

SIMULAÇÃO DO TRANSPORTE DE ESCALAR PASSIVO DENTRO E ACIMA DA FLORESTA AMAZÔNICA COM O MODELO LES PALM

Edivaldo Meninéa Serra Neto¹, Hardiney dos Santos Martins¹, Cléo Quaresma Dias Júnior¹,
Theomar Trindade², Antônio Ocimar Manzi³ e Daniel Palheta Pereira¹

¹Curso de Graduação em Física, IFPA

²Universidade Federal do Oeste do Pará - UFOPA.

³Centro de Previsões de Tempo e Estudos Climáticos, INPE

Resumo

Nesse trabalho recorreu-se ao LES (Large Eddy Simulation) para o melhor entendimento dos processos de troca de um escalar passivo, além das principais características de um escoamento estratificado neutro, dentro e acima do dossel florestal do sítio experimental do projeto ATTO (Amazon Tall Tower Observatory – Observatório da Torre Alta na Amazônia), localizado em uma reserva florestal na Amazônia Central. Para este objetivo aplicou-se o modelo LES PALM (Parallelized LES Model), com duas condições de vento geostrófico (vento fraco - 2 m/s e vento forte - 6 m/s) e a presença de fonte do escalar no interior do dossel. Notou-se que o LES foi capaz de reproduzir as principais características do transporte do escalar e do escoamento de ar na vizinhança do dossel florestal. Além disso, ele nos forneceu informações muito interessantes sobre a dinâmica do escalar nas regiões acima e dentro do dossel florestal.

Palavras-chave: Floresta Amazônica; Simulação Numérica; Escalar Passivo.

Abstract

We used the Large Eddy Simulation (LES) for a better understanding of the passive scalar exchange processes, as well as the main characteristics of a neutral stratified flow, inside and above the forest canopy of the ATTO (Amazon Tall Tower Observatory) experimental site, located in a forest reserve in the Central Amazon. For this purpose, the LES PALM (Parallelized LES Model) model was applied, with two geostrophic wind conditions (weak wind conditions - 2 m/s and strong wind conditions - 6 m/s) and the presence of a scalar source inside the canopy. It was observed that LES was able to reproduce the main characteristics of scalar transport and airflow in the vicinity of the forest canopy. In addition, the simulations provided very interesting information about the dynamics of the flow on the regions above and within the forest canopy.

Keywords: Amazon Forest; Numerical Simulation; Passive Scalar.

1. Introdução

Os processos de troca de escalares entre a atmosfera e superfícies com cobertura de floresta têm recebido especial atenção nos últimos anos (Araújo et al., 2002; Tota et al., 2012). Contudo, alguns aspectos desta interação ainda permanecem relativamente indefinidos. Como exemplos, o efeito de topografia complexa (Chen et al., 2019), eventos de vento forte ($\geq 5\text{ m/s}$), interações com fenômenos de mesoescala (Zeri e Sá, 2011), entre outros. No entanto é importante chamar atenção para o fato de que os fluxos de escalares medidos em florestas são realizados pelo método da “covariância dos vórtices turbulentos”, realizada por sensores instalados em torres micrometeorológicas. Esse método ainda produz grandes incertezas sobre a influência global e regional das florestas tropicais em relação ao CO_2 e outros escalares.

Embora as medidas em torre aumentaram nossa compreensão dos fluxos turbulentos dentro e acima do dossel florestal, nosso escopo ainda está confinado a seções transversais bidimensionais

por causa de dificuldades práticas na obtenção de dados tridimensionais instantâneos. Além da execução destes experimentos ser de alto custo e com logística complexa. Uma alternativa para a obtenção destas respostas é a utilização de simulações de escoamento sob tais condições. É aqui que a simulação numérica dos grandes vórtices (Large Eddy Simulation, LES) mostra seu potencial para explorar a turbulência tridimensional. A execução de simulações para as condições de floresta densa e com Densidade de Área Foliar (LAD) verticalmente variável devem levar em consideração uma força de arrasto verticalmente variável ao longo do dossel florestal (Patton et al., 2003). Esta força representa o efeito do dossel sobre o escoamento acima da floresta.

O presente trabalho tem por objetivo descrever o escoamento turbulento e o transporte de um escalar passivo abaixo e acima do dossel florestal do sítio experimental do ATTO. Na próxima seção apresenta-se uma breve descrição da configuração do modelo LES PALM utilizado nas simulações (seção 2). Na seção 3 discute-se os resultados encontrados e na última seção temos as conclusões obtidas.

2. Configuração do Modelo LES

Neste trabalho utilizou-se o modelo LES PALM, desenvolvido originalmente por Raasch e Schröter (2001), e posteriormente modificado por Maronga et al. (2015), para simular o escoamento turbulento dentro e acima da floresta amazônica.

O arrasto imposto pelo dossel da floresta sobre o escoamento atmosférico foi introduzido no modelo por uma força adicional nas equações de Navier Stokes. Essa força é expressa pelo produto do coeficiente de arrasto (C_d), densidade de área foliar e o quadrado da velocidade instantânea do vento médio ($\overline{u^2}$), conforme proposto por Patton et al. (2003).

$$\overline{F} = C_d \cdot LAD \cdot \overline{u^2} \quad (1)$$

Como o objetivo desse trabalho era simular o escoamento turbulento acima da floresta amazônica, era importante usar no modelo alguns parâmetros que incorporassem a rugosidade da floresta. Alguns pesquisadores estabeleceram valores apropriados para alguns parâmetros, por exemplo: $LAD = 6.4 \text{ m}^2/\text{m}^2$ variável com a altura, sendo máximo na altura de 30 m e mínimo próximo ao chão; altura média do dossel (h) = 40m (Marques Filho et al., 2005). Esses parâmetros foram introduzidos no modelo LES, para permitir que as simulações reproduzissem o escoamento turbulento em uma cobertura florestal típica da região amazônica.

O domínio horizontal da simulação realizada aqui foi $L_x = L_y = 900 \text{ m}$ e a altura do domínio foi $L_z = 1200 \text{ m}$. A grade de resolução implementada foi $d_x = d_y = 20.0 \text{ m}$ (para as componentes horizontais) e $d_z = 4.0 \text{ m}$ para a componente vertical. O intervalo de tempo para a realização das integrações foi de $dt = 1 \text{ s}$. As simulações foram executadas para o um intervalo de tempo de 3 h, sendo que as duas primeiras horas foram descartadas devido ao spin-up e a última hora foi usada para a obtenção dos resultados apresentados aqui. Os perfis verticais iniciais das componentes horizontais da velocidade do vento foram assumidos iguais aos valores das componentes do vento geostrófico, para duas condições de vento, 2 m/s e 6 m/s. As simulações foram inicializadas com vento constante da superfície até a altura de 1200 m.

O objetivo inicial deste estudo foi simular o escoamento turbulento acima e dentro do dossel da floresta para condições aproximadamente neutras (ou seja, $(\frac{h}{L}) = 0.15$, onde L é o comprimento de Obukhov). Portanto, as condições iniciais e de contorno, bem como a forçante externa, foram escolhidas para gerar uma camada limite planetária correspondente a um período convectivo da manhã. Nesse momento, o fluxo de calor sensível é baixo e as condições de estabilidade são quase neutras.

Em ambas as simulações, foi estabelecida uma fonte do escalar no chão da floresta, a uma taxa temporal e espacialmente constante de $Q_{S0} = 0.2 \text{ gm}^{-2}\text{s}^{-1}$. A intensidade da fonte de escalar superficial Q_{S0} está incluída na parametrização SGS, similar ao realizado por (Kanani-Sühring e Raasch, 2015).

3. Resultados

Na Figura 1 temos os perfis de vento simulados para as condições de vento de 2 m/s (Figura 1a) e vento de 6 m/s (Figura 1b). Para as duas condições de vento, pode-se observar que o perfil vertical do vento é bem reproduzido pelo modelo, uma vez que é possível observar a presença de um ponto de inflexão no perfil. Esse ponto está localizado próximo da interface floresta-atmosfera, similar ao encontrado através de dados experimentais para regiões florestadas (Raupach et al., 1996; Thomas e Foken, 2007; Dias-Junior et al., 2013). Tal resultado demonstra que as simulações conseguiram descrever adequadamente o efeito do dossel sobre o campo de escoamento abaixo e acima deste ponto.

Comportamento semelhante é observado na Figura 2, na qual temos o plano de corte xy mostrando a componente vertical da velocidade do vento (w). Nas Figuras 2a e 2b são mostrados os valores de w para a condição de vento a 2 m/s em dois níveis de altura, sendo eles 20 m e 100 m , respectivamente. Para a região abaixo do dossel (Figura 2a) e acima do dossel (Figura 2b) observa-se o comportamento clássico obtido em experimentos de campo, sendo ele o predomínio de intrusão de massas de ar no interior do dossel e ejeções predominando acima da copa das árvores. Resultados similares já foram obtidos através de dados experimentais (Kruijt et al., 2000; Santana et al., 2018). Este resultado é outro indicativo que as simulações apresentadas aqui representam adequadamente o escoamento para a região acima e abaixo da floresta amazônica.

Nas Figuras 2c e 2d observa-se w para a condição de vento a 6 m/s nas mesmas alturas descritas anteriormente. Para a região abaixo do dossel (Figura 2c), observa-se o predomínio da ejeção de massas de ar promovidas por plumas geradas no interior da área abaixo da copa florestal. Para a região acima do dossel (Figura 2d), nota-se o predomínio das intrusões, exatamente o oposto ao observado para as simulações de vento fraco (2 m/s).

É interessante mencionar que não é comum a presença de ventos superiores a 6 m/s acima da floresta amazônica. Santana et al. (2018) usaram um vasto conjunto de dados experimentais oriundos de diferentes sítios experimentais amazônicos. Eles mostraram que, na média, a velocidade do vento não ultrapassa o valor de 3 m/s . No entanto, sabe-se que durante a presença de nuvens convectivas (com seus respectivos “downdrafts”) é possível observar que a velocidade do vento frequentemente atinge valores superiores a 6 m/s (Dias-Junior et al., 2018).

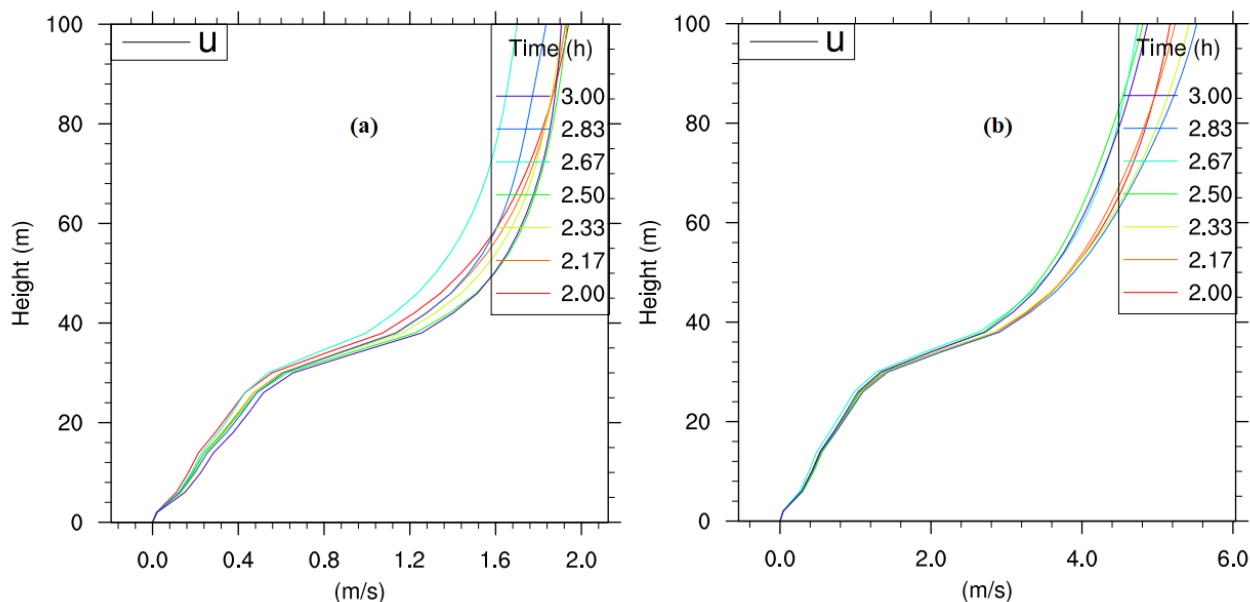


Figura 1 – Perfis de vento simulados via LES PALM para vento geostrófico de (a) 2 m/s e (b) 6 m/s .

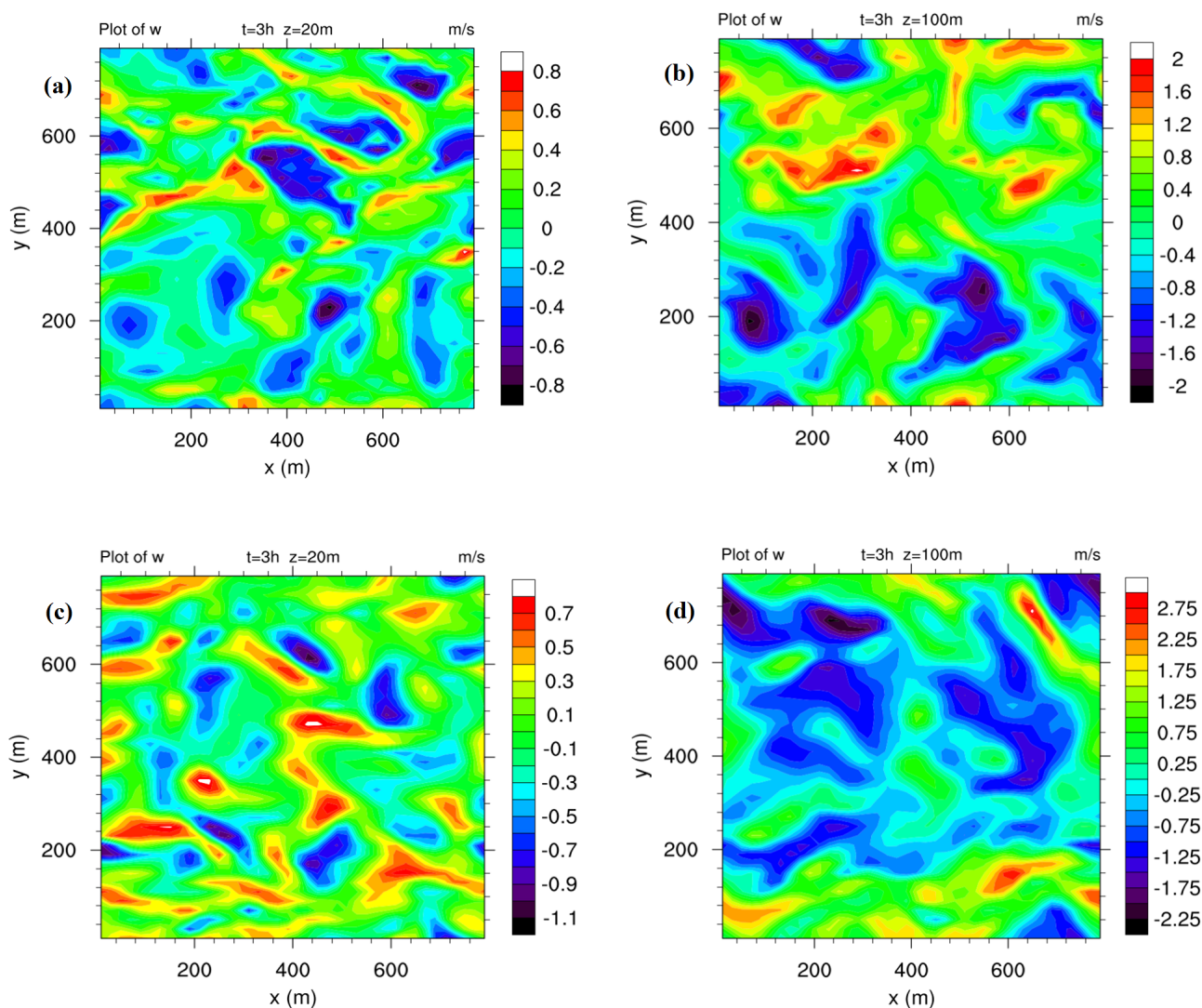


Figura 2 – Planos de corte xy para a velocidade vertical do vento (w) simulados via LES PALM para (a) 2 m/s a 20 m de altura, (b) 2 m/s a 100 m de altura, (c) 6 m/s a 20 m de altura e (d) 6 m/s a 100 m de altura.

A Figura 3 apresenta o plano de corte xy para as mesmas alturas e condições de vento discutidas na Figura 2, porém aplicadas ao escalar passivo. Nas figuras que representam a concentração abaixo do dossel (Figuras 3a e 3c), nota-se uma maior concentração do escalar comparativamente a região acima da floresta (Figuras 3b e 3d), conforme o esperado devido a localização da fonte do escalar no interior da floresta. Destaca-se o que o comportamento do escalar para condição de vento forte demonstra menor concentração no interior do dossel (Figura 3c), comparativamente à condição de vento fraco (Figura 3a). Isto decorre da formação maior de plumas que transportam o escalar para fora do dossel na condição de vento forte. Este transporte para porções acima da floresta é observado ao compararmos a concentração do escalar para as duas condições de vento no nível de 100 m (Figura 3b e 3d).

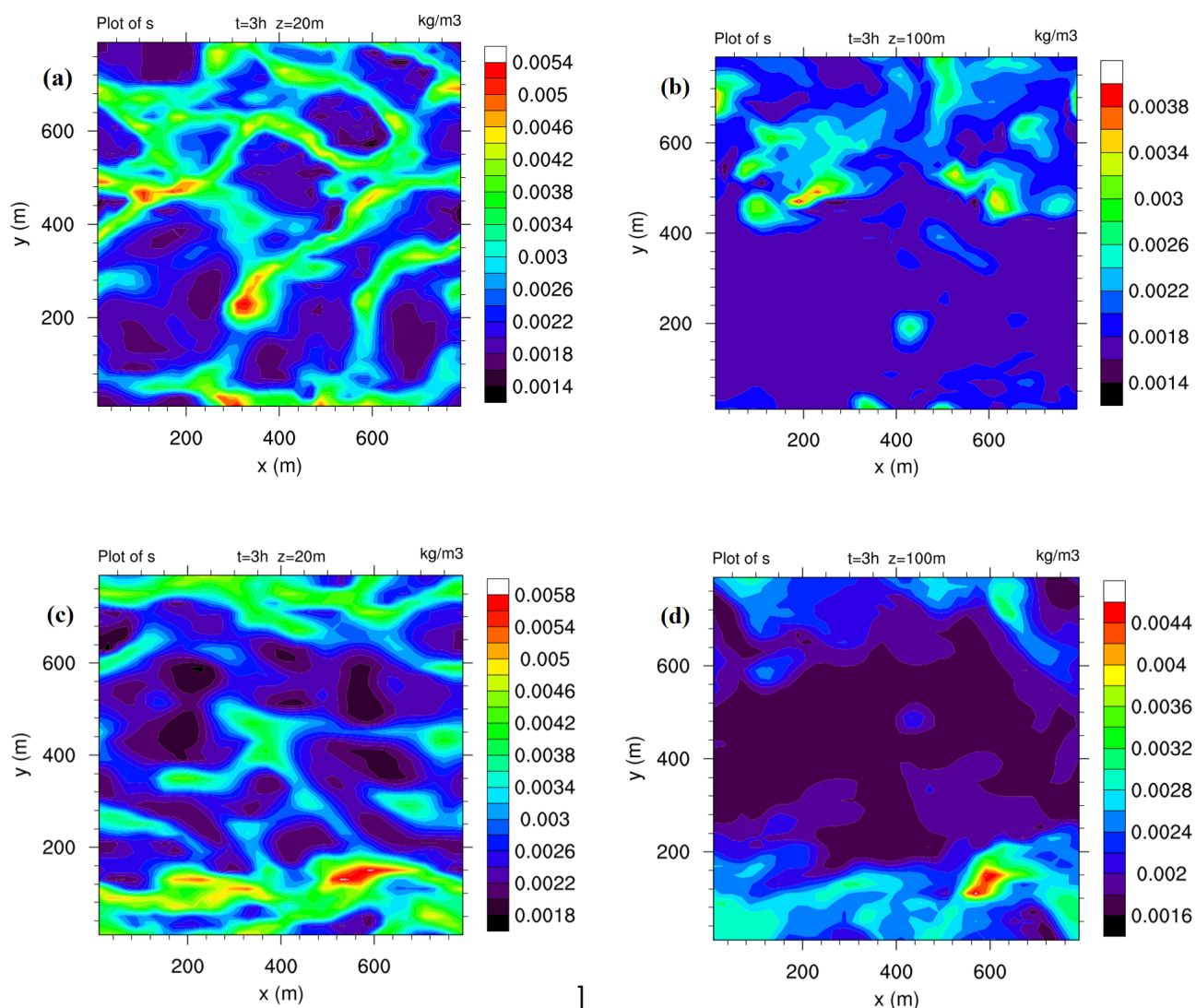


Figura 3 – Planos de corte xy para um escalar passivo simulados via LES PALM para (a) 2 m/s a 20 m de altura, (b) 2 m/s a 100 m de altura, (c) 6 m/s a 20 m de altura e (d) 6 m/s a 100 m de altura.

A Figura 4 apresenta o plano de corte yz com a coordenada $x = 450\text{ m}$ representando a concentração do escalar passivo com a sobreposição do vetor velocidade do vento. Na Figura 4a, temos a condição de vento igual a 2 m/s e para a Figura 4b, a condição de vento igual a 6 m/s . Conforme discutido nos resultados anteriores, nota-se a maior formação de plumas no interior do dossel florestal para a condição de vento forte. Como consequência, a concentração do escalar no interior da floresta é menor do que na condição de vento fraco. Estas plumas formadas explicam o comportamento diferenciado de predomínio de ejeção abaixo da copa da floresta observados na Figura 2c. O escoamento na forma de células convectivas observadas na Figura 4 promovem a retirada do escalar do interior do dossel.

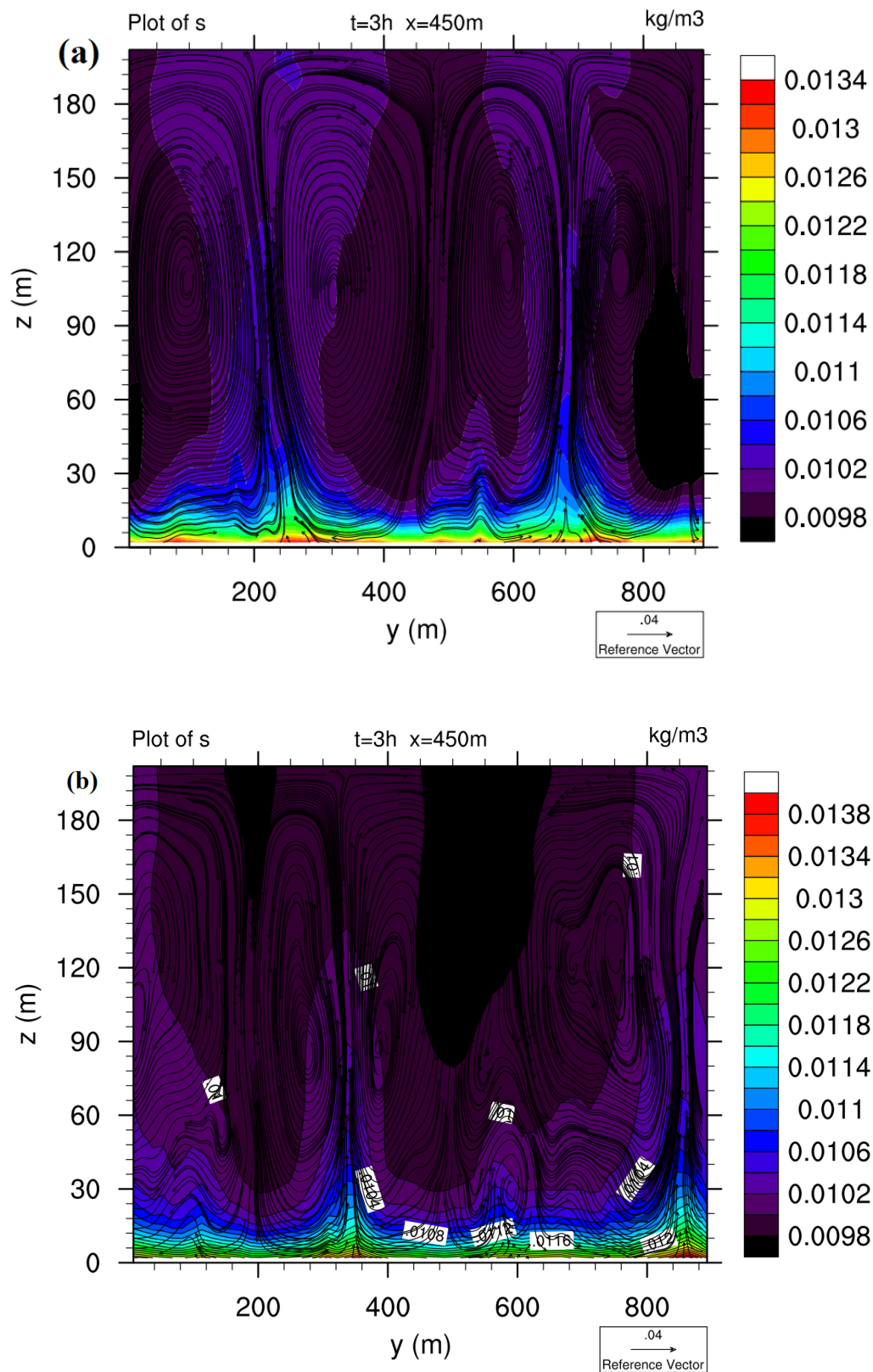


Figura 4 – Plano de corte yz para o escalar passivo sobreposto com vetor do campo de vento simulado via LES PALM para (a) 2 m/s e (b) 6 m/s.

4. Conclusões

Diferentemente de outros estudos que utilizaram diversas parametrizações para representar trocas turbulentas no LES, a fim de simular o escoamento acima de uma floresta, neste estudo é utilizada apenas uma força de arrasto associada ao perfil vertical do LAD. Como resultados interessantes a serem mencionados, mostrou-se que o LES representou bem as características do escoamento turbulento, dentro e acima da floresta amazônica, para as situações de vento fraco e forte. Destaca-se que para a situação de vento forte o comportamento observado é exatamente o oposto do esperado para ventos fracos. Além disso, observou-se que a concentração do escalar passivo no interior da floresta é diretamente afetada pela velocidade do vento, promovendo uma intensificação da formação de plumas que diminui a concentração do escalar na região dentro da floresta.

Referências Bibliográficas

ARAÚJO, A. C.; NOBRE, A. D.; KRUIJT, B.; ELBERS, J. A.; DALLAROSA, R.; STEFANI, P.; RANDOW, C. von; MANZI, A. O.; CULF, A. D.; GASH, J. H. C.; VALENTINI, R.; KABAT, P. Comparative measurements of carbon dioxide fluxes from two nearby towers in a central amazonian rainforest: The manaus lba site. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 107, n. D20, p. LBA 58–1–LBA 58–20, 2002.

CHEN, B.; CHAMECKI, M.; KATUL, G. G. Effects of topography on in-canopy transport of gases emitted within dense forests. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 145, n. 722, p. 2101–2114, 2019.

DIAS-JUNIOR, C. Q.; DIAS, N. L.; FUENTES, J. D.; CHAMECKI, M. Convective storms and non-classical low-level jets during high ozone level episodes in the amazon region: An arm/goamazon case study. **Atmospheric Environment**, v. 155, p. 199 – 209, 2017.

KANANI-SÜHRING, F.; RAASCH, S. Spatial variability of scalar concentrations and fluxes downstream of a clearing-to-forest transition: A large-eddy simulation study. **Boundary-Layer Meteorology**, v. 155, p. 1–27, 2015.

KRUIJT, B.; MALHI, Y.; LLOYD, J.; NORBRE, 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 Meteorology**, v. 94, n. 2, p. 297–331, 2000.

MARONGA, B.; GRYSCHKA, M.; HEINZE, R.; HOFFMANN, F.; KANANI-SÜHRING, F.; KECK, M.; KETELSEN, K.; LETZEL, M. O.; SÜHRING, M.; RAASCH, S. The parallelized large-eddy simulation model (palm) version 4.0 for atmospheric and oceanic flows: model formulation, recent developments, and future perspectives. **Geoscientific Model Development**, v. 8, p. 2515–2551, 2015.

PATTON, E. G.; SULLIVAN, P. P.; DAVIS, K. J. The influence of a forest canopy on top-down and bottom-up diffusion in the planetary boundary layer. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 129, n. 590, p. 1415–1434, 2003.

RAASCH, S.; SCHRÖTER, M. Palm - a large-eddy simulation model performing on massively parallel computers. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 10, n. 5, p. 363–372, 2001.

SANTANA, R. A.; DIAS-JÚNIOR, C. Q.; SILVA, J. T. D.; FUENTES, J. D.; VALE, R. S. D.; ALVES, E. G.; SANTOS, R. M. N. D.; MANZI, A. O. Air turbulence characteristics at multiple sites in and above the amazon rainforest canopy. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 260-261, p. 41 – 54, 2018.

THOMAS, C.; FOKEN, T. Flux contribution of coherent structures and its implications for the exchange of energy and matter in a tall spruce canopy. **Boundary-Layer Meteorology**, v. 123, n. 2, p. 317–337, 2007.

TÓTA, J.; FITZJARRALD, D. R.; SILVA-DIAS, M. A. F. Amazon rainforest exchange of carbon and subcanopy air flow: Manaus Iba site—a complex terrain condition. **The Scientific World Journal**, v. 2012, 2012.