

Aula 6

SATURAÇÃO E CONDENSAÇÃO DO AR

META

Dar continuidade à abordagem da umidade do ar, apresentando os processos de saturação e de condensação do ar em seus conceitos e suas expressões.

OBJETIVOS

Ao final desta aula, o aluno deverá:
explicar as condições de saturação e condensação;
apresentar conceitos e variações de formas das nuvens; e
adotar a observação direta e compreensão de alguns sistemas de nuvens, no seu cotidiano.

PRÉ-REQUISITO

Ter assimilado o conteúdo das aulas anteriores.

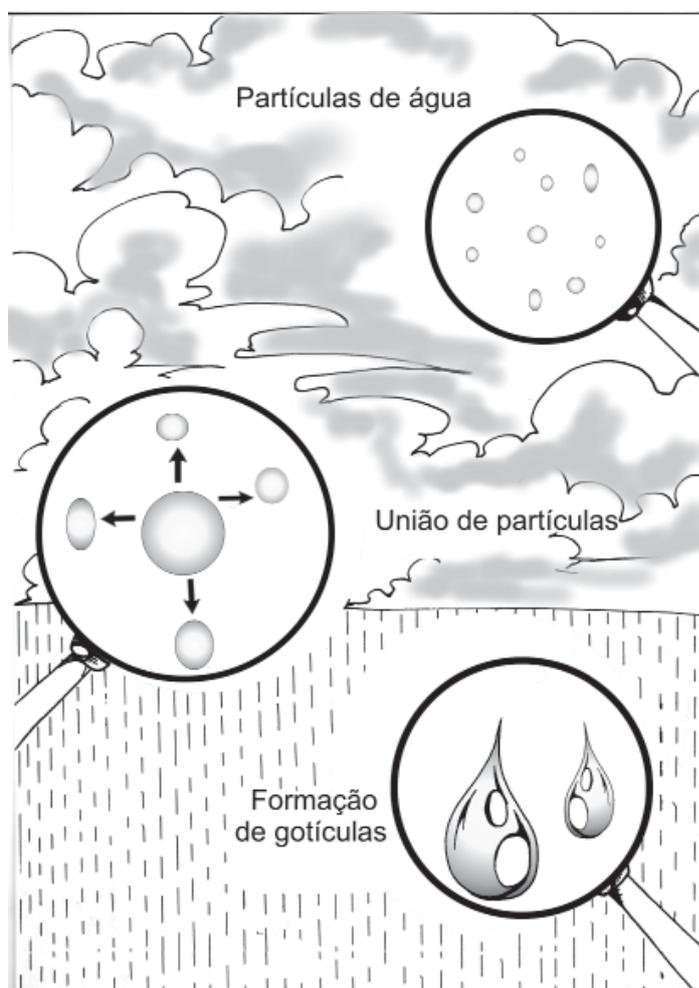
Josefa Eliane Santana de Siqueira Pinto

INTRODUÇÃO

Meu caro aluno, ou querida aluna. Vamos aprofundar os nossos estudos acerca da evaporação e da umidade do ar.

Inicialmente, você precisa saber que na atmosfera a saturação geralmente ocorre quando o ar se resfria, pois a capacidade do ar de reter a umidade em forma de vapor diminui com o decréscimo, com a redução da temperatura.

O resfriamento do ar provoca a saturação e daí pode acontecer a condensação em qualquer das seguintes maneiras: ou o vapor d'água é simplesmente transformado em água líquida, ou isso ocorre sob condições variáveis associadas a mudanças em um ou mais fatores do volume de ar, como temperatura, pressão ou umidade.



CONDIÇÕES

Veja o que é necessário para que ocorra a saturação de ar na atmosfera:

1. quando o ar se esfria até seu ponto de orvalho, ainda que o volume permaneça constante. A temperatura do ponto de orvalho é a temperatura na qual ocorrerá saturação se o ar se esfriar a uma pressão constante, sem aumento ou diminuição de vapor d'água;
2. se o volume do ar aumenta sem que haja aumento de calor, esfriando-se o ar por expansão adiabática;
3. quando uma variação conjunta na temperatura e no volume reduz a capacidade de retenção de umidade do ar;
4. pelo contato, que significa a perda de calor por condução de um ar, úmido e quente, para uma superfície (terrestre ou aquática) fria. Este fenômeno pode ocorrer em noites claras e calmas, quando há condições favoráveis para uma forte radiação terrestre, que ocasionará o orvalho, a névoa ou a geada;
5. o efeito orográfico provoca o resfriamento quando o ar é forçado a ascender por efeito da barreira montanhosa. É responsável pelas chuvas orográficas nas encostas a barlavento;
6. a mistura acontece pela circulação horizontal do ar. O resfriamento pode acontecer quando massas de ar de diferentes temperaturas e umidades se misturam ou quando há a mistura de camadas dentro de uma mesma massa de ar;
7. a descompressão por ascendência resfria o ar devido à elevação. É o mais efetivo mecanismo de resfriamento. Assim, o resfriamento do ar que provoca a saturação e daí a condensação; pode acontecer em qualquer das situações: pelo contato, pela mistura, pelo efeito orográfico ou por descompressão provocada pela ascendência.

RAZÕES ADIABÁTICAS: ESTABILIDADE E INSTABILIDADE DO AR

Então? Está tudo bem entendido até aqui? Vamos continuar a nossa viagem pela atmosfera da Terra!

Quando um volume de ar, por qualquer razão, é deslocado verticalmente ele expande-se em virtude do volume de ar encontrar pressão mais baixa (descompressão) e de não haver nenhuma troca de calor com o ar circundante. Este processo envolve trabalho e consumo de energia, caindo a temperatura.

É chamada de adiabática porque a variação térmica não envolve ganho ou perda de energia para o ambiente. A proporção na qual a temperatura diminui num volume de ar em ascensão e expansão é conhecida como razão adiabática. A razão adiabática seca é a queda da temperatura de aproximadamente $9,8^{\circ}\text{C}$ por quilômetro.

A razão adiabática úmida ou saturada tem um ritmo mais lento, cerca de 5°C por 1.000m.

As contínuas quedas na temperatura levarão à condensação quando a temperatura do ponto de orvalho do volume do ar for atingida. O calor latente será liberado pelo processo de condensação e este diminuirá o índice de queda de temperatura no volume do ar em ascensão.

Um volume ou uma massa de ar é considerado: 1) estável - quando submetido a algum impulso perturbador retorna a sua posição original; 2) neutro - quando submetido a algum impulso perturbador, permanece em sua posição perturbada; 3) instável - quando submetido a algum impulso perturbador se afasta de sua posição original quando desaparecer o impulso de perturbação.

Se o ar é forçado a elevar-se, mas é mais frio e mais denso do que o ar circundante, tenderá a retornar ao seu nível original.

Quando um determinado volume de ar é mais quente do que o ar circundante, com uma razão adiabática maior, será instável, e sua tendência é continuar se movendo a partir de sua posição original, uma vez iniciado o movimento.

Há dois outros tipos de condição de instabilidade: instabilidade condicional e instabilidade potencial ou convectiva. Está lembrado de convecção? Sei que você sabe, mas, vale a pena reforçar: é uma corrente de ar vertical que se eleva do solo aquecido.

Um volume de ar pode ser estável, mas quando é forçado a elevar-se pelo aquecimento convectivo ou pela barreira orográfica, torna-se mais quente do que o ar circundante e se eleva livremente. É a instabilidade condicional, pois depende da umidade relativa do ar.

Se um volume de ar torna-se condicionalmente instável depois da elevação, considera-se que o mesmo esteve no estado de instabilidade convectiva ou potencial.

Um volume de ar é considerado neutro se, quando forçado para cima ou para baixo, tem a tendência de permanecer em sua posição perturbada, no momento em que desaparecer a força motivadora.

CONDENSAÇÃO

Você sabia que o ar límpido, aquele sem nuvens, dificulta e até impede o fenômeno da condensação? Pois veja só isso!

O resfriamento por si só não é suficiente para provocar a condensação na atmosfera, que ocorre com maior dificuldade caso o ar esteja límpido. O ar puro resfriado além de seu ponto de orvalho, apenas torna-se supersaturado. A umidade necessita de uma superfície adequada sobre a qual possa se condensar, com a presença dos núcleos de condensação ou núcleos higroscópicos. Esses núcleos são partículas microscópicas de substâncias

como a fumaça, a poeira, sais (cloreto de sódio), que têm a propriedade de fazer a ligação. A presença de íons (partículas pequenas, eletrizadas, oriundas da desagregação das moléculas), também funciona como fator de ligação do ar saturado. A condensação pode ocorrer nestas substâncias, antes que o ar esteja saturado, às vezes, com a umidade relativa em torno de 78%.

A condensação, como você já aprendeu nos estudos anteriores, é o processo pelo qual o vapor d' água é transformado em água líquida. Na atmosfera, a condensação geralmente ocorre quando o ar se resfria, pois a capacidade do ar de reter a umidade em forma de vapor diminui com o decréscimo da temperatura.

A condensação pode acontecer também pela sublimação (passagem de uma substância diretamente do estado sólido para o vapor, e vice-versa). A condensação origina nevoeiros à superfície ou nuvens de constituição e aspecto diverso.

Os nevoeiros se diferenciam das nuvens porque ocorrem junto à superfície. É a umidade condensada perto do solo, em forma de depósito. Não são mantidos em suspensão pelas correntes ascendentes. São formados por gotículas de água extremamente pequenas e que, por convenção, reduzem a visibilidade horizontal a menos de mil metros. A obscuridade na atmosfera pode se dever às diminutas gotas d' água ou às partículas de fumaça (ou ambas), em suspensão na atmosfera. Também são conhecidos por smog (combinação de smok – fumaça) e fog (mistura de neblina e fumaça).

São condições essenciais para formação dos nevoeiros: umidade elevada à tarde, com céu limpo; ventos fracos; forte resfriamento noturno em consequência da radiação terrestre, propiciada pela fraca nebulosidade. Ocorrem sempre pela manhã e são dissipados pela insolação. São mais comuns nos vales e baixadas. Em alguns lugares ocorre sob a forma de neblina, que é um nevoeiro mais tênue e com condições de visibilidade pouco acima do limite do nevoeiro. A névoa também é um tipo de neblina, diferente na sua composição, pois é estimulada por poeira ou fumaça.

As nuvens são agregados de gotículas d' água muitíssimo pequenas, de cristais de gelo, ou uma mistura de ambos, com suas bases bem acima da superfície terrestre, sustentadas na atmosfera por correntes de ar ascendentes. São formadas principalmente por causa do movimento vertical de ar úmido (movimentos convectivos), ou em ascensão forçada sobre áreas elevadas.

As nuvens são normalmente classificadas com base em dois critérios:

1. Aspecto, estrutura e forma ou aparência;
2. A altura na qual a nuvem ocorre na atmosfera.

No primeiro critério, destacam-se as seguintes famílias e gêneros de nuvens:

Nuvens Cirroformes – com aparência fibrosa e alvejada;

Nuvens Estratiformes – que se apresentam em camadas, cobrem grande

área, mas com pouca espessura; têm desenvolvimento horizontal e quando houver precipitação, ela será contínua, leve e extensiva.

Nuvens Cumoliformes – que aparecem empilhadas, amontoadas ou em bancos isolados, em cuja parte superior aparece o aspecto arredondado dos cúmulos.

Considerando a altura, e associando ao aspecto, pode-se identificar então as nuvens baixas, médias, altas e as de desenvolvimento vertical (Figura 1).

Nuvens Baixas – Ocorrem em altitudes inferiores a 2.000 m, são compostas de gotículas de água. Possuem cor escura pela forte presença de poluentes e trazem chuvas. São exemplos as nuvens Estratos, Nimboestratos e Estratocúmulo. Nuvens estratos têm camada de nuvem geralmente cinzenta, com base bastante uniforme, podendo dar lugar a chuvisco ou grãos de neve. Apresentam-se, na maioria das vezes, sob a forma de uma camada de aspecto turvo e base bastante uniforme, suficientemente baixa para ocultar os cumes das pequenas colinas ou das obstruções elevadas. O termo nimbos, em desuso, é utilizado para designar o atual gênero de nuvens nimboestratos.

Nuvens Médias – Encontram-se entre 2.000 e 6.000m, são compostas de gotículas de água e cristais de gelo. Nem sempre estão associadas a chuvas e apresentam uma cor acinzentada. São mais claras e na classificação usam como prefixo a palavra “alto”. Conhecem-se a Alto-estrato e a Alto-cúmulo. Alto-cúmulo é a nuvem de estágio médio que se apresenta disposta em bancos ou camadas brancas, cinzentas e em forma de rolos, seixos etc. Alto-estrato apresenta-se como lençol ou camada de nuvem, cinzenta ou azulada, de aspecto fibroso ou uniforme, cobrindo grande extensão horizontal. Pode dar lugar à precipitação em forma de chuva ou neve, geralmente de caráter contínuo.

Nuvens Altas – Esbranquiçadas, alvas, fibrosas e brilhantes, localizam-se acima de 6.000m até o nível da tropopausa. São compostas de espículas de gelo e não trazem chuvas. Podem prenunciar Frentes. São do tipo cirroformes e destacam-se os Cirros, Cirroestratos e Cirrocúmulos. Os cirros são nuvens isoladas, com textura fibrosa, sem sombra própria, geralmente de cor branca e freqüentemente de um brilho sedoso. São constituídas exclusivamente por cristais de gelo.

Nuvens de Desenvolvimento vertical – Nuvens que se apresentam em mais de um nível, com a base baixa e o topo em nível médio ou elevado. São nuvens espessas e trazem chuvas intensas, trovoadas e ocasionalmente granizo. Ocorrem no final da tarde ou início da noite. São exemplos os Cúmulos e os Cumulonimbos.

Nuvens cúmulos são isoladas, geralmente densas e de contornos bem definidos, desenvolvendo-se verticalmente em forma de domos ou torres, e cuja parte superior cheia de protuberâncias, assemelha-se, muitas vezes, a uma couve-flor. Sua base, relativamente sombria, é sensivelmente horizontal.

O Cumulonimbos é uma nuvem densa e possante, com grande desenvolvimento vertical em forma de montanhas ou enormes torres. Sua parte superior é geralmente lisa, fibrosa ou estriada, podendo se desenvolver em forma de bigorna ou de um vasto penacho.

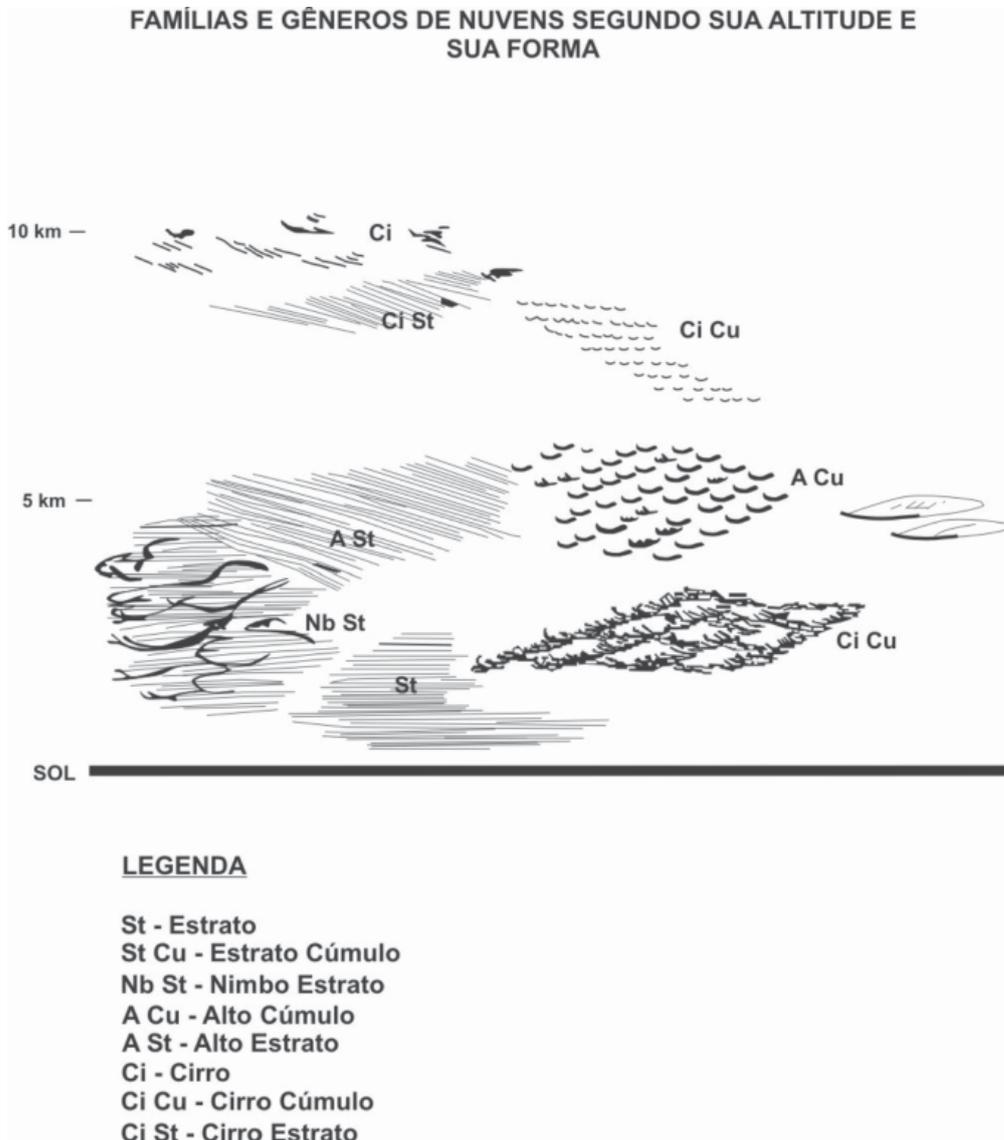


Figura1. Famílias e gêneros de nuvens, de acordo com a classificação pela forma e altitude.

CONCLUSÃO

Tenho certeza de que, a partir desta aula, que é uma seqüência de tudo que já estudamos, você será um novo observador da atmosfera. Assim, ao olhar pela janela num dia de chuva, você estará imaginando todos os fenômenos que ocorreram até acontecer a precipitação atmosférica na forma que mais conhecemos: a chuva!

Você viu que a umidade do ar é o elemento que apresenta a atmosfera aos seres vivos, e que requer condições especiais e imprevisíveis para sua concretização em forma de chuva, chuvisco, neve, nevoeiro, neblina, geada ou orvalho.



RESUMO

Então, vamos ficar por aqui? Nesta aula você viu a importância de diversos fenômenos para que ocorra a saturação do ar. Viu como a umidade relativa necessita também de vários fatores para que a água vaporizada volte ao estado líquido e se iniciem as precipitações como chuva, nevoeiro, granizo, neve etc. A saturação do ar e o seu equilíbrio neutro, estável ou instável são condições essenciais ao sistema climatológico da umidade, com razões adiabáticas calculadas. O sistema da umidade do ar, como estado físico da atmosfera que nos envolve, apresenta como aspecto concreto e observável a condensação. Por fim, a condensação, que forma nevoeiros e nuvens, tem aspectos diferenciados que foram classificados para sua melhor compreensão.



ATIVIDADES

Resolver algumas questões objetivas como forma de reflexão sobre o conteúdo de umidade.

1. A umidade atmosférica é caracterizada pelo(a):
a) () chuva b) () orvalho c) () chuvisco d) () vapor d'água.
2. Ar úmido é:
a) () ar desprovido de vapor d'água b) () o ar com água e gelo
c) () a mistura de ar seco com vapor d'água d) () o ar com oxigênio.

3. A quantidade de vapor d'água:
- a) aumenta com a altitude b) é máxima na tropopausa
c) diminui com a altitude d) é mínima no verão.
4. A quantidade de vapor d'água presente em um volume de ar é:
- a) proporcional à temperatura
b) proporcional à pressão atmosférica
c) inversamente proporcional à temperatura
d) dependente da quantidade de insolação recebida.
5. A quantidade em porcentagem de vapor d'água presente na atmosfera define:
- a) umidade relativa b) ponto de orvalho
c) umidade absoluta d) ponto de tensão.
6. A umidade atmosférica pode ser determinada através de:
- a) umidade relativa e pressão
b) pressão e ponto de orvalho
c) umidade absoluta e pressão
d) umidade relativa e ponto de orvalho.
7. Ponto de orvalho é:
- a) a porcentagem de umidade do ar
b) a temperatura na qual se precipitará se o ar for aquecido sob pressão constante
c) a temperatura na qual a umidade se congela
d) a temperatura na qual condensará o ar resfriado sob pressão constante.
8. Quando a proporção do vapor d'água atinge 4% do ar considerado, diz-se que o ar está:
- a) seco b) úmido c) instável d) saturado
9. Denomina-se evaporação à passagem de uma substância do estado:
- a) gasoso para o líquido b) gasoso para o sólido
c) líquido para o sólido d) líquido para o gasoso
10. Denomina-se condensação à passagem de uma substância do estado:
- a) gasoso para o líquido b) gasoso para o sólido
c) líquido para o sólido d) líquido para o gasoso
11. Uma transformação adiabática ocorre quando a parcela de ar considerada:
- a) é resfriada por contato com superfícies mais frias
b) é aquecida por contato com superfícies mais quentes

- c) () é resfriada ou aquecida sem troca de calor com o ar vizinho
d) () é aquecida pela descompressão por ascendência do ar
12. Se o gradiente numa massa de ar for de $0,5^{\circ}\text{C}$ para cada 100 metros, será igual ao:
a) () gradiente adiabático úmido b) () gradiente adiabático seco
c) () gradiente termométrico vertical d) () gradiente barométrico
13. Admitindo-se que a ascensão de uma parcela de ar continental se encontra na superfície a uma temperatura de 28° , sua razão adiabática, a 2000m, se dará na ordem de:
a) () 23°C b) () 18°C c) () 22°C d) () 8°C
14. No ar instável:
a) () não há formação de nuvens
b) () o ar tende a se afastar cada vez mais
c) () não há movimentação vertical do ar
d) () só se formam nuvens na origem
15. No equilíbrio estável, um corpo afastado de sua posição de origem, por uma força qualquer:
a) () permanecerá na nova posição
b) () voltará à posição de origem
c) () voltará à posição de origem, afastando-se logo depois
d) () tenderá a se afastar cada vez mais
16. O resfriamento do ar provoca a saturação e condensação e ocorre com mais intensidade:
a) () pelo contato entre uma parcela de ar quente e úmida e a superfície terrestre resfriada
b) () pela mistura de duas massas de ar de diferentes temperaturas
c) () quando o ar é forçado a subir pelo efeito da orografia
d) () pela descompressão provocada pela ascendência do ar
17. Partículas higroscópicas, em suspensão na atmosfera, ao redor das quais se fixará o vapor d'água para a formação de nuvens denominam-se:
a) () hidrometeoros
b) () litometeoros
c) () núcleos de condensação
d) () núcleos de sublimação
18. Para a formação de nevoeiros é necessária a presença de:
a) () umidade relativa elevada
b) () núcleos de condensação em grande quantidade

- c) () ventos fracos à superfície
- d) () todas as alternativas são corretas

19. Para haver formação de nuvens é necessário:

- a) () uma umidade relativa a 50%
- b) () presença de núcleos de condensação
- c) () uma umidade relativa superior a 50%
- d) () uma temperatura resfriada a 0°C

20. As nuvens podem ser formadas pelos seguintes processos físicos:

- a) () sublimação e congelação
- b) () evaporação e condensação
- c) () condensação e sublimação
- d) () condensação e congelação

21. As nuvens classificadas pela altitude em que se encontram, como altas são:

- a) cirros, cirros-estratos, cirros-cúmulos
- b) () alto-estratos, alto-cúmulos
- c) () estratos, nimbo-estratos, estratos-cúmulos
- d) () cúmulos, cúmulos-nimbos.

22. Nuvens cujas bases ocorrem no estágio baixo e o topo num estágio mais elevado (médio ou alto) – nuvens de desenvolvimento vertical:

- a) () alto-cúmulos
- b) () cirros-estratos
- c) () cúmulos-nimbos
- d) () cirros-cúmulos.

23. Nuvens constituídas exclusivamente por cristais de gelo são:

- a) () cúmulos
- b) () cúmulos-nimbos
- c) () cirros
- d) () alto-estratos

24. O estrato apresenta-se, geralmente:

- a) () em bancos isolados
- b) () em fibras retilíneas ou curvas
- c) () em camadas baixas com base bastante uniforme
- d) () todas as alternativas são corretas.

COMENTÁRIO SOBRE AS ATIVIDADES

Caro aluno ou querida aluna: O questionário remete você ao exame meticoloso do texto. Desta forma, não há “resposta comentada” para esse tipo de atividade, porque a resolução dos problemas já é auto-explicativa.

REFERÊNCIAS

- AYOADE, J. O. **Introdução à climatologia para os trópicos**. São Paulo: DIFEL, 1986.
- ESTIENNE, Pierre; GODARD, Alain. **Climatologie**. Paris: Librairie Armand Colin, 1970.
- MONTEIRO, Carlos Augusto de F. **Análise rítmica em climatologia**: problemas da atualidade climática em São Paulo e achegas para um programa de trabalho. *Climatologia*, São Paulo, n. 1, 1971.
- 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 NETO, João Lima; ZAVATINI, João Afonso (Orgs.). **Variabilidade e mudanças climáticas**: implicações ambientais e socio-econômicas. Maringá: EDUEM, 2000.