



Universidade de São Paulo

Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas

NOME Simone Valanni

N.º USP 5351561

CURSO micrometeorologia

DISCIPLINA meteorologia

DATA 03/07/08

NOTA	EXAMINADORES
5.5	
6.0	

2.0

$$2) \bar{u}(z) = \bar{u}_r \left(\frac{z}{z_r} \right)^m$$

$$\ln \bar{u}(z) = \ln \left(\bar{u}_r \frac{z}{z_r} \right)^m$$

$$\ln \bar{u}(z) = \ln \bar{u}_r + \ln \left(\frac{z}{z_r} \right)^m$$

$$\ln \bar{u}(z) = \ln \bar{u}_r + m \ln \frac{z}{z_r}$$

$$d \ln \bar{u}(z) = d \left[\ln \bar{u}_r + m \ln \frac{z}{z_r} \right]$$

$$d \ln \bar{u}(z) = d \ln \bar{u}_r + d m \ln z - d m \ln z_r$$

$$d \ln \bar{u}(z) = d \ln \bar{u}_r + m d \ln z - m d \ln z_r$$

$$\frac{1}{\bar{u}(z)} d \bar{u}(z) = \frac{m}{z} dz \Rightarrow m = \frac{z}{\bar{u}(z)} \frac{d \bar{u}(z)}{dz} \quad C$$

lembrando que:

$$\frac{d \bar{u}}{dz} = \frac{u}{kz} \Rightarrow \int_{z_0}^{z_r} \frac{d \bar{u}}{kz} = \int_{z_0}^{z_r} \frac{u}{kz} dz \Rightarrow \bar{u}(z) = \frac{u}{k} \ln \left| \frac{z_r}{z_0} \right|$$

substituindo na expressão encontrada,

chegamos que:

$$m = \ln \left| \frac{z_0}{z_r} \right| \quad C$$

com esta expressão vemos que, quanto maior z_r , menor m e quanto maior z_0 , maior m .

aumentará conforme a altura diminuir.

$$\textcircled{a} (\overline{w'u'}) = -km \frac{\partial \bar{u}}{\partial z} = -u_*^2$$

$$u_*^2 = -km \frac{\partial \bar{u}}{\partial z} \Rightarrow u_*^2 \partial z = -km \partial \bar{u}$$

$$\int_{z_0}^z u_*^2 \partial z = \int_{z_0}^z -km \partial \bar{u}$$

$$u_*^2 (z - z_0) = -km \bar{u} (z - z_0)$$

$$u_*^2 (z) = -km \bar{u} (z)$$

$$-km = \frac{u_*^2}{\bar{u}(z)} \quad \times$$

10

$$\textcircled{b} \quad l^2 = km \quad (1)$$
$$\left| \frac{\partial \bar{u}}{\partial z} \right|$$

sabendo que $\frac{\partial \bar{u}}{\partial z} = \frac{u_*}{kz}$ (2) e também que

$$(\overline{u'u'}) = u_*^2 = -km \frac{\partial \bar{u}}{\partial z} \Rightarrow -km = \frac{u_*^2}{\frac{\partial \bar{u}}{\partial z}} \quad (3)$$

substituindo (2) em (3) temos:

$$-km = \frac{u_*^2}{\frac{u_*}{kz}} \Rightarrow +km = u_* \cdot kz \quad (4)$$

substituindo (4) em (1), obtemos:

$$l^2 = \frac{u_* \cdot kz}{u_*} \Rightarrow l^2 = (kz)^2 \Rightarrow l = kz \quad C$$

podemos dizer, então, que o comprimento de mistura de Prandtl varia linearmente com a altura e com a cte de von Karman ($\approx 0,35$)

$$Ri = \frac{g}{\theta_0} \frac{\partial \bar{\theta}}{\partial z} \quad (1)$$

$$\left| \frac{\partial \bar{\theta}}{\partial z} \right|^2$$

$$\phi_m(\xi) = \frac{kz}{u_*} \frac{\partial \bar{\theta}}{\partial z} \Rightarrow \frac{\partial \bar{\theta}}{\partial z} = \frac{u_*}{kz} \phi_m(\xi) \quad (2)$$

$$\phi_H(\xi) = \frac{\theta_*}{\theta_0} \frac{\partial \bar{\theta}}{\partial z} \Rightarrow \frac{\partial \bar{\theta}}{\partial z} = \frac{\theta_*}{kz} \phi_H(\xi) \quad (3)$$

substituindo (2) e (3) em (1)

$$Ri = \frac{g}{\theta_0} \frac{\theta_*}{kz} \phi_H(\xi) \Rightarrow Ri = \frac{g}{\theta_0} \frac{\theta_*}{kz} \phi_H(\xi) \left(\frac{kz}{u_*} \phi_m(\xi) \right)^2$$

$$Ri = \frac{g}{\theta_0} \frac{\theta_*}{u_*^2} \frac{\phi_H(\xi)}{\phi_m^2(\xi)} kz \quad (4)$$

$$L = \frac{u_*^2 \theta_0}{kg \theta_*} \quad (5)$$

substituindo (5) em (4)

$$Ri = \frac{z}{L} \frac{\phi_H(\xi)}{\phi_m^2(\xi)} \quad (6) \quad \text{onde } \frac{z}{L} = \xi \quad (\text{adimensional})$$

para uma atmosfera convectiva

$$\phi_H(\xi) = \phi_m^2(\xi) = (1 - 15\xi)^{-\frac{1}{2}}$$

substituindo em (6), temos:

$$Ri = \frac{z}{L} \frac{(1 - 15\xi)^{-\frac{1}{2}}}{(1 - 15\xi)^{-\frac{1}{2}}} \Rightarrow Ri = \xi$$

quando $\xi \rightarrow \infty$, Ri também tende ao

infinito, ou seja, R_i não muito grande

para uma atmosfera estratificada

$$\phi_H(z) = \phi_m(z) = (1 + 5z)$$

substituindo em (6), temos:

$$R_i = \frac{z}{L} \frac{(1 + 5z)}{(1 + 5z)^2} \Rightarrow R_i = \frac{z}{L} \frac{1}{(1 + 5z)}$$

$$R_i = \frac{z}{(1 + 5z)}$$

para um $z \rightarrow \infty$, R_i tende para 0,2 pois
o numerador não sempre 5 vezes menor que o
denominador, e $\frac{1}{5} = 0,2$.

④

fluxo turbulento de $\left\{ \begin{array}{l} \text{momento} = -\rho u_* u_* \\ \text{calor sensível} = -\rho c_p u_* \theta_* \\ \text{calor latente} = -\rho L u_* q_* \end{array} \right.$

$z(m)$	$u(m/s)$	$\theta(K)$	$q(g/kg)$	$\ln z$
$z(1)$	$u(z_1)$	$\theta(z_1)$	$q(z_1)$	$\ln(z_1)$
$z(2)$	$u(z_2)$	$\theta(z_2)$	$q(z_2)$	$\ln(z_2)$
$z(3)$	$u(z_3)$	$\theta(z_3)$	$q(z_3)$	$\ln(z_3)$

método em ducto aerodinâmico) psd

O melhor método a ser utilizado é o método
da anulada de Monin-Obukhov, pois esse
método permite fazer um perfil logarítmico e
a partir dele encontrar os parâmetros necessários
para o cálculo do fluxo turbulento de



Universidade de São Paulo
Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas

NOME Simone Valarini

N.º USP 5351561

CURSO meteorologia

DISCIPLINA método

DATA 03/07/08

NOTA	EXAMINADORES

momento, calor latente e calor sensível.

Como fazer?

Calcula-se os logaritmos dos níveis da vertical que você quiser, e traça-se um gráfico de $\ln z \times u$; $\ln z \times q$; $\ln z \times \theta$, encontrando 3 coeficientes lineares e 3 coeficientes angulares ($z = a + bx$). Como você não quer usar uma única altura, procura encontrar os coef. angulares e lineares pelo método dos mínimos quadrados (mmq), da seguinte forma:

$$b = \frac{\ln(z_2) - \ln(z_1)}{s(2) - s(1)} \quad \text{onde } s = u, q, \theta$$

$$a = \frac{b s}{s^*}$$

$$\text{onde } s = u, q, \theta$$

$$s^* = u^*, q^*, \theta^*$$

$$k = \text{cte de von Karman } \approx 0,35$$

os valores de u^* , θ^* e q^* são calculados por

$$s^* = \frac{k}{b} \quad \text{onde } k = 0,35$$

$$b = \text{coef. angular}$$

— pela lei do perfil logarítmico, encontramos o valor de z_0 , calculado da seguinte forma: —

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial z} = \frac{u^*}{kz} \Rightarrow \partial \bar{u} = \frac{u^*}{kz} dz$$

$$\int_{z_0}^z \partial \bar{u} = \int_{z_0}^z \frac{u^*}{kz} dz \Rightarrow \bar{u}(z) = \frac{u^*}{k} \ln \left| \frac{z}{z_0} \right|$$

$$\bar{u}(z) \frac{k}{u^*} = \ln z - \ln z_0 \Rightarrow \ln z_0 = -\bar{u}(z) \frac{k}{u^*} + \ln z$$

considerando $\bar{u}(z) = 0$, temos:

$$\ln z_0 = \ln z$$

onde $\ln z = a$

então:

$$\ln z_0 = a \Rightarrow z_0 = \exp(a)$$

$$\text{pois } \ln z_0 = \ln z - \bar{u}(z) \frac{k}{u^*}$$

$\underbrace{a = \text{coef}}_{\text{linear da}} \underbrace{\text{reta}}$

$\underbrace{b = \text{coef}}_{\text{angular}} \underbrace{\text{da reta}}$

Se você utilizar o MMA para estimar os valores de a e b (coef linear e angular, respectivamente), é necessário que se repita esse mesmo procedimento corrigindo os valores de $u(z)$, $q(z)$ e $\theta(z)$, para então, com os valores calculados de ξ^* , calcular o erro, e repetir os mesmos passos até que o erro (em módulo) seja menor que o permitido.

Para calcular ξ :

$$\xi = \frac{z}{L} \Rightarrow \xi = \frac{k q \theta \cdot z}{u^2 \theta_0}$$

$$* \left| \frac{\xi' - \xi^0}{\xi'} \right| \times 100 = E$$

se $\xi > 0 \Rightarrow \text{atm estável}$

$$\phi_H = \phi_H = 1 + \xi \xi$$

para atmosfera convectivo $\xi < 0$

$$\phi_m^2 = \phi_H = (1 - 15\xi)^{-\frac{1}{2}}$$

a partir disso, obtêm-se novos valores para U, q e θ com a seguinte expressão:

$$S' = S + \frac{b}{S^*} (\phi(z_0) - \phi(z))$$

onde S' = são os novos valores de U, q e θ

S^* = são os valores de u^*, q^* e θ^*

S = são os valores fornecidos de u, q e θ

$$\phi(z_0) = \phi(z) \begin{cases} \text{para } u = \phi_H \\ \text{para } q \text{ e } \theta = \phi_m \end{cases}$$

em uma planilha:

z	$\ln(z)$	u	q	θ
$z(1)$	$\ln(z_1)$	$u(z_1)$	$q(z_1)$	$\theta(z_1)$
$z(2)$	$\ln(z_2)$	$u(z_2)$	$q(z_2)$	$\theta(z_2)$
$z(3)$	$\ln(z_3)$	$u(z_1)$	$q(z_1)$	$\theta(z_3)$

$$b_s = \frac{\ln(z_0) - \ln(z_1)}{S(z_3) - S(z_1)}$$

$$a_s = \frac{b S}{S^*}$$

$$S^* = \frac{b_s}{b_s}$$

$$z_0 = \exp a$$

$$\xi = \frac{b q \theta + z}{u^2 \theta_0} \quad \phi_m \quad \phi_H \quad \phi_e \quad \text{onde } \phi_H = \phi_e$$

valores corrigidos (iteração n)

$$S' = S + \frac{b}{S^*} (\phi(z_0) - \phi(z))$$

onde $S = q, u, \theta$

Depois que achar o erro menor que o proposto,
calcula-se os fluxos turbulentos, com ρ , c_p e L
constantes:

fluxos turbulentos de $\left\{ \begin{array}{l} \text{momento} : \rho u \rightarrow u^* \\ \text{calor sensível} : \rho c_p u \rightarrow \theta^* \\ \text{calor latente} : \rho L u \rightarrow q^* \end{array} \right.$

?