



Relatório Final

Título do projeto de pesquisa: título do projeto
Bolsista: Fabricio Brasileiro
Orientador(a): Dra. Ana Cristina Avelar
Período a que se refere o relatório: agosto de 2014 a julho de 2015

Resumo

Este relatório de atividades destina-se a apresentação dos resultados iniciais das investigações do comportamento do vento na região da Torre Móvel de Integração do Centro de Lançamento de Alcântara, CLA, baseando-se nas simulações numéricas utilizando *Computational Fluid Dynamics* (CLA). Partindo de estudos anteriores sobre o escoamento atmosférico da região, através de testes em túnel de vento, deu-se início, neste ano, as simulações que tem por objetivo elucidar algumas questões que ainda não foram bem explicadas. O CLA é uma importante centro de lançamento de veículos espaciais brasileiros e possui boas características de localização e climáticas tornando-o essencial para o desenvolvimento do setor espacial do país. Devido sua localização, próximo a costa do estado do Maranhão, há a presença de uma formação geográfica, aproximadamente 200 m que perturba o fluxo de vento proveniente do oceano. Esse trabalho é um desdobramento de estudos quais já abordaram este tema, porém conta com uma visão diferente grande motivação para estudos, a proximidade do CLA com uma formação geológica que drasticamente interfere no escoamento que incide sobre a região de lançamento. Inicialmente as simulações em CFD ocorrerão de modo a estabelecer uma certa similaridade com os experimentos em túnel de vento. Para que fosse possível o estudo, um modelo da torre onde os veículos espaciais são montados foi desenhado com a ajuda de um programa em CAD e simulado em CFD para um dia com condições atmosféricas satisfatórias, sem chuvas e com velocidade do vento de aproximadamente 12m/s.

1. Introdução



O estudo do padrão de escoamento de construções verticais possui uma importância oculta que a maioria não reconhece, compreendendo estudos sobre dispersão de poluentes até a garantir o bem-estar e conforto do indivíduo que caminha pelas proximidades. Aeroportos têm uma grande preocupação com a esteira de vórtices gerada pelas construções nas proximidades das pistas de pouso e decolagem (Neofytou *et.al*, 2006; Stathopoulos et al, 1996), visto que a turbulência altera a estabilidade de aeronave. No caso deste presente relatório o estudo do escoamento atmosférico foca-se na Torre Móvel de Integração, TMI, Fig. 1a, do Centro de Lançamento de Alcântara, CLA, principal base de lançamento de foguetes da Força Aérea Brasileira. O CLA encontra-se na região costeira do estado do Maranhão, às margens do oceano Atlântico e é contemplado com um clima bastante estável durante e próximo a linha do Equador, o que garante uma economia significativa de combustível. O CLA tem orgulho de ser uma das bases de lançamento mais bem localizadas do mundo, contudo, cerca de 200 m da plataforma de onde os foguetes são lançados, é possível observar um encontro abrupto entre terra e oceano, Fig. 1b, o que os geólogos chamam de falésia, uma formação bastante irregular que interage e altera a camada limite atmosférica da região (Pires, 2009; Fisch, 1999), fluxo turbulento que, por sua vez, interage com a TMI e produz escoamentos bastante turbulentos, visto que esta se afasta cerca de 40 m dos veículos, momentos antes da ignição, deixa-os expostos à prováveis rajadas de ventos. Como no caso das aeronaves, fluxos de ar turbulento e rajadas de ventos podem alterar a atitude do foguete, como lembrado em Kingwell (1991), eventos climáticos inesperados podem até destruir o veículo espacial, vide acidente com o ônibus espacial *Challenger* (US Government Printing Office, 1986).

No caso da TMI, a construção pode ser considerada como um corpo rombudo, gerando maior arrasto do que sustentação, inclusive, quando separação da camada limite muito antes se comparado com um corpo de formato esbelto (Bearman, 1984). Alguns fenômenos derivam desse tipo de geometria, como bem definido por Bimbato, 2012, “desprendimento alternado de pares contra rotativos de estruturas vorticosas”, movimentos cíclicos que degradam a estrutura da edificação através dos anos, caso não seja levado em consideração.

Este relatório tem por objetivo iniciar os estudos atmosféricos da região do CLA utilizando CFD, através dessa ferramenta será possível simular o mais próximo da realidade, desde uma melhor representação da TMI a modelos topográficos da região de lançamento de Alcântara, partindo dos experimentos passados utilizando a técnica óptica de visualização de escoamento, o *Particle Image Velocimetry*, PIV.



Figura 1a. TMI e demais estruturas.



Figura 1b. Falésia na região de Alcântara.

2. Material e métodos

Nos estudos passados a técnica do PIV foi utilizada (Raffel, 2007; Avelar, 2014) para visualização do escoamento ao redor dos modelos da TMI e do VLS e a descrição dos experimentos pode ser encontrada em Brasileiro, 2014.

Afim de se obter um conhecimento maior acerca do padrão atmosférico de Alcântara, houve a necessidade de recorrer a métodos computacionais, deste modo, um modelo em três dimensões da TMI foi elaborado utilizando-se as ferramentas de um programa do tipo CAD, modelo este representado na Fig. 2. Em seguida, a geometria serviu de base para que foi possível gerar a malha tridimensional não-estruturada e tetraédrica pelo ICEM, software gerador de malhas da ANSYS, Fig. 3.

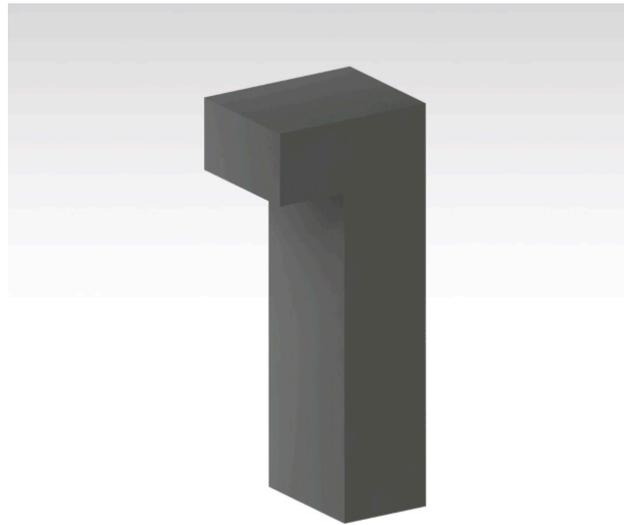


Figura 2. TMI desenhada em CAD.

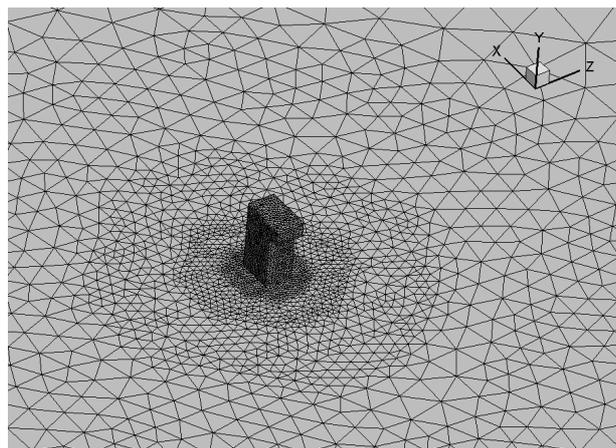


Figura 3. Malha da TMI

Após esta etapa a malha foi importada para o solver *Fluent*, da mesma empresa, para dar início as simulações numéricas foi estabelecido um *farfield*, ou seja, região máxima de simulação de 1000 vezes a altura da representação da TMI, com condições de contorno obtidas por medidas de campo (Marciotto, 2012), para um dia sem chuvas, pressão atmosférica 1013 hPa, temperatura média entre 26° e 28°C, velocidade dos ventos 12 – 13 ms⁻¹ e turbulência entre 10 a 15%.

3. Resultados

Após três campanhas de ensaios em túnel de vento, foi possível coletar dados sobre o comportamento do vento na região do CLA, a partir destes ensaios experimentais, percebeu-se que diferentes inclinações da falésia produziam recirculações mais intensas atrás da TMI, local dos veículos espaciais. Porém, utilizando-se a técnica do CFD foi possível compreender, de uma forma mais dinâmica, a situação real, e identificar detalhes do escoamento que não foram captados experimentalmente devido à limitações de acesso óptico do TA-2, túnel de vento onde foram realizadas as medidas. Na Fig. 4. é possível visualizar o padrão de escoamento na esteira da TMI numa região extensa do escoamento

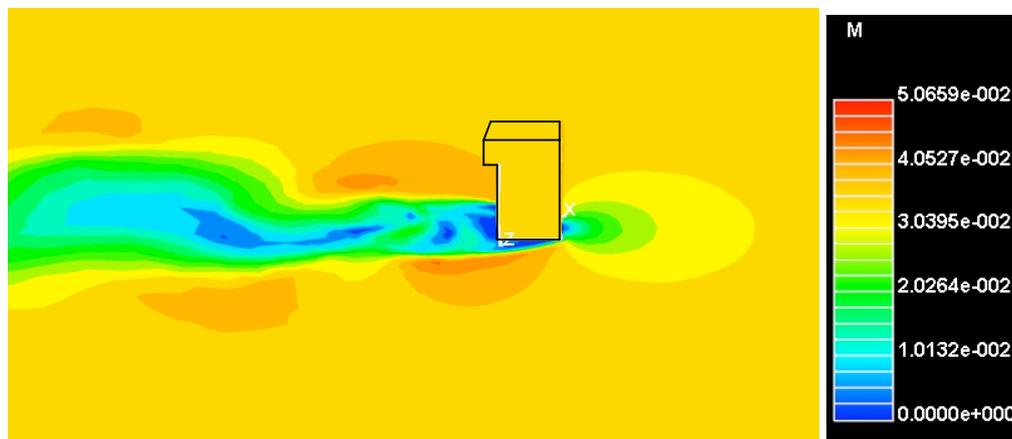


Figura 4. Simulação numérica do campo de velocidades nas vizinhanças da TMI.

Nos ensaios em túnel de vento, os experimentos foram divididos em configurações com relação a velocidade do escoamento, inclinação da falésia e incidência do vento nas estruturas, sendo assim, configurações com incidência de vento mais inclinadas e ângulos de declive da falésia mais suaves proporcionavam maior recirculação atrás da TMI. Apesar das imagens em PIV ilustrarem bem o comportamento atmosférico ao redor da torre, a visualização era limitada apenas ao plano de iluminação do laser, com o CFD a percepção é mais homogênea. Deste modo, é possível estabelecer uma correlação entre as imagens de ensaios anteriores e os atuais, na Fig.5a e 5b, está representado um caso com ângulo de inclinação α da falésia e ângulo de incidência β do vento de ensaio com o PIV e simulação numérica, respectivamente.

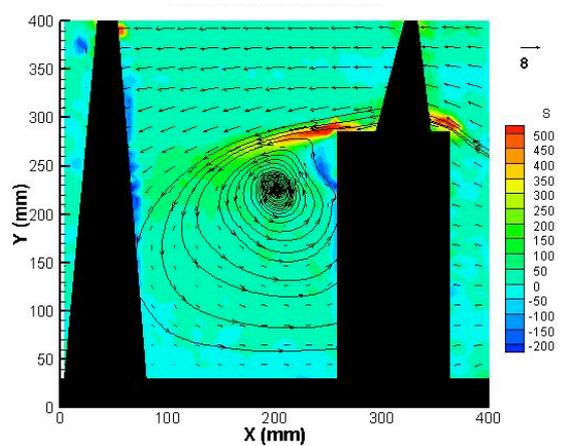


Figura 5b. Padrão de escoamento ao redor da TMI. Resultados obtidos com PIV, contornos de vorticidade e vetores velocidade.

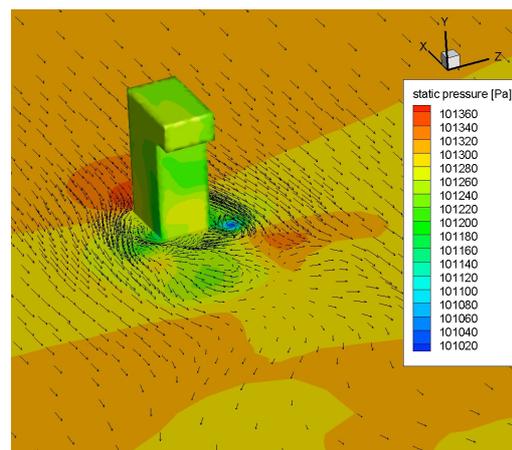


Figura 5a. Campos de pressão ao redor da TMI.

No presente relatório foram apresentados resultados preliminares obtidos utilizando CFD, e foi feita uma comparação qualitativa com resultados experimentais de túnel de vento. O trabalho terá continuidade como trabalho de conclusão de curso, e os parâmetros investigados em túnel serão investigados também numericamente. Alguns parâmetros difíceis de serem investigados em túnel, como por exemplo, efeitos de rugosidade do TMI serão investigados numericamente.

4. Conclusões

O escoamento atmosférico na região de lançamento de Alcântara é bastante turbulento e complexo. Os Ensaio em túnel de vento com o PIV foram uma ferramenta essencial para obter as primeiras impressões sobre a situação, porém, mostraram-se insuficientes principalmente com relação aos níveis de turbulência ao redor dos veículos. Neste relatório foi possível introduzir um pouco do CLA nas simulações numéricas e coletar informações que vão auxiliar na busca de respostas de uma forma mais homogênea, uma visão mais abrangente onde, bem como na implementação de modelos de turbulência.

Referências

- Avelar, A. C., Fisch, G., Faria, A. F., 2014, "Wind Tunnel Study of Wind Flow Patterns in the Alcântara Space Launching Center", *Proceeding of the 44th AIAA Fluid Dynamics Conference, AIAA Aviation and Aeronautics Forum and Exposition 2014*, Atlanta, Georgia.
- Bearman, P. W., "Vortex Shedding from oscillating bluff bodies", *Annual Review of Fluid Mechanics*, Vol. 16, pp. 185 – 222, 1984.
- Bimbato, A. M., "Estudo de Escoamentos Turbulentos em torno de um Corpo Rombudo de Superfície Hidraulicamente Lisa ou Rugosa Utilizando o Método de Vórtices Discretos" Tese (Doutor em Engenharia Mecânica). Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI, Itajubá, Brasil, 2012.
- Brasileiro, F., "Estudo do padrão do escoamento de vento no Centro de lançamento de Alcântara", Relatório de atividades de Iniciação Científica, X PIBIC do Instituto de Aeronáutica e Espaço, 2014.
- Chapters III and IV, 1986, "Report of the Presidential Commission on the Space Shuttle Challenger Accident", U.S. Government Printing Office, pp. 157 – 336.*
- Fisch, G., 1999, "Características do Perfil Vertical do Vento no Centro de Lançamento de Foguetes de Alcântara (ASLC)", *Revista Brasileira de Meteorologia*, Vol.14, No. 1, pp. 11-21.
- Kingwell, J. *et al.*, 1991, "Weather factors affecting rocket operations: a review and case history", *Bulletim if the American Meteorological Society*, Vol. 72, pp. 778-793.
- Marcioatto, E.R., Fisch, G., Medeiros, L. E., 2012. "Characterization of Surface Level Wind at the Centro de Lançamento de Alcântara for Use in Rocket Structure Loading and Dispersion Studies", *Journal of Aerospace Technology and Management*, Vol. 04, No.1, pp. 69-79.
- Neofytou, P., Venetsanos, A, G., Vlachogiannis, D., Bartzis, J. G., Scaperdas A., 2006, "CFD Simulations of the wind environment around an airport terminal building", *Enviromental Modelling and Software*, Vol. 21, pp. 521- 524.
- Pires, L. B. M., 2009, "Estudo da Camada Limite Interna Desenvolvida em Falésias com Aplicação para o Centro de Lançamento de Alcântara," 2009 150f. Tese (Doutorado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos.
- Raffel, M.; Willert, C.; Wereley, S.; Kompenhans, J. *Particle Image Velocimetry: A Practical Guide*. Springer-Verlag. ISBN 3-540-72307-2, 2007.
- Stathopoulos, T., Baskaran, B. A., "Computer simulation of Wind environmental conditions around buildings", *Enginnering Structures*, Vol. 18, No. 11, pp. 876 885, 1996.