

# Transferências de *momentum* e perfis noturnos de velocidade do vento no interior de florestas da Amazônia

Ralf Gielow, Alessandro Augusto dos Santos Michiles

*Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais*  
e-mail: ralf@cptec.inpe.br

## 1. Introdução

Na camada limite noturna sobre florestas, os fluxos verticais de massa e de calor são primariamente gerados pela turbulência produzida pelo retardamento friccional da velocidade horizontal do vento sobre os elementos da biomassa. Tal processo de absorção provoca um contínuo fluxo descendente de *momentum* do escoamento de ar para a superfície.

Neste trabalho reproduz-se um modelo matemático que descreve o transporte de *momentum* no interior de florestas, testando-se sua validade por meio de medidas de floresta de terra firme do sudoeste da Amazônia.

## 2. Material e métodos

Os dados de velocidade do vento foram medidos por meio de anemômetros instalados nas alturas de 15, 25, 35 e 37 m, junto à torre montada na floresta de terra firme da Reserva Biológica do Jaru (Rebio Jaru), localizada no sudoeste da Amazônia (-10°45' S; 62°22' O), durante a transição entre as estações seca e chuvosa de 2002 (projeto LBA).

Partindo das Equações de Navier-Stokes para fluidos newtonianos incompressíveis para um meio absorvedor e considerando  $v = w = 0$ , chega-se à equação que descreve a distribuição estacionária de velocidade do vento em função da altura  $z$  no interior de uma floresta:

$$\frac{\partial^3 u}{\partial z^3} - \left( \frac{1}{T} \right) \left( \frac{\partial T}{\partial z} \right) \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} - \left( \frac{\beta}{\nu} \right) \frac{\partial u}{\partial z} + \left( \frac{\beta}{\nu T} \right) \left( \frac{\partial T}{\partial z} \right) u - \left( \frac{\beta}{\nu z} \right) u = 0 \quad (1)$$

na qual  $n$  é o coeficiente de viscosidade do meio e  $\beta(z)$  é uma grandeza que expressa a eficiência com que o *momentum* transportado pelas parcelas de ar é absorvido pelos diversos elementos que compõem a vegetação.

Admite-se um perfil de temperatura no interior da floresta do tipo  $T(z) = -\Gamma z + T_0$  e considera-se que  $\beta(z) = a(z)v_a$ , sendo  $v_a$  a velocidade de absorção de *momentum* e  $a(z)$  a densidade de área foliar; parametriza-se  $a(z) = (z/z_m)a_0$ , para  $0 < z \leq z_m$ , e  $a(z) = [(b-z)/(b-z_m)]a_0$  para  $z_m < z \leq b$ . Essa parametrização representa uma distribuição de do tipo triangular, sendo  $a_0$  a altura do triângulo, localizada no plano  $z_m$ , que simula a região no interior da floresta com maior concentração foliar, e  $b$  a altura da floresta, conforme proposto por Marques Filho (1992).

Para o caso da região entre 0 e  $z_m$ , obtém-se a seguinte solução, adimensionalizada, da equação 1:

$$\vartheta(\xi) = b \left[ -\left(\frac{\xi_0}{2}\right) \xi^2 + \frac{\xi^3}{6} - \left(\frac{\gamma \xi_0}{40}\right) \xi^5 + \left(\frac{\gamma}{180}\right) \xi^6 - \left(\frac{\gamma^2 \xi_0}{2240}\right) \xi^8 \right] \quad (2)$$

sendo  $\vartheta = \frac{u}{u_h}$ ,  $\xi = \frac{z}{h}$ ,  $\xi_m = \frac{z_m}{h}$ ,  $\xi_0 = \frac{T_0}{\Gamma h}$ ,  $\gamma = \frac{a_0 v_a h^2}{v \xi_m}$  e

$$b = \frac{2 \cdot 6 \cdot 30 \cdot 40 \cdot 56}{\left(2 \cdot 30 \cdot 40 \cdot 56 - 6 \cdot 30 \cdot 40 \cdot 56 \xi_0 + \right.} \quad \text{Similarmente,}$$

$$\left. + 2 \cdot 40 \cdot 56 \gamma - 2 \cdot 6 \cdot 30 \cdot 56 \gamma \xi_0 - 2 \cdot 6 \cdot 30 \gamma^2 \xi_0 \right)$$

para a região entre  $z_m$  e  $b$ , obtém-se a solução:

$$\vartheta(\xi) = c \xi - \left(\frac{d \xi_0}{2}\right) \xi^2 + \left(\frac{d + \gamma c}{6}\right) \xi^3 - \frac{\gamma}{12} \left(\frac{d \xi_0}{2} + c\right) \xi^4 +$$

$$+ \gamma \left(\frac{d}{120} + \frac{d \xi_0}{40} + \frac{\gamma c}{120}\right) \xi^5 - \gamma \left(\frac{d}{180} + \frac{d \xi_0 \gamma}{720} + \frac{\gamma c}{120}\right) \xi^6 \quad (3)$$

na qual  $\eta = \frac{\xi_m}{(1-\xi_m)}$ ,  $c = \frac{720 + dl}{j}$ ,  $d = \frac{\left( be - 720 \frac{i}{j} \right)}{\left( k + \frac{il}{j} \right)}$ ,

$$e = \frac{\left[ - (6 \cdot 30 \cdot 40 \cdot 56 \xi_0) \xi_m^2 + (2 \cdot 30 \cdot 40 \cdot 56) \xi_m^3 - (2 \cdot 6 \cdot 30 \cdot 56 \xi_0 \gamma) \xi_m^5 + \right. \\ \left. + (2 \cdot 40 \cdot 56 \gamma) \xi_m^6 - (2 \cdot 6 \cdot 30 \xi_0 \gamma^2) \xi_m^8 \right]}{(2 \cdot 6 \cdot 30 \cdot 40 \cdot 56)}$$

$$i = \xi_m + \frac{\gamma}{6} \xi_m^3 - \frac{\gamma}{12} \xi_m^4 + \frac{(\gamma)^2}{120} \xi_m^5 - \frac{(\gamma)^2}{120} \xi_m^6, \quad j = 720 + 60\gamma,$$

$$k = - \left( \frac{\xi_0}{2} \right) \xi_m^2 + \frac{\xi_m^3}{6} - \left( \frac{\gamma \xi_0}{24} \right) \xi_m^4 + \gamma \left( \frac{1 + 3\xi_0}{120} \right) \xi_m^5 - \gamma \left( \frac{4 + \xi_0 \gamma}{720} \right) \xi_m^6$$

$$e \quad l = -120 + 360\xi_0 - 2\gamma + 12\xi_0\gamma + \xi_0(\gamma)^2.$$

### 3. Resultados e discussão

A partir das soluções 2 e 3, obtiveram-se distribuições de velocidade do vento no interior de florestas com diferentes características (Figura 1a, por exemplo). Observou-se que o modelo analítico apresenta-se mais sensível às variações de altura da floresta,  $h$ , das velocidades de absorção,  $v_a$ , e do coeficiente de viscosidade cinemática,  $v$ . Verificou-se, também, a influência das mudanças nos valores de índice de área foliar (IAF, diretamente relacionado a  $a_0$ ); porém apenas para as florestas mais altas. Constatou-se que o modelo não é sensível às mudanças nos valores de temperatura ao nível do solo,  $T_0$ , e do gradiente vertical de temperatura,  $\Gamma$ . Observou-se uma boa concordância entre os valores calculados e medidos (Figura 1b). Assim, através do ajuste das curvas teóricas em função das experimentais, é possível determinar os valores que representam a velocidade de absorção da floresta, nos locais e instantes de interesse.

Os valores utilizados como entrada para a obtenção dos gráficos teóricos na Figuras 1a e 1b foram:  $\Gamma = 0,0001 \text{ } ^\circ\text{C cm}^{-1}$ ,  $T_0 = 27,7 \text{ } ^\circ\text{C}$ ,  $v = 0,12 \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$ ,  $h = 37 \text{ m}$ , IAF = 6 ( $a_0 = 0,0036 \text{ cm}^{-1}$ ) e  $\xi_m = 0,6$ .

### 4. Conclusões

Verificou-se que o modelo analítico é mais sensível às variações das grandezas mecânicas ( $h$ ,  $v_a$ ,  $n$  e  $a_0$ ) do que das termodinâmicas ( $T_0$  e  $\Gamma$ ). Além disso, os resultados produzidos pela aplicação deste modelo compararam-se bem com aqueles medidos na floresta da Reserva Biológica do Jarú, comprovando a validade do mesmo, para períodos noturnos.

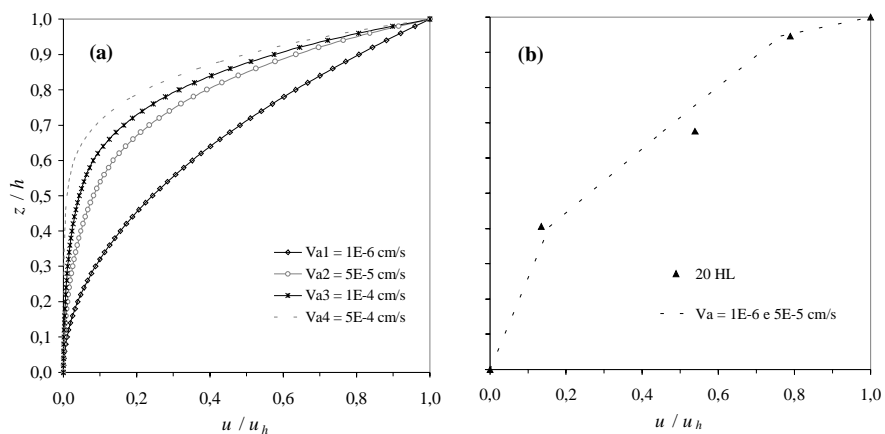


Figura 1. Perfis noturnos de velocidade do vento no interior de floresta (a) modelados para várias velocidades de absorção; (b) medidos às 20 HL do dia 04/10/02, na Rebio Jaru (triângulos), e modelados (linha tracejada) com  $v_a = 1 \times 10^{-6}$  cm s<sup>-1</sup> entre 0 e 0,7h e  $v_a = 5 \times 10^{-5}$  cm s<sup>-1</sup> entre 0,7h e h.

## 5. Referência bibliográfica

Marques Filho, A. O. Transferts de quantité de mouvement au-dessus et à l'intérieur de la végétation. *Acta Amazonica*, v. 22(4), 567-585, 1992.