na ausência de frentes e de fortes depressões mais comuns na região temperada. Há dois tipos principais: as brisas dos litorais (terrestres e marítimas) que ocorrem ao longo da costa, perto de grandes lagos, ou de outras áreas líquidas; e os ventos das áreas montanhosas (catabáticos) e de vale (anabáticos), que ocorrem em áreas de relevo variado.

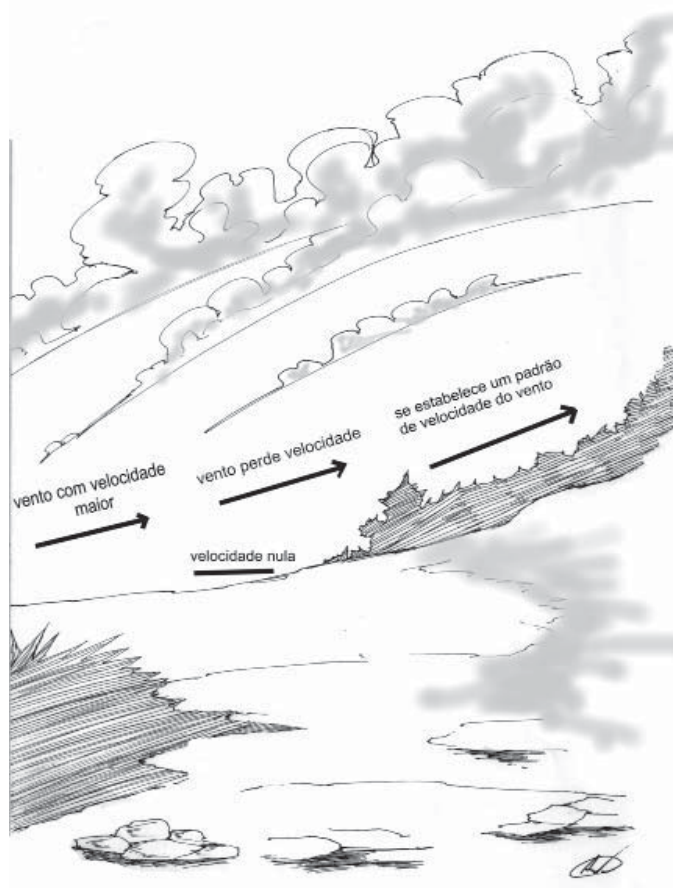
Durante o dia, próximo ao mar, as brisas litorâneas ou marítimas sopram do mar para a terra, em consequência do maior aquecimento e menor pressão da terra, desde a madrugada. Não é forte, mas é constante e bem seqüenciada, e raramente muda de direção. É mais intensa no início da tarde e mais forte quando a insolação é mais intensa. Desenvolve-se melhor durante a estação seca nos trópicos, e no verão, na região temperada. Durante a noite, sendo a água mais quente e a terra mais fria e com a pressão mais elevada, a brisa sopra da terra para o mar. Em noites nubladas, sob o efeito de estufa, o gradiente de pressão é menor e a velocidade se reduz. A brisa litorânea raramente traz chuva, porém, traz alívio ao calor intenso.

As brisas de montanhas e de vales sopram em vales e encostas de montanhas. O aquecimento diurno provocado pela radiação e o contato do ar com a encosta de uma colina, formam fluxos ascendentes, conhecidos como ventos anabáticos. Esses ventos se elevam e passam sobre a linha do cume e alimentam uma corrente superior de retorno para compensar os ventos de vale. São muitas vezes acompanhados pela formação de nuvens e, se as colinas forem bastante altas, o ar em ascensão poderá resfriar-se por expansão e até provocar chuvas. Sua velocidade alcança um máximo por volta das 14 horas.

Pela noite, o gradiente de pressão é invertido. O ar em contato com a superfície se resfria rapidamente por causa de perdas de radiação terrestre e desce do alto das encostas encontrando um vale úmido, formando uma concentração de nuvens. Os ventos então sopram das encostas para os vales e são chamados de catabáticos. Tais ventos podem causar geadas nos vales e podem favorecer a concentração de poluentes em áreas industriais. Geralmente não transpõem as costas a barlavento.

### VENTOS ESPECIAIS

Há outros tipos de ventos locais, de importância restrita, causados pela topografia (ventos de gravidade), com ou sem variações no aquecimento solar (ventos de resfriamento).



Os ventos que sofrem o efeito orográfico, denominados de ventos de gravidade, bastante frios e reforçados no inverno, são conhecidos por Mistral, no sul da França, descendo o Maciço Central com violência; Bora, nos planaltos da Bósnia (em direção ao mar Adriático); Fohen, nos Alpes Suíços e Crivetz, nos Bálcãs.

Ventos fortes quentes e secos, também em consequência da orografia, que se desenvolvem a sotavento de uma cadeia de montanhas e forçam o ar a passar pela barreira, são comuns no inverno e na primavera nos Alpes, bem como nos lados orientais das montanhas da Ásia Central (FOHN) e nas montanhas orientais das Rochosas, na América do Norte (CHINOOK).

Ventos de resfriamento têm condições geográficas particulares. Não têm alternância de épocas, acontecem no inverno, podendo ocorrer numa área nova de depressão barométrica muito grande, que

atrai ventos frios de áreas distantes, como o Pampeiro, que sopra das regiões meridionais da Argentina (Patagônia), alcançando o Rio Grande do Sul, onde é conhecido por Minuano.

Vento é o ar em movimento e este movimento se processa em várias direções. O efeito das superfícies próximas provoca mudanças rápidas e irregulares, tanto na velocidade como na direção. Estas flutuações ocorrem independentemente em pequenos intervalos de tempo e constituem a rajada de vento. O vento é gerado pela ação do gradiente de pressão, pelas sensíveis diferenças de temperaturas, sofrendo também influências do movimento de rotação da terra.

Em consequência do atrito entre a massa de ar em deslocamento e a superfície do solo, a velocidade do vento diminui, sendo nula junto à superfície. A forma do perfil da velocidade do vento é exponencial e é dependente de sua velocidade, da rugosidade da superfície do solo e do valor do gradiente de temperatura do ar junto ao solo. Em se tratando de uma superfície vegetada, com vegetação natural ou agrícola, o padrão do vento só se estabelece a partir de certa altura acima do solo. Isto é, a velocidade se anula a certa altura do solo, que coincide ou está um pouco abaixo do topo das plantas.

O vento, tal como observado numa estação meteorológica de superfície, seja ela sinótica ou climatológica, é caracterizado por duas grandezas que

são denominadas de elementos anemométricos: a direção e a velocidade. A velocidade do vento pode ser mensurada por cata-ventos, e a direção, pelos anemômetros.

## CIRCULAÇÃO SECUNDÁRIA: VENTOS CICLOSTRÓFICOS

### Furacão (Ciclone Tropical)

Tipo de vento que ocorre sobre as latitudes tropicais marítimas, com alta velocidade e circulando perto de um núcleo central de baixa pressão, associado aos sistemas de tempestades. Aparece como um aglomerado de nuvens torcidas em redemoinho por ventos que sobem para as camadas superiores da troposfera em alta velocidade, provocando chuvas com volume de 500 litros por metro quadrado. Os furacões são efêmeros, porém catastróficos, enfraquecendo-se ao invadirem as superfícies continentais.

Para que ocorra, precisa haver a combinação de três fatores:

- águas quentes dos oceanos (acima de 27° C);
- alta umidade do ar;
- ventos soprando no mesmo sentido na troposfera.

A origem precisa dos furacões não é conhecida, mas geralmente ocorrem em combinação com tempestades violentas ou com frentes frias intensas. Aqueles que ocorrem em combinação com tempestades isoladas são geralmente de curta duração e apresentam trajetórias irregulares. Os demais têm um período de existência maior e possuem trajetórias mais regulares e mais longas.

A força de Coriolis, originada do movimento da rotação da Terra, auxilia no surgimento dos redemoinhos, fazendo com que o furacão se desloque em espiral. Os ventos circulam para a esquerda no hemisfério norte e, para a direita, no hemisfério sul.

O furacão tem cerca de 450 a 650 km de diâmetro e é simétrico na distribuição do vento, das nuvens e do tempo em volta de toda área circular. No seu centro, o furacão tem uma área circular de ventos leves, nenhuma chuva, céu limpo ou apenas nuvens muito finas, denominada de olho da tempestade ou olho da tormenta.

Através desse olho estão nuvens de chuvas que dão ao furacão um diâmetro de 300 km. O redemoinho do furacão gira em sentido contrário às nuvens de chuvas.

Quando o centro de um furacão se aproxima, a algumas centenas de quilômetros, verifica-se um aumento das nuvens cirros e o barômetro começa a baixa lentamente. À medida que o centro se aproxima mais, essas



(Fonte: <http://www.defesacivil.rs.gov.br>).

nuvens tornam-se espessas e mais baixas, com o vento aumentando de força e a chuva começando a cair. Mais perto do centro, o vento aumenta para uma força de furacão, a 100 km/h, por vezes muito mais. As condições tornam-se cada vez mais violentas até a beirada do olho. De repente, há uma súbita calmaria, o vento torna-se leve, a chuva cessa e as nuvens diminuem visivelmente. O olho pode ter de 8 a 80 km de diâmetro e concede alguns minutos ou até algumas horas de calmaria, enquanto passa sobre uma região. Visto do ar, parece uma enorme bacia circular de nuvens.

Após a passagem do olho, o furacão recomeça subitamente com toda sua fúria de antes, exceto porque o vento passa a soprar na direção oposta, por conta de sua circulação em volta do centro. Quando o furacão afasta-se, a chuva e o vento diminuem gradualmente e a pressão eleva-se rapidamente.

Os furacões geralmente nascem nas regiões de altas pressões subtropicais, localizadas ao norte e ao sul do Equador. É típico da faixa próxima à linha do Equador. Ocorrem nos oceanos, exceto no Atlântico Sul e Pacífico Sul, e recebem diferentes denominações regionais como é o caso de FURACÃO, para os que se formam sobre o Atlântico Norte; TUFÃO, no Pacífico Norte; BAGUIO, nas Filipinas; WILLY-WILLY, na Austrália; CICLONE, no Oceano Índico e EL GORDONAZO DE SÃO FRANCISCO, na costa oeste do México.

Alguns furacões que abalam o continente americano começam com chuvas tropicais que avançam através do Atlântico, procedentes da costa oeste da África.

Os furacões que atingem a América do Norte, geralmente, percorrem o oeste e o norte, podem permanecer no mar e depois desaparecer ao entrar em contato com ventos de oeste, mais fortes. Os efeitos dos furacões são experimentados até no interior do continente.

Embora a rota do furacão seja incontrolável, o seu deslocamento é vagaroso, levando horas para chegar à terra firme. É descrito na sua origem como um vendaval acompanhado de chuvas torrenciais sobre o mar, com deslocamento a uma velocidade acima de 100 km/h. O nível do mar sobe e os ventos chegam a 200 km/h. Quando atinge a terra essa velocidade vai diminuindo, embora as chuvas possam durar vários dias depois do furacão.

Os furacões costumam acontecer de janeiro a março em áreas da Ásia e Oceania, abaixo do Equador; e de julho a setembro em áreas dos Estados Unidos e do Caribe, no norte equatorial.

## TORNADOS

De todas as perturbações da atmosfera, os tornados são as mais violentas e destrutivas. Felizmente, são pequenos em relação aos padrões atmosféricos e as áreas afetadas por eles são muito limitadas. Um tornado é visto como uma coluna ondulante de nuvens, aparentemente suspensa por



uma nuvem espessa e escura e tocando a terra. Dentro e perto dessa coluna, o ar gira em grande velocidade. No seu centro, o ar torna-se rarefeito e sua pressão cai para quase a metade de seu valor normal.

As velocidades do vento perto do centro da coluna só podem ser calculadas – não podem ser medidas com exatidão –, pois quaisquer instrumentos são destruídos na sua proximidade, sendo provável, entretanto, que essas velocidades alcancem 480 km/h. A sucção eleva todos os objetos leves, deixando atrás de si um longo rastro de destruição.

Os tornados ocorrem em frentes frias, quando o ar quente está muito úmido e instável. Os piores tornados ocorrem nos Estados do centro e do oeste dos Estados Unidos, no verão, e, embora menos, na Austrália. Tornados menos destrutivos ocorrem ocasionalmente na Europa, América do Sul e África do Sul. Tornados em miniatura ocorrem em desertos, desenvolvidos do solo para cima, movimentando grandes quantidades de areia. São chamados de “diabos da poeira”. Sua causa é a grande instabilidade atmosférica causada pelo calor intenso.

Os tornados são mais frequentes no Vale do Mississipi (USA), pelo choque entre o ar quente e úmido procedente do Golfo do México e o ar frio e seco que vem das Montanhas Rochosas. Ocorrem, com menor frequência, na Austrália.



Escombros resultantes da passagem do furacão Katrina por New Orleans (Fonte: <http://janelaparaorio.weblog.com.pt>).

## REDE1321

### MOINHO OU REMOINHO DE POEIRA

Tipo de micro-tempestade na qual há um rodópio pequeno e vigoroso, normalmente de pouca duração, que torna visível a poeira levantada do solo. Não há precipitação e ocorre em tardes quentes e calmas, comuns no verão.

### TROMBAS D'ÁGUA

São denominações específicas de furacões menos intensos, que ocorrem sobre o mar, constituindo risco para a navegação. São menos violentos e mais rápidos.

### TEMPESTADES DE AREIA

Ocorrem em áreas de desertos, quando as correntes ascendentes, que antecedem a penetração de frentes frias, elevam grandes quantidades de areia, até alturas de centenas de metros. Sua aparência é de uma vasta parede de areia avançando ao longo da linha de frente, também com uma aparência de cortina.

### CONCLUSÃO

O comportamento variado dos elementos do clima, associados à condição astronômica do planeta e à sua Geografia, explicam a circulação constante do ar atmosférico em diversas intensidades, tanto temporais quanto espaciais.



### RESUMO

A circulação atmosférica pode ser classificada em ordem decrescente de grandeza, tanto em suas escalas de área quanto em escalas de tempo. Assim, temos: primárias, secundárias e terciárias. Os sistemas de fluxo dominantes na circulação primária têm relação com as faixas latitudinais, enquanto a circulação terciária resulta das diferenças barométricas entre áreas contíguas e diferentes. Ocorrem ao longo da costa, perto de grandes lagos ou de outras áreas líquidas, e em áreas de relevo variado. A circulação secundária é efêmera, mas tem repercussão catastrófica, sendo que algumas áreas apresentam alguma propensão, enquanto outras são isentas. Alguns deslocamentos do ar são especiais, mas devem ser conhecidos.



### ATIVIDADES

Pesquisar, junto à Internet, o registro de ocorrência dos últimos furacões e tornados que tiveram repercussão mundial. Elabore um quadro, constando o período, denominações e conseqüências. Prepare um cartaz com fotos de cada vento de circulação secundária.

## REFERÊNCIAS

- AYOADE, J. O. **Introdução à climatologia para os trópicos**. São Paulo: DIFEL, 1986.
- ESTIENNE, Pierre; GODARD, Alain. **Climatologie**. Paris: Librairie Armand Colin, 1970.
- FORSDYKE, A. C. **Previsão do tempo e clima**. Tradução: FERRO, Fernando de Castro. São Paulo : EDUSP /Edições Melhoramentos, 1975.
- PINTO, Josefa Eliane Santana de S.; AGUIAR NETTO, Antenor Oliveira de. **Climatologia, Geografia e Agrometeorologia: uma abordagem interdisciplinar**. São Cristóvão: Editora da UFS (prelo).
- SANT'ANNA NETTO, João Lima; ZAVATINI, João Afonso (Orgs.). **Variabilidade e mudanças climáticas: implicações ambientais e socio-econômicas**. Maringá: EDUEM, 2000.