

O ESTUDO DE DINÂMICA DOS FLUIDOS COM O APLICATIVO *WIND TUNNEL*: ANALISANDO O VOO DE UM AVIÃO

FRANCISCO ADEIL GOMES DE ARAÚJO*

Secretaria de Educação Básica do Ceará- SEDUC, EEFM Poeta Patativa do Assaré,

Rua: Descartes Braga, 4269, Bom Jardim, Fortaleza-CE, CEP 60540-096

MEIRIVÂNI MENESES DE OLIVEIRA†

Secretaria de Educação Básica do Ceará- SEDUC, EEFM Anísio Teixeira,

Rua Rio Grande do Sul, 680, Pan Americano, Fortaleza - CE, CEP: 60441-380

ELONEID FELIPE NOBRE‡

Inst. Fed. de Ed. Ciên. e Tec. do Ceará- IFCE Campus Tianguá

Rodovia CE 187, s/n - Aeroporto, CE-187, Tianguá – CE, CEP 62320-000

ALEXANDRE GONÇALVES PINHEIRO§

Fac. de Ed., Ciên. e Let. do Sertão Central, Univ. Est. do Ceará- UECE

Rua José de Queiroz Pessoa, Nº 2554 - Quixadá-CE, CEP: 63.900-000

MARCONY SILVA CUNHA¶

Departamento de Física, Universidade Estadual do Ceará - UECE

Av. Dr. Silas Munguba, 1700, Itaperi, 60714-903, Fortaleza-CE

Resumo

Como os aviões conseguem voar? Este trabalho tem como objetivo geral fornecer aos estudantes, fundamentação teórica e orientação prática, a fim de lhes dar as condições de aprendizagem para responder esta pergunta, através de simulações do aplicativo Wind Tunnel no estudo de dinâmica dos fluidos para analisar o voo de um avião. Para alcançar este objetivo são propostas quatro atividades usando os aplicativos e materiais de fácil aquisição. A primeira consiste em utilizar os perfis aerodinâmicos, já existentes no aplicativo, dando aos estudantes a oportunidade de explorar os

*E-mail: chicoadeil@gmail.com

†E-mail: meirivani82@gmail.com

‡E-mail: elofelipe@gmail.com

§E-mail: alexandre.goncalves@uece.br

¶E-mail: marcony.cunha@uece.br

conteúdos expostos pelo professor em sala de aula. Na segunda atividade, os estudantes, usando o aplicativo, simularão um perfil aerodinâmico que resulte a melhor relação entre a sustentação e o arrasto. Seguindo a segunda atividade, eles construirão em 3D, o protótipo da asa de avião usando, preferencialmente, materiais de baixo custo, como papel, cola, arame, usando como modelo, o perfil escolhido e criado na atividade anterior. Finalmente, na quarta atividade, os estudantes apresentarão seus projetos na sala de aula, explicando cada passo seguido para alcançar seus resultados. Como um passo além no estudo de dinâmica dos fluidos, o professor promoverá discussões em sala de aula, fornecendo pesquisas recentes sobre o uso de superfluidos em túneis de vento.

Palavras-chave: Aplicativos; ensino de Física; aerodinâmica.

Abstract

How can airplanes fly? This work aims to give to students the theoretical basis and practice orientations, in order to given them the conditions of learning to answer this question. We use the Wind Tunnel Applications to study the fluid dynamics by the analysis of a flight of an airplane. In order to achieve our objectives, we propose four activities using this application and materials of easy acquisition. The first one consists in using the aerodynamics profiles of the app, giving to the students the opportunity to explore the subjects exposed by the teacher in the classroom. In the second activity, the students, using the app, will simulate an aerodynamics profile which results the best relation between the lift and the drag. Following the second activity, the students will build their own 3D airplane wing prototypes using, preferably, low cost materials, like paper, glue, wires, using as a model, the profile chosen and created in the previous activity. Finally, in the fourth activity, the students, will present their projects in the classroom, explaining each step they have followed to achieve their results. As a further step in the study of fluid dynamics, the teacher will promote discussions in the classroom providing recent research on the use of superfluids in wind tunnels.

Keywords: Mobile Phone Applications; Teaching Physics; Aerodynamics.

1 Introdução

Como os aviões conseguem voar? O princípio do voo de uma avião é baseado na dinâmica dos fluidos, ramo da Física que lida com fluidos em movimentos. Ela é dividida em aerodinâmica, que estuda o ar e os gases em movimentos e a hidrodinâmica, que estuda os líquidos em movimento. Segundo Genz e Vieyra [1],

A dinâmica dos fluidos é um tópico cada vez mais importante numa economia globalizada, fortemente baseada no transporte internacional de pessoas e bens. Apesar da sua importância na sociedade, o tema é muitas vezes relegado aos livros de Ensino Médio e tende a cair nas lacunas entre disciplinas mais profundas como a cinemática e termodinâmica. Como resultado, é fortemente negligenciada.

Esta negligência no ensino de dinâmica dos fluidos contribui para que não se entenda o real motivo dos aviões conseguirem voar, pois, de forma equivocada, o princípio de Bernoulli é ensinado nos livros didáticos como o único responsável por isso. Desta maneira, este trabalho propõe a utilização de simulações computacionais de um voo como recurso para minimizar este equívoco e responder de forma satisfatória a essa pergunta. Essas simulações são facilmente encontradas em aplicativos para *smartphones*.

As tecnologias de telefonia móvel estão cada vez mais presentes no cotidiano das pessoas, porém o que se observa é que elas são pouco utilizadas em sala de aula como recursos didáticos. Pesquisa recente realizada pelo Comitê Gestor da Internet no Brasil [2] aponta que houve um aumento no percentual de

professores que utilizam o celular para acessar a internet, passando de 66%, em 2014, para 85%, em 2015. Porém, a utilização do celular em atividades pedagógicas foi mencionada por apenas 39% dos professores.

A pesquisa ainda revelou que entre os jovens em idade escolar, o uso de tecnologias móveis para acessar a internet chega a 80%. Estas informações trazem novas possibilidades de uso das TIC para a sala de aula. De acordo com Kunh e Vogt [3], “o sucesso da aprendizagem dos alunos em relação à experimentação em aulas de Física será maior se eles explorarem um fenômeno físico com ferramentas experimentais que usam diariamente, ainda que com propósitos diferentes”.

Diante destes fatos, este artigo busca fornecer fundamentação teórica e orientação prática através de simulações do aplicativo *Wind Tunnel CFD* no estudo da dinâmica dos fluidos através da análise do voo de um avião, para alunos do primeiro ano do Ensino Médio, bem como:

- (a) Propor o uso de *smartphones* como ferramentas pedagógicas em sala de aula;
- (b) Apresentar aos alunos tópicos de mecânica dos fluidos;
- (c) Permitir que os alunos explorem situações do “mundo real” em sala de aula utilizando em seus *smartphones* um simulador educacional de túnel de vento 2D interativo;
- (d) Promover na mente do aluno indagações, levando-os a levantar hipóteses e a testá-las;
- (e) Permitir que os alunos percebam seus próprios equívocos sobre seus conceitos iniciais de voo.

O aplicativo *Wind Tunnel CFD (computational Fluid Dynamics)* é um simulador de túnel de vento 2D interativo, produzido pela Numeca Internacional e pela Algorizk e que possui uma versão gratuita (*Wind Tunnel free*) tanto para Android quanto para iOS. Ele permite que o professor trabalhe conceitos importantes como magnitude e ângulo da velocidade de entrada, viscosidade do fluido, a relação entre elevação e arrasto (*lift/drag*), número de Reynolds(Re), dentre outros conceitos.

Com estes dois aplicativos, os alunos podem utilizar formas aerodinâmicas já fornecidas por eles ou mesmo desenhar suas próprias formas e analisar o fluxo do fluido que contorna seus perfis aerodinâmicos. Esses aplicativos também permitem que o aluno altere o ângulo de ataque durante uma simulação de voo e obtenha automaticamente o arrasto e a elevação, além de controlar parâmetros como viscosidade, atrito e velocidade.

Desta maneira, para alcançar os objetivos deste trabalho são propostas quatro atividades utilizando estes aplicativos e materiais de fácil aquisição. Para a realização destas atividades, sugere-se que os alunos sejam divididos em equipes.

A primeira atividade proposta consiste em utilizar os perfis aerodinâmicos já existentes no aplicativo como forma dos alunos explorarem os assuntos já abordados pelo professor como: sustentação, viscosidade, arrasto e número de Reynolds. Em um segundo momento, já familiarizados com o aplicativo, os alunos irão simular (desenhar em 2D) no aplicativo, um perfil aerodinâmico que apresente para eles uma melhor relação entre sustentação e arrasto.

Após essa fase de estudo, eles irão construir seus próprios protótipos da asa de avião em 3D, utilizando diversos materiais como: papel, arame, canudos, cola e fita adesiva, tomando como base o perfil aerodinâmico criado e escolhido na atividade anterior. Já na quarta e última atividade, os alunos serão convidados

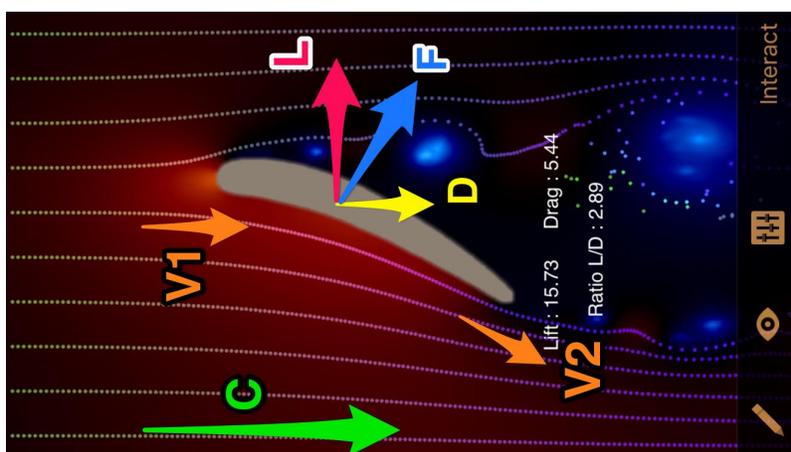


Figura 1: Linhas de corrente de ar em torno da asa de avião em movimento. A região de vermelho embaixo da asa representa uma zona de alta pressão e a região azul acima da asa uma região de baixa pressão. Fonte: Imagem gerada pelo aplicativo Wind Tunnel e modificada pelo autor, 2016.

a apresentar e defender para a turma seus perfis aerodinâmicos, mostrando como chegaram a este produto final e o porquê dele ter sido o escolhido.

O presente trabalho está dividido em cinco seções, sendo esta a primeira. Na próxima seção são apresentadas as forças que atuam em um avião durante o voo, dando ênfase à relação entre sustentação, arrastamento induzido, fluxo laminar e turbulento e sua relação com o número de Reynolds em um túnel de vento. Na terceira seção são apresentados os aplicativos *Wind Tunnel* e *Wind Tunnel CFD*. Na quarta seção intitulada, **O que os alunos podem fazer**, são apresentadas as propostas para aplicação destes aplicativos no estudo da dinâmica dos fluidos em sala de aula e por fim, na quinta e última seção alguns pontos importantes são retomados apresentados.

2 A asa de um avião e os túneis de vento

Nas escolas, os alunos são frequentemente ensinados de forma equivocada, que o principal motivo para um voo de um objeto mais pesado do que o ar é resultado do princípio de Bernoulli. Segundo a NASA [4],

Embora seja verdade que a forma curvada de uma asa de um avião resulta numa pressão mais baixa em cima da asa, e uma pressão mais alta embaixo, a força ascendente resultante é apenas parcialmente a causa da elevação de um avião em geral. Uma discussão da terceira lei de Newton do movimento representa mais exatamente como a elevação é conseguida.

Pode-se observar esta afirmação observando a Figura 1, onde a corrente de ar, representada pela letra C, aproxima-se horizontalmente pela esquerda da asa de um avião em movimento, com velocidade \vec{v}_1 .

A inclinação da asa para cima, chamada de ângulo de ataque, causa uma deflexão para baixo na corrente de ar, que então passa a ter uma velocidade \vec{v}_2 . Dessa maneira, a asa exerce uma força na corrente

de ar para defletí-la, e pela terceira lei de Newton, a corrente exerce na asa também uma força igual, mas no sentido contrário.

A componente vertical dessa força \vec{F} na asa é chamada de sustentação (lift, em inglês), que na Figura 1 está representada pela letra L e a componente horizontal é chamada de arrastamento induzido (Drag, em inglês), representada pela letra D .

Sustentação (L) e arrastamento induzido (D) são forças aerodinâmicas que dependem da forma e do tamanho da aeronave, das condições do ar e da velocidade do voo. A sustentação é a componente da força aerodinâmica total que atua na direção ascendente dando sustentação para a aeronave direcionada perpendicular ao caminho do voo e o arrastamento induzido é definido como a força resistiva sobre a asa do avião à medida que esta tenta se mover através do ar e é direcionado ao longo do caminho do voo.

A razão entre a sustentação e o arrastamento induzido (L/D) é uma indicação da eficiência aerodinâmica do avião. Um avião que possui uma relação L/D alta, produz uma grande quantidade de sustentação e uma pequena quantidade de arrastamento induzido. Isto conduz diretamente a uma melhor economia de combustível nas aeronaves, permitindo assim que ela realize missões de longo alcance.

A relação L/D também pode ser vista como a relação entre os coeficientes de sustentação e arrasto.

A equação de sustentação (L) indica que ela é igual à metade da densidade do ar (ρ_{ar}), vezes o quadrado da velocidade (V), vezes a área da asa (A), vezes o coeficiente de elevação (C_L).

$$L = \frac{1}{2} C_L \rho_{ar} v^2 A. \quad (1)$$

Similarmente, a equação de arrastamento induzido relaciona o arrasto da aeronave (D) com um (C_D) de resistência de arrasto:

$$D = \frac{1}{2} C_D \rho_{ar} v^2 A. \quad (2)$$

Dividindo uma pela outra, temos:

$$\frac{L}{D} = \frac{C_L}{C_D} \quad (3)$$

Os coeficientes de elevação e arrastamento induzido são normalmente determinados experimentalmente usando túneis de vento, locais onde se testam o desempenho e a aerodinâmica de carros, aviões, foguetes, barcos e motos. Os engenheiros testam protótipos de tamanho reduzido baseando-se no princípio da similaridade dinâmica. Este princípio afirma que, se dois corpos de tamanhos diferentes têm a mesma forma geométrica, seu comportamento dinâmico de fluido é o mesmo em um fluxo incompressível se os números de Reynolds forem iguais.

Dependendo do tipo de escoamento, o objeto será dito aerodinâmico ou não. Um escoamento laminar faz a transição para um escoamento turbulento quando a velocidade do fluxo excede certo valor.

Qual então, o critério para se determinar se um escoamento é laminar ou turbulento? A resposta está no número de Reynolds (Re), que é a razão de uma força inercial por uma força viscosa, sendo o número puro e adimensional. Westfall, Bauer e Dias [5] afirmam que, “[...] um número de Reynolds menor que 2000 significa que o fluxo é laminar e maior do que 4000 significa que o fluxo é turbulento.”

Entre 2000 e 4000, o caráter do fluxo é totalmente imprevisível. O fluxo laminar está associado à baixa velocidade e fluido de alta viscosidade, como mostra a Figura 2 a seguir, e ocorre quando não há

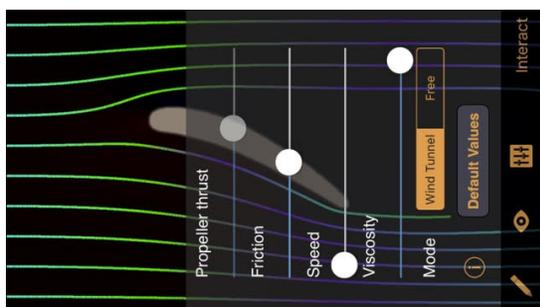


Figura 2: No fluxo laminar a velocidade é baixa e a viscosidade é alta. Fonte: Imagem gerada pelo aplicativo Wind Tunnel, 2016.

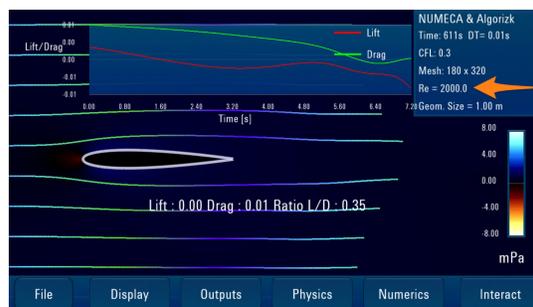


Figura 3: Fluxo laminar com número de Reynolds igual a 20000. Fonte: Imagem gerada pelo aplicativo Wind Tunnel, 2016.

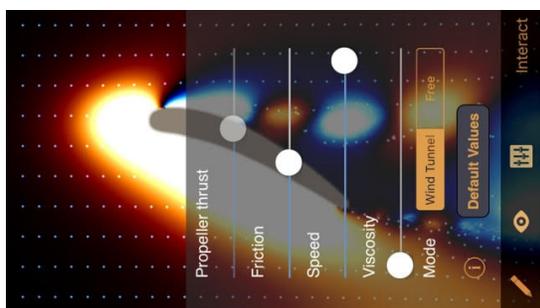


Figura 4: No fluxo turbulento a velocidade é alta e a viscosidade é baixa. Fonte: Imagem gerada pelo aplicativo Wind Tunnel, 2016.

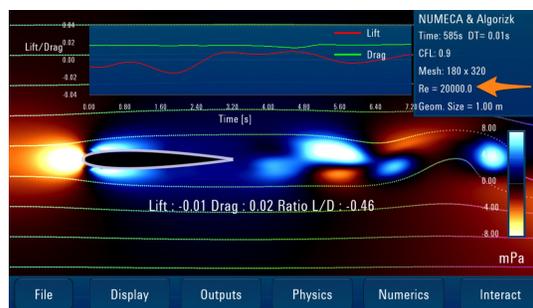


Figura 5: Fluxo laminar com número de Reynolds igual a 2000. Fonte: Imagem gerada pelo aplicativo Wind Tunnel CFD, 2016.

interação entre as camadas do fluxo, isto é, quando o fluido flui em camadas paralelas. Já na Figura 3 pode-se observar as características deste fluxo em torno de uma asa de avião para um número de Reynolds igual a 2000.

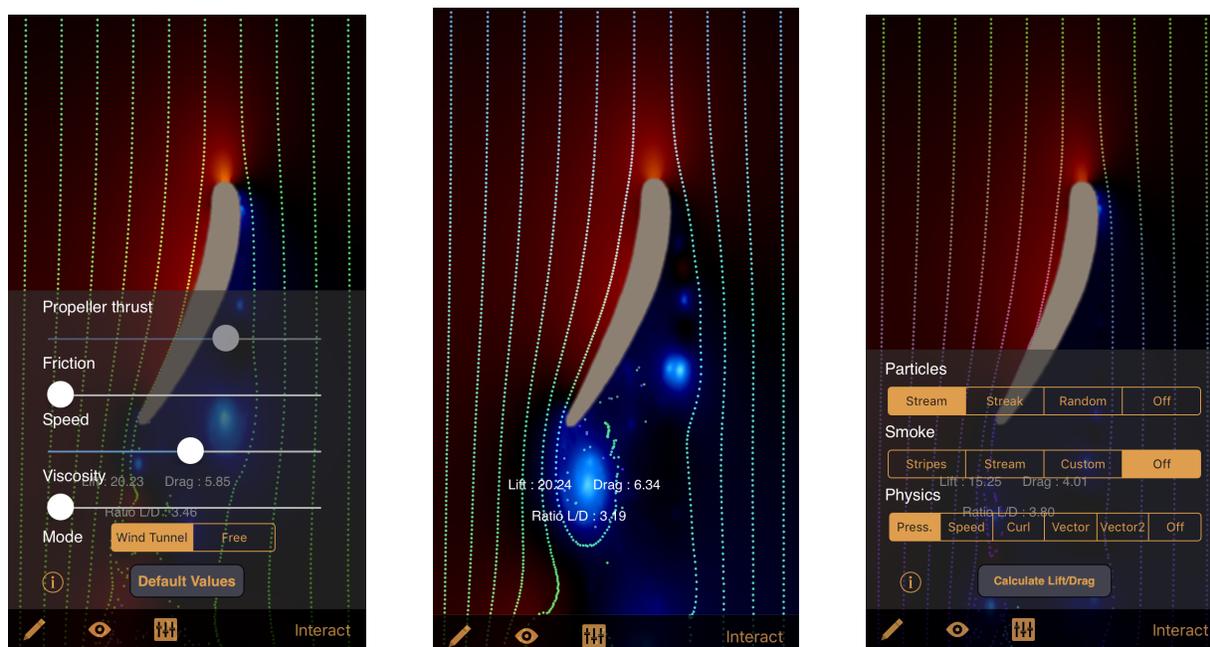
Já o fluxo turbulento está associado à alta velocidade e fluido de baixa viscosidade, como mostra a Figura 4 a seguir e ocorre quando as camadas de fluxo são fortemente misturadas e o fluxo não é mais paralelo. Na Figura 5, pode-se observar as características deste fluxo em torno de uma asa de avião para um número de Reynolds igual a 20000.

3 Os aplicativos *Wind Tunnel* e *Wind Tunnel CFD*

O *Wind Tunnel* é um aplicativo bidimensional interativo, gratuito tanto para Android quanto para iOS, produzido pela Algorizk. De acordo com a empresa [6],

O aplicativo *Wind Tunnel* simula a dinâmica dos fluidos assumindo o fluido incompressível e homogêneo com as equações de Navier Stokes¹. O aplicativo foi primeiramente projetado

¹Um conjunto de equações diferenciais cujos axiomas fundamentais são as leis da conservação: conservação da massa,



(a) Parâmetros ajustáveis como atrito, viscosidade e velocidade. (b) Cálculo do arrastamento induzido e da sustentação. (c) Modo de visualização das partículas, da fumaça e dos parâmetros físicos.

Figura 6: Fonte: Imagens geradas pelo aplicativo Wind Tunnel, 2016.

para fornecer uma simulação interativa e divertida. No entanto ele ainda fornece uma física quase precisa.

Com ele, os alunos podem visualizar o escoamento de um fluido e controlar muitos parâmetros como viscosidade, atrito e velocidade (a). O aplicativo também permite que os estudantes variem o ângulo de ataque de um perfil durante a simulação, o próprio aplicativo calcula automaticamente com boa aproximação o arrastamento induzido e a sustentação do perfil desejado (b).

O aluno ainda pode escolher o modo de visualização das partículas (escoamento, linhas de raia e aleatório), da fumaça (listras, linhas de fluxo, ou personalizadas) e dos campos físicos (pressão, magnitude da velocidade, componentes da velocidade) (c). A Figura 6 mostra cada uma destas opções fornecidas pelo aplicativo.

Já o aplicativo *Wind Tunnel* CFD (computational Fluid Dynamics) é um aplicativo da Algorizk criado em colaboração com a NUMECA internacional que, além de conter as ferramentas já presentes no aplicativo *Wind Tunnel*, fornece uma análise quantitativa mais aprofundada (número de Reynolds, dados de validação, unidades de velocidade e viscosidade), como mostra a Figura 7.

Para os objetivos deste trabalho, iremos nos deter ao aplicativo *Wind Tunnel* e algumas funções do aplicativo *Wind Tunnel* CFD como a análise quantitativa em relação ao número de Reynolds, unidades de conservação do momento e conservação da energia. Essas equações descrevem o escoamento dos fluidos e permitem modelar dentre outras coisas o fluxo de ar que passa através das asas de aviões e automóveis.

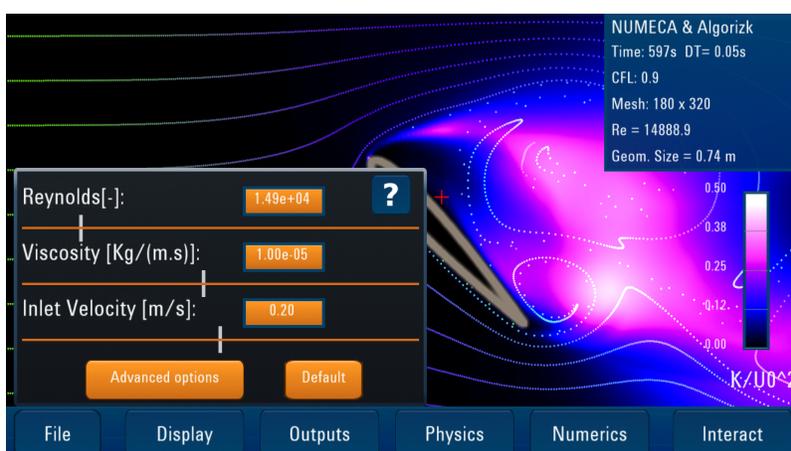


Figura 7: Ferramentas mostram o número de Reynolds, viscosidade e velocidade. Fonte: Imagem gerada pelo aplicativo Wind Tunnel CFD, 2016.

velocidade e viscosidade, além dos dados referentes à relação entre sustentação e arrastamento induzido.

4 O que os alunos podem fazer

Na realização das atividades propostas neste trabalho junto aos alunos, será utilizado o aplicativo *Wind Tunnel* e *Wind Tunnel CFD*. A escolha destes aplicativos deve-se ao fato dos mesmos estarem disponíveis tanto para iOS quanto para Android.

O aplicativo *Wind Tunnel* é gratuito e o *Wind Tunnel CFD* encontra-se a um preço bastante acessível, o que facilita a obtenção do mesmo por todos os alunos.

Para alcançar os objetivos, são propostas quatro atividades que serão realizadas após a introdução do estudo de dinâmica dos fluidos e de uma breve apresentação do aplicativo pelo professor, da seguinte forma:

1ª atividade: Com o aplicativo instalado, os alunos serão convidados a investigar os perfis aerodinâmicos fornecidos pelo aplicativo de forma livre, com o objetivo de se familiarizar com as ferramentas fornecidas pelo mesmo.

2ª atividade: No segundo momento, serão orientados pelo professor a simular (desenhar em 2D), o melhor perfil aerodinâmico da asa de um avião, buscando responder as seguintes perguntas:

1. A partir de que ângulo a sustentação passa a diminuir?
2. Qual o ângulo de ataque que resulta num arrasto mínimo?
3. Qual o perfil aerodinâmico que promove uma melhor sustentação?
4. Qual a eficiência aerodinâmica do seu perfil (C_L/C_D)?
5. Qual a relação entre a eficiência aerodinâmica e o número de Reynolds?

3ª atividade: Já familiarizados com o aplicativo, eles irão construir seus próprios perfis aerodinâmicos, agora em 3D, utilizando papel, arame, cola, fita adesiva, canudos e um ventilador, tomando como base o perfil aerodinâmico criado na atividade anterior.

4ª atividade: Por fim, como última atividade, os alunos serão convidados a apresentar e defender o seu perfil aerodinâmico diante da turma, explicando como chegaram à conclusão que aquele era o perfil ‘ideal’ para um voo.

Após introduzir os conceitos de dinâmica dos fluidos, o professor deverá reservar entre 6 e 8 aulas para apresentar os aplicativos e realizar as atividades, ou seja, duas aulas em média para cada atividade.

Como forma de avaliar a aprendizagem dos alunos, o professor poderá, além de observar suas apresentações e participações em equipe, propor a elaboração de um relatório com todos os perfis aerodinâmicos descartados na segunda atividade, com o objetivo de visualizar como os alunos aperfeiçoaram o seu protótipo e os motivos que os fizeram descartar cada um deles.

5 Superfluidos: um passo além no estudo sobre dinâmica dos fluidos

A aplicação da Ciência pode ser vista em toda parte e, embora algumas aplicações não sejam usadas em nossa vida diária, elas nos afetam muito. Um exemplo de uma aplicação é o superfluido.

O superfluido é um conceito da mecânica quântica que surgiu como uma das famosas descobertas em Física de baixas temperaturas. Sua história começa quando o Físico Holandês Heike Kamerlingh Onnes liquefez o Hélio em 1908. Dentre as propriedades do superfluido podemos citar sua viscosidade zero, entropia zero e sua condutividade infinita, podendo então ser um líquido ou um gás, mas nunca um sólido. Ele representa uma fase da matéria capaz de fluir sem parar, sem perda de energia.

Como forma de dar um passo além no estudo de dinâmica dos fluidos, o professor pode debater com os alunos pesquisas que mostram que o hélio líquido a temperaturas muito baixas pode ser usado no lugar do ar em túneis de vento. Segundo Samuels [7],

A temperaturas muito baixas (abaixo de 5 Kelvins), o hélio é um líquido com uma viscosidade cinemática muito baixa. Foi proposto (Liepmann e Coles (1979), Donnelly (1991)) que túneis de vento poderiam ser construídos usando o hélio líquido como o líquido de teste. As principais vantagens de tais túneis de vento seria uma combinação de grandes números de Reynolds e um aparelho relativamente pequeno.

Explorando pesquisas atuais com assuntos explorados em sala de aula, os professores aproximam os estudantes de situações próximas do “mundo real” trazendo mais significado para o que se está estudando.

6 Considerações finais

Sabe-se que o papel da escola é formar pessoas com conhecimento variado e amplo, capaz de desenvolver suas competências e habilidades com o propósito de servir a uma sociedade que enfrenta constantes transformações, principalmente na área tecnológica.

Neste artigo apresentamos além de uma fundamentação teórica sobre o voo de um avião, uma proposta de como explorar o estudo de dinâmica dos fluidos nos primeiros anos do Ensino Médio, utilizando aplicativos de simulação encontrados para *smartphones*.

A realização de experimentos com o auxílio de aplicativos para smartphone pode contribuir para incentivar o desenvolvimento da Física, mesmo que a escola não possua um laboratório equipado. Outra vantagem de se trabalhar com estas tecnologias é que elas permitem que os estudantes tenham sua criatividade aguçada, fiquem “livres” para escolher suas próprias experiências de aprendizagem e possam realizar experiências em casa ou em suas vidas diárias com seus próprios dispositivos, trazendo assim a ciência estudada em sala para o seu cotidiano.

Como forma do professor se aprofundar no assunto, sugerimos outros artigos que apresentam a Física do voo de um avião abordadas por Weltner, Sundberg, Esperidião e Miranda [8], Studart e Dahmen [9], Anderson e Eberhardt [10], Eastlake [11] e um site da NASA que também aborda este tema [12].

Esperamos que este trabalho norteie a ação pedagógica do professor e possibilite o enriquecimento de sua prática, reduzindo o fosso entre a Ciência e a experiência cotidiana em locais onde os laboratórios de Ciências não sejam funcionais, através das tecnologias presentes no cotidiano dos alunos.

Como última consideração, deixamos ao leitor a tarefa de ir além nos experimentos utilizando smartphones e explorar outros assuntos da Física.

Referências

- [1] GENSH, F.; VYEIRA, R. Evaluating the use of flight simulators of the NASA/AAPT “Aeronautics for introductory Physics” Educator Guide. Proceedings of the 20th International Conference on Multimedia in Physics Teaching and Learning, 2015, p. 312-322, European Physical Society. Disponível em: https://epub.ub.uni-muenchen.de/29030/7/MPTL20_Proceedings.pdf, p.313. Acesso em: 01 de novembro de 2016.
- [2] COMITÊ GESTOR DA INTERNET NO BRASIL. Pesquisa sobre o uso das tecnologias de Informação e comunicação nas escolas brasileiras: TIC educação 2015. Disponível em: http://cetic.br/media/docs/publicacoes/2/TIC_Edu_2015_LIVRO_ELETRONICO.pdf. Acesso em: 01 de novembro de 2016.
- [3] KUHN, J; VOGHT, P. Smartphones and Co. in Physics education: Effects os Learning with New Media Experimental tools in Acoustic. In A. Kauertz H. Ludwig, 2015, p.254. Disponível em: http://link.springer.com/chapter/10.1057%2F9781137467744_14. Acesso em: 01 de novembro de 2016.
- [4] NASA; AATP. WITH YOU WHEN YOU FLY: Aeronautics for Introductory Physics, 2015, p.163. Disponível em: https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/aero_introductory_physics.pdf. Acesso em: 07 de novembro de 2016.

- [5] BAUER, W; WESTFALL, G. D; DIAS, H. Física para universitários: relatividade, oscilações, ondas e calor, 1ª Edição, Bookman, McGrawHill, Porto Alegre, 2013. p.34.
- [6] ALGORIZK, A realistic simulation..., Disponível em: <http://www.algorizk.com/windtunnel/overview/>. Acesso em: 07 de novembro de 2016.
- [7] SAMUELS, D.C. Superfluid Turbulence. p.291. Disponível em: <https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/19940007835.pdf>. Acesso em: 07 de novembro de 2016.
- [8] WELTNER, K.; SUNDBERG, M. I.; ESPERIDIÃO, A.S.; MIRANDA, P. A Dinâmica dos fluidos complementada e a sustentação da Asa. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbef/v23n4/v23n4a09.pdf>. Acesso em: 09 de Maio de 2017.
- [9] STUDART, N.; DAHMEN, S.R. A Física do voo na sala de aula. Disponível em: <http://www.sbfisica.org.br/fne/Vol7/Num2/v13a07.pdf>. Acesso em: 09 de Maio de 2017.
- [10] ANDERSON, D.; EBERHARDT, S. Como os aviões voam: Uma descrição Física do voo. Disponível em: <http://www.sbfisica.org.br/fne/Vol7/Num2/v13a08.pdf>. Acesso em: 09 de Maio de 2017.
- [11] EASTLAKE, C.N;. A visão de um engenheiro aeronáutico acerca da sustentação, Bernoulli e Newton. Disponível em: <http://www.sbfisica.org.br/fne/Vol7/Num2/v13a09>. Acesso em: 09 de Maio de 2017.
- [12] NASA. Dynamics of Flight, 2014. Disponível em: <https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/UEET/StudentSite/dynamicsofflight.html> >. Acesso em: 09 de Maio de 2017.