

CARACTERIZAÇÃO DE UM ESCOAMENTO SOBRE DIFERENTES GRADIENTES DE TEMPERATURA

CHARACTERIZATION OF A DRAINAGE ON DIFFERENT TEMPERATURE GRADIENTS

Luis F. Camponogara¹ Danilo N. L. Junior² Eduardo A. Porto³ Giuliano Demarco⁴ Luis G. N. Martins⁵ Felipe D. Costa⁶

Resumo: A caracterização do escoamento dentro da camada limite noturna é muito complexa, devido a fraca intensidade da turbulência. Nessa situação, o escoamento apresenta um caráter bi-estável, ou seja, ele apresenta um equilíbrio quente, o que ocorre quando a temperatura próxima à superfície se aproxima da temperatura dos níveis mais altos, e um equilíbrio frio, quando a temperatura do ar fica próxima à temperatura da superfície. Nos últimos anos tem-se utilizado muito de experimentos numéricos para o estudo e a representação da transição entre os escoamentos turbulento-laminar, devido aos mesmos serem controlados e portanto livre de fenômenos em escalas maiores que as turbulentas. Esse trabalho traz como objetivo realizar uma simulação numérica para verificar a transição do escoamento dentro de um canal fechado, sobre diferentes gradientes de temperatura. Para a realização do mesmo, utilizou-se o software CFD (do inglês *computer fluid dynamics*) de código livre OpenFOAM[®], juntamente com o solver *buoyantPimpleFoam*. O modelo de turbulência adotado foi o LES (do inglês *Large Eddy Simulation*). A simulação ocorreu por um período de 3600 s, sem a variação de temperatura entre as placas. Logo após foi acrescentado os gradientes de temperatura (0 K, 3 K, 5 K, 7 K e 10 K) e seguiu-se a simulação por mais 3600 s. Observando o gráfico dos perfis de velocidade do escoamento até o centro do domínio, é possível identificar que o fluido encontra-se turbulento, e após o resfriamento ocorre o processo de laminarização do escoamento. Isto se deve a velocidade do fluido ser baixa ($0,1 \text{ m s}^{-1}$) e ao gradiente de temperatura ser alto para essa velocidade. Conclui-se que é possível destruir a turbulência utilizando um gradiente de temperatura, de maneira a laminarizar o escoamento. Porém, ainda que isto ocorra, a turbulência não é eliminada por completa.

Palavras-chave: CFD. Turbulência. Transição de Escoamentos. Simulação de Grandes Turbilhões.

¹Graduando em Engenharia Mecânica, UNIPAMPA - Campus Alegrete, lfcamponogara@gmail.com

²Mestrando em Engenharia, UNIPAMPA - Campus Alegrete, danilo.nogueira.lemes@gmail.com

³Mestrando em Engenharia, UNIPAMPA - Campus Alegrete, ealmeidaporto@gmail.com

⁴Departamento de Engenharia Mecânica, UFSM, giulianoofisico@gmail.com

⁵Pós-doutorando em Meteorologia, UFSM, lgnm.sm@gmail.com

⁶Professor de Pós Graduação em Engenharia, UNIPAMPA - Campus Alegrete, fdenardin@unipampa.edu.br

Abstract: The characterization of the water flow is very complex, due to an intense intensity of the turbulence. In this situation, the flow has a bi-stable character, ie it has a warm equilibrium, which occurs when the temperature near the surface approaches the temperature of the higher levels, and a cold equilibrium, when the temperature of the air becomes close to the surface temperature. In recent years much of numerical experiments have been used to study and represent the transition between the turbulent-laminar flows, because they are controlled and therefore free of phenomena at scales larger than the turbulent ones. This work aims to perform a numerical simulation to verify the transition of the flow inside a closed channel, on different temperature gradients. In order to accomplish this, software computer flow dynamics (CFD) free-code OpenFOAM[®], was used along with the buoyantPimpleFoam solver. The model of turbulence adopted was Large Eddy Simulation (LES). The simulation occurred for a period of 3600 s, without the temperature variation between the plates. Soon after, the temperature gradients (0 K, 3 K, 5 K, 7 K e 10 K) were added, followed by simulation for a further 3600 s. By observing the graph of the velocity profiles of the flow to the center of the domain, it is possible to identify that the fluid is turbulent, and after cooling the laminating process of the flow occurs. This is because the fluid velocity is low ($0,1 \text{ m s}^{-1}$) and the temperature gradient is high at that velocity. It is concluded that it is possible to destroy the turbulence using a temperature gradient in order to laminate the flow. However, even if this occurs, the turbulence is not eliminated completely.

Keywords: CFD. Flow Transition. Large Eddy Simulation. Turbulence.

1 Introdução

A caracterização e descrição do escoamento na camada limite atmosférica noturna é muito complexa, devido à fraca intensidade da turbulência em condições de forte estratificação estável da atmosfera (MAHRT, 1998; MAHRT; VICKERS, 2006). Em noites muito estáveis, caracterizadas pela presença de céu claro, com grande perda radiativa na superfície e vento fraco, a turbulência do escoamento, na camada limite estável (VSBL, do inglês *very stable boundary layer*), pode ser praticamente suprimida em todas suas escalas (MAHRT; VICKERS, 2006), ocorrendo a transição entre os regimes de escoamento (MAHRT, 1998; SUN et al., 2012; Van de Wiel et al., 2012; Van Hooijdonk et al., 2015). Nessa situação, o escoamento atmosférico apresenta um caráter bi-estável, apresentando um equilíbrio quente, quando a temperatura próximo à superfície tende à temperatura dos níveis superiores, e um equilíbrio frio, quando a temperatura do ar fica próxima à temperatura superficial (MCNIDER et al., 1995; ACEVEDO; COSTA; DEGRAZIA, 2012), isso se dá devido ao colapso da turbulência. A previsibilidade do colapso da turbulência em condições muito estáveis, necessita do conhecimento dos mecanismos responsáveis pela transição. Nos últimos anos, têm-se utilizado muitos experimentos numéricos, que utilizam diferentes modelos de turbulência em CFD para simular a transição entre escoamentos laminares e turbulentos, como pode ser observado em Wiel et al. (2007), Ansorge e Mellado (2014), Donda et al. (2015), He e Basu (2015), He e Basu (2016). As simulações de casos idealizados, permitem a exclusão de fenômenos externos à camada limite que podem influenciar no escoamento, atuando na geração de turbulência (Van Hooijdonk et al., 2017). Todavia, a caracterização dos resultados é necessária para a comparação com o caso real, que ocorre na atmosfera. Assim, neste trabalho, são realizadas simulações utilizando o modelo de turbulência de simulação de grandes turbilhões (LES), tendo como objetivo simular a transição do escoamento dentro de um canal fechado sobre estratificação causada pelo resfriamento de uma superfície limitante do domínio.

2 Metodologia

Para tentar observar o fenômeno de transição que ocorre entre os escoamentos laminares/turbulento, foram realizadas simulações numéricas para o escoamento de um fluido com baixa velocidade em um canal fechado. A escolha pelo canal fechado se deve à possibilidade de realizar comparativos e conferência dos dados, com os obtidos em experimentos com túneis de vento. Pode-se observar a mesma escolha em: Chatzikiyiakou et al. (2015) e Armenio e Sarkar (2002). Logo após, foi aplicada uma variação de temperatura entre as placas superior e inferior, esta variação foi de 3 K, 5 K, 7 K e 10 K. A aplicação desta diferença de temperatura visa reproduzir uma camada limite estratificada, para isso foi utilizado o software CFD de código

livre OpenFOAM[®] (do inglês *Open source Field Operation And Manipulation*). O programa em questão utiliza como linguagem de programação o C++, juntamente com um conjunto de bibliotecas (solver), além de ferramentas de pré e pós processamento.

O solver escolhido para a realização da simulação foi o *buoyantPimpleFoam*. Ele é adequado para simulações de escoamentos compressíveis, turbulentos, transiente e com transferência de calor. O modelo de turbulência escolhido para a simulação foi a Simulação de Grandes Turbilhões (LES, do inglês *Large Eddy Simulation*). A escala de sub-grade (SGS, do inglês *sub grid scale*) adotado para a simulação foi o *oneEqEddy*, o qual usa uma equação de equilíbrio modelada para a energia turbulenta da SGS para simular o comportamento de k . Segundo Penttinen, Yasari e Nilsson (2011), a viscosidade do turbilhão é modelada de maneira similar ao modelo de Smagorinsky, mas nesse modelo é adicionada uma equação de transporte para a energia cinética turbulenta da SGS, equação 1.

$$\frac{\partial}{\partial t}(k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(U_i k) + \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\nu_{Eff} \frac{\partial}{\partial x_i}(k) \right) = -BL - \frac{c_e k^{3/2}}{\Delta}; \quad (1)$$

onde, o primeiro termo no lado esquerdo descreve a mudança da energia cinética turbulenta em relação ao tempo dentro da SGS, o segundo termo descreve convecção e o terceiro a difusão. No lado direito, o primeiro termo representa o decaimento e é calculado segundo a equação 2. Enquanto o segundo termo corresponde a dissipação da turbulência.

$$-BL = 2,0 \nu_{SGS} |\bar{S}|^2. \quad (2)$$

O solver utiliza ainda, o algoritmo PIMPLE, o qual integra as equações de conservação de massa, momento linear e a equação da conservação de energia, esta pode ser por meio da equação da entalpia ou da energia interna. Após, as simplificações das equações, provenientes do tipo de escoamento (escoamentos compressíveis, turbulentos, transiente e com transferência de calor), a equação da continuidade é escrita conforme a equação 3.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho u) = 0, \quad (3)$$

onde, ρ é a densidade do fluido e u é a velocidade do escoamento. A equação para a conservação do momento, é expressa pela equação 4.

$$\frac{\partial (\rho u)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho u u) = -\nabla p + \rho g + \nabla \cdot (2\mu_{eff} D(u)) - \nabla \cdot \left(\frac{2}{3} \mu_{eff} (\nabla \cdot u) \right), \quad (4)$$

onde, p é a pressão estática do fluido, g é a aceleração da gravidade, u_{eff} é a soma da viscosidade molecular e turbulenta, $D(u)$ representa o tensor taxa de deformação, o qual pode ser observado na equação 5.

$$D(u) = \frac{1}{2} \left(\nabla u + (\nabla u)^T \right) . \quad (5)$$

Para a implementação no OpenFOAM, os termos do gradiente de pressão e das forças gravitacionais foram rearranjados, conforme pode ser visto na equação 6.

$$-\nabla(p) + \rho g = -\nabla p_{rgh} - (g \cdot r) \nabla \rho , \quad (6)$$

onde, p_{rgh} é representado pela equação $p_{rgh} = p - \rho g \cdot r$ e r representa o vetor posição. Quando observamos a equação para a energia, nota-se que a mesma será formulada em termos da entalpia, desta forma pode-se observar na equação 7.

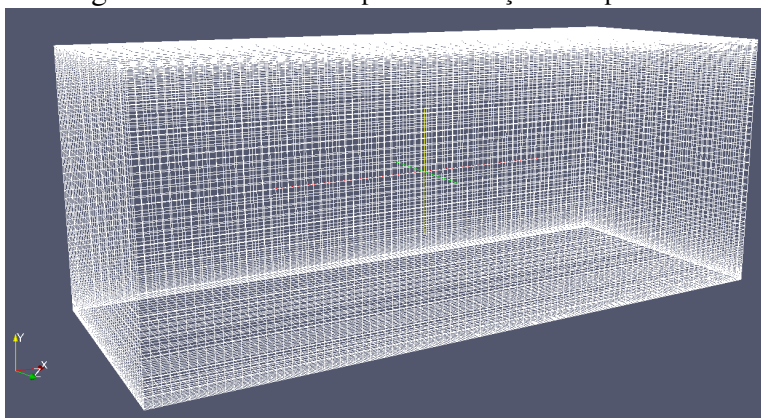
$$\frac{\partial(\rho h)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho u h) + \frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho u k) - \frac{\partial p}{\partial t} = \nabla \cdot (\alpha_{eff} \nabla h) + \rho u \cdot g , \quad (7)$$

onde, k é a energia cinética por unidade de massa e é expressa por $k \equiv |u|^2/2$, h é a entalpia por unidade de massa e é expressa pela equação $h \equiv e + p/\rho$. Onde, e é energia interna por unidade de massa e p/ρ representa a pressão cinemática. A difusividade térmica efetiva (α_{eff}/ρ), representa a soma das difusividades térmicas (laminar e turbulenta), conforme pode ser observado na equação 8.

$$\alpha_{eff} = \frac{\rho \nu_t}{Pr_t} + \frac{\mu}{Pr} = \frac{\rho \nu_t}{Pr_t} + \frac{\kappa}{c_p} , \quad (8)$$

onde, κ é a condutividade térmica, C_p é o calor específico a pressão constante, μ é a viscosidade dinâmica, ν_t é a viscosidade cinemática turbulenta, Pr é o número de Prandtl, Pr_t é o número de Prandtl turbulento, ρ é a densidade. O domínio computacional possui as seguintes dimensões: 2,5 m \times 1 m \times 1 m, em (x, y, z) respectivamente. A malha apresenta 88 divisões em x , 80 em y e 35 em z , desta forma totalizando 259524 pontos onde as equações serão discretizadas pelo método dos volumes finitos. Na figura 1 é possível observar a malha constituída para o domínio computacional. Os dados foram coletados no centro do domínio computacional em 30 níveis diferentes, tendo esses uma variação de 0,02 m em 0,02 m até o centro do domínio, a partir do mesmo os dados foram coletados de 0,1 m em 0,1 m.

Figura 1: Malha utilizada para a realização do experimento.



Como condição de contorno, foi adotado os limites inferior e superior com condições de não escorregamento, enquanto nas paredes laterais, na montante e a jusante foram utilizadas condições cíclicas. A temperatura do ar é constante e igual a 300 K. Foi adotado um passo de tempo com ajuste automático, com a finalidade de que o número de Courant fosse mantido constante e igual a 0,5 e desta forma garantindo a estabilidade da simulação. Como a velocidade do fluido encontra-se abaixo de 0,3 Ma, pode-se utilizar as propriedades para o fluido incompressível (WHITE, 2010). Na tabela 1 pode-se observar as propriedades do ar utilizadas na simulação.

Tabela 1: Propriedades do ar atmosférico a 300 K.

T	ρ	c_p	$\mu \times 10^5$	$\nu \times 10^6$	κ	$\alpha \times 10^4$	Pr
300	1,1774	1,0057	1,8462	15,69	0,02624	0,2216	0,708

Fonte: Adaptado de Holman (2009).

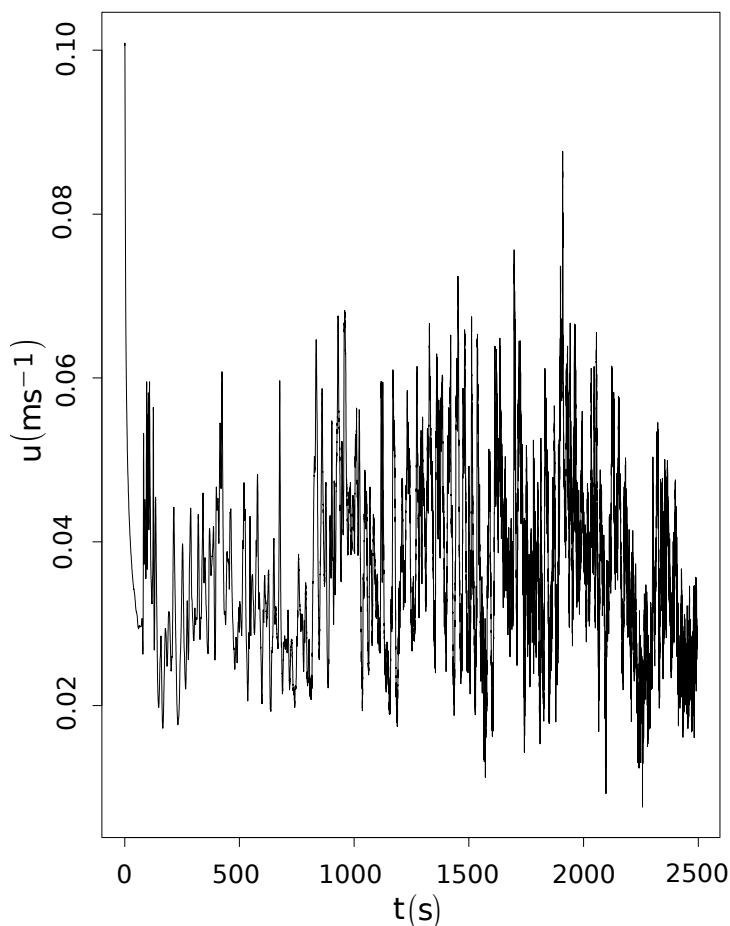
Onde, T representa a temperatura em [K], ρ representa a densidade do fluido em [kg m^{-3}], c_p representa o calor específico a pressão constante em [$\text{kJ kg}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$], μ representa a viscosidade dinâmica em [$\text{kg m}^{-1} \text{ s}^{-1}$], ν representa a viscosidade cinemática em [$\text{m}^2 \text{ s}^{-1}$], κ representa a condutividade térmica em [$\text{W m}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$], α representa a difusividade térmica em [$\text{m}^2 \text{ s}^{-1}$] e Pr representa o número de Prandtl.

A simulação foi realizada com uma velocidade constante de $0,1 \text{ m s}^{-1}$, sem o gradiente de temperatura entre as placas superior e inferior por 3600 s. Em seguida foram acrescentados os gradientes de temperatura (0 K, 3 K, 5 K, 7 K e 10 K) e seguiu-se a simulação por mais 3600 s. Ao término da mesma realizou-se a análise dos dados obtidos.

3 Resultados

Após os primeiros 3600 s, observa-se que o escoamento encontrava-se plenamente desenvolvido e turbulento, desta forma deu-se início ao processo de resfriamento. A figura 2 representa a série temporal da velocidade, na direção do escoamento no primeiro nível, o qual é o mais próximo da superfície inferior.

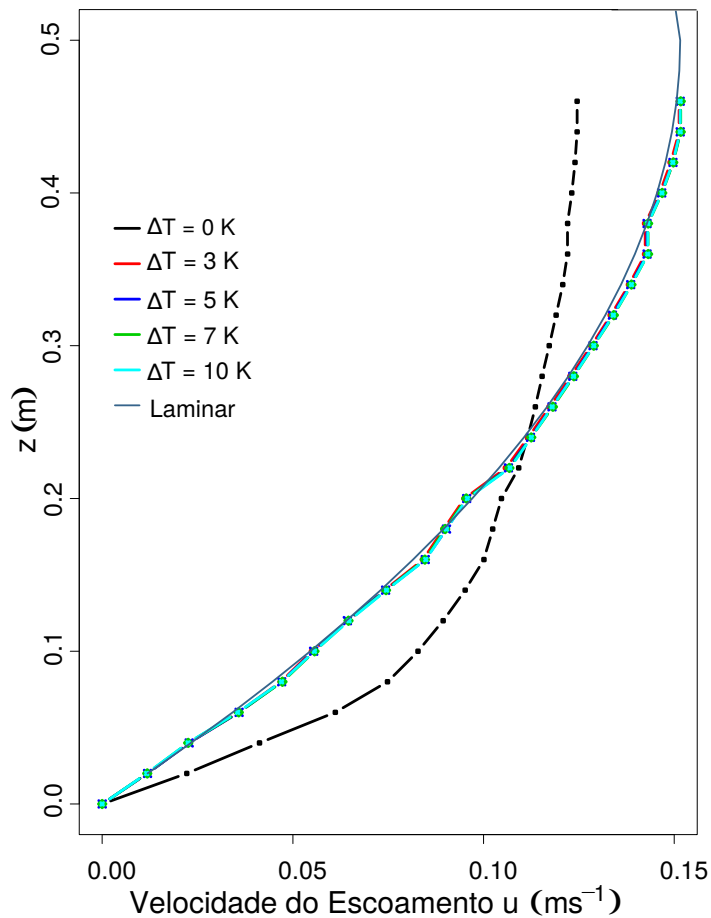
Figura 2: Parcela da série temporal para a velocidade no nível mais proximidade da superfície inferior e antes da realização do resfriamento da mesma.



Na figura 3 é possível observar os perfis de velocidade na direção do escoamento sobre os gradientes de temperatura descritos anteriormente. Para verificar a influência dos gradientes de temperatura sobre o escoamento, como comparação, foi traçada uma curva para um perfil laminar, dada pela equação 9.

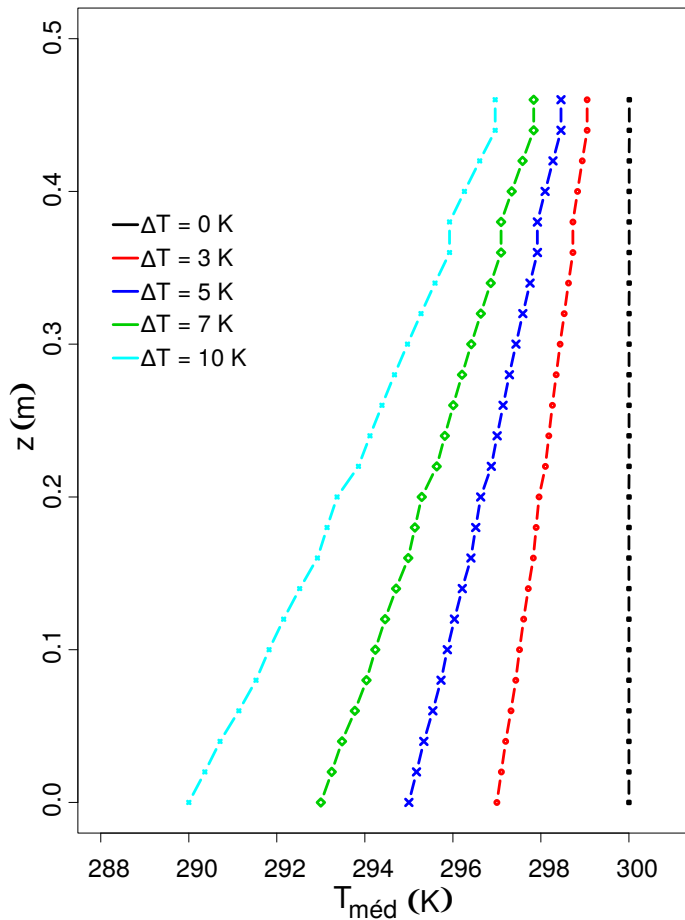
$$y = u_{max}(z - (z)^2); \tag{9}$$

Figura 3: Velocidade do vento na direção do escoamento, até o centro do domínio. Em preto é mostrado o escoamento turbulento, enquanto que na linha vermelha é mostrado o escoamento com um gradiente de temperatura de 3 K, em azul escuro é para o gradiente de 5 K, em verde para 7 K, em azul claro um gradiente de 10 K e na linha azul (contínua) é realizada uma aproximação de um escoamento laminar.



Observando o gráfico dos perfis de velocidade na direção do escoamento até o centro do domínio é possível notar que o fluido encontra-se turbulento (linha preta), e logo após o resfriamento (demais linhas coloridas de acordo com o ΔT) houve uma laminarização, ou seja, a turbulência foi suprimida a escalas menores (mas não extinguidas) tornando o escoamento laminar. Isto se deve a velocidade do vento ser baixa ($0,1 \text{ m s}^{-1}$) e ao gradiente de temperatura ser alto para essa velocidade. Além disso, é possível observar nessa figura que a velocidade aumenta após a laminarização: isso se deve ao desacoplamento do fluido. Na figura 4 é possível observar a distribuição da temperatura ao longo do domínio e que a mesma tende a voltar aos 300 K conforme aumenta a altura dentro do domínio. Além disso, observa-se também que até o centro do domínio possui influencia do gradiente de temperatura e que o comportamento dos perfis de temperatura se aproxima de uma reta.

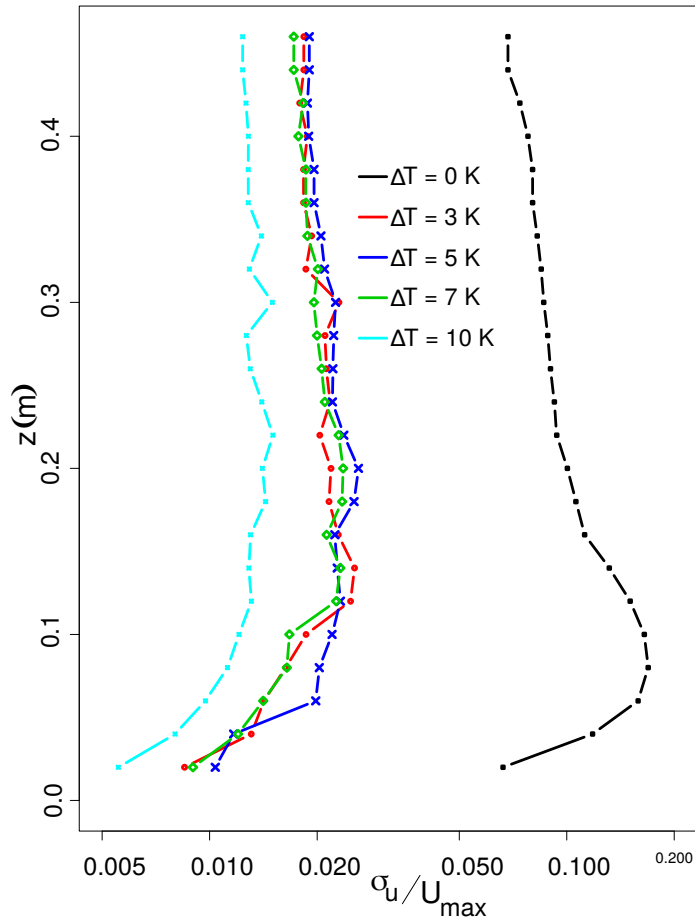
Figura 4: Distribuição de temperatura até o centro do domínio. Em preto é representado o escoamento turbulento, enquanto que na linha vermelha é mostrado o escoamento com um gradiente de temperatura de 3 K, em azul escuro é para o gradiente de 5 K, em verde para 7 K e em azul claro um gradiente de 10 K.



Na figura 5, observa-se o perfil de intensidade turbulenta. O gráfico mostra que quanto maior o gradiente de temperatura, menor é o seu valor. É possível observar que nas proximidades com a superfície inferior o seu valor é mais alto, enquanto que nas proximidades com o centro do domínio o seu valor passa a ser praticamente constante.

Na figura 6 é possível observar o gráfico do fluxo de momento. Analisando o gráfico do fluxo de momento, nota-se que fluxo existe somente para o caso neutro. Nos perfis laminares, destaca-se que seu valor é aproximadamente zero, o que era de se esperar devido ao fato da turbulência ser aproximadamente zero. No caso, do fluxo negativo para o fluido turbulento indica que as velocidades encontram-se mais altas nos níveis superiores do que nos inferiores. Além disso ele representa que há formação de turbulência através das forças cisalhantes.

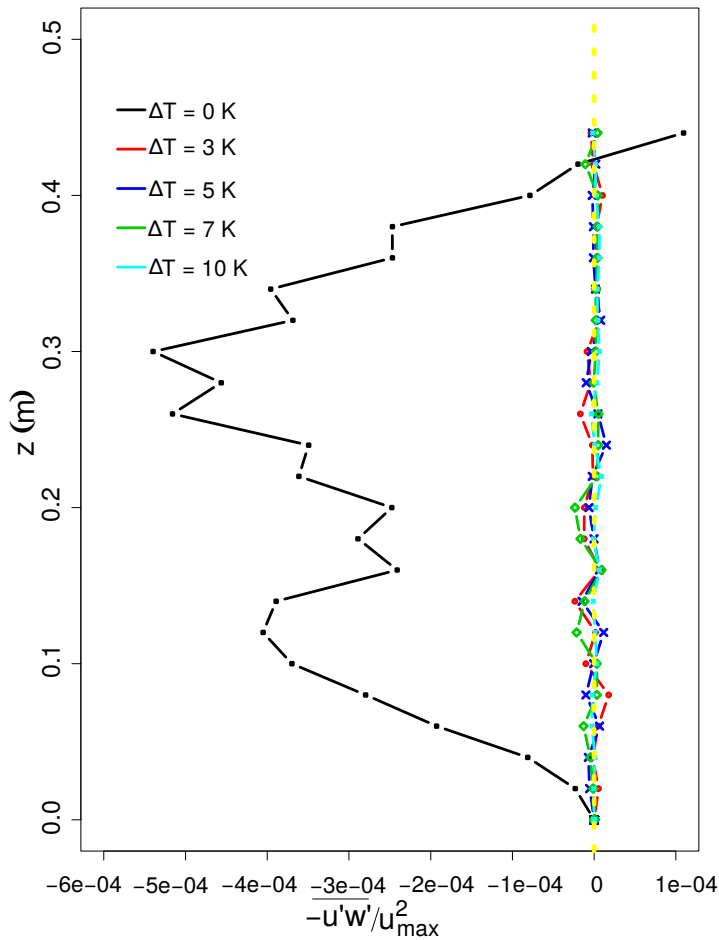
Figura 5: Intensidade turbulenta até o centro do domínio. Em preto é mostrado o escoamento turbulento, enquanto que na linha vermelha é mostrado o escoamento com um gradiente de temperatura de 3 K, em azul escuro é para o gradiente de 5 K, em verde para 7 K e em azul claro um gradiente de 10 K.



4 Conclusão

Segundo os resultados obtidos, observa-se que mesmo com uma velocidade muito baixa há formação de turbulência. Quando inicia-se o processo de resfriamento ocorre a concentração do fluido com uma temperatura mais baixa, próximo a superfície e o fluido com temperatura mais alta na parte superior do domínio. A ocorrência desse fenômeno desencadeia um desacoplamento do fluido e conseqüentemente ocorre um acréscimo de velocidade por parte do mesmo, bem como é retratado por Donda et al. (2016). O gráfico da intensidade turbulenta demonstra que, nas proximidades com a superfície inferior o seu valor é mais alto, enquanto que nas proximidades com o centro do domínio o seu valor passa a ser praticamente constante. Analisando o fluxo de momento, nota-se que ele existe somente para o caso neutro, já que em um escoamento laminar não há presença de mistura proveniente da turbulência. Ao longo do

Figura 6: Fluxo de Momento até o centro do domínio. Em preto é representado o escoamento turbulento, enquanto que na linha vermelha é mostrado o escoamento com um gradiente de temperatura de 3 K, em azul escuro para o gradiente de 5 K, em verde para 7 K e em azul claro um gradiente de 10 K.



experimento é possível observar a destruição da turbulência através do uso de um gradiente de temperatura, de maneira que venha a ocorrer uma laminarização do escoamento. Cabe-se ressaltar, que o trabalho se encontra em fase inicial de desenvolvimento e como perspectivas para trabalhos futuros fica a verificação do comportamento do escoamento sobre a presença de diferentes forçantes térmicos e mecânicos, para o mesmo domínio, e identificar as condições e forçantes responsáveis pela ocorrência da intermitência.

Agradecimentos

Os autores agradecem às agências Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS), CAPES (Coordenação de Pessoal de Nível Superior) e CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pelo suporte financeiro.

O cluster computacional utilizado nas análises foi adquirido com recursos dos editais Edital 02/2014 - PqG FAPERGS e Chamada 01/2016 CNPq Universal - Faixa A (processo nº 426409/2016-7).

Referências

- ACEVEDO, O. C.; COSTA, F. D.; DEGRAZIA, G. A. The coupling state of an idealized stable boundary layer. *Boundary-layer meteorology*, Springer, v. 145, n. 1, p. 211–228, 2012. 3
- ANSORGE, C.; MELLADO, J. P. Global intermittency and collapsing turbulence in the stratified planetary boundary layer. *Boundary-layer meteorology*, Springer, v. 153, n. 1, p. 89–116, 2014. 3
- ARMENIO, V.; SARKAR, S. An investigation of stably stratified turbulent channel flow using large-eddy simulation. *Journal of fluid mechanics*, Cambridge University Press, v. 459, p. 1–42, 2002. 3
- CHATZIKYRIAKOU, D. et al. Dns and les of turbulent flow in a closed channel featuring a pattern of hemispherical roughness elements. *International Journal of Heat and Fluid Flow*, Elsevier, v. 53, p. 29–43, 2015. 3
- DONDA, J. et al. Collapse of turbulence in stably stratified channel flow: a transient phenomenon. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, Wiley Online Library, v. 141, n. 691, p. 2137–2147, 2015. 3
- DONDA, J. et al. The maximum sustainable heat flux in stably stratified channel flows. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, Wiley Online Library, v. 142, n. 695, p. 781–792, 2016. 10
- HE, P.; BASU, S. Direct numerical simulation of intermittent turbulence under stably stratified conditions. *Nonlinear Processes in Geophysics*, Copernicus GmbH, v. 22, n. 4, p. 447–471, 2015. 3
- HE, P.; BASU, S. Development of similarity relationships for energy dissipation rate and temperature structure parameter in stably stratified flows: A direct numerical simulation approach. *Environmental Fluid Mechanics*, Springer, v. 16, n. 2, p. 373–399, 2016. 3
- HOLMAN, J. *Heat Transfer of International Edition*. [S.l.]: McGraw-Hill, New York, 2009. 6
- MAHRT, L. Nocturnal boundary-layer regimes. *Boundary-layer meteorology*, Springer, v. 88, n. 2, p. 255–278, 1998. 3
- MAHRT, L.; VICKERS, D. Extremely weak mixing in stable conditions. *Boundary-layer meteorology*, Springer, v. 119, n. 1, p. 19–39, 2006. 3
- MCNIDER, R. T. et al. Predictability of the stable atmospheric boundary layer. *Journal of the atmospheric sciences*, v. 52, n. 10, p. 1602–1614, 1995. 3

PENTTINEN, O.; YASARI, E.; NILSSON, H. A pimplefoam tutorial for channel flow, with respect to different les models. *Practice Periodical on Structural Design and Construction*, v. 23, n. 2, p. 1–23, 2011. 4

SUN, J. et al. Turbulence regimes and turbulence intermittency in the stable boundary layer during cases-99. *Journal of the Atmospheric Sciences*, v. 69, n. 1, p. 338–351, 2012. 3

Van de Wiel, B. et al. The minimum wind speed for sustainable turbulence in the nocturnal boundary layer. *Journal of the Atmospheric Sciences*, v. 69, n. 11, p. 3116–3127, 2012. 3

Van Hooijdonk, I. G. et al. Shear capacity as prognostic for nocturnal boundary layer regimes. *Journal of the Atmospheric Sciences*, v. 72, n. 4, p. 1518–1532, 2015. 3

Van Hooijdonk, I. G. et al. Early warning signals for regime transition in the stable boundary layer: a model study. *Boundary-Layer Meteorology*, Springer, v. 162, n. 2, p. 283–306, 2017. 3

WHITE, F. M. *Mecânica dos Fluidos-6*. [S.l.]: AMGH Editora, 2010. 6

WIEL, B. Van de et al. Predicting the collapse of turbulence in stably stratified boundary layers. *Flow, Turbulence and Combustion*, Springer, v. 79, n. 3, p. 251–274, 2007. 3

Edição - 8º MCSUL - Conferência Sul em Modelagem Computacional e VIII SEMENGO - Seminário e Workshop em Engenharia Oceânica.

Enviado em - 05 fev. 2019

Aceito em - 01 mai. 2019

Editores Responsáveis - João Paulo Silva Lima / Liércio André Isoldi / Mateus das Neves Gomes