

VIII-046 - PROTÓTIPO DE UM CANAL PARA ENSINO E PESQUISA EM FLUIDODINÂMICA UTILIZANDO SOLUÇÃO DE FLUORESCÉINA E ÁGUA COMO FLUIDO DE TRABALHO E SOLUÇÃO DE FENOLFTALEÍNA E AMÔNIA NA VISUALIZAÇÃO, SOB A INCIDÊNCIA DE LUZ NEGRA

Maria da Glória Braz⁽¹⁾

Engenheira Civil pela Escola de Engenharia Kennedy. Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais. Doutora em Engenharia Metalúrgica e de Minas pela Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais. Professora da Faculdade de Engenharia e Arquitetura (FEA) da Universidade FUMEC e Coordenadora e Professora da Faculdade Novos Horizontes. e-mail: gloriabraz@fumec.br

Davi Moiseyev Dias da Costa⁽²⁾

Graduando em Engenharia Aeronáutica e Bolsista de Iniciação Científica pela Faculdade de Engenharia e Arquitetura (FEA) da Universidade FUMEC. E-mail: davimoiseyev@hotmail.com

Daniel Lobato Bernardes⁽³⁾

Graduando em Engenharia Aeronáutica e Bolsista de Iniciação Científica pela Faculdade de Engenharia e Arquitetura (FEA) da Universidade FUMEC. E-mail: bernardesdaniel08@gmail.com

Guilherme Morelli Faria⁽⁴⁾

Graduando em Engenharia Aeronáutica e Bolsista de Iniciação Científica pela Faculdade de Engenharia e Arquitetura (FEA) da Universidade FUMEC. E-mail: morellif123@gmail.com

Juliana Silva Gonçalves de Moura⁽⁵⁾

Graduanda em Engenharia Aeronáutica e Bolsista de Iniciação Científica pela Faculdade de Engenharia e Arquitetura (FEA) da Universidade FUMEC. E-mail: julianasgdemoura@yahoo.com.br

Marco Túlio Cota Caldeira⁽⁶⁾

Graduando em Engenharia Mecânica e Bolsista de Iniciação Científica pela Faculdade de Engenharia e Arquitetura (FEA) da Universidade FUMEC. E-mail: marcotulio428@gmail.com

Endereço⁽¹⁾: Rua Cobre, 200 - Cruzeiro - Belo Horizonte - MG - CEP: 30.310-190- Brasil - Tel: (31) 3228-3000- Cel: (31) 8838-9493

RESUMO

A visualização do escoamento em perfis aerodinâmicos é utilizada para aferir os resultados obtidos pelos métodos numéricos, normalmente resultados alcançados em softwares de simulação. A geração de um escoamento laminar é imprescindível para a visualização das linhas de corrente, pertencentes ao campo de escoamento de forma que num dado instante, são tangentes à direção do escoamento em cada ponto do campo (Fox, 2001).

O centro de Pesquisas em Mecânica dos Fluidos da NASA (*NASA's Ames Research Center*), em pesquisas recentes para a FIFA (*Fédération Internationale de Football Association*) testou a aerodinâmica do novo design da bola de futebol desenvolvida pela Adidas para a Copa do Mundo de Futebol no Brasil em 2014, denominada Brazuca, dentro de um canal, cujo fluido de trabalho adotado foi a água e a técnica de visualização das imagens através de tinta verde fluorescente dispersada no fluxo e realçada por luz negra (NASA, 2016).

Com base na experiência da NASA, o presente trabalho desenvolveu um canal que permite a visualização de fenômenos reais à volta de corpos rígidos, sendo, no entanto, utilizada solução de água e fluoresceína como fluido de trabalho. Com a utilização dessa solução associada à luz negra, obteve-se a visualização de escoamentos sobre perfis aerodinâmicos de grande importância para o entendimento do comportamento físico das linhas de corrente e de emissão, objeto da Mecânica dos Fluidos, bem como na conferência e a calibração dos métodos numéricos aplicados ao escoamento dos fluidos.

PALAVRAS-CHAVE: Fluidodinâmica, Fenômenos, Visualização, Canal Hidrodinâmico.

INTRODUÇÃO

Um corpo de qualquer forma, quando imerso em um fluido em escoamento, fica sujeito a forças e momentos (Fox, 2001). Estas forças são três: o arrasto, que age numa direção paralela à direção da corrente livre, e duas forças de sustentação, que agem em direções ortogonais. A atuação destas forças nesse corpo causa momentos, cuja visualização é importante na compreensão desses fenômenos.

Conforme a teoria dos Regimes de Escoamentos, em escoamentos com velocidade baixa à volta de um corpo, o coeficiente de arrasto é função exclusivamente do número de Reynolds. Sendo o número de Reynolds definido em termos da velocidade da corrente livre (U), e do comprimento característico do corpo (L). Esta dimensão característica do corpo pode ser, tanto a dimensão transversal, como o comprimento do corpo, definido paralelamente à corrente livre.

Dessa forma, pode-se observar que a utilização de dados experimentais sobre arrasto ou outras forças exercidas pelo escoamento em corpos submersos implica no conhecimento das dimensões lineares e de áreas utilizadas na determinação do número de Reynolds do coeficiente de arrasto e de sustentação.

A determinação analítica ou numérica do escoamento no entorno de alguns corpos ainda é um desafio à teoria da mecânica dos fluidos, exceto em placas planas ou corpos muito delgados. Isto se deve ao fenômeno da separação do escoamento.

Nesse sentido, pode-se introduzir a teoria da camada limite para a determinação do ponto de separação do escoamento, mas, mesmo assim, não há definição suficiente da pressão na região de separação, pois esse ponto pode causar uma perturbação significativa no escoamento livre. Nestes casos, a teoria da camada limite pode ser aplicada somente se a distribuição de pressão no corpo for previamente conhecida, sendo usualmente determinada experimentalmente.

Em escoamentos subsônicos com número de Reynolds elevado, o arrasto de forma pode superar em várias ordens de grandeza o arrasto de atrito. Entretanto, não se pode generalizar, pois a proporção dependerá da forma do corpo, isto é, se ela favorecerá ou não a separação hidrodinâmica.

É usual que o aspecto aerodinâmico de vários corpos seja estudado em modelos reduzidos ensaiados em túneis de vento do tipo camada limite. No entanto, a implantação desse equipamento é muito onerosa e só permite a avaliação de escoamentos externos, não permitindo que todos os cursos de engenharia, a princípio, tenham condições de adquiri-lo e, também, de aproveitá-lo.

O centro de Pesquisas em Mecânica dos Fluidos da NASA (*NASA's Ames Research Center*), em pesquisas recentes para a FIFA (*Fédération Internationale de Football Association*) testou a aerodinâmica do novo design da bola de futebol desenvolvida pela Adidas para a Copa do Mundo de Futebol no Brasil, denominada Brazuca, dentro de um canal cujo fluido de trabalho adotado foi a água e tinta verde fluorescente dispersada no fluxo e realçada por luz negra, como técnica de visualização do comportamento das linhas de corrente, facilitando significativamente a captura de imagens..

Com base na experiência da NASA, o presente trabalho desenvolveu um canal que permite a compreensão e visualização de fenômenos reais à volta de corpos rígidos, sendo utilizada solução de água, fluoresceína e álcool como fluido de trabalho, associada ao emprego de incidência de luz negra.

Para a visualização do escoamento a volta dos corpos, empregou-se solução de fenolftaleína, água, álcool e amônia, cuja cor púrpura permitiu a visualização de escoamentos sobre perfis aerodinâmicos, de grande importância para o entendimento do comportamento físico das linhas de corrente e de emissão, objeto da Mecânica dos Fluidos.

OBJETIVOS

Embora haja grande interesse dos campos científico e tecnológico sobre o escoamento do fluido em torno de corpos rombudos, vários aspectos fenomenológicos continuam pouco compreendidos, haja vista os resultados

conflitantes encontrados na literatura que refletem a magnitude da complexidade intrínseca a este tipo de escoamento.

Em contrapartida, a mesma literatura nos mostra que poucas pesquisas atentam, até o momento, em incentivar o estudante a investigar a configuração do comportamento do escoamento em função do número de Reynolds, tendo em vista que conhecimentos desta natureza podem contribuir, em muito, no entendimento do comportamento físico das linhas de corrente e de emissão, objeto da Mecânica dos Fluidos, bem como na conferência e a calibração dos métodos numéricos aplicados ao escoamento dos fluidos.

O objetivo geral da pesquisa foi desenvolver o projeto e construir um canal à luz da experiência da NASA, e que possibilitasse a visualização dos fenômenos inerentes às disciplinas afins de Mecânica dos Fluidos, com o fim de melhorar o entendimento e conhecimento dos futuros engenheiros e cujo fluido de trabalho fosse inerte, porém que apresentasse melhor visualização.

Com a utilização do canal, poderão ser elaboradas práticas sobre escoamentos externos à volta de corpos e perfis aerodinâmicos, além das que envolvem as diferenças de pressão; da ação da viscosidade; devido à tensão superficial; forças elásticas; forças de inércia; forças devido à atração gravitacional, para todas as disciplinas afins da Mecânica dos Fluidos.

METODOLOGIA

A modelagem física é uma ferramenta importante nos estudos do comportamento dos escoamentos em todas as situações, sendo sua utilização aprovada pelo meio técnico, haja vista as incontáveis obras, cujos comportamentos fluidodinâmicos foram previstos com muito mais realidade do que por meio do uso de modelos matemáticos.

A representação de um fenômeno através de modelo físico se baseia nas leis de semelhança e, para a adequada modelação, é indispensável que essa representação tenha a garantia de reproduzir a realidade. Normalmente, o protótipo representado possui semelhança geométrica, no entanto, para a representação do fenômeno e obtenção de resultados satisfatórios, é imprescindível o conhecimento do mecanismo que o governa. Assim, pode-se admitir que junto ao conhecimento técnico necessário para a construção do modelo físico, deve-se ter muita criatividade.

A escala básica para o protótipo do canal foi a escala geométrica, que depende da característica a ser estudada e do espaço físico disponível para a sua implantação. Posteriormente à adoção do valor da escala geométrica, utilizou-se a semelhança dinâmica na determinação das outras escalas necessárias à condição de semelhança aos protótipos que se quis ensaiar.

O canal foi confeccionado em acrílico (com espessura da placa $e=5$ mm), nas dimensões de 3m de comprimento, 40cm de largura e 70cm de profundidade, sendo parte de um circuito hidráulico fechado, existente no laboratório didático de hidráulica. A figura 1 mostra o canal em seu primeiro teste de estanqueidade.



Figura 1 – Canal Hidrodinâmico: 1º teste de estanqueidade

A alimentação do canal é feita através de um conjunto motobomba a partir de um reservatório, tendo sido montados, dentro do canal, os acessórios que provocam a difusão e controle do escoamento, a saber, o vertedouro e a placa difusora.

Esses acessórios foram executados artesanalmente, haja vista a constante experimentação para o bom funcionamento do canal, tendo-se como destaque, a furação da placa difusora do escoamento, cuja espessura $e=7\text{mm}$.

A furação da placa difusora foi a etapa mais trabalhosa a ser executada, haja vista ter 2308 furos com diâmetros de 4,76 mm. Para a perfeita furação e espaçamento utilizou-se a fresa *Router CNC* e, após a execução dos furos, as rebarbas foram lixadas manualmente, evitando qualquer perturbação exacerbada que pudesse ocorrer no escoamento. A figura 2(a) apresenta a execução do lixamento das rebarbas, a figura 2(b) a vista da placa difusora em operação, dentro do canal e a figura 3 mostra, em detalhe, o enchimento do canal e a placa dos vertedouros triangulares.

O fluido corante é injetado, por uma pequena bomba, em um pente com uma série de tubos milimétricos em sua terminação, podendo-se, dessa forma, observar as linhas de corrente associadas às características do escoamento produzido no modelo.

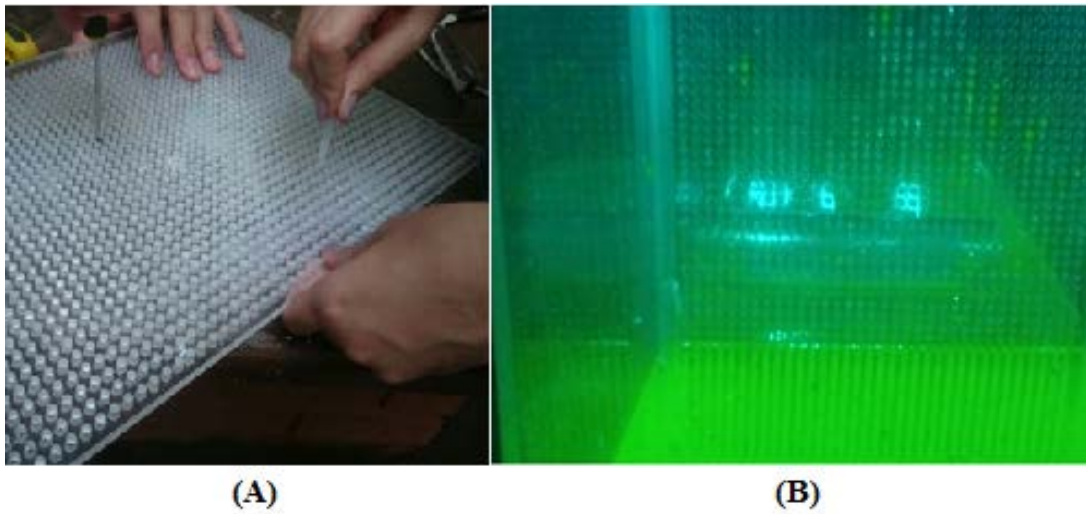


Figura 2 - Placa difusora do escoamento:(A) Lixamento das rebarbas (B). Em operação

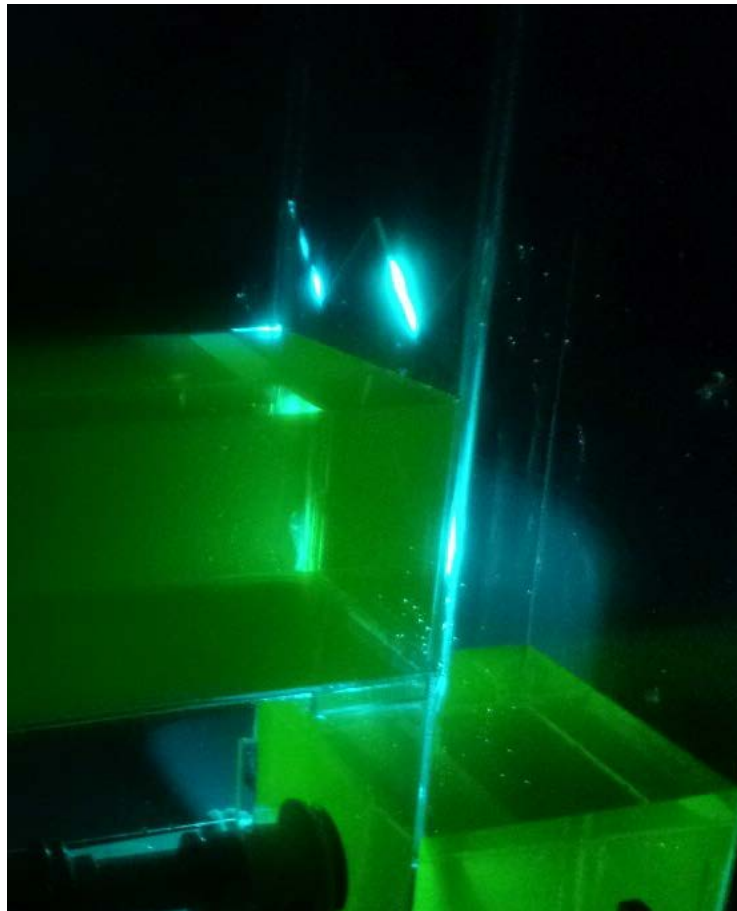


Figura 3 – Enchimento do canal e a placa dos vertedouros triangulares.

RESULTADOS OBTIDOS/ANÁLISE DOS RESULTADOS

Existem problemas de engenharia, mais precisamente nas áreas relativas aos escoamentos de fluidos que, dificilmente, são resolvidos aplicando-se exclusivamente análise teórica. Nesses casos, com frequência; empregam-se os estudos experimentais, realizados com base em modelos de escala.

A análise da semelhança é, sem dúvida, uma indicação de que dois fenômenos tem um mesmo comportamento. Na mecânica dos fluidos, o termo semelhança indica a relação entre dois escoamentos de diferentes dimensões, mas com semelhança das forças.

Foram elaborados vários experimentos sobre escoamento externo em corpos rombudos (cilindros e esferas) no canal e observou-se que a utilização da solução de fluoresceína e álcool como fluido de trabalho e da fenolftaleína como solução indicadora das linhas de corrente, ambas associadas ao emprego de incidência de luz negra, foi extremamente significativa na visualização dos fenômenos, tendo em vista a referida substância indicadora desaparecer da massa fluida momentos após sua trajetória à volta dos corpos rombudos, conforme mostrado na figura 4.



Figura 4 – Escoamento à volta de cilindro de acrílico e desaparecimento da solução de fenolftaleína.

As imagens dos ensaios de visualização apresentaram boa qualidade, entretanto, a técnica não se mostrou satisfatória na identificação do momento em que a esteira deixa de emitir os vórtices, em razão da rotação específica acrescentada ao corpo, durante os ensaios.

Ressalta-se, entretanto, que a visualização do comportamento das linhas de corrente foi muito clara e, em vista do exposto, pode-se afirmar que o referido canal poderá ser utilizado, ainda, na visualização dos escoamentos em condutos, estruturas inseridas em escoamentos e máquinas hidráulicas.

CONCLUSÕES/RECOMENDAÇÕES

Pode-se, então, concluir que com a construção do canal, as práticas e pesquisas da área de Mecânica dos Fluidos, de todas as engenharias da Faculdade, poderão ser ensaiadas, dentro de suas especificidades, utilizando-se a modelagem física dentro de fluidos.

Verificou-se, com base no exposto anteriormente, que a utilização de referido canal acarretou, para o meio acadêmico, vantagens tais como: econômicas (tempo e dinheiro); de conhecimento das propriedades dos fluidos (podem ser empregados fluidos diferentes dos fluidos de trabalho), podendo ser utilizado por todos os cursos de engenharia, sendo uma ferramenta laboratorial no ensino de graduação desses cursos.

Algumas simulações ainda serão elaboradas, tais como o escoamento externo em perfis aerodinâmicos, carros, árvores e edifícios, (em escala reduzida) dentro do canal e se verificará a influência do coeficiente de arrasto e sustentação sobre esses corpos.

Com base no exposto acima e tendo ciência que os estudos se iniciaram em agosto de 2016, pode-se dizer, em tão pouco tempo, que a pesquisa está obtendo sucesso. É importante ressaltar, ainda, o baixo custo e a facilidade de operação do referido canal.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALÉ J.V. Visualização de Fluxo em Canal Hidráulico com Técnica de Injeção de Corantes ., Congreso Chileno de Ingeniería Mecânica., vol.1. pp. 1033-1037, 1998.
2. CLAYTON , B.R., MASSEY, B.S., Flow Visualisation in Water: A review of Technique, Journal of Scientific Instruments , 1967, Vol.44, Jan, pp.2-11
3. FOX, R. e McDONALD, A.. Introdução à Mecânica dos Fluidos. Rio de Janeiro: LTC, 2001.
4. JSME, Visualized Flow: Fluid Motion in Basic Engineering. Compiled by The Japan Society of Mechanical Engineers. Pergamon Press, 137pag., 1988
5. NASA. NASA Turns World Cup into Lesson in Aerodynamics - <http://www.nasa.gov/content/nasa-turns-world-cup-into-lesson-inaerodynamics> - acesso em 03/02016