

SIMULAÇÃO NUMÉRICA DE ESCOAMENTOS TURBULENTOS SOBRE TERRENOS COMPLEXOS UTILIZANDO O SOFTWARE DE CÓDIGO ABERTO OPENFOAM

 Gabriel Barbieri Dumont¹, Adriane Prisco Petry²
¹Autor, Engenharia de Energia, UFRGS; ²Orientadora, Engenharia Mecânica, UFRGS

INTRODUÇÃO

O trabalho consiste na modelagem de escoamentos de camada limite atmosférica sobre terrenos complexos via fluidodinâmica computacional. O software empregado é o OpenFOAM, que se destaca por ser de código aberto, e os casos estudados envolvem domínios computacionais que representam duas colinas reais: *Askervein Hill*, na Escócia, e *Bolund Hill*, na Dinamarca, sendo essa última um terreno altamente complexo (Figura 1). Essas colinas são escolhidas por representarem topografias distintas, de diferentes graus de complexidade, e por possuírem dados meteorológicos disponíveis e extensamente documentados na literatura. O objetivo deste estudo é verificar a consistência do modelo numérico empregado e então realizar uma análise de sensibilidade, variando o grau de refinamento da malha, o esquema de divergência utilizado, e os parâmetros do modelo de turbulência.

TEORIA

A região simulada é a camada superficial atmosférica, que representa os 200 m inferiores da camada limite atmosférica. Devido à baixa altitude, o efeito Coriolis é desconsiderado. Além disso, aplica-se a hipótese da atmosfera neutra, ou seja, a geração de turbulência por forças de empuxo pode ser desconsiderada. Partindo dessas hipóteses, o modelo de turbulência $k-\epsilon$ (Launder & Spalding, 1974) pode ser utilizado a fim de modelar essa região, sem necessitar de termos adicionais. Esse modelo é baseado na hipótese da viscosidade turbulenta de Boussinesq (Schlichting, 1968) e utiliza duas equações de transporte para o fechamento das equações de Navier-Stokes com médias de Reynolds (RANS), sendo uma delas para a energia cinética turbulenta (k) e a outra para a taxa de dissipação de turbulência (ϵ). Além disso, adotando as hipóteses de velocidade vertical desprezível e pressão e tensão de cisalhamento constantes, o modelo possui soluções analíticas conhecidas para as equações de transporte de k e ϵ , o que permite definir perfis de entrada consistentes com o modelo de turbulência (Richards & Hoxey, 1993).

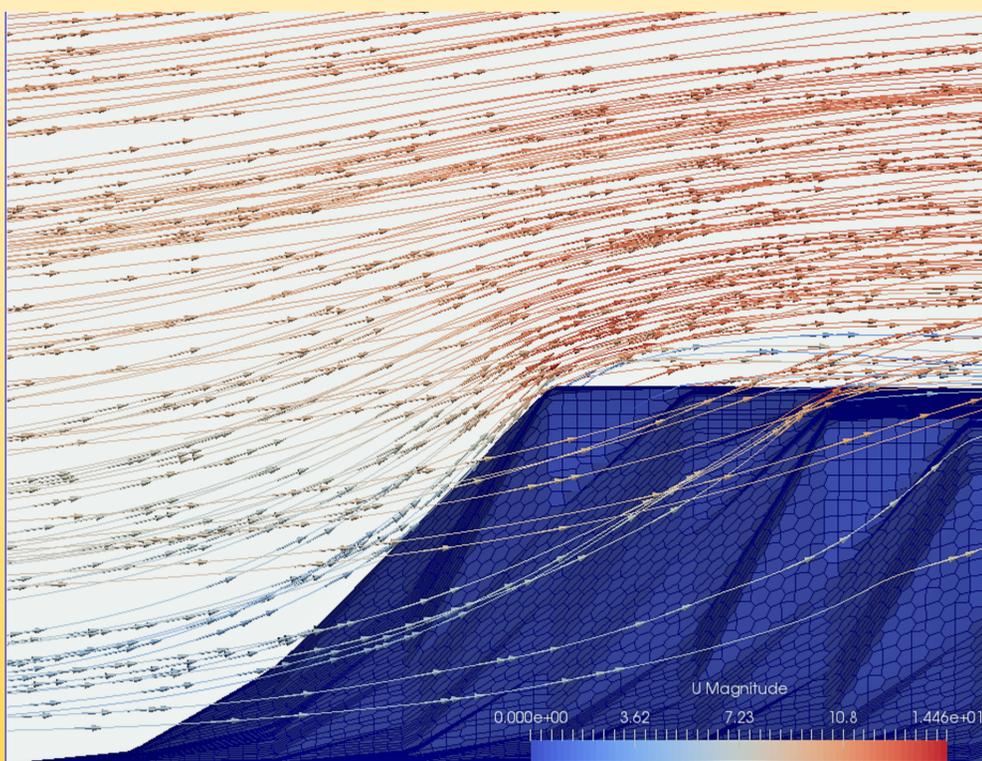


Figura 1. Efeito de aceleração do vento no barlavento em Bolund.

METODOLOGIA

O modelo é validado em uma simulação bidimensional em um terreno plano com rugosidade uniforme, onde o perfil da camada superficial atmosférica deve se manter constante, por meio da consistência entre os perfis de entrada, modelo de turbulência e função de parede utilizados. Foi observado que o uso de funções de parede padrão causavam inconsistências, sendo necessário editar o arquivo *epsilonWallFunction* no código fonte do OpenFOAM.

Após a validação, o modelo é aplicado às colinas e é realizada a análise de sensibilidade, sendo um dos parâmetros analisados são as constantes do modelo $k-\epsilon$. As constantes do modelo padrão (*Standard*) foram ajustadas para escoamentos em escalas muito inferiores à atmosférica, e podem ser adaptadas em função disso. Em particular, a constante C_μ é alterada, como é feito nos modelos *Fitted* e *Atmospheric*, respectivamente; no entanto, o número de Prandtl de da taxa de dissipação também é alterado (Beljaars *et al.*, 1987).

Além das constantes do modelo de turbulência, também são analisados três diferentes esquemas de divergência, que são o esquema *upwind*, de primeira ordem, e os esquemas *linearUpwindV* e *QUICKV*, de ordem superior. Para Bolund, três malhas de refinamento crescente são analisadas, sendo geradas pela funcionalidade *snappyHexMesh* do OpenFOAM. Para Askervein, são analisadas quatro malhas de refinamento crescente, que são geradas pelo programa *terrainBlockMesher*. No total, são realizadas 27 simulações para Bolund e 36 para Askervein, todas com as seguintes condições de contorno para os domínios computacionais: *wall* no solo, *free-slip* nos lados e no topo, *constant pressure* na saída e os perfis de velocidade, k e ϵ dados por (Richards & Hoxey, 1993) na entrada. Em todos os casos, as colinas, que representam as áreas de interesse, foram posicionadas longe dos limites computacionais para evitar erros numéricos causados pela interação com as condições de contorno.

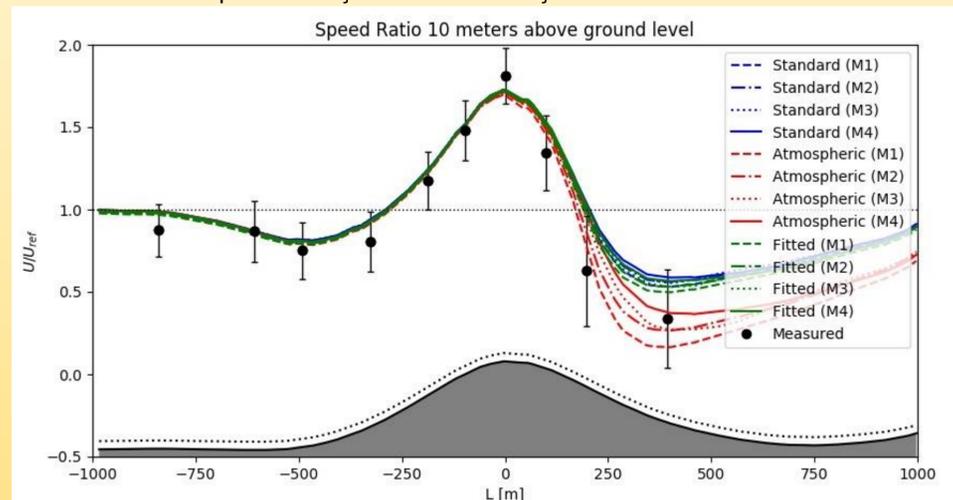


Figura 2. Razão de aceleração do vento ao longo de Askervein com o modelo QUICKV.

RESULTADOS

Os resultados indicaram que todos os modelos previram, no sotavento de ambas as colinas, intensidades de energia cinética turbulenta menores que as medidas, mas os erros foram mais acentuados em simulações que utilizaram o esquema de divergência *upwind* e as constantes padrões para o modelo $k-\epsilon$. No geral, as simulações que empregaram constantes modificadas para o modelo $k-\epsilon$ e esquemas de divergência de ordem superior apresentaram perfis de velocidade do vento mais de acordo com os dados medidos (Figura 2).

AGRADECIMENTOS

Ao PIBIC CNPq-UFRGS, pela concessão da bolsa de iniciação científica.

REFERÊNCIAS

- Beljaars, A. C. M., Walmsley, J. L., Taylor, P. A., 1987. A mixed spectral finite-difference model for neutrally stratified boundary-layer flow over roughness changes and topography. *Boundary-Layer Meteorology*, vol. 38: 273-303.
- Jackson, P. S., & Hunt, J. C. R., 1975. Turbulent wind flow over a low hill. *Quarterly Journal of the Royal Meteorology Society*, v. 101: 929-955.
- Launder, B. E., & Spalding, D. B., 1974. The numerical computation of turbulent flows. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, vol. 3: 269-289.
- Richards, P. J., & Hoxey, R., 1993. Appropriate boundary conditions for computational wind engineering models using the $k-\epsilon$ turbulence model. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, vol. 47: 145-153.
- Schlichting, H., 1968. *Boundary-Layer Theory*. Springer.