

## Atrito na Camada Limite – atrito interno

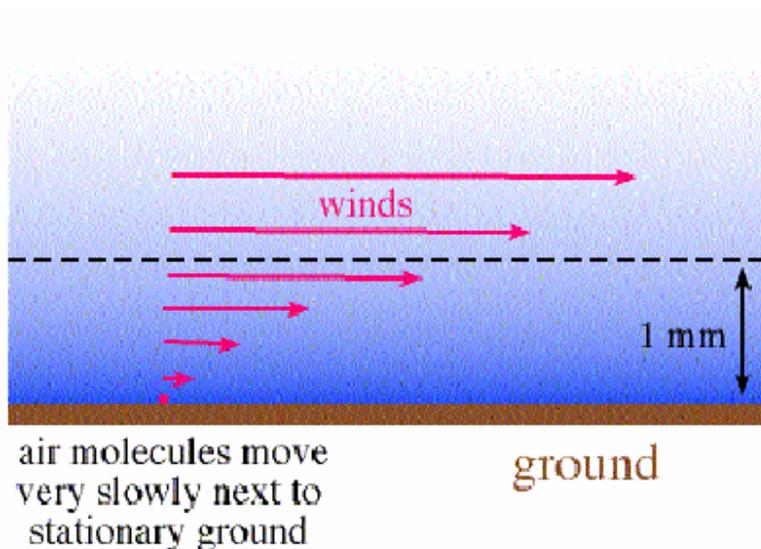
Atrito interno está relacionado a *viscosidade molecular*

*Viscosidade* é o “freimento” de um fluido devido ao movimento molecular.

Esse tipo de atrito é dominante em uma camada rasa da atmosfera, muito perto do solo

Moléculas de ar, muito próximas ao solo, não se movem quando em contato com uma superfície parada, dessa forma, a velocidade do vento decresce conforme se aproxima do solo.

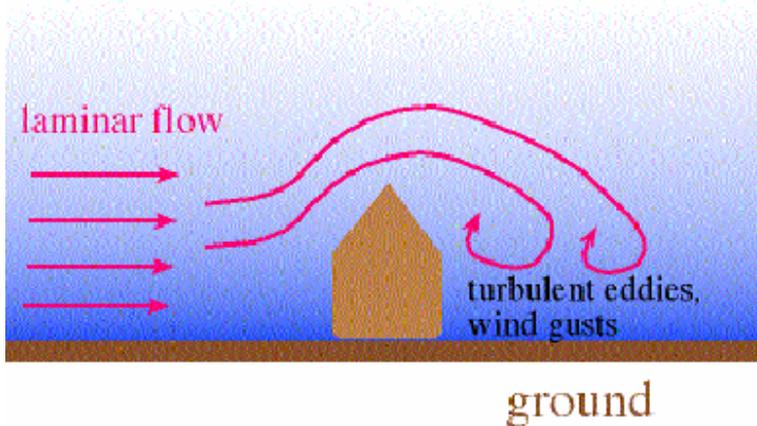
Grandes mudanças na velocidade do vento ocorrem perto da superfície, nos primeiros milímetros



## Atrito na Camada Limite – viscosidade turbulenta

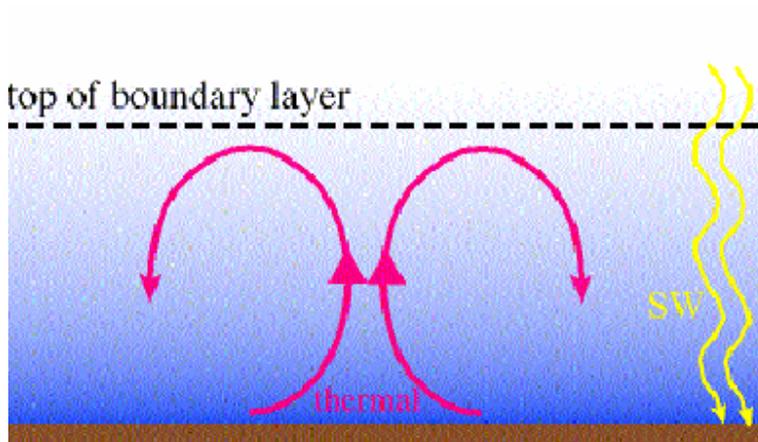
- *Viscosidade turbulenta* se refere ao atrito interno gerado quando um escoamento laminar (suave, estacionário) se torna irregular e turbulento ao passar sobre superfícies irregulares (árvores, prédios, montanhas, etc)
- Turbulência criada por obstruções é geralmente chamada de *turbulência mecânica*

- *Turbulência mecânica* produz um atrito (arrasto) no escoamento muito maior do que aquele causado pela viscosidade molecular



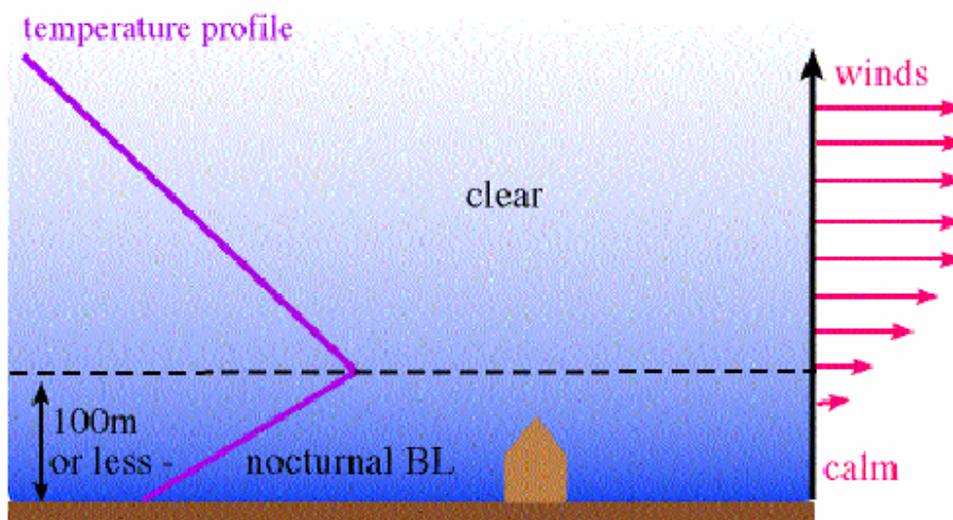
### **Turbulência na Camada Limite – turbulência térmica**

- Em adição a turbulência gerada mecanicamente, *turbulência térmica* é também gerada na Camada Limite
- Turbulência térmica é essencialmente gerada pelo aquecimento da superfície.
- Turbulência térmica é máxima durante o máximo aquecimento da superfície – no meio para o final da tarde



### Evolução da Camada Limite – 06h00

- A região da superfície ao topo da camada de inversão é chamada de *camada limite noturna*
- Não há turbulência térmica
- Pouca turbulência mecânica
- Os ventos calmos perto da superfície se intensificam acima da camada de inversão



6 AM

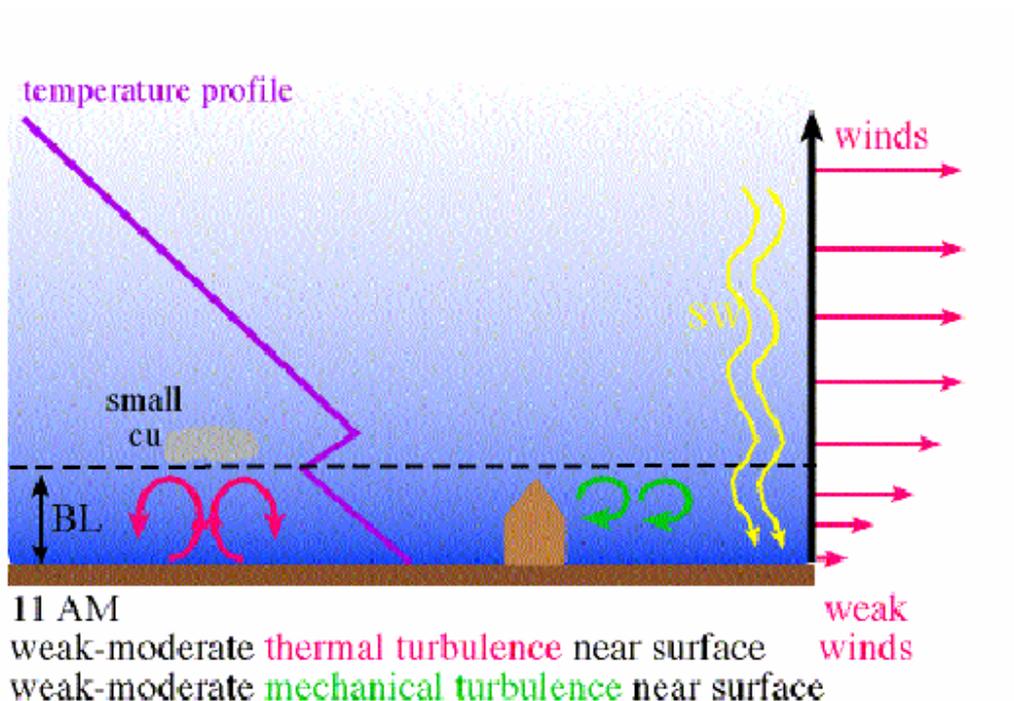
No **thermal** turbulence

Little/no **mechanical** turbulence

### Evolução da Camada Limite – 11h00

- O aquecimento da superfície gera *térmicas*:
  - Cria turbulência térmica
  - Cria pequenos cúmulos
  - Permite o desenvolvimento vertical da camada limite
- As térmicas misturam os fortes ventos existentes acima com os fracos ventos próximos a superfície

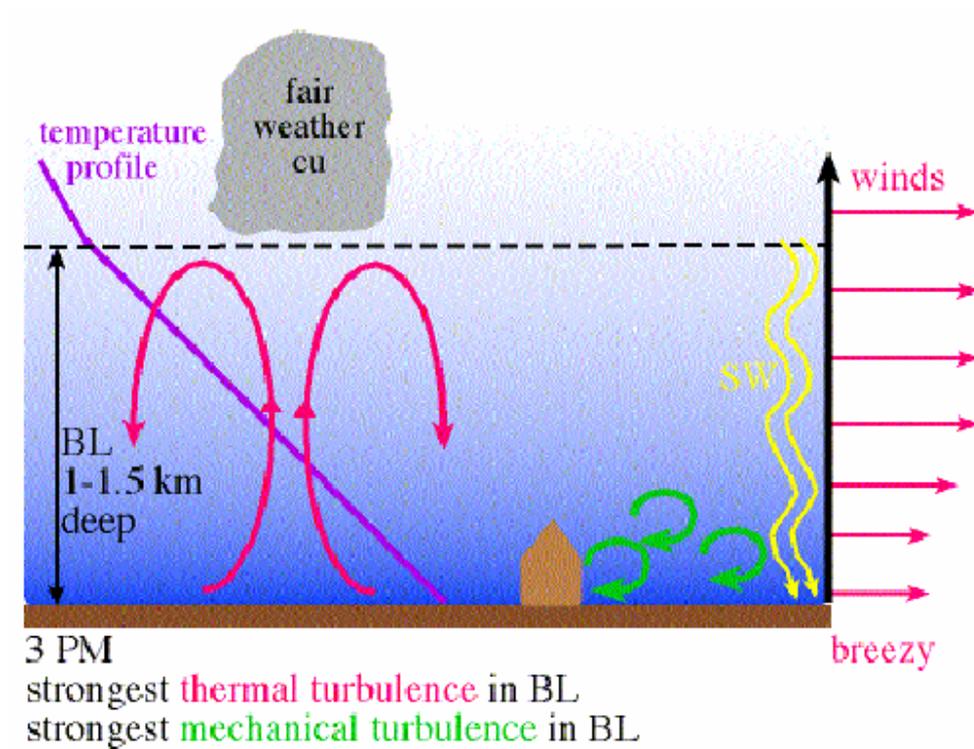
Ventos intensos geram turbulência mecânica



### **Evolução da Camada Limite – 15h00**

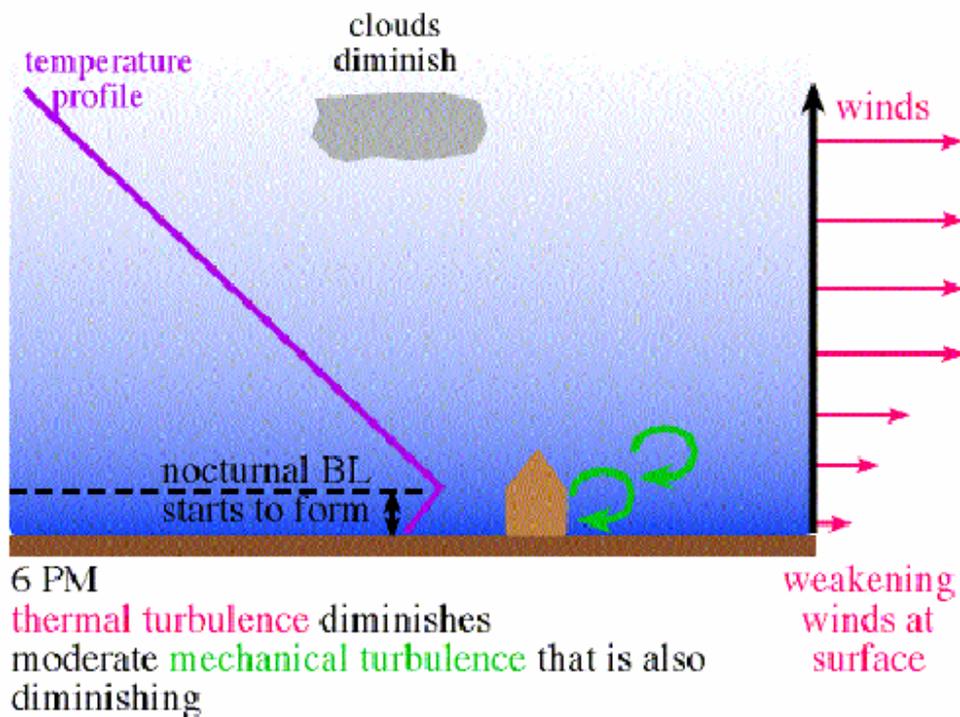
- O aquecimento da superfície é máximo
  - Dessa forma, a turbulência térmica é máxima a essa hora do dia
  - Há uma mistura dos ventos intensos, mais acima, com os fracos ventos de superfície – gerando intensa turbulência mecânica
  - Os ventos de superfície são intensos nesse horário
  - A altura da camada limite planetária é de cerca de 1-2 km
- O ar na camada limite é bem misturado (isto é, tem propriedades

uniformes) devido aos efeitos de turbulência térmica e mecânica



### **Evolução da Camada Limite – 18h00**

- O aquecimento da superfície diminui
    - A temperatura da superfície começa a cair
    - Acaba a turbulência térmica
    - Diminui o número de nuvens
    - Começa a se desenvolver a Camada Limite Noturna
  - Os ventos de superfície enfraquecem
  - Turbulência mecânica é moderada e enfraquece com o tempo
- Em resumo, a intensidade da turbulência térmica e mecânica depende: (temperatura, vento e rugosidade da superfície)



## Circulação térmica

- Muitos fenômenos são resultantes da *circulação térmica*:
- *Circulação térmica* - a circulação gerada pelo gradientes de pressão produzidos por *aquecimento diferencial*
- Circulações térmicas tendem a serem verticalmente rasas – não se estendem sobre toda a troposfera

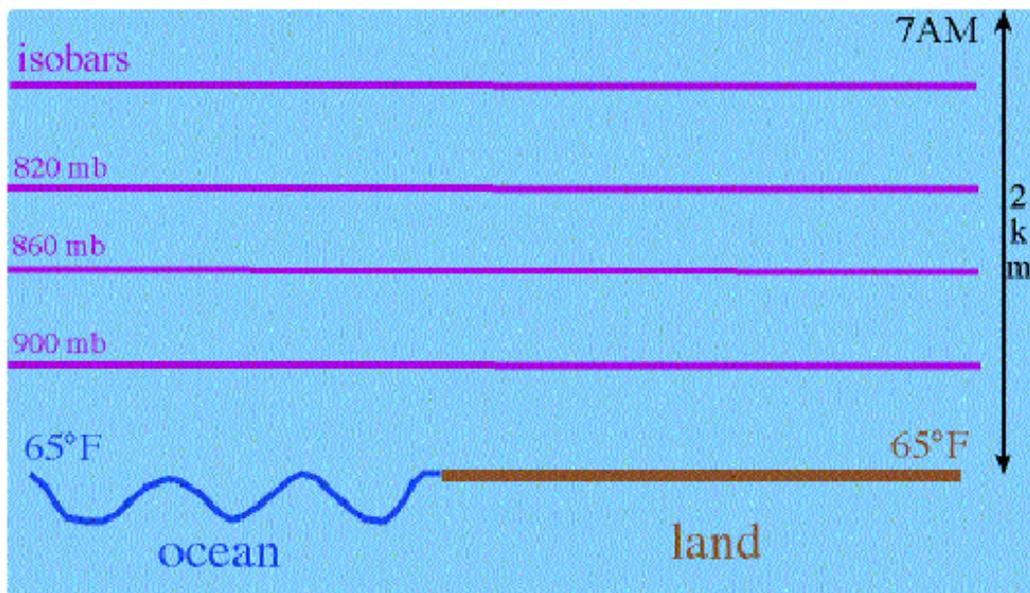
Exemplos de circulação térmica:

- Brisa marítima
- Brisa terrestre
- Brisa vale-montanha

## Como é gerada circulação térmica?

### Circulação de brisa marítima – manhã

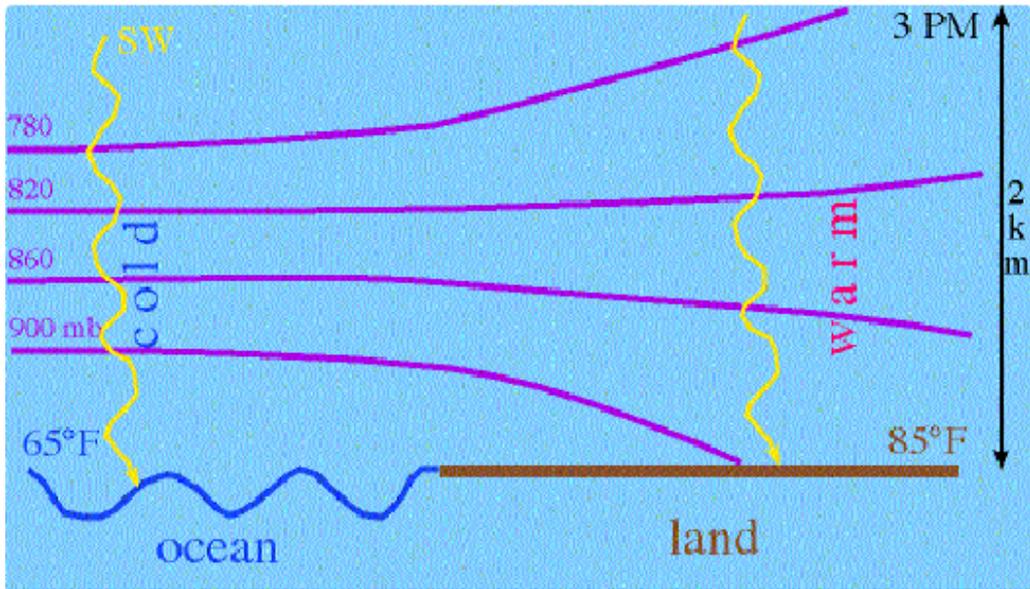
- Considere a interface entre terra/mar durante o período da manhã
  - Assuma que o oceano e o continente têm a mesma temperatura
  - Assuma ausência de fenômenos de escala sinótica
- Quando o aquecimento solar aumenta durante o período da manhã, que superfície se aquece mais rápido e porque?



(Calor específico da terra é menor do que o da água)

## **Circulação de brisa marítima – tarde**

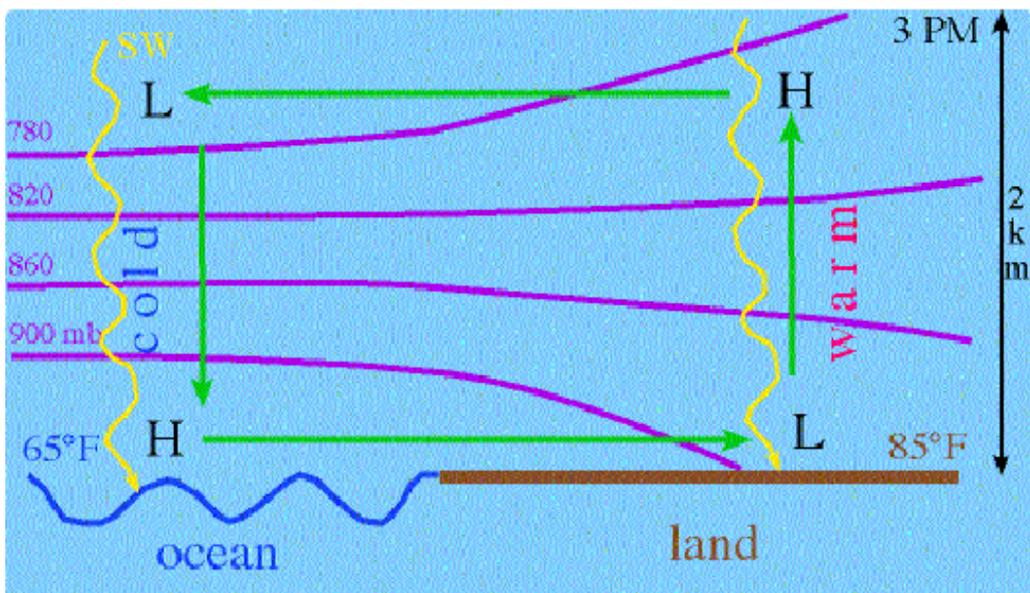
- À tarde (15 HL), a superfície do continente está mais quente que a superfície do oceano
- O ar sobre o continente irá se aquecer e expandir em resposta ao aquecimento da superfície
- Em baixos níveis haverá, então, uma coluna de ar mais fria sobre o oceano e mais quente sobre o continente
- Esse aquecimento diferencial gera a seguinte distribuição de pressão:



### Circulação de brisa marítima – tarde

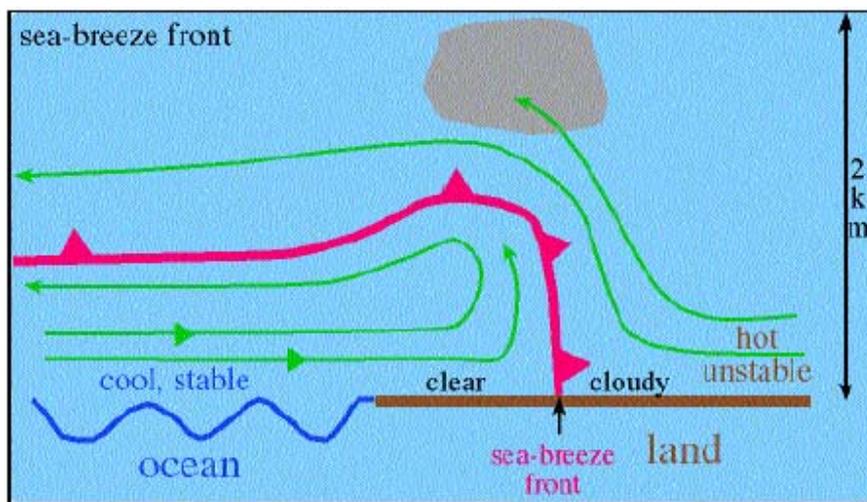
Escoamento resultante

- Em baixos níveis, em direção ao continente – *brisa marítima*
- Em níveis superiores, em direção ao mar – *escoamento de retorno*
- Movimento ascendente sobre o continente devido a *convecção*
- Movimento descendente sobre o oceano

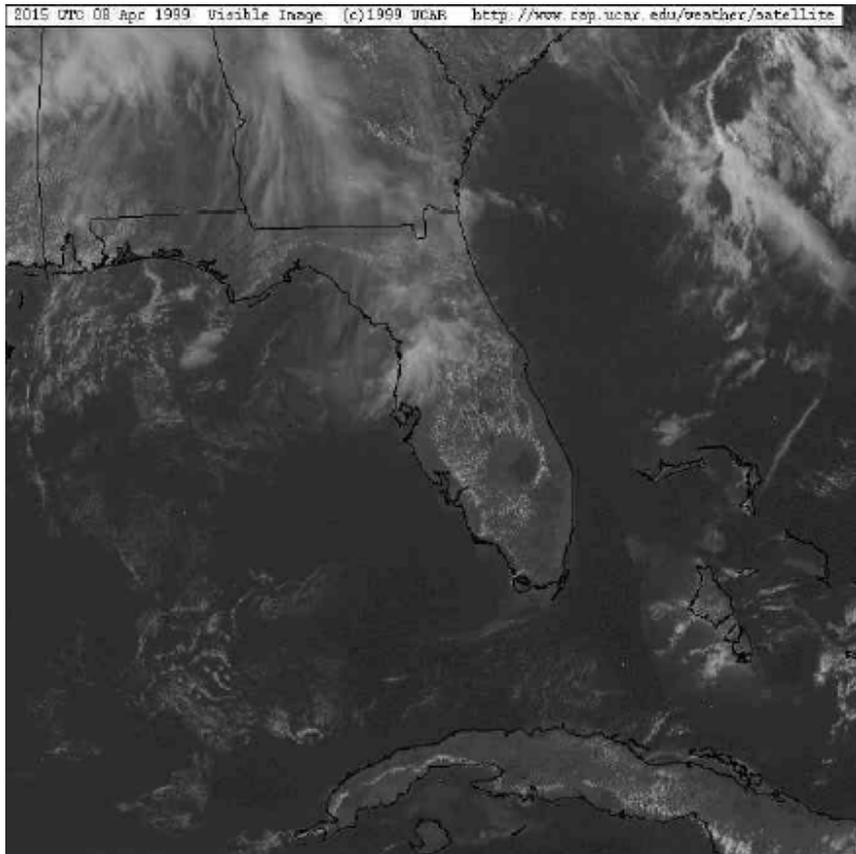


## Frente da brisa marítima

- A *frente da brisa marítima* é a fronteira entre o escoamento frio, estável proveniente do oceano e o ar quente e instável sobre o continente
- A passagem frontal da brisa marítima é notada:
  - Mudança na velocidade e direção do vento
  - Diminuição da temperatura
  - Aumento da umidade
- Verifica-se um máximo de temperatura exatamente antes da passagem frontal
- Frequentemente há formação de nuvens ao longo da frente

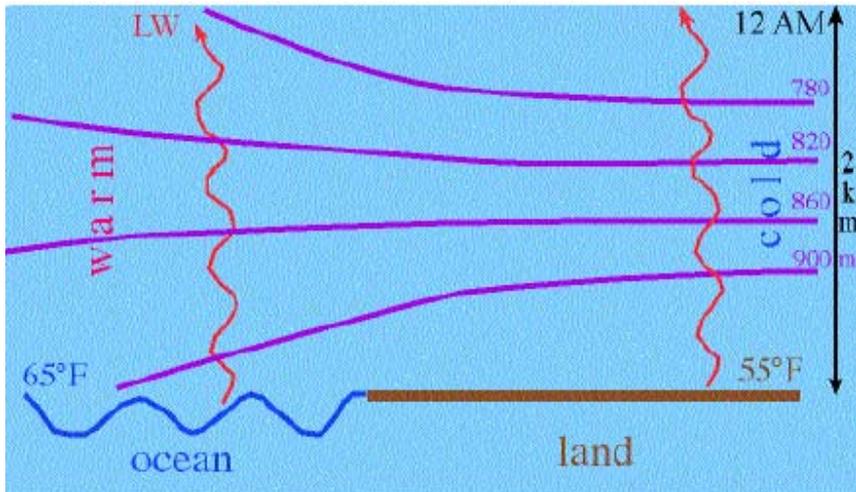


As nuvens ao longo da frente podem ser vistas em imagem de satélite



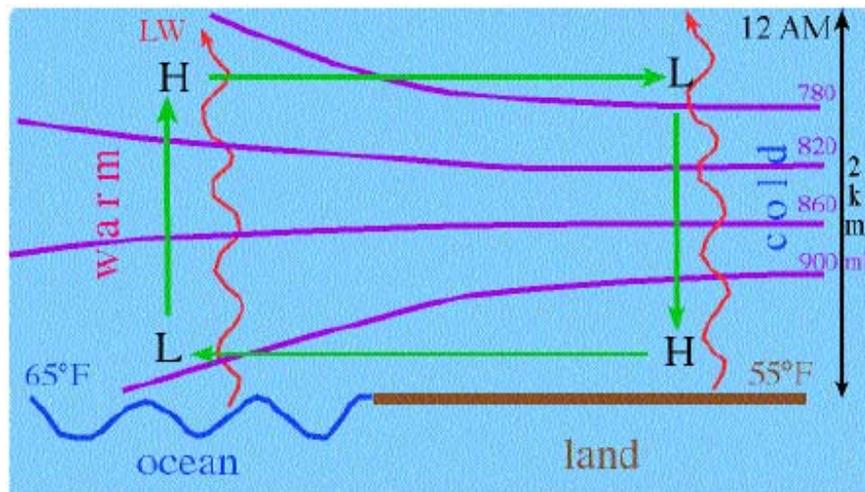
## **Brisa terrestre**

- Ocorre a noite devido ao resfriamento radiativo do continente ser mais rápido do que o oceânico
- O resfriamento radiativo produz a distribuição de pressão mostrada abaixo:



## Brisa terrestre

A brisa terrestre tende a ser mais fraca que a brisa marítima devido à diferença de temperatura entre o continente e o oceano, a noite, em geral, ser menor do que durante o dia.



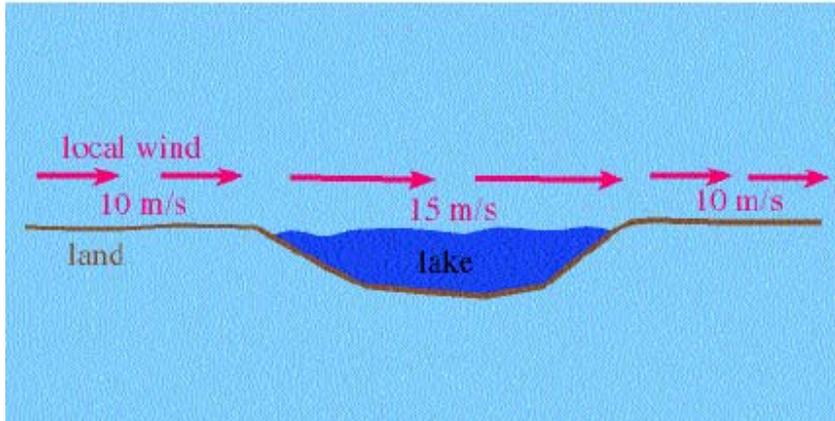
## Vento local e água

- Os ventos freqüentemente mudam de direção e velocidade quando se movem da água para o continente e do continente para a água...Porque?
- Considere o ar se movendo sobre um lago
- Note que os ventos aceleram quando se movem da terra para o

lago

- Note também que os ventos desaceleram quando movem do lago para a terra

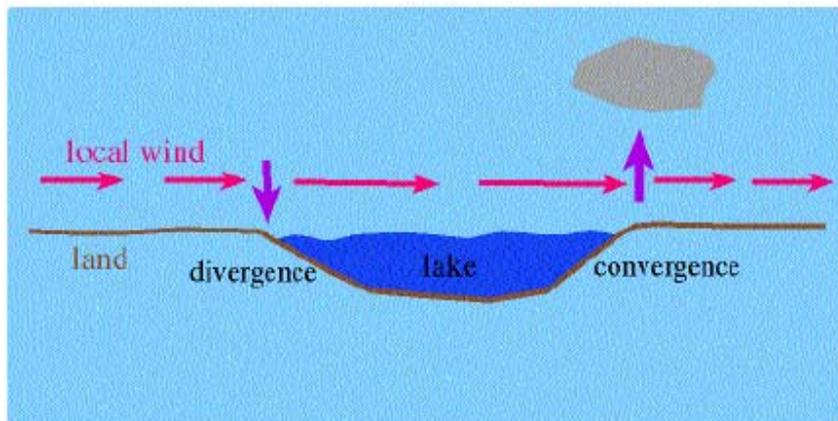
Qual movimento vertical é produzido por esse padrão?



(O ATRITO SOBRE A ÁGUA É MENOR)

## Vento local e água

- Onde os ventos se intensificam quando o ar se move da terra para a água, é gerada uma área de **divergência** e movimento descendente
  - Onde os ventos se desintensificam quando o ar se move da água para a terra, é gerada uma área de **convergência** e movimento ascendente
- Se o movimento ascendente for forte pode haver geração de Nuvens



## Vento local e água – mudança de direção

Porque quando o ar se move da terra para a água (ou vice versa) ocorre uma mudança de direção?

- Considere o balanço de forças para os ventos
- Note que conforme as parcelas se movem sobre o lago, o atrito fica muito menor
- *Dessa forma*, há uma intensificação dos ventos

A força de Coriolis fica maior que a Força gradiente de pressão e os ventos se viram para a direita (HN)

