



Curso: Ciências Aeronáuticas

Equipe:

Professor Coordenador/Orientador: Dr. Marcos Antonio Barros Santos

Aluno: Augusto Montalvão Freitas

APLICAÇÃO DO TEOREMA DE BERNOULLI NA AVIAÇÃO: UM ESTUDO DE CASO

Relatório de Pesquisa

Campina Grande-PB

2013

Dr. MARCOS ANTONIO BARROS SANTOS

**APLICAÇÃO DO TEOREMA DE BERNOULLI NA AVIAÇÃO: UM
ESTUDO DE CASO**

Relatório de Pesquisa apresentado ao Núcleo de Pesquisa e de Extensão (Nupex) do Centro de Ensino Superior e Desenvolvimento (Cesed) de acordo com o que preconiza o regulamento.

Campina Grande-PB

2013

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	05
REVISÃO DE LITERATURA.....	09
FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	13
METODOLOGIA.....	21
DISCUSÕES DOS RESULTADOS.....	25
CONCLUSÃO.....	30
REFERÊNCIAS.....	32

RESUMO

O objetivo deste trabalho é o de apresentar uma análise dos recursos curriculares baseado na Web, associado a um conceito específico da Física, o Princípio de Bernoulli aplicado à aviação. A literatura tem nos mostrado que alunos de graduação em Física e ciências afins, de um modo geral, sentem uma necessidade constante de atualização das aulas recebidas, recorrendo a ferramentas didáticas que promovam melhores resultados, de forma significativa, no processo de aprendizagem de alguns assuntos, especialmente aquelas voltadas para experimentações virtuais e ideias de aulas mais conceituais e dinâmicas. Nossa pesquisa verificou, inicialmente, quais páginas da internet os estudantes do curso de Aviação Civil recorrem, como ferramenta didática, para melhor visualizar determinados conceitos aerodinâmicos, para em seguida analisarmos a qualidade conceitual, gráfica, experimental e histórica dessas páginas.

1. INTRODUÇÃO

A Internet, segundo Leite (2008), tornou-se um meio privilegiado de comunicação entre professores e alunos, já que permite juntar a escrita, a fala, a imagem com facilidade, flexibilidade e interação. Nesse sentido, a Internet é um lugar em que, parcialmente, é possível procurar e acessar diversas informações atuais, responder algumas questões ou pesquisar e acessar determinados conteúdos, como um recurso a mais no processo de ensino-aprendizagem, possivelmente, ajudando na construção de um determinado conhecimento. Entretanto, nem sempre essa ferramenta metodológica, pode propiciar esse desenvolvimento proposto, suprimindo informações importantes, com um aprofundamento consistente, filtrando ou sintetizando o que é de mais relevante e significativo em determinados conteúdos, como nos alerta Moran (2001), sinalizando para uma pesquisa mais atenta, que venha a suprir suas dificuldades metodológicas, mas que também, possuam aspectos conceituais científicos bem definidos, evitando-se assim o uso indiscriminado de diversas páginas que não atendem a essa perspectiva. Diante desse quadro, propusemos nossa pergunta de pesquisa:

- As explicações, em algumas páginas da Web, para o surgimento da força aerodinâmica, a partir do Teorema de Bernoulli são adequadas, possuem qualidades conceitual, histórica e experimental ou apresentam equívocos?

As ciências aeronáuticas continuam fascinando muitos estudantes. Na busca de se tornarem pilotos privado ou comerciais, são atraídos para os cursos de aviação. Esses interesses surgem precocemente e, às vezes, durante suas primeiras incursões em um voo, perguntam-se fascinados, como um avião com várias toneladas de peso, mantém-se flutuando no ar, sem cair. Durante a fase da graduação, nos cursos de aviação, aprendem que uma força chamada de sustentação, é a responsável por essa proeza. Infelizmente, como nos mostra a literatura (KEATING, 1999; MIRANDA et al, 2001; WELTNER et al, 2002; EASTLAKE, 2006; OLIVEIRA, 2009), diversas concepções explicativas, partindo sempre de erros conceituais presentes em livros da área, artigos científicos e páginas da internet, tem como pano de fundo uma aplicação do princípio de Bernoulli inadequada, confusa, errônea, levando alunos e professores a uma incompreensão dos

aspectos aerodinâmicos. Assim, buscando responder a essa questão, nossa pesquisa apresenta o seguinte objetivo geral:

- Verificar os erros conceituais sobre a origem da resultante aerodinâmica, a partir do Teorema de Bernoulli, tomando como referências páginas da Web.

Além desse, temos os seguintes objetivos específicos:

- Propor uma solução mais atraente, do ponto de vista da física, usando o Princípio de Bernoulli na explicação e na determinação da resultante aerodinâmica;
- Identificar como esse conteúdo disciplinar, presentes nos documentos didáticos (ementas, programas, livros textos adotados), é trabalhado no Curso Superior de Aviação Civil- ESAC.

Assim, acreditamos que a relevância desta pesquisa reside no fato de que a nossa revisão de literatura tem apontado que a formação de pilotos apresenta lacunas e inadequações, no que se refere aos ensinamentos dos fundamentos aerodinâmicos. No entanto, não há estudos como este que propomos que mostrem o porquê da sua inadequação.

Este trabalho se encontra dividido em cinco capítulos, contemplando todos os processos de desenvolvimentos sugeridos por seus respectivos objetivos. No segundo capítulo deste trabalho, chamado de revisão de literatura, recorreremos a duas recentes revisões bibliográficas, Eastlake, (2006) e Oliveira (2009), que realizaram uma densa revisão de trabalhos publicados em periódicos nacionais e internacionais, sobre as inconsistências físicas que podem surgir na abordagem aparentemente simples, mas tradicionalmente apresentada em livros-texto de física básica e em artigos publicados na Web, da origem da resultante aerodinâmica. Ainda neste capítulo, autores como Leontiev (1978), Moran (2001) e Sousa (2011), nos mostram que o fato de ser uma ferramenta colaborativa e desempenhar um importante papel de apoio às atividades escolares, suprimindo de informações e conhecimentos, as páginas da Web não deve ser utilizado indiscriminadamente, sob o risco de que métodos tradicionais de ensino possam ser adaptados inconsequentemente aos ambientes virtuais, reproduzindo erros conceituais gravíssimos.

O terceiro capítulo é dedicado à fundamentação teórica. Nesse capítulo, realizamos um levantamento dos fundamentos teóricos (postulados e princípios), em relação a assuntos inerentes ao processo ensino-aprendizagem da origem da resultante aerodinâmica, próprios à formação do piloto comercial e privado. Mesmo não tendo como objetivo aprofundar-se em nenhum dos temas apresentados, esse capítulo levanta algumas discussões que estiveram, e ainda estão, na agenda da Física atual, bem como são discussões presentes na literatura dos melhores textos didáticos. Entendemos que, um Curso de formação de pilotos que chame a atenção para esses problemas, contextualizando os desenvolvimentos que foram e são realizados na explicação desses fenômenos, está, na ótica aqui adotada, oferecendo uma formação mais rica e mais acentuada ao contexto aeronáutico.

No quarto capítulo deste trabalho, chamado de metodologia, descrevemos de forma detalhada o procedimento metodológico de nosso estudo, em que foi priorizada a abordagem qualitativa. A opção por essa abordagem ocorreu em decorrência do contexto a ser investigado, permitindo-nos explorar inicialmente, quais páginas da internet os graduandos pesquisados, num total de dez, pertencentes à Escola Superior de Aviação Civil – ESAC, da cidade de Campina Grande, Pb, utilizam como ferramentas de exploração conceitual (demonstrações experimentais, histórica, resolução gráfica, etc) para melhor compreender determinados assuntos relacionados as disciplinas de Física e Teoria de Voo I, em especial àquelas que possibilitam uma melhor visualização do fenômeno da sustentação, referente a flutuação de aeronaves, usando o Teorema de Bernoulli. Para esse estudo de caso, utilizamos instrumentos de coleta de dados que lhe são peculiares e indicadores adequados para o entendimento da natureza do nosso problema de pesquisa, como: entrevistas estruturadas e análise documental (páginas da internet).

No quinto capítulo, temos a análise dos dados colhidos nas entrevistas e nas análises das páginas consultadas na Web. Essas descrições e análises, realizadas separadamente, são acompanhadas de uma discussão, para se ter uma visão mais acurada a respeito da qualidade dessas páginas. A partir desses levantamentos, verificamos que assim como existem livros didáticos que perpetuam erros conceituais, experimentais e resumidas informações históricas acerca do desenvolvimento teórico em questão, há também diversas páginas de Física na Web que terminam por reproduzir essas falsas concepções científicas.

Por fim, no último capítulo, redigimos as conclusões finais desse trabalho e nossas considerações pessoais sobre a pesquisa realizada e sobre o que se tem a realizar. Nesse sentido, pretendemos colaborar com as discussões curriculares, nos cursos de formação de pilotos, privados e comerciais, em especial para as disciplinas que contemplam os aspectos físicos e aerodinâmicos. Cumpre ressaltar, aqui, que o caminho para a redação que escolhemos persegue, inicialmente, o esclarecimento de conceitos fundamentais necessários à compreensão das questões específicas da aviação, em especial no Curso Superior de Aviação Civil – ESAC.

2. REVISÃO DE LITERATURA

Considerando que nosso trabalho trata da formação de pilotos de aviação privada e comercial, cabe, neste capítulo, fazermos uma revisão dos trabalhos de Eastlake (2006) e Oliveira (2009), que realizam uma densa revisão de trabalhos publicados em periódicos nacionais e internacionais, sobre as falácias do teorema de Bernoullie sua aplicabilidade no entendimento da força resultante aerodinâmica. Dentre os vários artigos citados por esses autores, selecionamos, para nossa revisão, os trabalhos acadêmicos que exploram, especificamente, o processo de formação do futuro piloto, verificando suas dificuldades de aprendizagem e analisando algumas propostas de ensino sobre os aspectos conceituais da física aplicados a teoria de voo, navegação aérea e aerodinâmica, e seus resultados de aprendizagem.

2.1 Internet como ferramenta de aprendizagem

Com o uso da internet, foi possível fazer chegar até a tela de um computador informações do mundo inteiro, em tempo real. É possível escrever em blogs, expor pensamentos, publicar trabalhos, pesquisar por artigos. Porém, qualquer pessoa pode postar qualquer tipo de informação e fazer dela uma verdade, ou até mesmo sem a intenção acabar consultando um trabalho onde não se sabe se o que está publicado é realmente verdade, pois não é necessário passar por um conselho para verificar se o que se vai postar é correto ou apresenta equívoco, o indivíduo apenas lança na internet.

No sentido de promover um melhor entendimento dessa ferramenta metodológica, e conseqüentemente o seu uso no ensino, é necessário observar que elas surgiram não para substituir, mas para compartilhar novas possibilidades semióticas às linguagens tradicionais, como nos assegura Leontiev (1978). Segundo Souza (2011), o fato de ser uma ferramenta colaborativa e desempenhar um importante papel de apoio às atividades escolares, suprimindo de informações e conhecimentos, o leitor que dela fizer uso, deve ter cuidado, pois a maioria dos blogs pode apresentar-se também como um vilão, uma vez que não há uma regulamentação que indique o seu nível de qualidade.

Em 1998, a equipe do professor Keating realizou um estudo que tinha como objetivo fazer uma varredura na internet em busca de conceitos que pudessem ter sido distorcidos na internet. Quatro razões os fizeram escolher o tema teorema de Bernoulli:

- Por ter uma longa história em materiais expressos;

- Por ser incluso em várias áreas da ciência;
- Por ser um tema bastante discutido;
- Por apresentar muitas inadequações conceituais.

Na época da pesquisa, a internet tinha sido recentemente liberada para os civis e não existia essa facilidade de acesso que nos é permitida hoje, porém, Keating et al. (1999) encontraram uma série de sites que mostravam distorções acerca do teorema de Bernoulli. Uma das conclusões encontrada por esses pesquisadores foram relacionadas aos planos de aulas que não abrangiam com complexidade e profundidade suficiente, o tema relacionado à sustentação.

Através de vários sites de busca utilizados na época, como Altavista, HotBot, Yahoo, a equipe de Keating (1999) encontrou uma série de sites falando sobre Bernoulli, e dentre as principais assuntos estava aeronáutica (45%) e física (34%). Ao explorar um pouco mais sobre a parte aeronáutica, Keating e sua equipe encontraram vários equívocos, em especial quando relacionava o princípio de Bernoulli à aviação:

A análise visual dos dados das páginas da Web revelou um equívoco comum sobre a relação entre o princípio de Bernoulli e a força de sustentação que atua sobre uma asa de um avião (KEATING et al, 1999, p.6).

Esses equívocos estavam presentes em 19% dos sites dentro do banco de dados e em 23% dos planos de aula. Em sua pesquisa, Keating et al, (1999) encontraram mais de 80 maneiras de se explicar o teorema de Bernoulli. Argumentos como o da instantaneidade do tempo, foram fortemente identificados na sua pesquisa.

O que temos chamado de “equívoco do tempo”, teve origem nos materiais à base de textos e sua difusão se multiplicou no ambiente da web (KEATING et al, 1999, p.9).

Esse primeiro trabalho de pesquisa na Web sobre o tema em questão, consultou mais de 580 sites, conseguindo reunir informações cujos resultados apontam que os erros encontrados nessas páginas foram oriundos dos livros didáticos que também continham erros conceituais.

2.2 Equívocos sobre a aplicação do teorema de Bernoulli

O primeiro equívoco a ser apresentado é o da distância ou o comprimento do extradorso. Em muitos livros e sites de busca, é defendido que a diferença de tamanho entre o extradorso e o intradorso de uma asa é um dos fatores que influem na sustentação. Segundo Babinsky (2003), existe uma diferença de comprimento, onde o extradorso é maior que o intradorso e sobre o qual o ar vai percorrer até chegar ao bordo de fuga. No entanto, isso não é razão para que a sustentação do aerofólio seja gerada, como muitos sugerem, ou seja, a diferença entre as superfícies superior e inferior não é requerida para gerar sustentação, pois caso gerasse sustentação, um iate movido a vela teria sustentação também, mas isso não ocorre.

A diferença das distâncias percorridas não pode estar relacionada com as diferenças geométricas existentes acima e abaixo da asa. O raciocínio é totalmente equivocado e deve ser evitado (WELTNER et al, 2002, p. 2).

O segundo equívoco é com relação ao tempo de percurso ser igual. É muito comum se ouvir que o ar no extradorso vai “escorrer” mais rápido que o ar no intradorso, pois ambos devem alcançar o bordo de fuga ao mesmo tempo. Porém, isso não ocorre. Segundo Babinsky (2003), não existe nenhuma explicação ou algo comprovado na vida real que defenda que isto ocorre, pelo contrario, é comprovado que o ar não chega no mesmo tempo e onde, claramente, as partículas de ar que se movem por cima são mais rápidas, e estão mais adiante do que as partículas do intradorso, o que, obviamente, comprova que o ar não se encontra no intradorso, fazendo com que esse principio seja apenas um mito.

O terceiro equívoco é o de aplicar o teorema de Bernoulli para explicar o experimento do papel, quando assopramos sobre sua superfície superior, percebemos que ele sofre uma elevação para cima. Para ser análoga a asa de um avião, aplicando o princípio de Bernoulli na sua explicação, o ar teria que passar por cima e por baixo do papel, quando na verdade, o ar passa apenas por cima, o que nos leva a acreditar que existe uma teoria que possa explicar o porquê do papel se elevar, mas que essa teoria não é a de Bernoulli. Segundo Babinsky (2003), é incorreto fazer uma conexão entre o fluxo nas duas faces do papel, utilizando Bernoulli, pois não há fluxo de ar por baixo do papel, para que Bernoulli possa ser aplicado.

2.2.1 Porque o teorema de Bernoulli é o mais utilizado?

Bernoulli começou a ser usado após a segunda guerra mundial, até então se adotava a terceira lei de Newton para explicar o surgimento da resultante aerodinâmica. Com o passar dos anos, estudos baseados na lei de Bernoulli começaram a comprovar que a mesma estava sendo apresentada de forma errada, através de argumentos equivocados. Sendo que, “Se uma explicação errada for profundamente utilizada, é bem difícil substituí-la”(WELTNER et al, 2002, p.5).

Apesar de apresentar equívoco quanto a sua utilização, o teorema de Bernoulli segue sendo usado em livros, trabalhos e provas. Segundo Babinsky (2003), Bernoulli é adotado por ser uma explicação relativamente simples, lógica e que passa a impressão de correta, mesmo não a sendo.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Considerando os objetivos deste trabalho, cabe, neste capítulo, fazermos um levantamento dos fundamentos teóricos, em relação a assuntos inerentes ao processo ensino-aprendizagem da origem da força resultante aerodinâmica, a partir do Teorema de Bernoulli, dentro da perspectiva das disciplinas de Física I, Teoria de Voo e Navegação Aérea, próprias à formação de pilotos. Mesmo não tendo como objetivo aprofundar-se em nenhum dos temas apresentados, este capítulo levanta algumas discussões conceituais a respeito de tópicos importantes e que dão sustentação ao fenômeno explorado.

A base teórica para esses fundamentos toma como referência bibliográfica os livros: Curso de Física Básica (2008), History of Mechanics (1988), que são livros que dão ênfases aos conceitos, às interpretações experimentais e às questões históricas e filosóficas da mecânica dos fluidos e da aerodinâmica. Além desses, utilizamos também alguns trabalhos, em forma de artigos, citados em densas revisões realizadas: (KEATING et al, 1999; MIRANDA et al, 2001; WELTNER et al, 2002; EASTLAKE, 2006; OLIVEIRA, 2009; EASTWELL, 2007).

3.1 Referenciais de estudo

A partir da figura (1) abaixo, mostramos as terminologias comumente usadas na aviação, quando tomamos como referência um perfil aerodinâmico de uma asa assimétrica, cujas superfícies são projetadas com a finalidade de se obter reações aerodinâmicas a partir do escoamento do fluido (ar) por entre elas. Comumente, designamos de intradorso e extradorso, as partes de arqueamento inferior e superior desse perfil, dividida igualmente pela linha de arqueamento média. No entanto, percebe-se que é no extradorso que há uma maior curvatura, em especial, próximo ao bordo de fuga. A maior distância entre a linha da corda e a linha média é chamada de curvatura ou arqueamento e normalmente representa alguns pontos percentuais do comprimento da corda. Na parte frontal desse perfil, um pouco acima do ponto de estagnação¹, encontramos o bordo de ataque que se liga ao bordo de fuga pela reta chamada de corda.

¹ Refere-se a um ponto onde teremos a velocidade de fluxo do ar igual a zero, ou seja, nesse ponto temos uma pressão dinâmica de frenagem máxima.

Outra medida importante refere-se à espessura da asa, que representa a altura do perfil medida perpendicularmente à linha de corda.

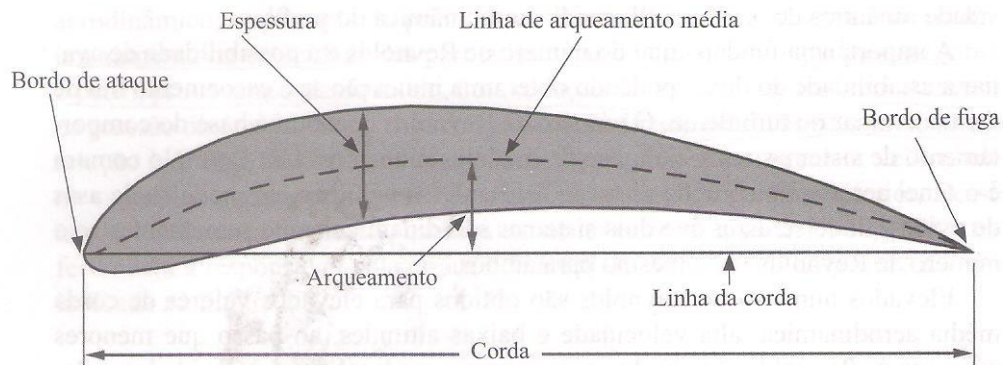


Figura 1- Rodrigues, L. E. M. J, 2013.

Na figura (2) mostramos outros pontos aerodinâmicos e geométricos importantes, como por exemplo, a posição do nariz para cima ou para baixo da asa é o chamado ângulo de ataque (θ) que representa o ângulo entre a corda e a direção do movimento do ar relativo ao aerofólio (vetor velocidade relativa). Representa um parâmetro que influi diretamente na geração da força resultante aerodinâmica, ou seja, quanto maior esse ângulo, maior será a geração dessa força. No entanto, há um limite de inclinação dada a asa, uma vez que se aproximando do ângulo crítico, em torno de 15° para a maioria dos perfis, a componente perpendicular da resultante aerodinâmica, chamada de Sustentação ou Lift(L), diminui assintoticamente, enquanto que a outra componente horizontal da resultante aerodinâmica, chamada de Arrasto ou Drag (D), aumenta. Esse descompasso pode tirar o avião do equilíbrio estável dinâmico em que se encontra, entrando em estol.

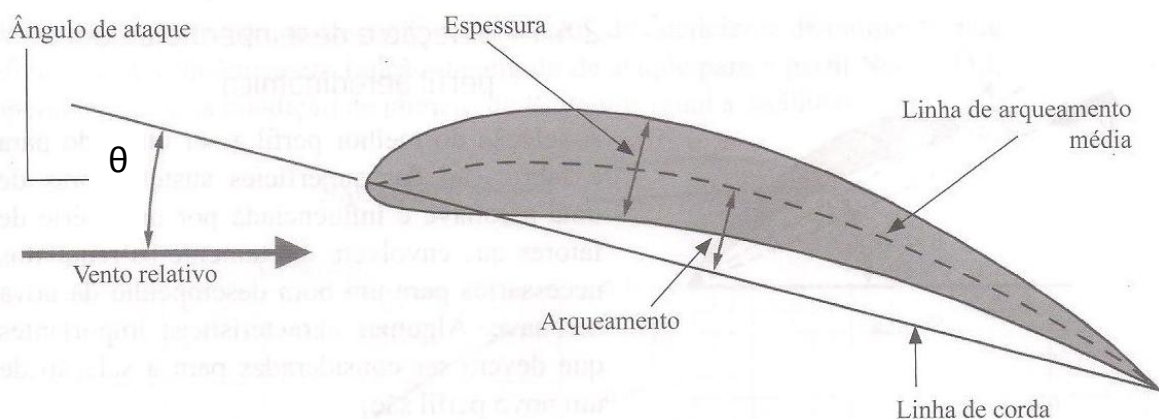


Figura 02 - Rodrigues, L. E. M. J, 2013.

Outro ângulo importante e que confunde estudantes e leitores é o chamado ângulo de incidência (α), representado na figura (3) abaixo:

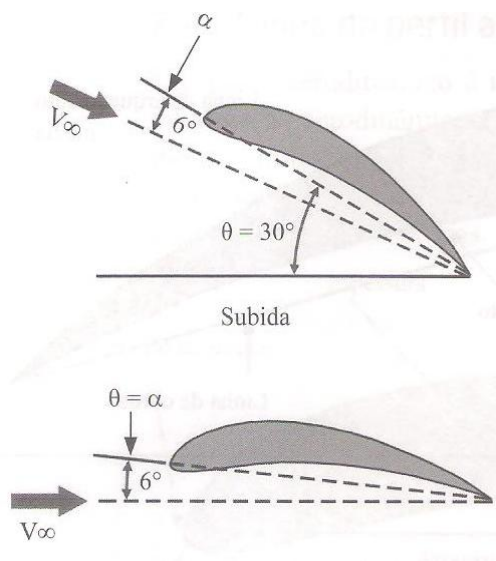


Figura 03 - Rodrigues, L. E. M. J, 2013

Representado aqui pela letra grega (α), esse ângulo é determinado pela linha de corda e o eixo de referência horizontal. Esse é um ângulo que já vem determinado pelo fabricante da asa, em torno de 3° a 6° , proporcionando uma maior eficiência aerodinâmica.

Todo perfil possui características aerodinâmicas próprias, dependendo exclusivamente da sua forma geométrica, dos coeficientes de sustentação e de arrasto, eficiência aerodinâmica, número de Reynolds, etc.

A definição das componentes de sustentação e arrasto como veremos a seguir, envolve um ponto sutil no que diz respeito à direção dessas forças, ponto este que pode passar despercebido em uma discussão, mas que se torna importante no momento de decompô-las.

Como sabemos há uma só força resultante atuando em um aerofólio. Contudo, ela pode ser decomposta em componentes em qualquer sistema de coordenadas mais conveniente. Na linguagem dos pilotos, a direção horizontal passa-se a ser chamada de eixo do vento relativo, e assim, a componente perpendicular ao vento relativo é chamada de Sustentação, enquanto o arrasto é a componente paralela a ele. Essas componentes vetoriais são comumente representadas ou desenhadas em livros de aerodinâmica e teoria de voo, como sendo perpendicular e paralelo à corda do aerofólio, ou às vezes à superfície. Essas informações se traduzem em inadequações, uma vez que a resultante aerodinâmica não surge a partir desses argumentos, como veremos a seguir.

3.2 Conservações das energias

Após a segunda Guerra mundial (1945), para justificar a Força resultante nas asas de um avião, aeronave mais utilizada naquela época, foi adotada o teorema do movimento dos fluídos de Bernoulli. Desde então, em grande parte da literatura, o comportamento aerodinâmico das asas é estudado através dessa teoria, inclusive cobrada nas provas para a obtenção da licença de piloto pela ANAC. Antes de explicar o teorema, é preciso dizer que o fluido necessita ser firme, além de não viscoso e incompressível. Segundo Eastwell, 2007:

Fluído firme significa que, em qualquer ponto em particular nos filetes, a velocidade de passagem do fluído não muda com o tempo. No movimento do fluído, a viscosidade é análoga à fricção em movimento dos sólidos, onde forças tangenciais entre as camadas do fluido em resultado dos movimentos relativos na dissipação de energia mecânica (EASTWELL, 2007, p.4) .

Outro fator fundamental no nosso estudo refere-se ao ponto de estagnação. É fundamental saber que o ponto de estagnação não se encontra no bordo de ataque, conforme temos observado em livros de teoria de voo e aerodinâmica, mas um pouco abaixo dele e um pouco deslocado da corda do bordo de ataque sobre o intradorso. Esse ponto, como nos mostra Eastlake (2006), produz um divisor de fluxo de ar, fazendo com que a maior parte dele escoe pelo extradorso (parte superior da asa) e restante escoe pelo intradorso (parte inferior da asa). Como resultado, a quantidade de massa por segundo que flui entre linhas de corrente permanece constante, de acordo com o principio da conservação da massa. Vejamos na figura:

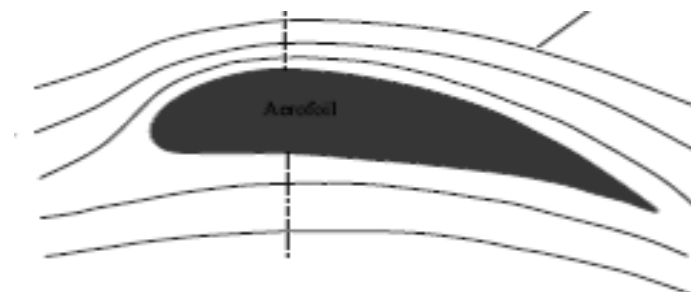


Figura 04 - Eastlake (2006)

O fato de observarmos as linhas de corrente espremidas no início do bordo de ataque, devido a forma geométrica anterior do extradorso ser diferenciada em relação ao intradorso, faz com que a velocidade do escoamento nesse ponto aumente, mantendo a massa que flui em ambas as partes constante. Depois que o escoamento passou pela parte mais grossa do aerofólio e as linhas de corrente começam a se separar uma das outras à medida que elas se aproximam do bordo de fuga, a velocidade diminui. É importante também lembrar que o perfil geométrico de uma asa muda de acordo com o ângulo de ataque, aumentando assim a aglutinação dos filetes de ar sobre o extradorso. Para Babinsky (2003), a maior parte da resultante aerodinâmica produzida no extradorso se dá logo no primeiro quarto da corda da asa, ou seja, na zona em que a curvatura é mais acentuada, como ilustra as figuras abaixo, onde se identifica as zonas em que a resultante aerodinâmica é mais intensa, ao tempo em que mostra também que o demasiado ângulo de ataque pode gerar uma perda da sustentação como componente da resultante aerodinâmica.

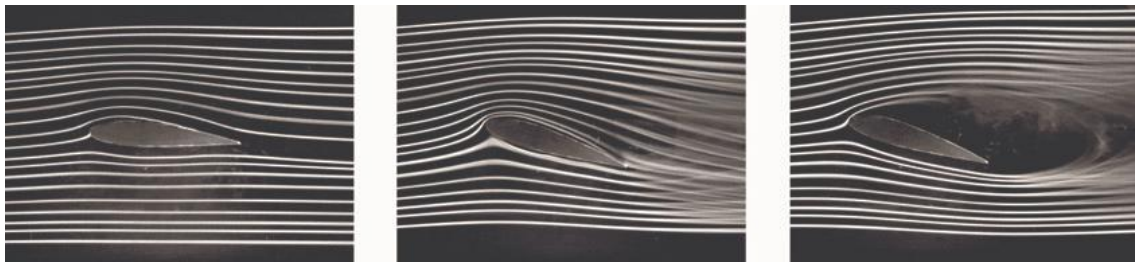


Figura 05 – Dinâmica ao redor de um perfil de asa. (BABINSKY, 2003, p. 502)

A maioria dos livros textos de Física, como o de Nussenzveig (2008), nos mostra que para entendermos a dinâmica/cinemática das moléculas de um fluido, devemos considerar que sua energia total torna-se constante quando elas viajam ao longo de uma linha de corrente, desprezando-se algum trabalho externo exercido sobre elas. Isto geralmente se aplica para fluxos externos como o do ar escoando em volta de um aerofólio. Por outro lado, para fluxos internos dentro de canos ou da turbina de um avião a jato, a energia pode não ser constante. Em qualquer um dos casos a energia pode ficar indo e voltando entre a energia cinética e a energia potencial, à medida que a partícula se move. A característica mensurável que quantifica a energia total é chamada de *pressão total*, que é medida a partir de um tubo de Pitot² e a energia potencial é

²Este tipo de manômetro nada mais é que um tubo com a ponta aberta voltada diretamente para o fluxo de ar, de modo a “capturar” o ar em movimento. Geralmente a sua posição nos aviões é debaixo da asa.

quantificada em termos da *pressão estática*, enquanto que a energia cinética é quantificada pela pressão dinâmica.

Na sua obra *Hydrodynamica*, de 1738, e com base no espírito de algumas figuras apresentadas em Apêndice à obra, Bernoulli aludia à conservação da energia mecânica no sentido em que uma velocidade maior no escoamento de água tinha como efeitos uma diminuição da pressão nas paredes do tubo, uma vez aberta uma secção que permitisse o escoamento do fluido. A forma original da equação, por tradição atribuída a Daniel Bernoulli embora apresentada inicialmente pelo seu colega Leonhard Euler, é escrita como:

$$\frac{1}{2} \rho v^2 + \rho gh + p = \text{const} \quad (1)$$

Assim, em escoamentos de um gás incompressível e de baixa velocidade, entre 480 e 560 km/h, essa é a equação que corresponde ao princípio da conservação de energia, conhecida como lei de Bernoulli. À medida que um avião voa através da atmosfera, a pressão atmosférica representa a pressão estática, e a pressão total é maior que a atmosférica por um fator igual à pressão dinâmica.

$$p_2 - p_1 = \frac{\rho}{2} (v_1^2 - v_2^2) \quad (2)$$

Simplificando a equação (1), tomando o mesmo nível de referência, chegamos à equação (2) acima. Ela nos mostra que a diferença de pressão estática entre dois pontos de um fluido situados ao mesmo nível é simétrica da diferença de pressão dinâmica (que é uma medida da energia cinética) entre eles. Se $p_2 < p_1$ então $v_2 > v_1$. Esta é a forma da equação tradicionalmente mais chamada de “equação de Bernoulli”.

3.3 Sustentação

Para descrevermos uma explicação satisfatória ou apropriada a um curso de formação de pilotos, usaremos os fundamentos já explicados nas páginas anteriores, além de outros que discutiremos a seguir, necessários ao entendimento da resultante aerodinâmica. Essencialmente, ao contrario do que nos relata a nossa revisão de

literatura, entendemos que estes fundamentos aqui analisados e explorados, devem fazer parte de conteúdos da Física, Teoria de voo e de Navegação aérea, evitando-se que se incorra em equívocos já pronunciados.

Para esta abordagem, recorreremos ao artigo de Weltneret al. (2002), publicado na Revista Brasileira de Ensino de Física, sob o título: A Dinâmica dos Fluidos Complementada e a Sustentação da Asa. Para eles, se conseguirmos entender que o aumento de velocidade de um fluido sobre uma superfície não é causada pela diminuição da pressão e sim, que a aceleração tangencial é causada por uma diferença de pressão na direção do movimento, deixa-se claro que a velocidade maior é sempre o efeito de pressão menor. Tendo em mente esta relação, evitam-se erros na sua aplicação, especialmente quando uma maior velocidade do fluxo for considerada como causa da pressão menor.

Para entendermos essa redução de pressão durante o escoamento de um fluido sobre a superfície de uma asa, devemos inicialmente lembrar-se de um efeito chamado de Coanda. É a partir dessa teoria que entendemos o porquê de um fluido escoar acompanhando a superfície de um corpo. Na Física, um escoamento deste tipo é denominado laminar. Se o obstáculo tem curvas abruptas ou cantos, o escoamento não segue mais a superfície, formando vórtices. Neste caso tem-se um escoamento turbulento. O exemplo clássico do efeito Coanda é um jato de fluido lançado sobre uma superfície plana, soldada a um setor cilíndrico, como na figura abaixo. O escoamento não se separa imediatamente da superfície do cilindro, mas a segue até certo ponto onde então começa a separação.

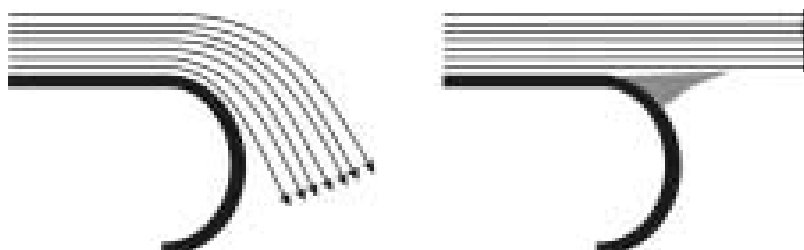


Figura 06 - Weltneret al. (2002)

Podemos entender o efeito Coanda considerando a viscosidade do fluido. Na Fig. 06, à direita, mostramos o estado inicial de um experimento imaginário. Um jato de fluido é lançado sobre a parte plana da superfície na hipótese de viscosidade nula. Devido à própria inércia o jato tenderia a manter a direção do movimento ao se deslocar na parte

curva da superfície cilíndrica. No entanto, considerando-se agora a viscosidade, mesmo que seja mínimo, o fluido entre o jato e o cilindro vai ser removido provocando nesse local uma diminuição da pressão, o que ocasiona o encurvamento do fluxo.

Assim, como sugerem Weltner et al. (2002), o escoamento gera a pressão menor devido a sua própria inércia. Se o ar mantivesse seu movimento na direção original ele se afastaria da superfície, gerando assim um vácuo. Mas antes que isso aconteça, reduz-se a pressão entre o jato e a superfície, gerando por isso uma gradiente de pressão necessário para acelerar o ar para baixo, paralelamente ao deslocamento, ganhando maior velocidade. Então a lei de Bernoulli é válida, mas a interpretação correta é diferente da usada nos livros-textos, artigos analisados e páginas da Web consultadas. As diferenças de pressão são causadas pelo desvio do escoamento. Só em função destas pressões as velocidades se modificam.

4. METODOLOGIA

Neste capítulo, descrevemos a metodologia usada em nossa pesquisa, optando por uma abordagem qualitativa, em decorrência do enfoque dado ao objeto a ser estudado, que norteia como algumas páginas da Web veiculam o Princípio de Bernoulli para a explicação das forças aerodinâmicas na aviação.

3.1 Pesquisa qualitativa

Visando alcançar os objetivos propostos neste estudo, privilegiamos a abordagem qualitativa, a qual, segundo Richardson et al. (2008),

[...] facilita descrever a complexidade de problemas e hipóteses, bem como analisar a interação entre variáveis, compreender e classificar determinados processos sociais, oferecer contribuições no processo das mudanças, criação ou formação de opiniões de determinados grupos e interpretação das particularidades dos comportamentos ou atitudes dos indivíduos (p. 80).

A pesquisa qualitativa se ocupa com um nível de realidade que não pode ou não deveria ser quantificado, ou seja, esse tipo de pesquisa, como ressalta Minayo (2008), trabalha com o universo dos significados, dos motivos, das aspirações, das crenças, dos valores, das atitudes, enfim, com todos esses fenômenos humanos que fazem parte de um contexto social, de uma realidade vivida e partilhada com outros semelhantes. Assim, entendemos que esse nível de realidade não é mensurável, precisa ser descrito e analisado pelo pesquisador.

Assim, esse tipo de abordagem facilita compreender em profundidade alguns fenômenos do processo ensino-aprendizagem, tornando-se, portanto, uma referência para investigar diferentes contextos. No nosso caso, o foco principal de estudo refere-se ao processo vivenciado por graduandos do curso de Aviação, durante a fase em que eles se permitem usar determinadas páginas na internet, como ferramenta metodológica, com o objetivo de melhor estruturar assuntos vistos em sala de aula, reforçando-as com atrativos gráficos, conceituais e experimentais.

No âmbito do paradigma qualitativo, podem ser realizadas pesquisas de tipos variados: etnográfica, estudo de caso, participativa e outros. Nesta pesquisa, utilizamos o *estudo*

de caso, cuja característica básica é esclarecer, heurísticamente, situações reais vivenciadas por indivíduos em grupos, em um contexto real, em que múltiplas fontes de evidências são expostas, oferecendo informações várias sob “background” teórico que determina o estudo em questão. Segundo Patton (2002),

“os estudos de caso são particularmente úteis quando se pretende compreender determinados indivíduos, determinado problema ou uma situação particular, em grande profundidade, sem favorecer a generalização” (p. 55)³.

Apoiado nessa descrição teórica, caracterizamos nossa pesquisa como um estudo de caso, tendo em vista que descreveremos os fatos relatados pelos alunos pesquisados, a partir do uso que eles fazem de páginas da internet, visando esclarecer e compreender como se dá o processo e critérios de utilização, bem como se essas páginas oferecem uma qualidade conceitual, experimental e histórica, adequada a compreensão do conteúdo aqui proposto. Esse tipo de metodologia utiliza diferentes técnicas de coleta de informação e/ou de dados. Para o nosso caso, utilizamos a entrevista estrutural e análise documental (páginas da internet), cuja descrição e modo de utilização serão apresentados nos itens a seguir.

Essa pesquisa se insere no âmbito de um trabalho de extensão e a escolha da amostra foi norteada pelo número de dez alunos, convidados por carta (anexo 1), pertencentes à Escola Superior de Aviação Civil - ESAC, na cidade de Campina Grande, PB, escolhidos entre o primeiro e o terceiro período, respectivamente. Dentro dessa perspectiva, uma declaração de ética foi assinada pelo pesquisador e coordenador da pesquisa, enfatizando o compromisso de que os participantes não terão os seus nomes revelados, mas faremos a descrição a seguir:

A1 – refere-se a um aluno do primeiro período;

A3 – refere-se a um aluno do terceiro período.

3.2 Entrevistas

Como descreve Patton (2002, p.306), as entrevistas permitem ao observador ir além do comportamento externo, ao explorar sentimentos e pensamentos dos entrevistados. O

³ Tradução nossa.

tipo de entrevista que optamos para a nossa pesquisa, com os alunos, é chamado de estruturada. Ela possui um roteiro previamente definido, com perguntas pré-formuladas, de acordo com os objetivos, inicialmente estabelecidos, da pesquisa. Apesar disso, tivemos o cuidado de deixar o entrevistado falar, não o interromper, falar com ele só o necessário, sendo maleável no sentido de dirimir as dúvidas que às vezes surgiam em relação às perguntas, descontraí-los em relação à presença do gravador (instrumento que sempre inibe quem não o utiliza costumeiramente). Acreditamos que dessa forma evitamos respostas distorcidas, em função de alterar o estado emocional do entrevistado.

Todas as entrevistas foram gravadas em áudio, com a licença dos entrevistados (convidados), e suas transcrições e análises, encontram-se no capítulo dos resultados. A importância dessas análises permitiu-nos investigar mais profundamente a opinião desses alunos em relação ao uso de páginas na Web, destinadas a uma complementação de seus estudos. No nosso caso específico, tendo como objetivo os fundamentos da geração da sustentação ou resultante aerodinâmica via teorema de Bernoulli, procuramos colher, através das entrevistas, informações que nos levassem a verificar a qualidade conceitual e experimental das páginas por eles consultadas.

3.3 Documentos

A análise documental pode se constituir numa técnica valiosa de abordagem de dados qualitativos seja complementando as informações obtidas por outras técnicas, no nosso caso as entrevistas, seja elucidando novos aspectos de um tema ou problema. Na definição de Marconi e Lakatos (2010):

A característica da pesquisa documental é que a fonte de coleta de dados está restrita a documentos, escritos ou não, constituindo o que se denomina de fontes primárias (2010, p. 48).

As fontes documentais abarcam uma gama significativa de informações; podem estar materializadas em arquivos históricos, em documentos oficiais, nos diários, em biografias, jornais, internet, revistas, materiais didáticos, enfim, nos mais diversos registros estatísticos que possibilitem um levantamento favorável ao que se pretende pesquisar. Assim sendo, a coleta de dados a partir de registros documentais é considerada por Gil (1999) como a mais simples das técnicas, se comparada a outros procedimentos diretos, como a entrevista, além de não incomodar os participantes.

Dos documentos citados no parágrafo anterior, para nossa pesquisa, fizemos uma busca aos documentos didáticos utilizados nas páginas de Física encontradas na Web, a partir de uma ferramenta de busca chamada GOOGLE, recomendadas pelos alunos participantes da pesquisa, dando conta especificamente sobre a origem da resultante aerodinâmica a partir do Princípio de Bernoulli, procurando analisá-las se as mesmas apresentam qualidade conceitual e experimental sobre esse assunto.

4 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Neste capítulo faremos uma análise dos dados colhidos durante a pesquisa, evidenciando nossos objetivos e validando ou não a nossa pergunta de pesquisa. Essas discussões deverão nortear alunos e professores com relação ao uso de determinadas páginas da Web, bem como se as mesmas são capazes, cientificamente, de provê-los em seus repositórios educacionais, especialmente quando se trata de uma ferramenta que sinaliza para uma abordagem mais fácil e de rápida aprendizagem.

Nossos resultados foram pautados nas nossas ferramentas de coleta de dados (entrevistas e documento didático – páginas da Web em Física), que são instrumentos peculiares e indicadores adequados de uma abordagem qualitativa. Esses instrumentos, comparados entre si, são capazes de oferecer uma leitura interpretativa, a fim de que, dessa forma, possamos contemplar, respondendo de forma abrangente, se os nossos objetivos serão ou não atingidos, ou seja, se as páginas da web de Física, indicadas e consultadas pelos alunos pesquisados, apresentam uma boa qualidade conceitual e experimental, em relação ao Princípio de Bernoulli e a origem da resultante aerodinâmica.

Realizamos nossa pesquisa com os alunos do primeiro e terceiro período da Escola Superior de Aviação – ESAC, no curso de Bacharelado em Ciências Aeronáuticas. Dos 18 alunos convidados à pesquisa, apenas 09 consultaram a internet e nos entregaram suas buscas ou páginas da Web, conforme havíamos solicitados. Vale ressaltar que, as páginas de buscas deveriam ser as mesmas que eles habitualmente usam durante suas incursões na Web. Notadamente, verificamos que houve coincidências nas páginas consultadas e que eles apresentaram apenas quatro delas. Na entrevista foram enfáticos quando disseram que a página de busca que escolheram foi o Google. A consulta nessas páginas deveria conter a seguinte indagação:

- Como se dar a geração da resultante aerodinâmica e suas componentes (sustentação e arrasto) a partir do Teorema de Bernoulli.

Nesse contexto, alertamos para a variedade de páginas que possivelmente eles encontrariam e que nesse sentido, deveriam aprimorar suas buscas, tomando como referências as páginas de Física, aeronáutica, livros, blogs, artigos da área, que apresentavam um esboço de natureza científica peculiar, mas que também apresentasse

uma busca mais acentuada, excluindo outras páginas (compras e vendas, produtos, etc). Assim, organizamos os resultados das páginas consultadas pelos alunos em três principais categorias de erros. A primeira categoria possui a seguinte definição:

1. “O aumento da velocidade no escoamento do fluido, no extradorso, gera uma variação na pressão”.

Essa é uma das afirmações mais recorrentes na maioria das páginas consultadas, em especial, no site www.newtonbraga.org.br/mecânica_aerea-1.pdf, no qual o autor explica a origem da sustentação, afirmando que “A força líquida é criada por diferenças de pressão geradas por variações na velocidade do ar em todos os pontos ao redor da asa”. Como sabemos, essa afirmação parece equivocada, no sentido de que a variação de velocidade é uma consequência da diminuição de pressão, e não o inverso, como esclarece Weltner et al. (2002), em seu artigo:

Na explicação convencional da sustentação da asa, causa e efeito estão trocados. A maior velocidade do ar acima da asa não é a causa, mas sim a consequência de uma pressão menor nesta região (Weltner et al. 2002, p.12).

Durante as entrevistas, a maior preocupação dos alunos era saber se essa afirmação encontrava-se equivocada. Quando perguntamos qual definição parece ser a mais razoável para explicar a resultante aerodinâmica, a maioria foi unânime afirmando que a variação da velocidade gera uma variação na pressão. Vejamos alguns exemplos de respostas:

A1 – “acho que essa afirmação está correta, pelo menos foi assim que eu aprendi durante a disciplina de navegação”;

A4 - “sempre soube que a maior velocidade no extradorso causava diminuição da pressão ou vice-versa”;

Por outro lado, o aspecto do experimento virtual desta página, que deveria “facilitar essa visualização ou o seu entendimento”, influencia fortemente para aumentar os argumentos errôneos acima, notadamente associando-o a uma definição muito comum e há muito tempo recorrente entre pilotos e adeptos da aviação.

Outra categoria encontrada nas páginas enfatiza:

2. “As partículas de ar que se separam a partir do bordo de ataque voltam a se encontrar e ao mesmo tempo, no bordo de fuga”.

De acordo com o que mencionamos em nossa revisão de literatura (BABINSKY, 2006; EASTWELL, 2007 e WELTNER et al, 2002), a afirmação ou o argumento de que as partículas de ar irão se encontrar ao mesmo tempo no bordo de fuga não se sustenta, pois cientistas têm realizado experiências em túnel de vento, usando asas convencionais, e verificado que este fenômeno não ocorre, gerando mais uma falácia em torno da origem da resultante aerodinâmica. Segundo Weltner et al. (2002):

Considerando que a velocidade do ar é maior acima da asa do que abaixo dela, e tendo em vista a lei de Bernoulli, deduz-se que esta maior velocidade do ar causa uma pressão menor. Este raciocínio é incompleto. Falta explicar porque a asa causa estas diferenças nas velocidades (WELTNER et al, 2002, p.2).

Uma das páginas mais apontada pelos alunos que contemplaram essa afirmação foi o site: www.if.ufgrs.br/test/fis01043/20031/andre. Nesta página é possível lê-se:

“A figura abaixo mostra o deslocamento das partículas de ar, partindo do bordo de ataque (frente do perfil) e chegando ao mesmo tempo no bordo de fuga (traseira do perfil) resultando no aparecimento de uma força que compensará o peso da aeronave.”

Esse equívoco foi citado por todos os alunos durante as entrevistas, como uma forma de justificar o aumento da velocidade no extradorso da asa. Como argumentou o aluno A6:

A6 – “pra mim fica muito claro esse negócio do aumento da velocidade no extradorso, se pensarmos que os fluxos divididos chegam ao mesmo tempo no bordo de fuga, conforme vemos no vídeo. Assim, né, fica fácil de entender”.

O aluno A6 se refere a um vídeo mostrado nessa página citada, onde encontramos a justificativa para o aumento da velocidade:

“A física explica que o aumento de velocidade de um fluido pelas paredes de um tubo, provoca um aumento na pressão dinâmica (ar em movimento) e uma diminuição da pressão estática (ar em repouso), originando uma força”.

Notadamente, essa justificativa não serve, isoladamente, para explicar o fato de termos um aumento na velocidade do fluido no extradorso da asa. Paralelamente a essa premissa, o site anterior complementa a afirmação acima, usando o seguinte argumento:

“É, assim, aludido o fato da pressão estática diminuir no extradorso do perfil por causa da maior velocidade com que o ar escoar, procurando, assim, buscar credibilidade ao teorema da conservação da energia mecânica”.

De fato há uma diferença ou uma gradiente de pressão nos filetes de ar, durante o seu percurso sobre a trajetória curva do extradorso, conforme relatamos na nossa fundamentação. Mas, essa gradiente em um determinado ponto da asa, não é gerada pela variação da velocidade; além disso, associar essa afirmação ao teorema de Bernoulli, não nos leva a uma resposta satisfatória do problema. É muito comum a afirmação de que o aumento da pressão dinâmica deverá reduzir a pressão estática ou atmosférica local, uma vez que o princípio de Bernoulli aponta para isso. Isso também não é verdade.

Outra categoria encontrada nas páginas consultadas refere-se a:

3. O extradorso tem um bojo ou curvatura maior do que o intradorso, pelo que, uma vez que as partículas de ar do escoamento “têm de chegar ao bordo de fuga ao mesmo tempo”, pela “conservação da massa”, logo as do extradorso “têm de acelerar” para percorrer uma distância maior do que as que escoam pelo intradorso.

Juntamente com a segunda categoria, essa apresenta um argumento muito forte e plenamente justificável na visão dos alunos consultados em nossa pesquisa. Ela é de “fácil assimilação” e “tem uma lógica” associada, que torna-se difícil para o professor torna-la inconsistente.

Os alunos A5, A7, A8 e A9, foram unânimes em suas falas a respeito desse argumento, afirmando, resumidamente que:

“se tem que chegar ao bordo de fuga ao mesmo tempo e a distância a ser percorrida é maior, tá na cara né professor, a velocidade será maior. Contra fatos não há argumentos; é o que vemos...”

Como podemos verificar são afirmações que não são fáceis de contra argumentar, pois como já dissemos, são frases que já viraram jargão na aviação. Além disso, a maioria das páginas consultadas aponta para essa perspectiva. Vejamos os exemplos de páginas visualizados pelos alunos e suas respectivas falácias:

<http://quartzodeplasma.wordpress.com/2012/10/07/o-principio-de-bernoulli-e-o-aviao/>.

Nessa página encontramos a seguinte frase:

“O ar passa pela superfície da asa de modo uniforme e como as superfícies superior e inferior não tem o mesmo comprimento, podemos dizer que o ar tende a passar mais rápido por cima da asa do que por baixo dela. Isso cria, de acordo com o princípio de Bernoulli, uma diferença de pressão que dará sustentação à asa, isto é, o ar que circula por cima das asas movimenta-se com mais velocidade que aquele que circula por baixo da asa e é a configuração das asas que permite que este fenômeno ocorra”.

Como vemos, temos novamente, causa e consequência confundidos, e se constituindo no equívoco mais comum e encontrado com facilidade na internet. O link abaixo parece ser, para os alunos A1, A3, A4 e A9, o mais consultado. Vejamos:

<http://fisicaqui.blogspot.com.br/2010/05/como-funciona-asa-de-um-aviao.html>. Nesse site o equívoco aparece quando o autor diz:

“O formato da asa faz com que o ar que passe por cima dela tenha uma velocidade maior que o ar que passa embaixo dela. Isso acontece porque a parte de cima é curva, aumentando a distância percorrida pelo ar e consequentemente sua velocidade”.

Nesse site o autor, inicialmente argumenta de forma científica, mas a justificativa para o aumento da velocidade em relação à distância percorrida é falha, tomando como referência o que descrevemos em nossa fundamentação teórica. Enfim, as explicações geradas nas páginas consultadas pelos alunos, além das confirmações nas entrevistas, parecem sobrepor as aulas convencionais ministradas por professores ou até mesmo reforçá-las.

CONCLUSÃO

Os resultados de nossa pesquisa indicam que a formação de pilotos para a aviação comercial e privada, em relação aos aspectos conceituais aerodinâmicos da sustentação ou da resultante aerodinâmica, a partir das páginas e sites da Web consultada e que oferecem em suas ementas esses tipos de conteúdos, não ocorre de forma satisfatória. A pesquisa desenvolveu-se, englobando não apenas análise das páginas, mas também análises de entrevistas com estudantes das disciplinas que possuem em seu perfil, indicações de conteúdos que precisam da interpretação correta desses tipos de forças. Todas essas ferramentas, com suas respectivas informações, nos subsidiaram a responder a pergunta da nossa pesquisa, indicando-nos que as informações colhidas nas páginas pesquisadas em relação a esses fundamentos, são inadequadas.

Para a análise desses sites, seus respectivos posts e nas entrevistas realizadas, fez-se necessário e fundamental que usássemos a nossa fundamentação teórica como aporte referencial, uma vez que ela foi escrita a partir de alguns artigos e livros texto de Física. Dentre os artigos ali citados, o escrito por Weltner et al. 2002, nos fez compreender a evolução desse episódio, reforçando a nossa fundamentação ao tempo que nos permitia analisar os argumentos usados à época, por outros cientistas, a respeito da existência de conceitos que sinalizam para a origem da sustentação. Elegantemente, o artigo nos conduz a esses debates científicos, analisando a coerência ou não do fenômeno em questão, favorecendo efetivamente a superação de estereótipos e equívocos histórico e conceitual encontrados em nossa pesquisa.

Os aspectos conceituais apresentados nos moldes das páginas consultadas, priorizou fortemente os seus aspectos instrumentais, em detrimento da discussão e apropriação dos conceitos da própria teoria. Embora as abordagens formais sejam necessárias a qualquer curso, pois constituem ferramentas para a resolução de problemas dessa área, sua exploração excessiva, sem o acompanhamento de estudos de aspectos conceituais, históricos e filosóficos, não deve produzir os efeitos de aprendizagem esperados. Como podemos perceber a construção do conceito de sustentação, quase sempre, ancorou-se em elementos clássicos, de fácil assimilação e visualização, mas que apresenta inadequações gravíssimas e que terminam por levar alunos e professores a um falso entendimento da sua origem. Assim, a compreensão dos princípios teóricos que tornam

a resultante aerodinâmica palpável, parece fadada a esmorecer no ambiente em que deveria ser estimulada.

Os resultados desta pesquisa não apontam para a existência de um processo contraditório associado às competências e habilidades necessárias à formação do Piloto, não foi essa a nossa intenção. No entanto, percebe-se uma lacuna no que diz respeito ao uso de recursos didáticos variados (multimídia, experimentos virtuais, entre outros) que em parte contribuem para facilitar a compreensão dos conteúdos curriculares. Evidentemente, não estamos aqui defendendo que esses recursos por si só irão proporcionar uma aprendizagem sem falhas. Defendemos, sim, que o seu uso deva ser uma ferramenta auxiliar a mais na construção desses conhecimentos, com os devidos cuidados de não restringi-la a apenas fornecer informações desarticuladas das abordagens realizadas em sala de aula. Por outro lado, a literatura tem nos mostrado, que são poucos desses experimentos com bons resultados de aprendizagem que chegam ao conhecimento dos professores e alunos em cursos de formação de pilotos. Necessário se faz que, os professores dos cursos de aviação sejam articuladores, entre as novas pesquisas divulgadas e seus alunos, no sentido de estimular e promover o contato deles com essas ferramentas didáticas.

REFERÊNCIAS

- BABINSKY, H. **How do wings work?** *Physics Education*, vol. 38, n. 6, 2003.
- EASTLAKE, C. A visão de um engenheiro aeronáutico acerca da sustentação, Bernoulli e Newton. **Física na Escola**, v. 7, n. 2, 2006.
- EASTWELL, P. Bernoulli? Perhaps, but What About Viscosity? **The Science Education Review**, 6(1), 2007.
- GIL, A.C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 1999.
- KEATING, T. M. et al. Analysis of a Science Curricular Resource on the World Wide Web: **The Cyber History of Bernoulli's Principle**. Center for Research on Learning and Technology, Indiana University, 1999.
- LEITE, B. S. **O uso das tecnologias para o ensino de química**. Trabalho de conclusão de curso (monografia) – curso de licenciatura plena em química, UFRPE, 2008.
- LEONTIEV, Alexei N. **O desenvolvimento do psiquismo**. Lisboa: Livros Horizonte, 1978.
- MARCONI, M.A.; LAKATOS, E.M. **Técnicas de pesquisa**. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2010.
- MINAYO, M. C. S. *et al.* **Teoria, método e criatividade**. 27. ed. Petrópolis: Vozes, 2008.
- MIRANDA, P et al. A Dinâmica dos Fluidos Complementada. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, vol. 23, no. 4, Dezembro, 2001.
- MORAN, J. M. **Novos desafios na educação: a internet na educação presencial e virtual**. in: porto, t. m. e. (org.). Saberes e linguagens de educação e comunicação. Pelotas: UFPEL. pp. 19-44. 2001.
- OLIVEIRA, P. M. Sustentação aerodinâmica: denunciando os erros do mecanismo físico. **Física na Escola**, v. 10, n. 1, 2009.
- PATTON, M. Q. **Quantitative research and evaluation methods**. 3. ed. California: Sage Publications, Inc; 2002.
- RICHARDSON, R. J *et al.* **Pesquisa social: métodos e técnicas**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

RODRIGUES, L. E. M. J. **Fundamentos da Engenharia Aeronáutica**. 1ª ed. São Paulo: Cengage Learning, 2013.

SOUZA, R. S. C. Trilhas de comunicação científica: **links de postagens de pesquisadores brasileiros nos blogs de ciência**. Tese de doutorado apresentado na Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2011.

WELTNER, K.et al. A Dinâmica do Fluidos Complementada e a Sustentação da Asa.**Revista Brasileira de Ensino de Física**, vol 23, 2002.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

DUGAS, R. **History of Mechanics**. Dover Publications, Inc. Mineota, N. York, 1988.

NUSSENZVEIG, H. M. Curso de Física Básica: **Fluidos, Oscilações e Ondas, Calor**.EdgardBlücher, São Paulo, 2008.