

RELAÇÃO DE SIMILARIDADE PARA OS PERFIS DE VELOCIDADE MÉDIA DO VENTO DENTRO DA COPA DA FLORESTA AMAZÔNICA EM RONDÔNIA

LEONARDO DEANE DE ABREU SÁ E VANUSA BEZERRA PACHÊCO

Laboratório Associado de Meteorologia e Oceanografia

Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

Avenida dos Astronautas, 1758,

12227-010, São José dos Campos SP

leo@cptec.inpe.br

RESUMO

Foram estudados perfis da velocidade média do vento medidos em torre de 60 m de altura construída na reserva florestal Rebio-Jaru (10°05'S, 61°35'W) pertencente ao IBAMA, localizada no Estado de Rondônia a noroeste do Brasil. Os dados foram coletados quando da realização da campanha intensiva do Experimento LBA (Large Scale Biosphere-Atmosphere Experiment in Amazonia), campanha da estação úmida. Os anemômetros de copo, cujas medidas são utilizadas neste trabalho, foram dispostos verticalmente ao longo da torre de tal forma a permitirem a determinação precisa do ponto de inflexão do perfil vertical da velocidade média do vento. Isto propiciou a obtenção de excelentes ajustes polinomiais (terceiro grau) dos referidos perfis. Com isto, foi possível determinar com razoável precisão os seguintes parâmetros: posição (altura) do ponto de inflexão, z_i ; velocidade média do vento no ponto de inflexão, u_i ; cisalhamento vertical de velocidade média do vento no topo da copa, $(d\bar{u}/dz)|_h$; uma escala de comprimento característica $L_h = \bar{u}_h / (d\bar{u}/dz)|_h$ a qual serve para a obtenção de perfis adimensionais de velocidade média do vento \bar{u}/u_i , cujo grau de generalidade parece ser bastante amplo, pelo menos, nos períodos em que não há transições rápidas dentro da copa. Utilizando-se de cerca de 264 dados medidos nos dias julianos de número 43, 44 e 62 do ano de 1999, demonstra-se, através de ajuste por mínimos quadrados, que $\bar{u}/u_i = -0,19 \log[(z_i - z)/L_h] + 0,31$ para todas as alturas dentro da copa. Os resultados parecem confirmar as sugestões de que o cisalhamento vertical da velocidade do vento no topo da copa e a existência de um ponto de inflexão no perfil vertical de velocidade do vento são dois fatores físicos que desempenham um importante papel no mecanismo de troca de momentum entre o escoamento acima e dentro da copa. O ponto de inflexão sintetiza as informações básicas da dinâmica das interações turbulentas entre o escoamento acima e abaixo da copa.

Palavras-chave: Floresta Amazônica, Perfis de Vento, Similaridade dentro da copa

ABSTRACT: SIMILARITY RELATIONSHIP FOR THE WINDSPEED CANOPY OF THE AMAZON FOREST IN RONDÔNIA

We studied mean wind velocity profiles measured on a 60m height tower built in a forest reserve Rebio-Jaru (10°05'S, 61°35'W) belonging to IBAMA, located in the Brazilian north-western state of Rondonia. The data were collected during the intensive campaign of Experiment LBA (Large Scale Biosphere-Atmosphere Experiment in Amazonia) wet season campaign. The cup anemometers whose measurements were used in this work were vertically placed in a way to provide good calculation of the mean velocity wind profile inflexion point value. This allowed us to obtain well fitted third degree polynomial functions for the vertical wind profiles. Thus, it was possible to determine with reasonable prevision the following physical parameters: inflexion-point height, z_i ; inflexion point height wind velocity, u_i ; wind shear in the

canopy top, $(d\bar{u}/dz)|_h$ characteristic length scale $L_h = \bar{u}_h / (d\bar{u}/dz)|_h$, useful to profile adimensional

average wind velocity \bar{u}/u_i which seems to be very general, at best in periods where these are fast transitions inside the canopy. We used nearly 264 data points for 43, 44 and 62 julian days of year 1999 to obtain the loglinear minimum square fitting: $\bar{u}/u_i = -0,19 \log[(z_i - z)/L_n] + 0,31$ for all height inside canopy. The results seem to confirm the suggestions that the wind vertical shear in the canopy top and the existence of an inflexion point in the wind velocity vertical profile are two physical factors which play an important role on the momentum exchange mechanism between the flow above and inside the canopy. The inflexion point synthesizes the basic informations of the dynamics of turbulent interactions between the flow above and below the canopy.

Key-words: Amazon Forest, Wind profile, Similarity inside canopy

INTRODUÇÃO

Os estudos de interação atmosfera-floresta têm mostrado que, próximo a superfícies rugosas como a de floresta (Raupach e Thom, 1981) e outras superfícies vegetadas (Garratt, 1980; Cellier e Brunet, 1992), o escoamento se reveste de considerável complexidade quando comparado com aquele da interação entre superfícies “lisas” e homogêneas e a atmosfera (Högström e Bergström, 1996; Raupach et al., 1996; Brunet e Irvine, 2000; Kruijt et al., 2000). Tal complexidade se manifesta através da existência de diversas subcamadas fisicamente distintas acima e dentro da floresta (Shuttleworth et al., 1985; Mahrt et al., 2000). O fato de existir um ponto de inflexão no perfil vertical de velocidade do vento (Robinson, 1991; Högström e Bergström, 1996; Raupach et al., 1996; Brunet e Irvine, 2000) acrescenta novas instabilidades hidrodinâmicas ao escoamento turbulento, comparativamente àquele verificado acima de superfícies lisas, dificultando a caracterização do escoamento em termos da Teoria da Similaridade de Monin-Obukhov (Thom et al., 1975; Brunet e Irvine, 2000). Devido a esta complexidade, inexistem uma teoria de similaridade para exprimir as características universais do campo de velocidade do vento dentro da cobertura vegetal. Este estudo pretende contribuir para uma melhor compreensão destes processos de troca entre o escoamento acima e abaixo da copa, através da definição de parâmetros que possibilitam o estabelecimento de funções adimensionais gerais para o escoamento dentro da floresta Amazônica. Para isto, foram utilizados dados coletados em torre de 60 m de altura, na reserva florestal Jaru, em Rondônia, quando da realização da campanha experimental úmida do Experimento LBA.

SOBRE AS MEDIDAS EXPERIMENTAIS

O Experimento de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia (Large Scale Biosphere-Atmosphere Experiment in Amazonia, LBA), cuja primeira campanha intensiva ocorreu de janeiro a março de 1999, teve suas atividades de pesquisa centralizadas no Estado de Rondônia. Aí foi construída uma torre micrometeorológica de alumínio (10°05 e 61°35'W) de 60 m de altura. Nela foram instalados instrumentos para a medida do balanço de radiação, fluxos turbulentos de momentum, calor latente e sensível, fluxo de calor no solo e medidas de precipitação. Para entender o papel da floresta nos processos de troca de energia e de momentum com a atmosfera, foram também efetuadas medidas de perfis verticais de temperatura, umidade específica e velocidade do vento, saldo de radiação e radiação fotossinteticamente ativa, acima e abaixo da copa.

A Figura 1 mostra a posição dos instrumentos na torre. Os instrumentos de resposta rápida (amostrados a 16 Hz) estão posicionados em três diferentes alturas, em 21 m (dentro da copa), em 45 m (justamente no nível da copa) e em 66 m (acima da copa) e os de resposta lenta (amostrados a 0,1 Hz durante grande parte do experimento) foram distribuídos em dez níveis diferentes: acima, dentro e abaixo da cobertura vegetal. Na preparação do experimento, houve especial atenção no sentido de precisar a posição dos instrumentos que propiciariam as medidas dos perfis verticais, de tal forma a fornecerem informação sobre as diversas subcamadas que caracterizam o escoamento dentro e acima da floresta e proporcionarem uma concentração de medidas adequadas no intervalo vertical onde se espera que o perfil vertical de velocidade do vento apresente ponto de

inflexão (Abreu Sá et al., 2000). Assim, alguns instrumentos foram concentrados próximo ao topo da floresta (tanto o considerado topo aerodinâmico quanto o termodinâmico) e próximo às alturas onde ocorrem os pontos de inflexão nos perfis verticais das grandezas

micrometeorológicas. A taxa de amostragem de 0,1 Hz para os anemômetros de resposta “lenta” constitui importante inovação que possibilitará novos estudos sobre a estrutura da turbulência dentro da copa.

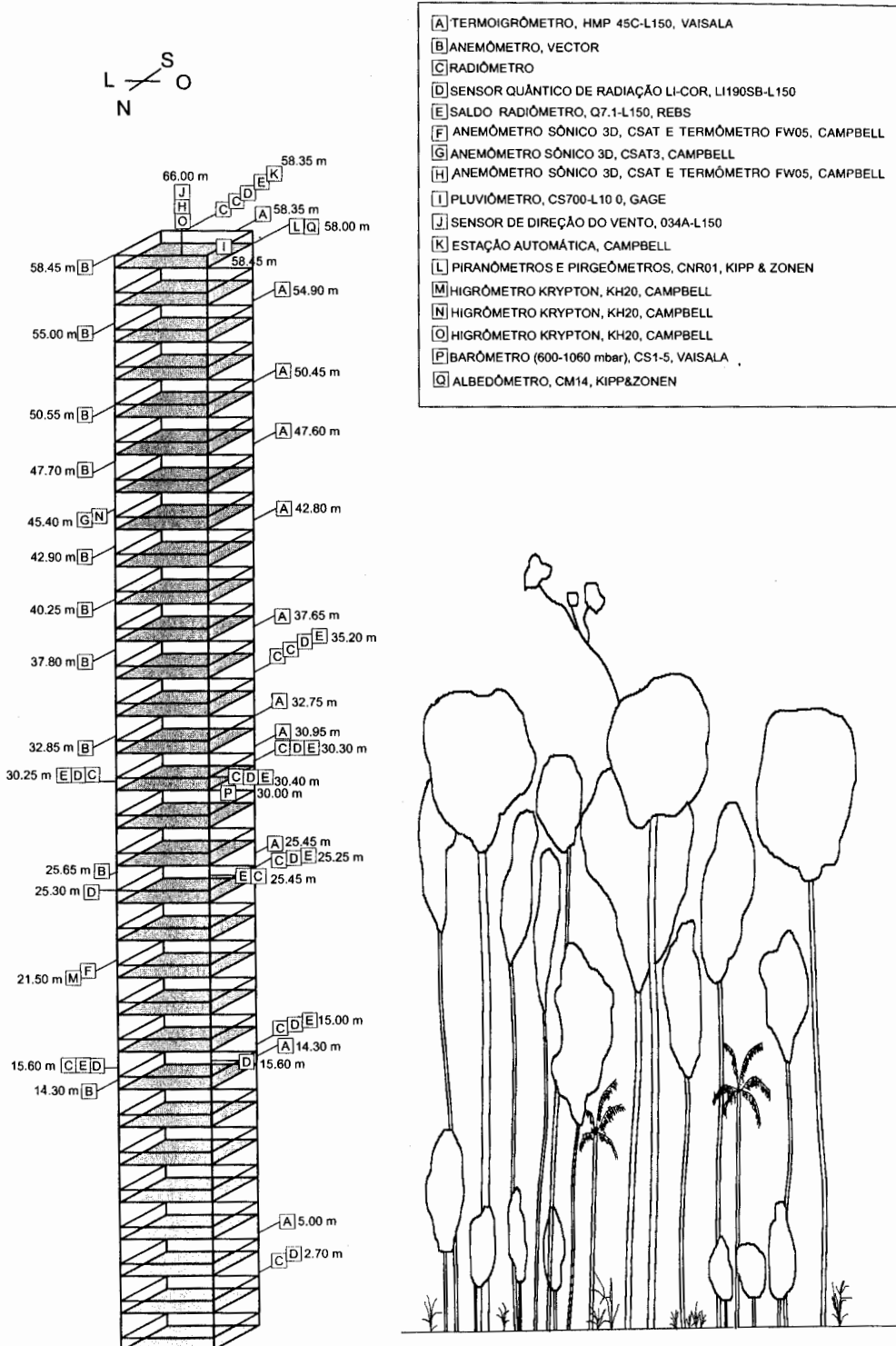


Figura 1: Instrumentação instalada na torre na Rebio Jaru, Rondônia

ELEMENTOS TEÓRICOS E METODOLOGIA

A natureza das escalas características de comprimento, tempo e velocidade de vento dentro de copas vegetais ainda é objeto de muita pesquisa (Raupach et al., 1986; Shaw et al., 1989; Gao e Li, 1993; Kruijt et al., 2000), havendo pouca concordância no que se refere à existência de uma teoria de similaridade universal dentro delas. No que se refere à copa da Floresta Amazônica, Fitzjarrald et al. (1990) estão dentre os primeiros autores a discutirem o caráter de eventuais escalas características para as trocas turbulentas dentro daquelas. Eles estudaram a troca turbulenta entre a Floresta Amazônica e a atmosfera no período diurno quando da realização da campanha para a estação úmida do Experimento GTE-ABLE/2B. Eles apresentaram uma lista de escalas características de comprimento e de tempo, as quais poderiam caracterizar o escoamento imediatamente acima e dentro da copa florestal. Dentre estas, destacam-se: i) Escala de comprimento associada à dissipação de energia cinética turbulenta acima da copa: $\lambda_\varepsilon = u_*^3/k\varepsilon$, em que u_* é a velocidade de fricção, k é a constante de von Kármán e ε é a taxa de dissipação de energia cinética turbulenta por unidade de massa; ii) L , escala de comprimento local de Monin-Obukhov; iii) T_{wi} , escala integral temporal das flutuações turbulentas de velocidade do vento; iv) $1/N$, escala temporal associada à flutuabilidade, N sendo a frequência de Brunt-Väisälä na camada estável.

Kruijt et al. (2000) também analisaram a estrutura da turbulência em duas reservas diferentes da floresta Amazônica para diferentes condições de estabilidade atmosférica na região acima da copa. Seus valores da escala integral de comprimento para a componente vertical da velocidade do vento, λ_w , no topo da copa, foram pequenos, cerca de 0,15 h (h , altura média da copa), comparativamente ao valor esperado pelos autores (de 0,28 h), calculado a partir de uma escala de comprimento associada ao cisalhamento vertical do vento, L_h , definida no nível da altura h da copa. Segundo estes autores, seus resultados sugerem que, embora as trocas entre as camadas acima e dentro da copa não sejam totalmente suprimidas, elas diferem muito de outras florestas no que se refere à capacidade de penetração dos vórtices associados às estruturas coerentes para dentro das regiões inferiores da copa, como é o caso dos resultados obtidos recentemente por Lu e Fitzjarrald (1994), Raupach et al. (1996), Brunet e Irvine (2000), Mahrt et al. (2000). Todavia, como afirmam Fitzjarrald et al. (1990), daqui em diante FIT90, nem sempre é fácil determinar

numericamente os valores de algumas das escalas mencionadas anteriormente. Um primeiro problema, referente ao cálculo das escalas integrais, bem como à determinação de u_* e de L , associa-se à dificuldade prática em se definir com precisão a frequência de corte para a filtragem passa-alto dos sinais turbulentos (obtidos com instrumentos de resposta rápida), procedimento indispensável para a remoção de efeitos transientes indesejáveis decorrentes de movimentos de mesoescala, dentre outros, os quais dificultam a separação do sinal em parte média e flutuações (Mahrt, 1991; Sun et al., 1996; Mahrt, 1998). Ainda segundo FIT90, há alguma evidência de que a altura da copa, h , também seja um importante parâmetro característico de comprimento do escoamento junto à copa. Em sendo este válido, seria possível utilizar o valor de h para tornar as grandezas turbulentas, adimensionais (Raupach et al., 1996). Mas dois argumentos podem ser utilizados para contestar a possibilidade do emprego de h como escala característica única de comprimento. O primeiro, de natureza prática, refere-se à dificuldade de se encontrar um valor médio de h em coberturas irregulares, como é o caso da Floresta Amazônica situada em Rondônia (Abreu Sá et al., 2000).

O segundo argumento, de natureza física, salienta o fato de que o parâmetro característico deveria exprimir a profundidade dentro da copa até onde a turbulência se manifesta significativamente. Por esta razão, FIT90 propuseram que a escala de comprimento vertical relevante para a copa deveria ser $h - d$ e não d , sendo este último, a altura de deslocamento do plano-zero, que eles consideram como sendo o nível médio de absorção de momentum pela copa. Porém, com relação a esta proposição de FIT90, poder-se-iam contrapor duas objeções básicas: i) a dificuldade de obtenção de medidas precisas de d associadas a uma cobertura florestal complexa, pois, artigos recentes de revisão sobre os procedimentos de cálculo deste parâmetro indicam que ainda há alguma ambigüidade no que se refere à determinação precisa do mesmo (Schaudt, 1998; Sozzi et al., 1998); ii) a suposição de que $h - d$ possua um valor fixo, determinado apenas por características geométricas estáticas da cobertura vegetal. É possível que este não seja o caso, principalmente se se levar em conta que o nível médio de absorção de momentum pela copa pode depender da velocidade do vento e das condições de estratificação térmica dentro da copa. Estas considerações sugerem que se deva procurar um parâmetro característico de comprimento que possa incorporar em seu conteúdo, a variabilidade eventual de $h - d$ ao longo da jornada diária, o que decorreria da

variação da profundidade de penetração das trocas turbulentas dentro do dossel ao longo do dia. Uma alternativa possível para equacionar este problema, seria a de se levar em conta de um modo adequado a informação contida no cisalhamento vertical do vento próximo à copa. Raupach et al. (1986), Raupach et al. (1996), Brunet e Irvine (2000) estão entre os autores que dedicaram atenção especial ao assunto. Para eles, é plausível que as escalas de comprimento turbulentas, associadas às transferências verticais de momentum próximo ao topo da copa sejam controladas por uma escala de comprimento de cisalhamento do vento $L_h = \bar{u}_h / \left(\frac{d\bar{u}}{dz} \right) \Big|_h$, sendo \bar{u}_h a velocidade média do vento a uma altura h e $\left(\frac{d\bar{u}}{dz} \right) \Big|_h$ o cisalhamento vertical da velocidade média do vento no topo da copa.

Embora muitas escalas já tenham sido propostas, não se encontra na literatura, até o momento, nenhuma escala que apresente desempenho satisfatório no sentido de estabelecer relações universais dentro da copa (Fitzjarrald et al., 1990; Brunet e Irvine, 2000). No entanto, muitos autores têm chamado a atenção para o caráter dos escoamentos turbulentos que apresentam ponto de inflexão no perfil vertical da velocidade média do escoamento. Assim, Robinson (1991) e Höglström e Bergström (1996) ressaltam que escoamentos que mostram tal ponto de inflexão, apresentam um tipo adicional de instabilidade e que as estruturas coerentes associadas a eles conteriam escalas de tempo marcadamente maiores do que os dos escoamentos próximos a superfícies nos quais não existe ponto de inflexão no perfil de velocidade média do vento. Raupach et al. (1996) chamaram a atenção para o fato de a própria existência de um ponto de inflexão no perfil vertical de velocidade média do vento determinar a falência das formulações universais de Monin-Obukhov em tais condições, o que foi confirmado por Brunet e Irvine (2000), que ressaltam a necessidade de definição de novas escalas características de comprimento em tais condições.

As considerações acima sugerem que se leve em conta mais detidamente a informação oferecida pelo ponto de inflexão do perfil vertical da velocidade média do vento dentro da copa como determinante dos processos de troca turbulenta de momentum dentro da vegetação.

Com esta perspectiva, é proposta neste trabalho uma formulação de velocidade característica e de comprimento característico que também leve em conta a informação contida na altura do ponto de inflexão do

perfil vertical de velocidade média do vento, além daquela contida na altura h , do topo da copa. Assim, a escala característica de velocidade proposta é a velocidade média do vento no ponto de inflexão do perfil (u_i) e a escala de comprimento característica (L_h) é aquela obtida pela relação $\bar{u}_h / \left(\frac{d\bar{u}}{dz} \right) \Big|_h$ no nível correspondente à altura média da copa. Desta forma, espera-se que formulações do tipo que $\bar{u}/u_i = F[(z_i - z)/L_h]$ (onde F seriam funções de validade geral dentro da copa) apresentem validade universal nas regiões dentro da copa em que a velocidade média do vento não for nula (z_i é a altura do ponto de inflexão, \bar{u} é a velocidade média do vento na altura z e z é a altura da medida).

ANÁLISE DOS RESULTADOS

Para analisar os perfis verticais de velocidade do vento obtidos na torre da reserva Rebio-Jaru, foram adotados os seguintes procedimentos: (a) Efetuar teste de consistência dos dados; (b) Efetuar médias horárias dos dados de velocidade do vento obtidos pelos anemômetros de copo (Low Power A100L2 Anemometer, Vector Instruments) a cada 10s; (c) Considerar apenas os dados de períodos em que não houve precipitação ou de períodos que não eram de transição. Uma vez realizada esta seqüência de procedimentos, foi possível dispor de dados correspondentes a, no máximo, nove níveis diferentes, correspondentes às seguintes alturas: 55,00m, 50,55m, 47,70m, 42,90m, 40,25m, 37,80m, 32,85m, 25,65m e 14,30m. Foram então analisados dados referentes aos dias julianos 43, 44 e 62, os quais satisfizeram de um modo geral aos procedimentos de seleção de qualidade mencionados acima. Uma observação dos gráficos dos perfis verticais de velocidade média horária do vento sugere que os mesmos sempre apresentam um ponto de inflexão cuja altura pode variar no decorrer de uma jornada diária. Para determinar com precisão a altura e velocidade do ponto de inflexão dos perfis verticais de velocidade do vento, foi efetuado ajuste de curvas polinomiais, usando a técnica dos mínimos quadrados (através de programa contido no pacote MATLAB-5).

Com isto, foi possível obter polinômios de terceiro grau de melhor ajuste para cada perfil horário do vento. A Figura 2 apresenta quatro tipos de perfis distintos e os respectivos ajustes polinomiais. A partir da informação contida nos polinômios ajustados, foi possível calcular os seguintes parâmetros: z_i , altura do ponto de inflexão; u_i ,

velocidade média do vento no ponto de inflexão;

$(\bar{d}u/dz)|_h$ cisalhamento médio do vento na altura h ;

$L_h = \bar{u}_h / (\bar{d}u/dz)|_h$ uma escala característica de comprimento para o escoamento dentro da copa. A Tabela 1 apresenta informações horárias destes

parâmetros juntamente com o coeficiente de determinação R^2 o qual oferece informação sobre a qualidade do ajuste polinomial. Na análise subsequente, só são considerados perfis para os quais $R^2 > 0,9$ (o que constitui garantia de que as informações obtidas sobre o ponto de inflexão sejam efetivamente correspondentes àquelas contidas nos dados experimentais).

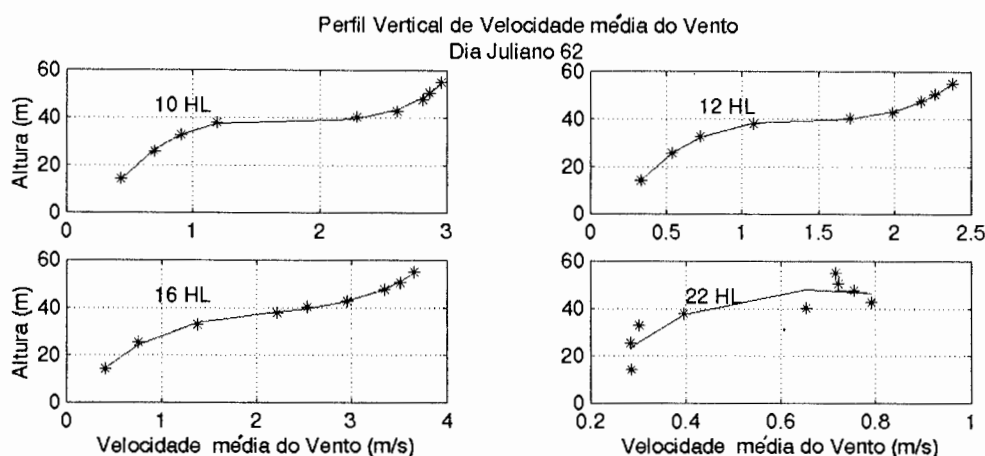


Figura 2: Ajustes de polinômios de terceiro grau a perfis verticais de velocidade do vento sob diferentes condições micrometeorológicas. Cada asterisco corresponde a uma velocidade média do vento medida, e a linha cheia é o ajuste a polinômio de terceiro grau

Tabela 1 - Parâmetros característicos associados ao ponto de inflexão do perfil vertical de velocidade média do vento e à tensão de cisalhamento no topo da copa para os diversos horários do dia juliano 62.

Hora Local (HL)	R^2	u_i	z_i	$\left[\left(\frac{du}{dz} \right)_h \right] \times 10^{-2}$	L_h
0	0,97	1,14	41,60	2,35	21,07
1	0,92	1,18	43,80	2,02	19,89
2	0,93	0,79	40,53	1,18	30,55
3	0,90	0,81	39,88	1,44	24,59
4	0,79	0,53	49,14	0,32	93,36
5	0,87	0,65	43,40	1,00	31,71
6	0,98	0,56	42,87	0,77	40,22
7	0,99	0,48	37,04	1,60	24,17
8	0,99	0,82	38,24	2,11	24,84
9	1,00	1,83	39,31	3,92	23,32
10	1,00	1,79	38,90	4,23	21,43
11	0,99	1,71	38,12	4,20	20,95
12	1,00	1,44	39,52	3,57	20,30
13	1,00	1,94	38,52	5,87	18,39
14	1,00	1,34	38,09	4,09	18,07
15	0,98	1,18	38,12	3,00	21,76
16	1,00	2,14	37,90	10,84	12,70
17	0,97	0,89	42,50	1,15	35,36
18	0,99	1,46	40,05	3,56	19,59
19	0,95	1,12	43,22	1,38	30,07
20	0,99	0,85	40,56	1,58	29,57
21	0,94	0,65	39,82	0,62	54,30
22	0,79	0,83	45,69	0,65	46,21
23	0,96	0,99	40,73	1,53	27,29

De posse das informações referentes ao ponto de inflexão do perfil vertical de velocidade média do vento, foi possível testar a possibilidade de obtenção de relações adimensionais gerais para os perfis dentro da copa da floresta Amazônica, ou seja, para as medidas de velocidade do vento cuja altura, z , é inferior à altura do ponto de inflexão, ($(z_i - z)/L_h > 0,01$). Para obter estas relações gerais, procurou-se estabelecer uma relação entre as velocidades médias do vento, adimensionalizadas, \bar{u}/u_i e funções de $(z_i - z)/L_h$. Então, admitiu-se que u_i é uma escala característica da velocidade do vento dentro da copa e que $(z_i - z)/L_h$ é um valor correspondente a

uma profundidade adimensional dentro da copa. Após testes para estabelecer a função F que permitisse o melhor ajuste $\bar{u}/u_i = F[(z_i - z)/L_h]$, chegou-se ao seguinte resultado:

$\bar{u}/u_i = -0,19 \log[(z_i - z)/L_h] + 0,31$ Para 264 pares de dados disponíveis dentro da copa, os parâmetros estatísticos de ajuste por mínimos quadrados foram: coeficiente de correlação, -0,91; erro padrão da estimativa, 0,098; parâmetro t de Student associado ao coeficiente linear, 36,87; associado ao coeficiente angular, -36,32. O gráfico contendo o ajuste loglineal é mostrado na Figura 3.

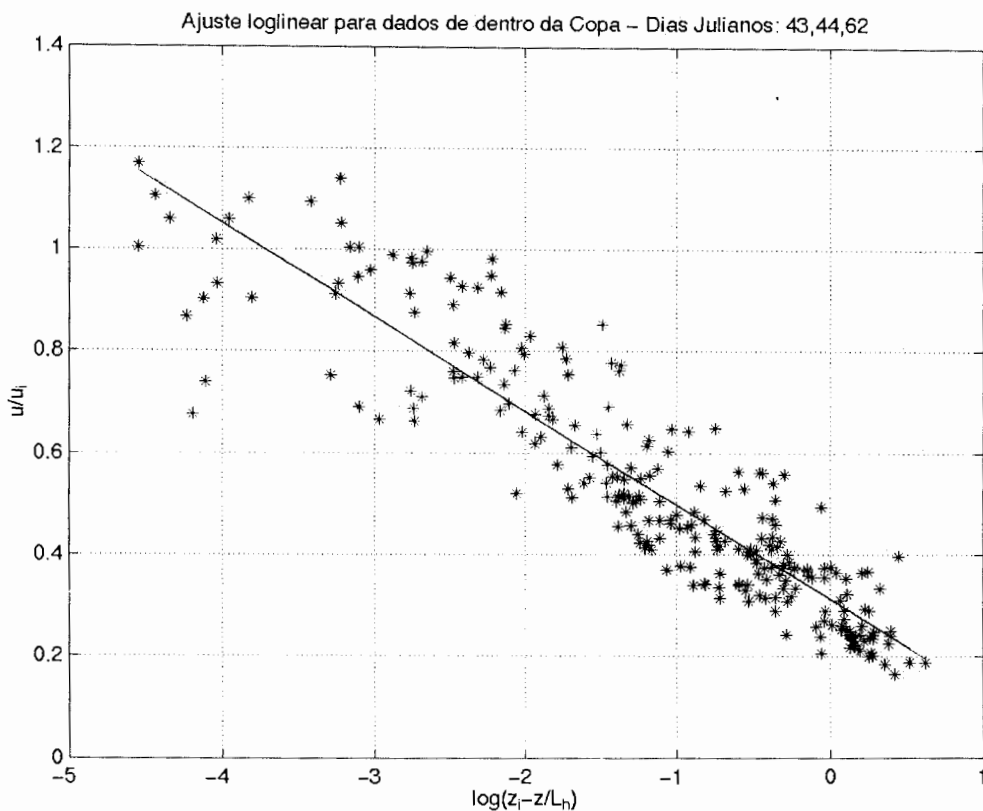


Figura 3: Ajuste loglineal dos dados adimensionais de velocidade média do vento dentro da copa em função de uma profundidade adimensional. Cada asterisco corresponde a uma velocidade média adimensional do vento, e a linha cheia é o ajuste loglineal.

Como se pode depreender destes resultados, é possível afirmar, com suficiente respaldo estatístico, que há uma relação geral para os perfis adimensionais de velocidade dentro da copa da floresta Amazônica em Rondônia e que a informação contida no ponto de inflexão do perfil vertical de velocidade, assim como aquela associada ao cisalhamento no topo da copa,

desempenham um papel chave nos processos de troca de momentum entre o escoamento acima e dentro da copa. Ressalte-se que não foram levadas em conta, nestes cálculos, as condições de estabilidade acima e dentro da copa, o que parece sugerir que as informações contidas no ajuste supramencionado também incorporam informação sobre a flutuabilidade acima e dentro da copa

florestal. Saliente-se também que, nos cálculos acima, só se levaram em conta parâmetros facilmente mensuráveis e não parâmetros de difícil determinação experimental, tais como a altura do deslocamento do plano-zero e o comprimento de rugosidade. É possível que funções adimensionais similares à obtida acima também sirvam para representar outras grandezas estatísticas medidas dentro da copa. Tais estudos fogem ao escopo deste trabalho e serão objeto de pesquisas futuras.

CONCLUSÕES

Foram estudados perfis verticais de velocidade média horária do vento medidos na torre de 60m de altura construída na Reserva Florestal Jarú, em Rondônia. Os dados utilizados foram obtidos durante a campanha úmida do Experimento LBA. Foi possível obter uma relação adimensional geral para as velocidades médias do vento dentro da copa em função de um único parâmetro de profundidade adimensional contendo informação obtida nas alturas do ponto de inflexão do perfil vertical da velocidade média do vento e da altura da copa. Os resultados parecem confirmar que o cisalhamento vertical da velocidade do vento desempenha um papel primordial nas trocas de momentum entre o escoamento acima e dentro da copa.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho integra o experimento LBA (Large Scale Biosphere-Atmosphere Experiment in Amazonia). É financiado pela FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo), processo nº 1997/9926-9 e coordenado pela Dra. Maria Assunção F. da Silva Dias, a quem os autores são gratos. Agradecimentos também são estendidos a toda a equipe de pesquisadores do INPE, IAE-CTA, IAG/USP, UFPA, FUA e outras instituições que participaram dos trabalhos de campo na Reserva Florestal Jarú-RO, de janeiro a março de 1999. Os autores são reconhecidos ao INCRA e ao IBAMA de Ji-Paraná-RO, pelo apoio oferecido quando da realização da campanha experimental, e ao Sr. Maurício J. A. Bolzan, pelo apoio computacional, e à CAPES, pela bolsa fornecida a Vanusa B. Pachêco.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, SÁ, L. D., AVALÁ, R. C. S., ARAI, E., ARLINO, P. R. A., BARBOSA, A. C., BOLZAN, M. J. A., BONFIM JR., A., CASTRO JR., W. E.,

DIAS, M. A. F. S., PRASAD, G. S. S. D., GIELOW, R., LOLA DA COSTA, A. C., MANZI, A. O., MARTINS NOGUEIRA, J. L., MELO, J., MOURA, R. G., ROSA, L. E., ROSSATO, L., VON RANDOW, C. General aspects of the Rebio-Jarú Amazon forest micrometeorological tower LBA Wet Season Campaign and Preliminary Results; In: CONFERENCE ON HYDROLOGY, TRMM HYDROLOGY, 15, ANNUAL MEETING OF THE AMERICAN METEOROLOGICAL SOCIETY, 80, 2000, Long Beach, CA, **Proceedings...**, p. 369-72.

BRUNET, Y., IRVINE, M. R. The Control of Coherent Eddies in Vegetation Canopies: Streamwise Structure Spacing, Canopy Shear Scale and Atmospheric Stability. **Boundary-Layer Meteorol.**, v.94, n.1, p.139-63, 2000.

CELLIER, P., BRUNET, Y. Flux-gradient relationships above tall plant canopies”, **Agric. For. Meteorol.**, v. 58, n.1-2, p. 93-117, 1992.

FITZJARRALD, D. R., MOORE, K. E., CABRAL, O. M. R., SCOLAR, J., MANZI, A. O., SÁ, L. D. A. Daytime Turbulent Exchange Between the Amazon Forest and the Atmosphere. **J. Geophys. Res.**, v. 95, n. D10, p. 16825-38, 1990.

GAO, W., LI, B. L. Wavelet Analysis of Coherent Structures at the Atmosphere-Forest Interface. **J. Appl. Meteorol.**, v.32, n.11, p.1717-25, 1993.

GARRATT, J. R. Surface Influence upon Vertical Profiles in the Atmospheric near-surface layer. **Q. J. R. Meteorol. Soc.**, v.106, n.450, p. 803-19, 1980.

HÖGSTRÖM, U., BERGSTRÖM, H. Organized Turbulence in the Near-Neutral Atmospheric Surface Layer. **J. Atmos. Sci.**, v.53, n.17, p. 2452-64, 1996.

KRUIJT, B., MALHI, Y., LLOYD, J., NOBRE, A. D., MIRANDA, A. C., PEREIRA, M. G. P., CULF, A., GRACE, J. Turbulence Statistics Above and Within Two Amazon Rain Forest Canopies. **Boundary-Layer Meteorol.**, v.94, n.2, p.297-331, 2000.

LU, C.-H., FITZJARRALD, D. R. Seasonal and Diurnal Variations of Coherent Structures over a Deciduous Forest. **Boundary-Layer Meteorol.**, v.69, n.1-2, p. 43-69, 1994.

- MAHRT, L. Heat and Moisture Fluxes over the Pine Forest in HAPEX. In: SCHMUGGE, T.J., ANDRÉ, J.-C. (Ed.) **Land surface evaporation - measurement and parameterization**. New York: Springer-Verlag, 1991. p. 261-73.
- MAHRT, L. Flux Sampling Errors for Aircraft and Towers. **J. Atmos.Oceanic Tech.**, v.15, n.2, p.416-29, 1998.
- MAHRT, L., LEE, X., BLACK, A., NEUMANN, H., STAEBLER, R. M. Nocturnal mixing in a forest subcanopy. **Agric. For. Meteorol.**, v.101, n.1, p. 67-78, 2000.
- RAUPACH, M. R., THOM, A. S. Turbulence in and above Plant Canopies. **Annu. Rev. Fluid Mech.**, v.13, p.97-129, 1981.
- RAUPACH, M. R., COPPIN, P. A., LEGG, B. J. Experiments on Scalar Dispersion within a Model Plant Canopy. Part I: The Turbulence Structure. **Boundary-Layer Meteorol.**, v.35, n.1-2, p.21-52, 1986.
- RAUPACH, M. R., FINNIGAN, J. J., BRUNET, Y. Coherent Eddies and Turbulence in Vegetation Canopies: The Mixing-layer Analogy. **Boundary-Layer Meteorol.**, v.78, n.3-4, p.351-382, 1996.
- ROBINSON, S. K. Coherent Motions in the Turbulent Boundary Layer. **Annu. Rev. Fluid Mech.**, v.23, p.601-39, 1991.
- SCHAUDT, K. J. A New Method for Estimating Roughness Parameters and Evaluating the Quality of Observations. **J. Appl. Meteorol.**, v.37, n.5, p. 470-6, 1998.
- SHAW, R. H., PAW U, K. T., GAO, W. Detection of temperature ramps and flow structures at a deciduous forest site. **Agric. For. Meteorol.**, v.47, n.2-4, p. 123-138, 1989.
- SHAW, R. H., PAW U, K. T., ZHANG, X. J., GAO, W., DEN HARTOG, G., NEUMANN, H. H. Retrieval of Turbulent Pressure Fluctuations at the Ground Surface beneath a Forest. **Boundary-Layer Meteorol.**, v.50, n.1-4, p.319-38, 1990.
- SHUTTLEWORTH, J. W., GASH, J. H. C., LLOYD, C. R., MOORE, C. J., ROBERTS, J., MARQUES FILHO, A. O., FISCH, G. F., SILVA FILHO, V. P., RIBEIRO, M. N. G., MOLION, L. C. B., SÁ, L. D. A., NOBRE, C. A., CABRAL, O. M. R., PATEL, S. R., MORAES, J. C. Daily Variations of Temperature and Humidity within and above Amazonian Forest. **Weather**, v.40, n.4, p. 102-8, 1985.
- SOZZI, R., FAVARON, M. , GEORGIADIS, T. Method for Estimation of Surface Roughness and Similarity Function of Wind Speed Vertical Profile. **J. Appl. Meteorol.**, v.37, n.5, p.461-9, 1998.
- SUN, J. , HOWELL, J. F. , ESBENSEN, S. K. , MAHRT, L. , GREB, C. M. , GROSSMAN, R., LEMONE, M. A. Scale Dependence of Air-Sea Fluxes over the Western Equatorial Pacific. **J. Atmos. Sci.**, v.53, n.21, p.2997-3012, 1996.
- THOM, A. S., STEWART, J. B. , OLIVER, H. R, GASH, J. H. C. Comparison of aerodynamic and energy budget estimates of fluxes over a pine forest. **Q. J. R. Meteorol. Soc.**, v.101, n.427, p.93-105, 1975.