



Universidade Federal da Bahia
Universidade Estadual de Feira de Santana
Instituto de Física
Programa de Pós-Graduação em História, Filosofia e
Ensino de Ciências

**Alberto Santos Dumont e a Física do Vôo:
Uma Experiência no Ensino Médio**

Autor: Paulo dos Santos Correia

Orientador: Prof^o. Dr. Olival Freire Junior

Salvador, 2008

**Alberto Santos Dumont e a Física do Vôo:
Uma Experiência no Ensino Médio**

Paulo dos Santos Correia

**Alberto Santos Dumont e a Física do Vôo:
Uma Experiência no Ensino Médio**

Trabalho de dissertação orientado pelo Prof.^o Dr. Olival Freire Junior, apresentado ao Colegiado do Programa de Mestrado em História, Filosofia e Ensino de Ciências da UFBA/UEFS, como parte dos pré-requisitos para a obtenção do título de Mestre em História, Filosofia e Ensino de Ciências.

Salvador, 2008

CORREIA, Paulo dos Santos.

Alberto Santos Dumont e a Física do Vôo: Uma Experiência no Ensino Médio. Paulo dos Santos Correia. – Bahia: Universidade Federal da Bahia/Universidade Estadual de Feira de Santana, 2008.

Dissertação de Mestrado - Universidade Federal da Bahia/Universidade Estadual de Feira de Santana, Instituto de Física, 2008.

Orientador: Dr. Olival Freire Junior

1. Ensino de Física 2. Alberto Santos Dumont 3. Física do Vôo. I. Título.

AGRADECIMENTOS

A **DEUS**, por tudo que sou, e pela sua Eterna presença protetora.

A minha mãe, **Beatriz Correia**, por todo o amor, carinho, dedicação e apoio em todos os momentos da minha vida.

Ao meu pai, **Valdes Correia** (*in memoriam*), por todo o amor, carinho, dedicação e apoio em todos os momentos em que estive em minha vida.

Em especial a minha esposa **Laís Sento-Sé M. Pimentel Correia** e a minha filha **Melanie Correia** pelo amor, carinho, incentivo e paciência durante todo esse período.

As **minhas irmãs** pelo carinho e paciência que tiveram comigo neste período.

Aos Professores **Paulo Miranda** e **Klaus Weltner**, pelas orientações pertinentes à Física do Vôo.

Em especial ao meu orientador **Olival Freire Junior**, pela orientação, e incentivo para a realização deste trabalho.

.

RESUMO

O objetivo desta pesquisa foi inserir a Física do Vôo no Ensino Médio tendo como motivação a história de Alberto Santos Dumont e a invenção do avião. A experiência didática foi realizada na Escola Estadual Joaquim da Rocha Medeiros, pertencente à rede pública de ensino do Estado da Bahia, no município de Santa Maria da Vitória, e teve como população alvo, 134 estudantes do 2º ano vespertino desta instituição. A pesquisa, de natureza qualitativa, foi iniciada em 20 de julho de 2007, e finalizada em 28 de setembro do mesmo ano. A coleta dos dados foi realizada através da Observação Participativa, Entrevista Coletiva, Registro de Eventos, Produção de Textos e de Experimentos e da aplicação de um Questionário (Avaliação) tipo Likert. A pesquisa sugere que os conteúdos da Física do Vôo, apoiados pela história de Santos Dumont, contribuíram para o desenvolvimento da Alfabetização Científica e Tecnológica do estudante, auxiliando-o na transformação das visões deformadas a respeito do trabalho científico. Foi observado que a inclusão da história de Santos Dumont foi elemento motivador fundamental para o curso sobre a Física do Vôo; sem esta, o curso provavelmente seria frustrante. O curso também trouxe uma maior motivação para o estudo da Física Clássica no Ensino Médio e uma justificativa plausível para o estudo da Dinâmica dos Fluidos, além de resgatar um dos nossos principais heróis brasileiros. Por fim, conclui-se que a inclusão de temas de relevância atual no currículo do Ensino Médio, com o intuito de construir uma visão da Física que esteja voltada para a formação de um cidadão contemporâneo, atuante e solidário, com instrumentos para compreender, intervir e participar na realidade parecem ser necessários para o futuro da Física no Ensino Médio.

Palavras-Chaves: Ensino de Física, Alberto Santos Dumont, Física do Vôo.

ABSTRACT

The goal of this research was to insert Physics of Flight in high school with the help of the essential story of Alberto Santos Dumont. The teaching experience was held at School State Joaquim Rocha Medeiros, belonging to the network of public education of the state of Bahia, in Santa Maria da Vitória, and as was the target population, 134 students from the 2nd evening years of this institution. The search of a qualitative nature started in July 20, 2007, and finalized on September 28 of that year. Data collection was performed by the Participatory Note, Collective Interview, Record of Events, Production of Texts and experiments and the application of a questionnaire (Evaluation) Likert. The survey revealed that the Physics of Flight provided with the aid of the story of Alberto Santos Dumont, developed the scientific and technological literacy of students, assisting it in the transformation of deformed visions about the scientific work. It was observed that the inclusion of the history of Alberto Santos Dumont was key motivating factor for the course on the physics of flight, without this, the course probably would be frustrating. The course has also brought greater motivation for the study of classical physics in high school and a plausible justification for the study of the dynamics of fluids, in addition to rescue one of our main Brazilian heroes. Finally, concluded that the inclusion of contemporary subjects in the curriculum of high school in order to build a vision of physics that is dedicated to the formation of a contemporary citizen, active and supportive, with tools to understand, speak and participate in reality are necessary and essential for the future of physics in high school.

Keys-words: Teaching Physics, Alberto Santos Dumont, Fly Physics.

SUMÁRIO

1.0 INTRODUÇÃO	09
1.1 Justificativas	11
1.2 Objetivo Geral	15
1.3 Objetivos Específicos	15
2.0 METODOLOGIA	17
➤ 2.1 Planejamento do Curso	20
3.0 A TEORIA DA MEDIAÇÃO DE VYGOTSKY	23
3.1 A Importância do Sócio-Histórico, Segundo Vygotsky	23
3.2 Mediação, Instrumentos e Signos	24
3.3 As Implicações Pedagógicas da Teoria de Vygotsky	27
4.0 ALBERTO SANTOS DUMONT E A REALIZAÇÃO DO VÔO	30
4.1 Aterrissando no Mundo	30
4.2 Aterrissando na Cidade Luz	38
4.3 O Retorno a Paris. Alberto Experimenta o Vôo	41
➤ 4.3.1 Uma livraria na Rua do Ouvidor	42
4.4 Alberto Santos Dumont, O Inventor	48
➤ 4.4.1 O Balão Brasil, o Primeiro	48
➤ 4.4.2 A Necessidade da Dirigibilidade	52
4.5 A Conquista do Prêmio Deutsch. O Fim da Tirania dos Ventos	70
4.6 A Invenção do Avião. O Despertar de um Pássaro	81
4.7 A Aposentadoria do Ícaro	100
➤ 4.7.1 A Jovem Yolanda Penteado	107
➤ 4.7.2 O Suicídio	110
5.0 NOÇÕES DE FLUIDODINÂMICA	115
5.1 Pressão	115
5.2 Conservação da Massa. Equação de Continuidade	119
5.3 Equação de Bernoulli	122

6.0 AS FORÇAS ENVOLVIDAS NA DESCRIÇÃO DO VÔO-----	126
6.1 Fator de carga g-----	128
6.2 Leis de Newton x Princípio de Bernoulli: Uma Escolha-----	130
7.0 COMO OS AVIÕES VOAM? UMA DISCUSSÃO SOBRE A SUSTENTAÇÃO-----	131
7.1 Descrição Aerodinâmica Matemática da Sustentação-----	131
7.2 Descrição Baseada no Princípio de Bernoulli-----	132
7.3 Descrição Baseada nas Leis de Newton e no Efeito Coanda-----	134
➤ 7.3.1 Efeito Coanda-----	141
7.4 Sustentação como função do Ângulo de Ataque-----	142
8.0 DESCRIÇÃO DO CURSO-----	145
8.1 A I e II Unidade: O Pré-curso-----	147
8.2 A III Unidade: O Curso sobre a Física do Vôo-----	148
➤ 8.2.1 Minhas Expectativas-----	148
➤ 8.2.2 O Início-----	148
9.0 ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS OBTIDOS-----	153
10.0 CONCLUSÃO-----	166
11.0 REFERÊNCIAS-----	170

ANEXO

1.0 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a discussão sobre a inserção da Física Moderna e Contemporânea (F.M.C.) nos currículos do ensino médio, vem sendo bastante debatida por diversos pesquisadores (Arribas, 1986; Axt, 1987; Terrazzan, 1992; Filho, 1996; Moreira, 1998; Laburú, 1998; Barros, 1999; Cavalcanti, 1999; Pinto, 1999; Cavalcante, 2001; Lattari, 2001; Ostermann, 2002 e 2004; Medeiros, 2005; Brockington, 2006; Arriassecq, 2006). A principal justificativa para esses debates é que, com a introdução de temas relacionados à F.M.C., a Física tornar-se-ia mais atraente às mentes dos jovens do nosso século. Estudantes expostos a uma quantidade enorme de informações a respeito de novas tecnologias produzidas a partir de uma ciência que não é discutida com a devida importância no Ensino Médio.

É preciso transformar o ensino de Física tradicionalmente oferecido por nossas escolas em um ensino que contemple o desenvolvimento da Física Moderna, não como uma mera curiosidade, mas como uma Física que surge para explicar fenômenos que a Física clássica não explica, constituindo uma nova visão de mundo. (PINTO, 1999, p. 07).

A Física que hoje é responsável pelo atendimento de novas necessidades de nossa sociedade, tornando necessário ao homem contemporâneo o entendimento de um conjunto de conhecimentos que extrapola os limites da ciência e da tecnologia. Portanto, os vários campos abertos pela Física do século XX devem ter sua presença garantida nos currículos do Ensino Médio.

De forma bem interessante, alguns autores tentam contemplar esta carência do ensino médio - como por exemplo, o livro de Gaspar (2000). Contudo, esbarram nos currículos das escolas, que em geral são regidos pelos vestibulares locais. Os currículos são compostos pela Física Clássica, que se resume na Dinâmica Newtoniana e a Cinemática de Galileu no primeiro ano, no estudo de Ondas, Ótica e Termodinâmica no segundo ano e do Eletromagnetismo no terceiro ano. E aqui existe um impasse no ensino do conteúdo programático para o ensino médio. Comumente o terceiro ano é aproveitado pelas instituições de ensino para “revisar”

tudo que já foi estudado nas séries anteriores com o intuito de melhor preparar o aluno para as provas de vestibular.

Mas, quem formula estes currículos? Perguntamos à Secretaria de Educação do Estado da Bahia (S.E.C.) como está organizado o Ensino Médio na Bahia e a **resposta dada pela S.E.C.** foi *“O ensino médio está organizado em três áreas de conhecimento que representam a base nacional comum e as disciplinas que as compõem, a saber: Linguagens, Códigos e suas Tecnologias: Língua Portuguesa, Língua Estrangeira Moderna, Educação Física, Arte e Informática. Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias: Biologia, Física, Química e Matemática. Ciências Humanas e suas Tecnologias: História, Geografia, Sociologia e Filosofia. Além das áreas de conhecimentos o currículo do ensino médio apresenta uma parte diversificada em que cada escola define o que trabalhar, de acordo com as suas necessidades e seus anseios.”* (SECRETÁRIA DE EDUCAÇÃO DO ESTADO DA BAHIA, COORDENAÇÃO DE ENSINO MÉDIO, 2007).

Mas, e com relação à formulação do currículo? *“A construção do novo currículo é baseada na [Lei nº 9.394/96](#) que determina a construção curricular com uma base nacional comum, a ser complementada, em cada sistema de ensino e estabelecimento escolar, por uma parte diversificada exigida pelas características regionais e locais da sociedade, da cultura, da economia e da clientela. Essa base nacional comum traz em si a dimensão da preparação para o prosseguimento dos estudos associados a uma preparação básica para o mundo do trabalho.*

A base curricular do Ensino Médio estabelece, assim, a divisão do conhecimento escolar em três áreas a saber: Linguagens, Códigos e suas Tecnologias, Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias e Ciências Humanas e suas Tecnologias. No entanto, com o objetivo de oferecer ao Estado da Bahia um Ensino Médio com identidade própria, a S.E.C. está construindo as novas diretrizes curriculares estaduais que proporcionarão melhor qualidade pedagógica assim como atuarão como facilitadores de práticas educacionais eficientes e coerentes com os desafios do Ensino Médio.

Essa construção curricular está sendo processada de forma coletiva, através de subsídios e depoimentos colhidos nas escolas baianas, aperfeiçoados sob a supervisão de especialistas, professores e técnicos das diferentes áreas. O sentido coletivo assume proporções significativas com a promoção e a ocorrência de Vídeo-conferência, seminários regionais e estaduais que darão ao currículo um caráter original, com práticas pedagógicas que atenderão às necessidades das escolas baianas.” (SECRETÁRIA DE EDUCAÇÃO DO ESTADO DA BAHIA, COORDENAÇÃO DE ENSINO MÉDIO, 2007).

Ou seja, cada escola tem a liberdade em trabalhar os conteúdos que se tornem mais significantes e atraentes para o seu aluno. Portanto, da mesma forma que os autores defendem a inclusão de temas relacionados à F.M.C. nos currículos do Ensino Médio, nós também defendemos a inclusão da Física do Vão, um tema contemporâneo da Física Clássica, como elemento motivador para esta parte da Física.

1.1 Justificativas

Dentre as justificativas para a realização deste trabalho temos primeiramente o **Desenvolvimento da Alfabetização Científica e Tecnológica**. Um dos principais pontos a favor da inserção, não só da F.M.C., como também de elementos que contribuam para uma melhor compreensão da Física Clássica no Ensino Médio, é a visão trazida pelos Parâmetros Curriculares Nacionais (P.C.N.):

(...) Trata-se de construir uma visão da Física que esteja voltada para a formação de um cidadão contemporâneo, atuante e solidário, com instrumentos para compreender, intervir e participar na realidade. Nesse sentido, mesmo os jovens que, após a conclusão do ensino médio não venham ter mais qualquer contato escolar com o conhecimento em Física, em outras instâncias profissionais ou universitárias, ainda assim terão adquirido a formação necessária para compreender e participar do mundo em que vivem. (BRASIL, 2002, p. 1).

O tema Física do Vôo traz para o Ensino Médio, novas visões/compreensões acerca do vôo, além de fornecer elementos para que o estudante contemporâneo possa intervir e participar melhor da sociedade em que vive, favorecendo a alfabetização científica e tecnológica do mesmo (Santos, 2006; Costa, 2002; Axt, 1987).

Outra justificativa é **A Inserção da Dinâmica dos Fluidos no Ensino Médio**. A **Dinâmica dos Fluidos** teria um bom motivo para ser estudada, pois, geralmente observa-se no Ensino Médio a restrição do estudo dos fluidos aos fenômenos associados ao estado de repouso, ou seja, a Estática dos Fluidos (que em alguns livros é conhecida pelo nome de hidrostática), apesar de já ser possível encontrar umas poucas referências à Fluidodinâmica, a exemplo dos livros de Calçada (2005) e o de Bonjorno (2005), que, no entanto, não tocam na questão do vôo.

Também teríamos **Uma Melhor Valorização da Física Clássica**. Com a discussão da Física do Vôo no Ensino Médio há um melhor reconhecimento da Física Clássica aplicada nos currículos atuais, facilitando o trabalho do professor, que teria em suas mãos um tema instigante e curioso para trabalhar na Dinâmica dos Fluidos.

O Resgate de um Herói Brasileiro. O estudo sobre a Física do Vôo no Ensino Médio proporciona aos estudantes o conhecimento da História da Aviação na figura de um dos maiores heróis brasileiros: Alberto Santos Dumont. *“Afiml este genial mineiro que chamou atenção da sociedade parisiense e de todo o mundo para suas invenções e proezas aeronáuticas merece o reconhecimento do povo brasileiro, em particular, de nossos estudantes.”* (STUDART, 2006, p. 03).

A idéia original de associar Santos Dumont à Física do Vôo, algo que agora parece tão trivial, foi do Doutor Klaus Weltner, que questionava: Como no Brasil, que tem o Pai da Aviação, a Física do Vôo juntamente com a História de Alberto Santos Dumont, não é regra geral nos currículos escolares deste país? Este curso sobre a Física do Vôo, gerando esta dissertação, nasceu da mente deste pesquisador.

Se fossemos fazer uma revisão na História da Física que aparece no Ensino Médio, encontraríamos os nomes de Isaac Newton, Albert Einstein, Galileu Galilei, Thomas Edison, Leonardo Da Vinci, dentre tantos outros importantes cientistas. Contudo, o

que devemos mostrar ao estudante do Ensino Médio é que nós também fazemos parte deste time, como comenta Arnaldo Jabor (2006): “*Santos Dumont foi um dos nossos poucos heróis que deram certo, num país de analfabetos pobres, gemíamos de orgulho por ele e por Rui Barbosa por que a Europa se curvava diante dos dois...*” (JABOR, 2006).

Arnaldo Jabor no Jornal Nacional de 16 de Janeiro de 2006 ainda complementa dizendo: “*Em geral nossos heróis não dão certo, Tiradentes foi enforcado, Frei Caneca, idem, rebeliões abortadas, revoluções derrotadas e ainda celebramos nossos belos fracassados...*” (JABOR, 2006). Jabor (2006) chama atenção a um fato interessante, não vou discutir aqui o mérito de Tiradentes ou Frei Caneca, porém também deveríamos celebrar, mostrar e ensinar os feitos realizados por Santos Dumont as nossas crianças do Ensino Fundamental, aos adolescentes do Ensino Médio e aos futuros Licenciados em Física, onde este tema caberia facilmente no curso de Física II. Afinal de contas, Santos Dumont foi um dos nossos melhores inventores e entre seus muitos feitos temos a dirigibilidade dos balões e, principalmente, a invenção do avião, escrevendo na história o primeiro vôo homologado pela comissão da Federação Internacional de Aeronáutica (F.I.A.).

Santos Dumont não foi um dos pioneiros no estudo sobre o vôo, mas foi o primeiro a colocar uma aeronave no céu a partir de seus próprios meios, voar por certa distância e pousar, como definiam os critérios da época. Apesar de ter realizado outros estudos nas diversas áreas do conhecimento, o mais relevante de todos foi a invenção do 14bis, apesar de que, como iremos ver no desenvolvimento desta dissertação, este avião foi apenas mais um de seus protótipos. O avião que realmente iria consagrar sua invenção foi o *Demoiselle*. Desta forma, não faltará nesta dissertação citações ao nome deste ícone brasileiro.

*Tomo como referência o curso de Física II de Licenciatura em Física da Universidade Estadual de Feira de Santana.

Não menos importante, outra justificativa são as **Discussões Sobre Temas que Pareciam Estar Bem Resolvidos**. Temas contemporâneos como expor as teorias que se propõem explicar a Física do Vôo, auxiliam na transformação das visões deformadas encontradas em estudantes a respeito do Trabalho Científico. Nosso estudo se encaixa perfeitamente no que Gil Pérez et al. (2001) chamam de visão aproblemática e ahistórica:

*... a essa visão rígida, podemos mencionar a **visão aproblemática e ahistórica** (portanto, **dogmática e fechada**): transmitem-se os conhecimentos já elaborados, sem mostrar os problemas que lhe deram origem, qual foi a sua evolução, as dificuldades encontradas etc., e não dando igualmente a conhecer as limitações do conhecimento científico atual nem as perspectivas que, entretanto, se abrem. (GIL PÉREZ et al. 2001, p. 131).*

Com relação a inclusão da História de Alberto Santos Dumont como elemento motivador para o estudo da Física do Vôo, Matthews (1994) pontua seis aspectos que podem representar contribuições da História e da Filosofia das Ciências para o ensino de ciências (H.F.C.):

- I. “Humanização das ciências e sua conexão com preocupações pessoais, éticas, culturais e políticas (segundo este autor, há evidências de que a H.F.C. torna os programas mais atrativos para muitos estudantes);*
- II. Aumento de habilidades de raciocínio e pensamento críticos a partir de discussões que tornam as aulas mais provocativas;*
- III. Entendimento mais pleno da matéria científica e possibilidade de superação do formato de ensino no qual fórmulas e equações são recitadas sem referência aos seus significados;*
- IV. Melhoria na formação do professor por ajudá-lo a desenvolver um mais rico entendimento da ciência e de seu lugar na sociedade;*

V. *Subsídio aos professores para compreender melhor as dificuldades de aprendizado dos estudantes em função de alertar para as dificuldades históricas do desenvolvimento científico e das mudanças conceituais;*

VI. *Apreciação mais clara acerca dos debates educacionais da atualidade.”*
(MATTHEWS, 1994, p. 7).

O nosso principal objetivo será em responder a pergunta: Como introduzir a Física do Vôo, um fenômeno tão complexo da Dinâmica dos Fluidos, numa forma simples e acessível ao estudante do Ensino Médio? Para nós a resposta está na inclusão da História de Alberto Santos Dumont com o auxílio das Leis de Newton.

1.2 Objetivo Geral

- Introduzir o estudo da Física do vôo no Ensino Médio a partir da História de Alberto Santos Dumont.

1.3 Objetivos Específicos

- Estudar e desenvolver os conceitos envolvidos no estudo da Física do Vôo no Ensino Médio.
- Estudar aspectos históricos envolvidos no estudo da Física do Vôo.
- Utilizar a História de Alberto Santos Dumont como motivação à introdução da Física do Vôo no Ensino Médio.
- Averiguar e analisar as concepções destes estudantes sobre a Física do Vôo, depois de finalizado o curso proposto.

Para que seja possível a realização do objetivo desta dissertação alguns referenciais teóricos são utilizados como A História da Aviação. Neste tema tão fascinante, não poderia deixar de ressaltar a importância que teve Alberto Santos Dumont, para com o estudo do mais pesado (mais denso) que o ar (aviões) e, também com o mais leve (menos denso) que o ar (balões).

É utilizada também como referencial teórico, a discussão sobre a sustentabilidade do voo, apresentada pelos autores em suas diversas explicações (Nussenzweig, 1981; Raskin, 1994; Halliday, 1996; Estados Unidos da América, 1996, Weltner, 2001). A Teoria da Mediação de Vygotsky é utilizada como um referencial utilizado para facilitar o diálogo entre as idéias do senso comum e a ciência produzida pelos cientistas. Ela não é utilizada como um pressuposto teórico e sim como uma referência para o pesquisador preparar suas aulas e os experimentos.

2.0 METODOLOGIA

Optamos para a evolução desta experiência didática pelo Paradigma Qualitativo. Pelas razões que seguem

- Tem o ambiente natural como sua fonte direta de dados e o pesquisador como seu principal instrumento (os fenômenos são muito influenciados pelo contexto, pelo que é preciso conhecer e entender as circunstâncias particulares em que um objeto se insere).
- Os dados coletados são predominantemente descritivos (ver o maior número de elementos presentes na situação dada, embora possam parecer inicialmente triviais).
- Basicamente faz uso da observação participativa, - “*O homem é sujeito e ator.*” (SANTOS, 2000, p. 38) - do registro de eventos, da entrevista, da coleta de material. A análise dos dados tende a seguir um processo indutivo, podendo se usar a estatística descritiva.
- A preocupação com o processo é muito maior que com o resultado.
- O interesse central da pesquisa está na questão dos significados que as pessoas atribuem a eventos e objetos, em suas ações e interações dentro de um contexto social. Embora os fenômenos de interesse na educação sejam os mesmos que os da abordagem quantitativa (ensino, aprendizagem, currículo, avaliação, contexto), diferenciam-se em como são estudados.

Inicialmente a proposta era trabalhar o curso em um colégio particular, onde iríamos dispor de seis aulas semanais, mas não foi possível. Então o curso foi realizado no colégio público onde trabalha o autor desta dissertação.

Perfil da Escola: O estabelecimento de ensino onde foi desenvolvido o trabalho, Colégio Estadual Joaquim da Rocha Medeiros, situa-se na cidade de Santa Maria da Vitória (S.M.V.), cerca de 900 km de distância da capital do Estado da Bahia. Possuindo 14 salas de aula, uma sala dos professores, uma sala de vídeo, uma biblioteca (de pequeno porte), e uma quadra de esportes. A escola é classificada pela Secretaria de Educação do Estado da Bahia como sendo de grande porte. O colégio trabalha com o Ensino Médio, nos três turnos, matutino, vespertino e noturno.

A **população alvo**, que segundo POLIT “*é toda a população em que está interessado o pesquisador*” (POLIT, 1995, p. 143), será constituída pelas quatro turmas do 2º ano vespertino, totalizando 134 alunos.

A metodologia de trabalho que atende aos nossos objetivos é caracterizada pelas seguintes etapas:

- Realizar um perfil do aluno que constitui a população alvo.
- Produzir material instrucional adequado para ser aplicado no Ensino Médio.
- Levar a população alvo a conhecer e compreender os princípios básicos da Física do Vôo.
- Levar a população alvo a conhecer a história de Alberto Santos Dumont.
- Apurar resultados, junto aos alunos que freqüentaram o curso, referentes ao envolvimento e a compreensão sobre o tema abordado, bem como acerca da metodologia usada, a partir de um novo conceito de opiniões a este respeito.

Trabalhamos sempre apoiados nas hipóteses que descrevemos abaixo:

- A primeira hipótese é de que os alunos nunca tiveram um curso sobre a Física do Vôo.
- A segunda hipótese é de que a maioria dos alunos entrevistados demonstre algum interesse em adquirir conhecimentos sobre a Física do Vôo.
- A terceira hipótese é de que durante o curso as atividades experimentais desenvolvidas, bem como a visita ao aeroporto da cidade, auxiliem para uma melhor compreensão sobre os conceitos envolvidos neste tema.
- A quarta hipótese é de que a História da Ciência, representada na figura de Santos Dumont, auxilie para modificar as concepções deformadas sobre a visão do trabalho científico e, que desta forma, auxilie na compreensão do tema estudado.
- A quinta hipótese é de que a história de Santos Dumont, seja um elemento motivador para a inserção da Física do Vôo.

Para a constituição do curso foram elaborados três módulos instrucionais, que envolveram os temas de interesse: As Leis de Newton e o conceito de Pressão, A importância das aeronaves para a sociedade atual e o estudo histórico sobre Alberto Santos Dumont e, A Física do Vôo, apresentada nas suas diversas explicações.

A teoria da Mediação de Vygotsky irá auxiliar na interação social dita por Santos (2000) entre professor-aluno, aluno-aluno e aluno-professor, sendo principalmente uma referência na elaboração das atividades experimentais. O uso do recurso da fala para socializar as idéias dos envolvidos no curso será destacado através de debates planejados para o desenvolvimento do tema (Física do Vôo); a utilização do lúdico também será promovida ressaltando a questão dos objetos de estudo terem significado para que o aluno possa ter mais um fator para ocorrer o aprendizado. No quadro I é mostrado um planejamento para a realização do curso.

2.1 Planejamento do Curso

Quadro I – Planejamento do Curso

Etapa	Aulas (50 min. cada)	Tema	Tarefa	Descrição da atividade do Professor
Pré-Curso	1	Perfil dos alunos	Responder questionário	Aplicar o questionário de levantamento do perfil da turma
	16	As Leis de Newton	Discutir as Leis de Newton	Trabalhar as leis de Newton
Início do Curso/Apresentação	6	Abordagem histórica	Relatório escrito	Santos Dumont como o inventor do avião. Breve relato do desenvolvimento da aviação nacional
	1	Contextualização		Avião como meio de transporte
	2	Pressão	AE	Qual a influência da Pressão no voo?
	1	Asa		Descrição da asa
	1	O voo	AE	Apresentação da força de sustentação (demonstração e experiência)
	2	Teoria da Equação de Bernoulli	AE	Apresentação da teoria que atualmente explica o voo
	2	As Leis de Newton	AE	Apresentação da teoria que possibilita outra explicação para o voo

Debate	2	O vôo	Discussão	Organizar um debate entre grupos com base no material instrucional
	2	E.B. x L.N.	Discussão	Organizar um debate entre grupos com base no material instrucional
Visitas / Feira de Ciências	2	Visita ao aeroporto	Relatório sobre a visita	Descrição e apresentação de um aeromodelo nas palavras de um aeronauta
		Aeromodelo		Descrição e apresentação de um aeromodelo
		Anatomia do Aeromodelo		Descrição das partes do aeromodelo
		Dinâmica do Vôo		Explicação do vôo do aeromodelo
Debate	2	Retorno à sala de aula	Troca de experiências	Discussão sobre a explicação do aeronauta, sobre o vôo x Teoria discutida em sala.
Elaboração / Debate	2	Feira de Ciências (Barracão da Aviação)	Elaborar as atividades	Discussões do como as atividades serão desenvolvidas na Feira de Ciências
Reflexão / Debate	2	Reflexão sobre as atividades desenvolvidas na Feira de Ciências	Relatório escrito	Organizar a interação entre os estudantes
Conclusão	2	Expor o que ficou	Elaborar um material escrito	Pedir à turma que elabore um material escrito sobre o curso
Entrevista	SLT	Expor o que ficou	Falar	Oferecer aos alunos que não conseguem se expressar com a escrita, a oportunidade da entrevista

Aplicação do Pós-teste	2	Expor o que ficou	Responder ao Pós-teste	Aplicar o Questionário
Avaliação Escrita	2	Avaliar os conhecimentos adquiridos	Responder a avaliação	Aplicar a avaliação

AE – Atividade Experimental

SLT – Sem Limite de Tempo

Como visualizado no Quadro I, a idéia é expor aos alunos o tema central da Física do Vôo, englobando seu processo histórico e sua discussão sobre o vôo como um estudo em aberto, mostrando dessa forma que a Física não é uma ciência terminada que, segundo Gil Pérez (2001), esta é uma característica periodicamente apresentada pelos alunos.

3.0 A TEORIA DA MEDIAÇÃO DE VYGOTSKY

É perceptível nos estudantes do ensino médio das turmas em que foi realizado o trabalho, certa dificuldade à participação. Os estudantes não conversam, não exprimem sua opinião; o que à primeira vista parece ser a chamada “boa turma” i.e., aquela que não vai dar trabalho ao professor em sala de aula. Mas, depois de algumas aulas percebe-se que essa apatia anormal atrapalha o desenvolvimento do trabalho, exatamente por não saber o que os alunos pensam, o que estão aprendendo ou deixando de aprender e o que poderiam estar aprendendo com outros colegas. Dessa forma a Teoria da Mediação de Vygotsky foi escolhida, por acreditar que a interação sócio-cultural é fator fundamental para o desenvolvimento cognitivo da pessoa. Apesar disso, esta revisão não tem o intuito de ser completa, sendo apenas uma referência para o autor para elaboração das aulas do curso e dos experimentos apresentados para os alunos.

Vygotsky formou-se em direito, pela Universidade de Moscou em 1917, mas especializou-se, e foi professor, em literatura e psicologia. Mais tarde, interessou-se pela medicina e fez o curso no Instituto Médico de Moscou. Foi um erudito com formação e interesse de largo espectro.

3.1. A Importância do Sócio-Histórico, Segundo Vygotsky

O conhecimento acumulado durante toda a existência da humanidade vem sendo repassado de geração para geração. Este conhecimento, principalmente na área da Física, veio da interação do homem com a Natureza, ou seja, da busca do entendimento da mesma. Neste processo, o homem conseguiu adaptar-se e utilizar a Natureza em benefício próprio, criando, um ambiente social de interação entre si e a Natureza. Mas como o homem conseguiu evoluir cognitivamente?

Uma das explicações é a transferência do conhecimento acumulado de geração para geração. Como o homem conseguiu transmitir e principalmente adquirir os conhecimentos já existentes? A resposta para este questionamento pode estar na Teoria de Aprendizagem de Vygotsky (1994), denominada Sócio-Interacionista. Segundo esta teoria, a aquisição do conhecimento está na interação social do

homem. A proeminência da teoria está no entendimento de como as interações sociais agem na formação dos processos mentais superiores do indivíduo (pensamento, linguagem, comportamento).

O momento vivido por este teórico, na Rússia pós-Revolução, influenciado pelo pensamento marxista, contribuiu para definir as idéias às quais se dedicou, principalmente sobre o desenvolvimento do indivíduo e da espécie humana, ao longo do processo sócio-histórico. A evolução que observamos em cada ser humano é um processo que ocorre naturalmente, através do social, mediado pela interação com o ambiente, instrumentos e outras pessoas. É importante salientar que todo o desenvolvimento cognitivo de uma pessoa parte das relações sociais e, através da mediação, converte-se em funções psicológicas.

Conforme Rego (1999), que cita Leoniev, a respeito da importância da possibilidade de apropriação da cultura elaborada pelas gerações presentes: *"Cada indivíduo aprende a ser um homem. O que a natureza lhe dá quando nasce não lhe basta para viver em sociedade. É ainda preciso adquirir o que foi alcançado no decurso do desenvolvimento histórico da sociedade humana"*.(REGO, 1999, p. 26),

A teoria de Vygotsky não está fundamentada no indivíduo nem no meio social em que o homem vive, mas sim na interação do meio social com o homem. Vygotsky também rejeita os modelos pressupostos inatistas que pré-escrevem características comportamentais universais do ser humano, atrelando às determinações de sua estrutura biológica e de sua conjuntura histórica.

3.1 Mediação, Instrumentos e Signos

Um conceito central para a compreensão da teoria de Vygotsky sobre o funcionamento psicológico é o conceito de mediação que, segundo Oliveira (1997), é o processo de intervenção de um elemento intermediário, numa relação; a relação deixa de ser direta e passa a ser mediada por esse elemento. De acordo com Vygotsky, a relação do homem com o mundo não é direta, mas, fundamentalmente, uma relação mediada. As funções psicológicas superiores apresentam uma

estrutura tal que entre o homem e o mundo existem ferramentas mediadoras auxiliares nas atividades humanas.

A mediação, para Vygotsky, constitui um processo de intervenção de elementos sócio-históricos nas relações entre o sujeito e o mundo: ele abandona a idéia de que a experiência no mundo não necessita de mediações (idéia que supõe que basta estar no mundo para interagir com ele, independentemente de fatores de ordem cultural) e entende que esta relação, entre o sujeito e o mundo, passa a ser mediada por elementos, tais como instrumentos e signos. Embora haja uma analogia entre instrumentos e signos, devemos tratá-los separadamente, pois possuem características diferentes.

Os instrumentos são elementos interpostos entre o trabalhador e o objeto de seu trabalho, ampliando as possibilidades de transformação da natureza. Podemos utilizar como exemplo a caça, onde o uso de uma flecha permite o alcance de um animal. Diferentemente dos animais, o homem produz instrumentos para a realização de tarefas para uso imediato ou posterior, assim como preserva o instrumento ou o repassa para gerações a sua utilidade e seu aperfeiçoamento. Os animais também utilizam instrumentos, porém de forma rudimentar. Os animais, diferentemente do homem, não produzem instrumentos deliberadamente.

Já os signos regulam as ações sobre o psiquismo das pessoas. Os signos, chamados por Vygotsky de "instrumentos psicológicos", são orientados para o próprio sujeito, para dentro do indivíduo. Segundo Moreira (1999), um instrumento é algo para fazer alguma coisa e o signo é algo que significa alguma coisa e pode ser classificado em três tipos: *Indicadores* são os signos que possuem alguma relação de causa e efeito com aquilo que significa; os *Ícônicos* que são o desenho ou a imagem do que significa; os *Simbólicos* que possuem relação abstrata com aquilo que significam, como por exemplo, a palavra e a escrita.

Podemos concluir que instrumentos e signos são construções sócio-históricas e culturais, e que através da internalização destas constituições sociais o sujeito se desenvolve cognitivamente.

Um dos mais importantes signos é a fala. Ao aprender a usar a linguagem, para ação futura, a criança começa a ir além das experiências imediatas. Sendo assim, permite que se realizem operações bem mais complexas como prever, comparar e deduzir. Para Vygotsky, a principal função da linguagem é a de intercâmbio social, ou seja, é para se comunicar com seus semelhantes que o homem cria e utiliza os sistemas de linguagem. Para comunicar-se com outra pessoa é necessário que sejam utilizados signos, compreensíveis por esta pessoa, que traduzam idéias, sentimentos, vontades, pensamentos de forma bastante precisa.

Vygotsky caracteriza o desenvolvimento psicológico em dois tipos: um é o que já se aprendeu e o outro é o que se pode aprender. O primeiro é denominado por Vygotsky de nível de desenvolvimento real, ou seja, o nível de desenvolvimento mental que já se estabeleceu como certo, desenvolvido e já completado. Pode ser identificado através dos problemas que os alunos já conseguem resolver sozinhos, sem ajuda de um adulto ou de outro aluno mais experiente.

Nas escolas costuma-se avaliar somente o nível de desenvolvimento real do aluno, isto é, considera-se que somente aquilo que ele é capaz de realizar sem a colaboração de outros seja representativo do seu desenvolvimento. O segundo, o nível de desenvolvimento potencial é aquilo que a criança (aluno) é capaz de realizar com a ajuda de outras pessoas mais experientes. Nesse caso, realiza tarefas e soluciona problemas através de diálogos, da colaboração e da imitação.

Vygotsky denomina de zona de desenvolvimento proximal a interface entre o nível de desenvolvimento real e o nível de desenvolvimento potencial, caracterizado pela solução de problemas sob orientação de um adulto (professor) ou em colaboração com companheiros mais experientes. Então, a zona de desenvolvimento proximal caracteriza-se por funções que ainda não amadureceram e que estão em processo de maturação, o que Vygotsky denomina de brotos ou flores do desenvolvimento mental. Conforme Rego (1999), *“O conhecimento da zona de desenvolvimento proximal é de extrema importância para as pesquisas do desenvolvimento infantil e para o plano educacional, justamente porque permite a compreensão da dinâmica interna do desenvolvimento individual.”* (REGO, 1999, p. 52).

E acrescenta:

Através da zona de desenvolvimento proximal, é possível verificar não somente os ciclos já completados, como também os que estão em formação, o que permite o delineamento da competência da criança (aluno) e de suas futuras conquistas, assim como elaboração de estratégias pedagógicas que a auxiliem nesse processo. (REGO, 1999, p. 53).

3.3 As Implicações Pedagógicas da Teoria de Vygotsky.

A obra de Vygotsky pode significar uma grande contribuição para a área da educação, pois traz importantes reflexões sobre o pensamento e a formação das características psicológicas.

Vygotsky, para explicar o papel da escola no processo de desenvolvimento do indivíduo, faz uma distinção entre os conceitos: conhecimentos já construídos na experiência pessoal, concreta – e, a cotidiana dos alunos, que ele chama de conceitos cotidianos ou espontâneos, e aqueles que são adquiridos em sala de aula, por meio de um ensino sistemático, ele chama de conceitos científicos. Os conceitos cotidianos referem-se àqueles construídos a partir da observação, manipulação e vivência do aluno. Já os conceitos científicos relacionam-se àqueles que não são diretamente acessíveis à observação ou ação direta do aluno, são os conhecimentos adquiridos nas interações escolares.

Conforme Oliveira (1997), a implicação da concepção de Vygotsky para o ensino escolar é imediata. Se o aprendizado impulsiona o desenvolvimento, então a escola tem um papel essencial na construção do ser psicológico dos indivíduos que vivem em sociedades escolarizadas. Mas, o desempenho desse papel só se dará adequadamente quando conhecermos o nível de desenvolvimento dos alunos, para assim a escola dirigir o ensino não para etapas intelectuais já atingidas, mas sim para estágios ainda em desenvolvimento.

Dentro desta linha, Vygotsky (1994) escreve: *"a noção de zona de desenvolvimento proximal capacita-nos a propor uma nova fórmula, a de que o "bom aprendizado" é somente aquele que se adianta ao desenvolvimento."* (VYGOTSKY, 1994, p. 35).

E acrescenta:

Aprendizado não é desenvolvimento; entretanto, o aprendizado adequadamente organizado resulta em desenvolvimento que, de outra forma, seria impossível de acontecer. Assim, o aprendizado é um aspecto necessário e universal do processo de desenvolvimento das funções culturalmente organizadas e especificamente humanas. (VYGOTSKY, 1994, p. 35).

O papel do professor então, é fundamental, pois este serve de mediador do aprendiz com o novo conhecimento. Ele deve atuar dentro da zona de desenvolvimento proximal do aluno, ou seja, ele deve buscar conhecer a zona de desenvolvimento real. Neste contexto, a linguagem é o mais importante dos signos para o desenvolvimento do cognitivo do aluno.

Conforme Moreira (1999), o professor é responsável pelo significado que o aluno captou, analisando se este é aceito e compartilhado socialmente. A responsabilidade do aluno é verificar se os significados que captou, são aqueles que o professor pretendia que ele captasse e se são compartilhados no contexto da área de conhecimento em questão. Enfim, o ensino se consuma quando aluno e professor compartilham conhecimentos.

Segundo essa teoria é necessário que professor e alunos dialoguem, falem durante o processo de ensino. É preciso que os alunos trabalhem em grupos para que os aprendizes mais experientes possam auxiliar os outros. Desta forma, as atividades propostas pelo professor devem ser bem elaboradas, a fim de levar o aluno a raciocinar, usando o que ele já sabe e ao mesmo tempo exigindo um nível de abstração maior. A repetição nada acrescenta ao conhecimento já apropriado ou elaborado pelo aluno. Por outro lado, tentar forçar o aluno a trabalhar questões com as quais não tenha nenhuma familiaridade, causa rejeição e dificuldade.

Podemos concluir que sem a interação social, a troca de conhecimento, dentro da zona de desenvolvimento proximal do aluno, não há como ocorrer aprendizado e, por conseguinte, não há evolução do cognitivo do aluno. Moreira (1999) afirma: *"interação e intercâmbio implicam, necessariamente, que todos os envolvidos no*

processo ensino-aprendizagem devam falar e tenham oportunidade de falar."
(MOREIRA, 1999, p. 96).

Porém, é importante ressaltar que a frequência do aluno à escola não garante aprendizado para a apropriação do acervo de conhecimentos sobre as áreas básicas daquilo que foi elaborado por seu grupo social. O acesso ao conhecimento passa também por outros fatores como de ordem econômica, política e principalmente familiar.

4.0 ALBERTO SANTOS DUMONT E A REALIZAÇÃO DO VÔO



“É inacreditável como os resultados nos parecem naturais e simples uma vez descobertos, e quão difíceis são os caminhos que a eles conduzem enquanto ainda não descobertos. Do mesmo modo a dirigibilidade dos aeroplanos, uma vez conhecida, será facilmente obtida pelas mãos de técnicos. Inventada, porém ela só poderá ser por um gênio de primeira grandeza. E este inventor não deverá ser apenas um gênio, ele tem que ser também um herói. Só a duras penas poder-se-á desvendar os segredos dos elementos ainda não conquistados. Apenas aqueles que possuem a bravura de confiar sua vida a estes novos elementos e a arte de vagorosamente se esquivar de suas armadilhas terá a chance de derrotar o dragão que ainda hoje esconde do homem o segredo desta descoberta. O inventor do aeroplano manobrável obrigatoriamente seguirá o exemplo do maior de todos os descobridores, Cristóvão Colombo, que não apenas pela sua bravura, mas também pela sua intuição definiu o exemplo a ser seguido por todos os descobridores do futuro. “Se não colocares sua vida na empreitada, nunca atingirás grandes objetivos”. Deixe que aqueles que não conhecem suficientemente as maravilhas da tecnologia do nosso século riem das tentativas de voar.” (STUDART, 2006, p. 257).

Palavras premonitórias pronunciadas por Ludwig Boltzmann em conferência de 1894. Infelizmente, Boltzmann morreu um pouco antes de Santos Dumont realizar o primeiro bem sucedido vôo com o 14bis em 23 de outubro de 1906.

4.1 Aterrissando no Mundo

No ano de 1873, no dia 20 de julho, nascia no Sítio de Cabangu, no distrito de João Aires, Estação Rocha Dias, encravada na região da Serra da Mantiqueira, nos arredores do município de Palmira (hoje, município Santos Dumont), em Minas Gerais, Alberto Santos Dumont, sexto filho de uma prole de oito irmãos, cinco mulheres e três homens.

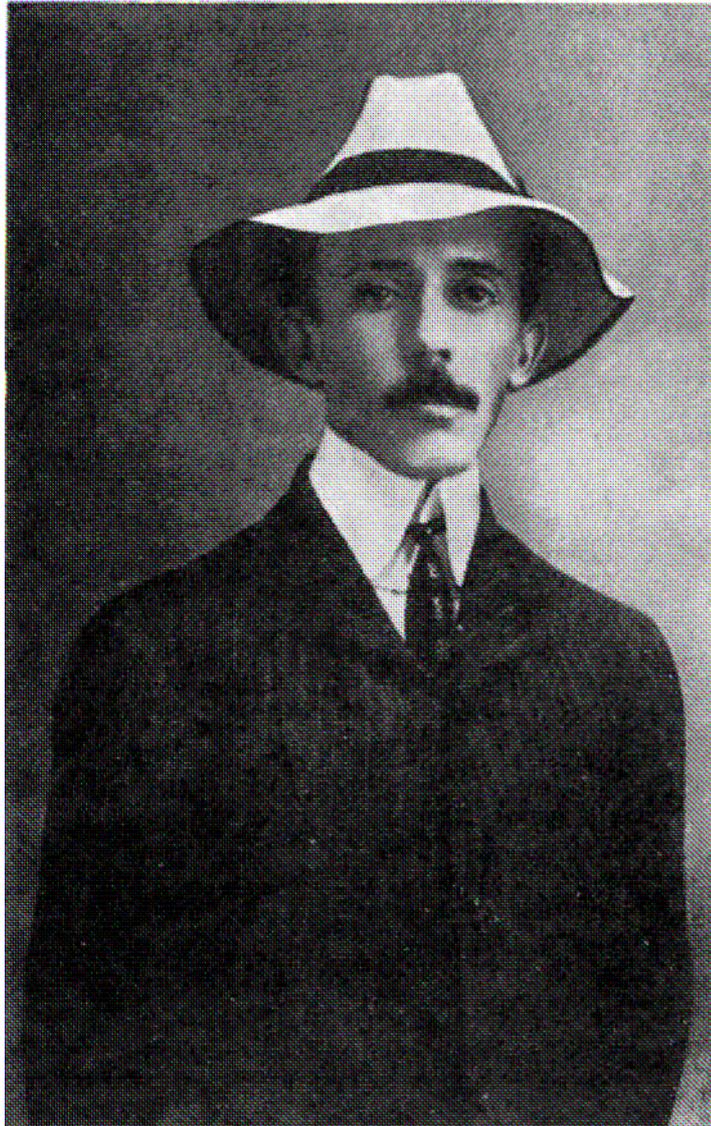


Fig. 1 – Alberto Santos Dumont. Disponível em DUMONT, 1973.

Pimentel (2006) relata que a casa em Cabangu, era uma moradia simples, mas, muito aconchegante, com teto de esteiras, três janelas na fachada, um fogão a lenha na cozinha e poucos móveis nos cômodos, todos muito rústicos.



Fig. 2 – Sede reformada do Sítio Cabangu. Disponível em http://www.cabangu.com.br/pai_da_aviacao/acervo.htm

Vivia na França um ourives que tinha uma filha chamada Eufrásia Honoré, que se casou com François Dumont. O sogro que era ourives induziu o genro François a vir para o Brasil à procura de pedras preciosas, que alimentariam sua indústria.

No Brasil o casal teve três filhos, sendo que em Diamantina, no dia 20 de julho de 1832, nascia o segundo, que foi chamado de Henrique. François Dumont faleceu cedo e Henrique foi ajudado por seu padrinho, que lhe garantiu um curso na *École Centrale des Arts et Métiers* (Escola Central de Artes e Ofícios de Paris), Faculdade de Engenharia, nos dias atuais, tendo se formado com apenas 21 anos de idade. Retornado ao Brasil assumiu o cargo de engenheiro de obras públicas na Prefeitura de Ouro Preto, em Minas Gerais. Aos 6 de setembro de 1856, casou-se com D. Francisca de Paula Santos, filha do respeitado Comendador Francisco de Paula Santos.



Fig. 3 – O Pai, Senhor Henrique Dumont. Disponível em http://www.cabangu.com.br/pai_da_aviao/7-pessoa/pg07.htm



Fig. 4 – A Mãe, D. Francisca de Paula Santos. Disponível em http://www.cabangu.com.br/pai_da_aviao/7-pessoa/pg07.htm

Alberto, a quem o destino consagraria como o “Pai da aviação”, nascia em um Brasil imperial, cuja principal força de trabalho estava centrada na agricultura, baseada na mão de obra escrava, em torno do que se concentravam os demais setores da economia brasileira. “Com o surgimento do federalismo, o país dava os primeiros passos em direção a uma nova caminhada política, cuja filosofia pregava maior liberdade administrativa nas províncias e em cujas entranhas se geravam o republicanismo, que começava a estender suas raízes cada vez mais fortemente entre muitos brasileiros.” (PIMENTEL, 2006, p. 19).

A exportação de produtos primários brasileiros, especialmente o café, (que deixaria rico, o senhor Henrique Dumont), para a Inglaterra, Alemanha, França e Estados Unidos, colaborou para o desenvolvimento da rede ferroviária do país e, deslocou a família Dumont para o citado Sítio Cabangu (aonde Santos Dumont, viria a nascer). Henrique fora requisitado para construir o trecho de ligação entre Palmira e Barbacena, da Estrada de Ferro D. Pedro II, atualmente chamada Central do Brasil.

Alberto tinha completado 6 anos quando seu pai adquiriu por 300 contos de réis a fazenda Arindeúva, com 80 escravos e uma grande extensão de “terras roxas”, próprias para o plantio do café. Homem de amplos horizontes, Henrique logo substituiu a mão de obra escrava por colonos italianos acostumadas ao trabalho rural. Fez instalar em sua fazenda as mais modernas máquinas da época, para descascar e beneficiar o café, além de implantar uma estrada de ferro em suas terras, com 96 km de linha, da qual fazia a ligação entre suas terras e a estrada de ferro da Companhia Mogiana, a qual passava em Ribeirão Preto, de modo a facilitar o escoamento de sua produção. Tão logo, o engenheiro ficou conhecido como o “Rei do café”. Na região produziam-se 5 milhões de sacas de café por ano, e isto fazia com sua fortuna aumentasse rapidamente. Tornando-se um dos “barões do café”, homens fortes na história do Segundo Império, *“visto que muito influenciaram os setores da economia, da política e da vida social brasileira.”* (PIMENTEL, 2006, p. 22).

É na fazenda de colonos italianos e com agricultura mecanizada, que o jovem Santos Dumont cresceu. *“Aprendeu a ler com a irmã Virginia e ouvia preleções do pai sobre as maravilhas da técnica e da mecânica.”* (BARROS, 2006, p. 123). Estudou em Campinas, no Colégio Culto à Ciência e, esteve em São Paulo, matriculado em dois colégios da capital: o Instituto Kopke e o Colégio Morton. Chegando a cursar a Escola de Minas de Ouro Preto, em Minas Gerais, mas o prazer dele era retornar à fazenda e poder observar as máquinas a vapor beneficiadoras de café em funcionamento. *“... Conta-se que em sua casa montava e desmontava tudo o que fosse possível... certa vez consertou sozinho a máquina de costura de sua mãe, sem que fosse preciso perguntar nada a ninguém.”* (PIMENTEL, 2006, p. 23).

Sua alegria era dirigir a locomotiva *Baldwin* da fazenda, quando autorizado pelo seu pai. *“... aos sete anos eu já tinha permissão para guiar os locomóveis de grandes rodas empregados na nossa propriedade nos trabalhos do campo. Aos doze, deixara-me tomar o lugar do maquinista das locomotivas Baldwin que puxavam os trens carregados de café nas 60 milhas de via férrea assentados por entre as plantações. Enquanto meu pai e meus outros irmãos montavam a cavalo para ir mais ou menos distante ver se os cafeeiros eram tratados, se a colheita ia bem ou*

se as chuvas causavam prejuízo, eu preferia fugir para a usina e brincar com as máquinas de beneficiamento.” (DUMONT, 1973, p. 67).



Fig. 5 – A locomotiva Baldwin. Disponível em http://www.cabangu.com.br/pai_da_aviacao/7-pessoa/a%20fazer/arinde%fava/

Mas admirava a tranquilidade do ambiente e deixa isto registrado.

“No Brasil, onde nasci em 20 de julho de 1873, o céu é tão belo, os pássaros voam tão alto e planam tão à vontade sobre as grandes asas estendidas, as nuvens sobem tão alegremente na pura luz do dia, onde se deitam tão languidamente, na atmosfera embalsamada das noites, que basta levantar os olhos para ficar amante do espaço e da liberdade. Territórios imensos se estendem entre dois oceanos, das Cordilheiras do Andes à Foz do Amazonas e à baía incomparável do Rio de Janeiro; as florestas virgens impenetráveis por todos os meios de locomoção comuns, os planos cobertos de altas relvas e de montanhas cercadas de precipícios, através dos quais uma luxuriante natureza se diverte em colocar obstáculos inextrincáveis,

sob os passos do colonizador; rios sem pontes, obstruídos por rochas e cataratas (...).

Quando se pensa que basta elevar-se algumas jardas sobre o solo para estar acima de todos os obstáculos, ao abrigo de todos os perigos que ameaçam embaixo o pedestres, para visitar, sem fadiga, embalado em uma cesta, os panoramas infinitamente variados deste rico país, parece-me que se torna necessariamente um aeronauta. Esse foi ao menos meu caso". (Santos Dumont, 1902; p. 2, in BARROS, 2006, p. 124).

Gostava das brincadeiras de São João e entre seus autores favoritos estava Júlio Verne.

"Cada ano, no dia 24 de junho, diante das fogueiras de São João, que no Brasil constituem uma tradição imemorial, eu enchia dúzias destes pequenos "montgolfières" e contemplava extasiado a ascensão deles ao céu.

Nesse tempo, confesso, meu autor favorito era Júlio Verne. A sadia imaginação deste grande escritor, atuando com magia sobre as imutáveis leis da matéria, me fascinou desde a infância. Nas suas concepções audaciosas eu via, sem nunca me embaraçar em qualquer dúvida, a mecânica e a ciência dos tempos do porvir, em que o homem, unicamente pelo seu gênio, se transformaria em semideus.

Com o capitão Nemo e seus convidados explorei as profundezas do oceano, nesse precursor do submarino, o Nautilus. Com Fileas Foggfiz em oitenta dias a volta ao mundo. Na Ilha a Hélice e na Casa a Vapor, minha credulidade de menino saudou com entusiástico acolhimento o triunfo definitivo do automobilismo, que nessa ocasião não tinha ainda nome. Com Heitor Servadac naveguei pelo espaço". (DUMONT, 1973, pp. 71-2).

"As primeiras lições que recebi de aeronáutica foram-me dadas pelo nosso grande visionário: Júlio Verne. De 1888, mais ou menos, a 1891 quando parti pela primeira vez para a Europa, li com grande interesse, todos os livros desse grande vidente da locomoção aérea e submarina. Algumas vezes no verdor dos meus anos, acreditei

na possibilidade de realização do que contava o fértil e genial romancista; momentos após, porém, despertava-me em mim, o espírito prático, que via o peso absurdo do motor a vapor. Naquele tempo, só conhecia o existente em nossa fazenda, que era de um aspecto e peso fantástico; assim o eram, também, os tratores que meu pai mandava vir da Inglaterra: puxavam duas carroças de café, mas pesavam muitas toneladas (...). Senti um bafejo de esperança quando meu pai me anunciou que ia construir um caminho de ferro para ligar a Fazenda à estação da Companhia Mogiana; pensei que nessas locomotivas, que deviam ser pequenas, iria encontrar base para a minha máquina com que realizar as ficções de Júlio Verne. Tal não se deu; elas eram de aspecto ainda mais pesado, Fiquei, então, certo de que Júlio Verne era um grande romancista.” (DUMONT, 1918, pp. 10-1).

Aos 15 anos de idade, em férias, Alberto teve o primeiro contato com um enorme balão que se apresentava em uma amostra de equipamentos franceses. Um acrobata se apresentava, fazendo exibição com pára-quedas, saltando do aeróstato. Alberto, como era de se esperar ficou impressionado com aquela exibição e declara sua vontade um tanto quanto escondida em seus pensamentos.

"Eu queria, por minha vez, construir balões. Durante as compridas tardes ensolaradas do Brasil, ninado pelo zumbido dos insetos e pelo grito distante de algum pássaro, deitado à sombra da varanda, eu me detinha horas e horas a contemplar o belo céu brasileiro e a admirar a facilidade com que as aves, com suas longas asas abertas, atingiam grandes alturas. E ao ver as nuvens que flutuavam alegremente à luz do dia, sentia-me apaixonado pelo espaço livre. Assim, meditando sobre a exploração do grande oceano celeste, por minha vez eu criava aeronaves e inventava máquinas. Tais devaneios eu os guardava comigo. Nessa época no Brasil, falar em inventar uma máquina voadora, um balão dirigível, seria querer passar por desequilibrado ou visionário. (...) Se o filho de um fazendeiro sonhasse em se transformar em aeronauta, cometeria um verdadeiro pecado social.” (DUMONT, 1973, p. 73).

A fazenda Arindeúva ia de vento em popa. Um visitante impressionado com o que via declarou: *“Ali tudo é grande, tudo é imenso; só há uma coisa modesta: a casa onde mora o fundador de tudo aquilo.” (Dumont, 1918, p. 46).*

Em 1891, o grande fazendeiro Henrique Dumont, quando inspecionava a sua fazenda, sofreu um acidente que o projetou para fora do trole que ele mesmo dirigia. “*A queda provocou-lhe um insulto cerebral decorrente de um traumatismo craniano e o deixou para sempre hemiplégico.*” (PIMENTEL, 2006, p. 26). Henrique sabia que não poderia tocar a fazenda neste estado. A decisão foi sábia e madura, no mesmo ano vendeu Arindeúva à Companhia Melhoramentos, de Paulo Frontin, Rocha Miranda e outros. Em 1894, estes; repassaram-na para um grupo inglês que manteve o nome do fundador: Dumont Coffe Company.

Os 12.000 contos da venda foram assim repartidos conforme vontade do senhor Henrique. Um terço para ele e Francisca e os restantes 8.000 contos distribuídos entre os 8 filhos. Henrique seguiria para Paris a *cidade luz*, tratar a saúde, pois lá, era a capital do mundo moderno no século XIX e, Alberto acompanharia o pai.

4.2 Aterrissando na Cidade Luz

A Paris daquele fim de século é núcleo cultural do planeta, palco principal de movimentos artísticos e científicos, berço de filósofos, escritores, políticos revolucionários e de tantos gênios inventores, ou seja, o ambiente perfeito para o futuro inventor.

O interesse de Henrique era aproveitar a França como o berço cultural e se tratar nas famosas termas de *Lamalou-les-Bains*. Sua saúde, todavia, melhorava muito pouco na Europa.

Uma tarde, véspera de seu retorno ao Brasil, tendo levado seu pai para um passeio às margens do Sena, insistiu para que juntos visitassem o Palácio das Industrias, onde exposições de novas tecnologias se realizavam regularmente. O engenheiro embora andasse com extrema dificuldade, sempre com apoio, precisava exercitar-se e foi com Alberto. Foi lá que Alberto viu o primeiro motor a petróleo e ficou fascinado pelo mecanismo.

“Estava em Paris quando, na véspera de partir para o Brasil, fui, com meu pai, visitar uma exposição de máquinas no desaparecido "Palácio da Indústria". Qual não foi o meu espanto quando vi, pela primeira vez, um motor à petróleo, da força de um cavalo, muito compacto, e leve, em comparação aos que eu conhecia, e... funcionando! Parei diante dele como que pregado pelo destino. Estava completamente fascinado. Meu pai, distraído, continuou a andar até que, depois de alguns passos, dando pela minha falta, voltou, perguntou-me o que havia. Contei-lhe a minha admiração de ver funcionar aquele motor, e ele me respondeu: "por hoje basta". Aproveitando-me dessas palavras, pedi-lhe licença para fazer meus estudos em Paris. Continuamos o passeio, e meu pai, como distraído, não me respondeu. Nessa mesma noite, no jantar de despedida, reunida a família, entre nós, dois primos de meu pai, franceses e seus antigos companheiros de escola, pedi-lhes ele que me protegessem, pois pretendia fazer-me voltar a Paris para acabar meus estudos. Nessa mesma noite corri vários livreiros; comprei todos os livros que encontrei sobre balões e viagens aéreas.

Diante do motor a petróleo, tinha sentido a possibilidade de tornar reais as fantasias de Júlio Verne. Ao motor a petróleo dei, mais tarde, todo inteiro, o meu êxito. Tive a felicidade de ser o primeiro a empregá-lo nos ares. Os meus antecessores nunca o usaram. Giffard adaptou o motor a vapor; Tissandier levou consigo um motor elétrico. A experiência demonstrou, mais tarde, que tinham seguido caminho errado.”
(DUMONT, 1918, p. 10).

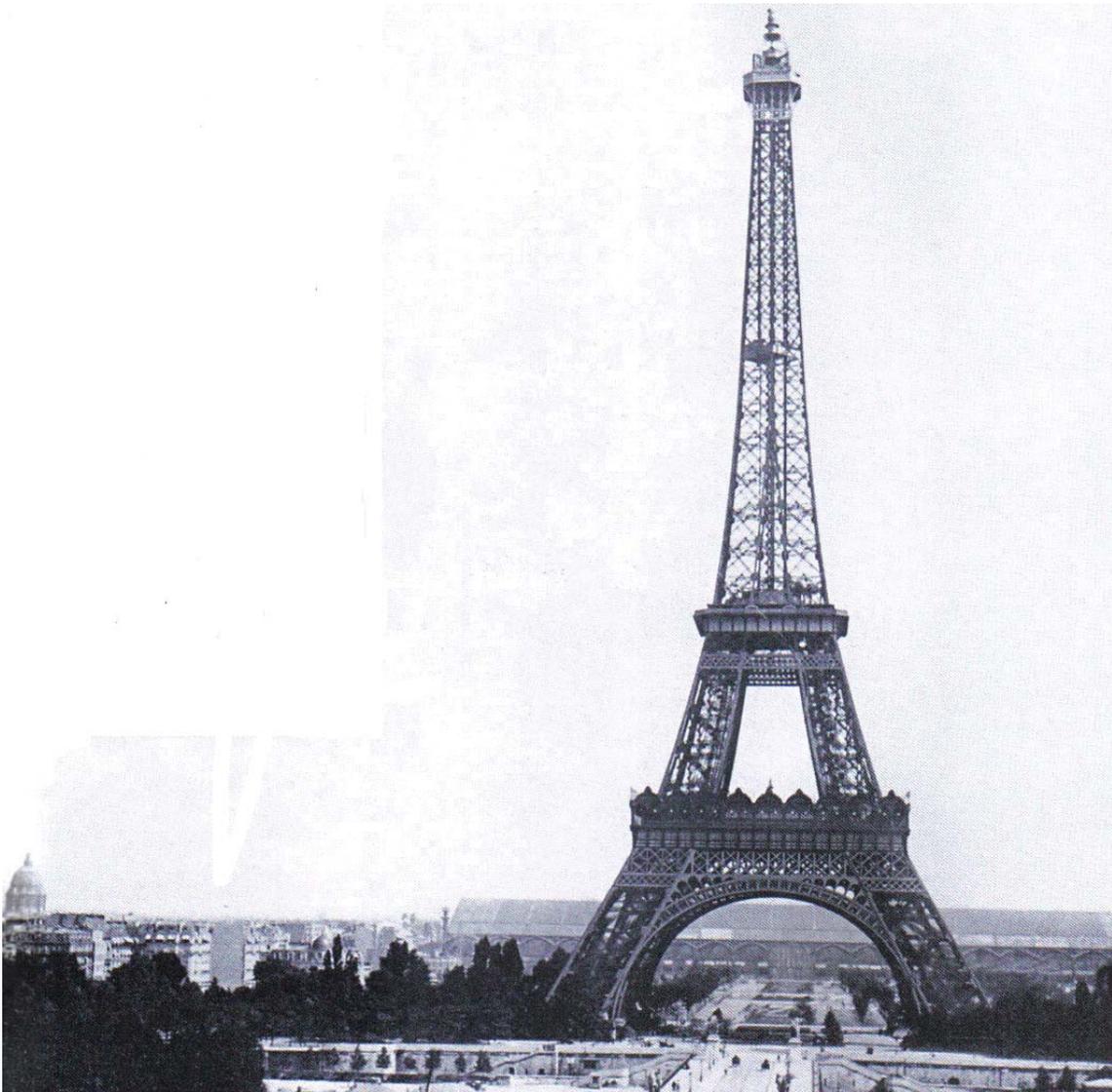


Fig. 6 – A Torre Eiffel em Paris de 1891. Disponível em BARROS, 2006, p. 129.

Após 10 meses, submetido a um tratamento clínico que não lhe trouxera sucesso, decidiu Henrique retornar ao Brasil, trazendo consigo um *Peugeot* de 3,5 cv, por insistência de Alberto. Este seria o primeiro automóvel a rodar na América do Sul. Em uma manhã Henrique fizera uma surpresa para Alberto:

“Uma manhã, em São Paulo, com grande surpresa minha, convidou-me meu pai a ir à cidade e, dirigindo-se a um cartório de tabelião, mandou lavrar escritura de minha emancipação. Tinha eu dezoito anos. De volta à casa, chamou-me ao escritório e disse-me: “Já lhe dei hoje a liberdade; aqui está mais este capital”, e entregou-me títulos no valor de muitas centenas de contos. “Tenho ainda alguns anos de vida; quero ver como você se conduz: vai para Paris, o lugar mais perigoso para um

rapaz. Vamos ver se você se faz um homem; prefiro que não se faça doutor; em Paris, com o auxílio de nossos primos, você procurará um especialista em física, química, mecânica, eletricidade, etc., estude essas matérias e não se esqueça que o futuro do mundo está na mecânica. Você não precisa pensar em ganhar a vida; eu lhe deixarei o necessário para viver...” (DUMONT, 1918, p. 12-13).

Com esta atitude, Henrique Dumont, experiente e conhecedor da vida, mostrava-se um visionário e, apostava na capacidade inventiva do filho.

Em 30 de agosto de 1892, estando a família no Rio de Janeiro e, pronta para regressar para São Paulo, Alberto vê seu pai, bastante adoentado, querer falar-lhe algo. O homem ainda tentou fazer-se entender por algum gesto de braço, mas seus olhos perderam o brilho e aos 60 anos de idade, falecia o engenheiro Henrique Dumont.

4.3 O Retorno a Paris. Alberto Experimenta o Vôo

Com 24 anos, Santos Dumont decidiu-se retornar a Paris e, sem esquecer dos conselhos de seu pai, foi procurar com o auxílio de seus primos um professor que entendesse de Física, Química, Matemática e principalmente Mecânica. Alberto chegava a Paris com uma soma do que seriam hoje “... *uns 4 milhões de dólares*” (PIMENTEL, 2006, p. 34), quantia que lhe garantiria autonomia na construção de seus projetos. Por ser de descendência francesa e ter fluência nesta língua, Alberto não teria dificuldades em se estabelecer em Paris e, foi morar em um apartamento na Rua d’Edimbourg, 26.

“Chegado a Paris, e com o auxílio dos primos, fui procurar um professor. Não poderia ter sido mais feliz; descobrimos o Sr. Garcia, respeitável preceptor, de origem espanhola, que sabia tudo. Com ele estudei por muitos anos. Nos livros que comigo levava para o Brasil, li nomes de várias pessoas que faziam ascensões em balão, por ocasião de festas públicas. Eram as únicas que, então, se ocupavam da aeronáutica. Sem nada dizer ao meu professor, nem aos meus primos, procurei no Anuário Bottin os nomes desses senhores, desejosos de fazer uma ascensão. Alguns já não se ocupavam mais do assunto, outros me apavoraram com os perigos

de subir e com o exagero dos preços. Um, porém, houve que, após me informar de todos os meios, pediu-me mais de mil francos para levar-me consigo, devendo eu pagar, ainda, todos os estragos que fossem causados pelo balão na sua volta à terra. Era ameaçadora a condição, pois esse senhor já uma vez tinha derrubado a chaminé de uma usina, outra vez, descera sobre a casa de um camponês e, incendiando-se o gás do balão, em contato com a chaminé, pusera fogo à casa... Vieram-me à memória os conselhos de meu pai e os seus graves exemplos de sobriedade e economia. Ia eu gastar em algumas horas quase que a renda de um mês inteiro e, muito provavelmente, a renda de todo o ano! Desanimei de fazer uma ascensão. Era muito complicado...” (DUMONT, 1918, p. 13).

Desanimado, sem conseguir alguém capaz de realizar uma ascensão, o refugio de Santos Dumont foi no automobilismo. Os automóveis eram ainda uma novidade e, poucos podiam ter um. Eram os mais recentes produtos que só puderam ter desenvolvimento com motores a combustões interna a gasolina ou elétricos. Não haviam ruas apropriadas para a sua circulação e, exigia do motorista um bom conhecimento em Mecânica para garantir seu funcionamento. A velocidade deixava Alberto fascinado *“Um simples esportista (...) que corria desabaladamente, pela manhã, pelas avenidas do Bois de Boulogne...”* (IHGSP, 1959, p. 171, in BARROS, 2006, p. 135).

No Brasil aconteciam os primeiros anos da República. Anos difíceis de um regimento que tinha como protagonista o marechal Deodoro da Fonseca, que governava sem o apoio de toda a classe militar e da sociedade. *“Enquanto os tenentes do exército, os jovens tenentes científicos, com forte sentimento positivista apoiavam a República, a oficialidade da Marinha continuava com os ideais monarquistas.”* (BARROS, 2006, p. 135).

4.3.1 Uma livraria na Rua do Ouvidor

Em breve retorno ao Brasil, no ano de 1897, entrando por mero hábito em uma livraria da Rua do Ouvidor, Alberto deparou-se com um título recentemente lançado em Paris: *Andrée, au Pôle Nord em Ballon* (André, ao Pólo Norte em um Balão), de autoria dos franceses Henri Lachambre e Aléxis Machuron. A obra tratava da

aventura de Salomon August Andrée, explorador sueco que em 11 de Janeiro de 1897, junto com mais dois companheiros iniciaram uma viagem ao Pólo Norte. Somente após 33 anos os aventureiros foram encontrados. A humanidade saberia pelo diário de bordo de Andrée que os aventureiros haviam morrido intoxicados pela carne de um urso que abateram para comer nas geleiras da Escandinávia.

“Durante vários anos, estudei e viajei. Segui com interesse, nos jornais ilustrados, a expedição de André ao Pólo Norte; em 1897, estava eu no Rio de Janeiro quando me chegou às mãos um livro em que se descrevia com todos os seus pormenores, o balão dessa expedição. Continuava eu a trabalhar em segredo, sem coragem de pôr em prática as minhas idéias; tinha pouca vontade de arruinar-me. Esse livro, entretanto, do construtor Lachambre, esclareceu-me melhor e decidiu inabalavelmente minha resolução. Parti para Paris...” (DUMONT, 1918, p. 14).

Alberto retornava a Paris, decidido em procurar a indústria dos senhores Henri Lachambre e Aléxis Machuron, não faria como da primeira vez, quando, sem dispor de informações seguras, procurou um balonista profissional e aventureiro e teve de deixar de lado o sonho de experimentar o vôo. Iria as pessoas certas daquela época.

O diálogo como conta Santos Dumont seguiu-se dessa forma:

“- Quero subir em um balão. Quanto me pedem por isso?

- Temos justamente um pequeno balão no qual o levaremos por 250 frs.

- Há muito perigo?

- Nenhum.” (DUMONT, 1918, p. 16).

Santos Dumont não podia acreditar no que acabara de ouvir. Pediu que o construtor repetisse a proposta, mas gostaria de ter mais garantia e perguntou:

- E Em quanto ficarão os estragos da descida?

- Isso depende do aeronauta; meu sobrinho, aqui presente, M. Machuron, que o acompanhará, tem subido dúzias de vezes e nunca fez estrago algum. Em todo caso, haja o que houver, o Sr. não pagará nada mais que os duzentos e cinqüenta francos e dois bilhetes de caminho de ferro para a volta.” (DUMONT, 1918, p. 16).

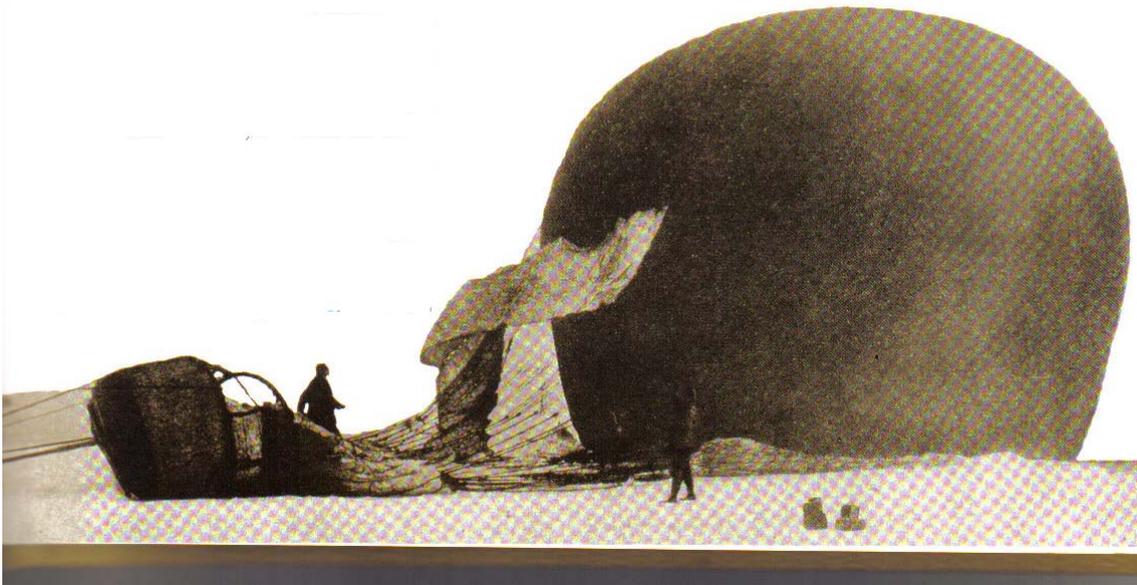


Fig. 7 – O balão *Oern* (Águia) de 4.500 m³ caído, depois de fracassada tentativa em atingir o Pólo Norte. Disponível em BARROS, 2006.

Diante daquilo não havia mais dúvidas. Era iniciar a carreira de aeronauta e matar de vez a curiosidade que lhe tomava conta da mente desde muitos anos: qual a sensação de sentir-se em pleno ar? No dia seguinte, uma manhã do dia 23 de março de 1898, Alberto chegava bem cedo como combinando no parque de Vaugirard de onde costumavam partir os aeróstatos em Paris. O balão fora construído por Lachambre e seria “pilotado” por Machuron. Alberto acompanhava todo o processo bem de perto; o vôo será o início de uma carreira ou, caso ele não goste da emoção de estar suspenso no ar, será o abandono de um sonho, mas, para quem manteve esse sonho desde criança, desistir não seria o caso. Alberto nos conta como foi:

“Guardo uma recordação indelével das deliciosas sensações de minha primeira tentativa aérea. Cheguei cedo ao parque de aerostação de Vaugirard, a fim de não perder nenhum dos preparativos. O balão, de uma capacidade de setecentos e cinquenta metros cúbicos, jazia estendido sobre a grama. A uma ordem do Sr. Lachambre, os operários começaram a enchê-lo de gás. E em pouco a massa informe começou a se transformar numa vasta esfera.”

Às 11 horas os preparativos estavam terminados. Uma brisa fresca acariciava a barquinha, que se balançava suavemente sobre o chão. A um dos cantos dela, com um saco de lastro na mão, eu aguardava com impaciência o momento da partida. Do outro, o Sr. Machuron gritou: Lâchez tout!

No mesmo instante, o vento deixou de soprar. Era como se o ar em volta de nós se tivesse imobilizado. É que havíamos partido, e a corrente de ar que atravessávamos nos comunicava sua própria velocidade. Eis o primeiro grande fato que se observa quando se sobe num balão esférico.

Esse movimento imperceptível de marcha possui um sabor infinitamente agradável. A ilusão é absoluta. Acreditar-se-ia não que é o balão que se move, mas é a terra que foge dele e se abaixa. No fundo de um abismo que se cavava sob nós, a mil e quinhentos metros, a terra, em lugar de parecer redonda como uma bola, apresentava a forma côncava de uma tigela, por efeito de um fenômeno de refração que faz o círculo do horizonte elevar-se continuamente aos olhos do aeronauta.

Aldeias e bosques, prados e castelos desfilavam como quadros movediços em cima dos quais os apitos das locomotivas desferiam notas agudas e longínquas. Com os latidos dos cães, eram os únicos sons que chegavam ao alto. A voz humana não vai a essas solidões sem limites. As pessoas apresentavam o aspecto de formigas caminhando sobre linhas brancas, as estradas; as filas de casas assemelhavam-se a brinquedos de crianças” (DUMONT, 1973, p. 83-4).

O mundo ganhava um inventor; O Inventor dos Ares. Santos Dumont observa todos os efeitos do vôo sobre o balão esférico: *“A sombra assim produzida provocou um esfriamento do gás do balão, que, murchando, começou a descer, a princípio lentamente, depois com velocidade cada vez maior. Para reagir, deitamos lastro fora.”* (DUMONT, 1973, p. 84).

“O calor do sol, pondo as nuvens em ebulição, fazia-as lançar em derredor de nossa mesa jatos irisados de vapor gelado, comparáveis a grandes feixes de fogos de artifício. A neve, como que por obra de um milagre, espargia-se em todos os sentidos, em lindas e minúsculas palhetas brancas. Por instantes os flocos

formavam-se, espontâneos, sob os nossos olhos, mesmo nos nossos corpos!”
(DUMONT, 1973, p. 85).

Mas as surpresas sempre acontecem sem aviso. *“Acabava eu de beber um cálice de licor quando uma cortina desceu subitamente sobre esse admirável cenário de sol, nuvens e céu azul. O barômetro elevou-se rapidamente cinco milímetros, indicando brusca ruptura do equilíbrio e uma descida precipitada. O balão devia ter-se sobrecarregado de muitos quilos de neve; caía como uma nuvem.*

A neblina nos envolveu em uma obscuridade quase completa. Distinguíamos ainda a barquinha, nossos instrumentos, as partes mais próximas do cordame. Mas a rede que nos prendia ao balão não era mais visível senão até certa altura; e o balão, ele próprio, desaparecera.

Experimentamos assim, e por instantes, a singular sensação de estarmos suspensos no vácuo, sem nenhuma sustentação, como se houvéssemos perdido nosso último grama de gravidade e nos achássemos prisioneiros do nada opaco. Após alguns minutos de uma queda que amortecemos soltando lastro, vimo-nos abaixo das nuvens, a uma distância de cerca de 300 metros do solo.

A nuvem que provocara a nossa descida era prenúncio de uma mudança de tempo. Pequenas rajadas começavam a impelir o balão da direita para a esquerda, e de cima para baixo. De espaço a espaço o "guide-rope" - corda-guia, uma grande corda de cem metros de comprimento, que flutuava fora da barquinha — tocava o chão. A barquinha não tardou por sua vez a roçar as copas das árvores.

O que se denomina fazer o guide-rope apresentou-se-me assim em condições particularmente instrutivas. Tínhamos ao alcance da mão um saco de lastro: se um obstáculo qualquer se apresentasse no caminho, soltávamos alguns punhados de areia; o balão subiria um pouco e a dificuldade seria vencida.

Mais de 50 metros de cabo arrastavam-se já pelo chão. Não era preciso tanto para nos manter em equilíbrio a uma altitude inferior a cem metros, pois havíamos decidido não exceder disso até o fim da viagem.

Quando franqueávamos um pequeno maciço de árvores, um balanço mais forte do que os outros atirou-me para trás na barquinha. Imobilizado de súbito, o balão estremecia açoitado pelas lufadas de vento, na extremidade do seu guide-rope enrolado nas franças de um carvalho. Durante um quarto de hora fomos sacudidos como um cesto de legumes e só nos libertamos aliviando um pouco de lastro. O balão deu então um pulo terrível e foi como uma bala furar as nuvens. Estávamos ameaçados de atingir alturas que depois nos podiam ser perigosas para a descida, dada a pequena provisão de lastro de que já dispúnhamos. Era tempo de recorrer a meios mais eficazes: abrir a válvula de manobra para que o gás escapasse.

Foi obra de um minuto. O balão retomou a descida e o guide-rope tocou de novo o solo. Não nos restava senão dar por encerrada aí a excursão; a areia estava quase toda esgotada. Quando tivemos de executar esta última manobra, o vento, que era muito forte, constrangeu-nos a procurar um local abrigado. Do extremo da planície avançava ao nosso encontro um recanto da floresta de Fontainebleau. Em alguns instantes, à custa do nosso último punhado de lastro, contornamos a extremidade do bosque. As árvores agora nos protegiam contra o vento. Atiramos a âncora, ao mesmo tempo em que abríamos completamente a válvula para dar escape completo ao gás.

A dupla manobra colocou-nos em terra sem o menor abalo. Saltamos e assistimos ao balão murchar. Alongado no chão, ele esvaziava-se do restante do gás em estremecimentos convulsivos, como um grande pássaro batendo as asas ao morrer.

Tiramos alguns instantâneos fotográficos da cena; depois dobramos o balão e o arrumamos na barquinha, juntamente com a rede. O sítio que havíamos escolhido para aterrissar pertencia ao parque do castelo de La Ferrière, propriedade do Sr. Alphonse de Rothschild. Alguns trabalhadores de um campo vizinho foram buscar uma carruagem na aldeia. Meia hora mais tarde, ela chegava. Colocamos nela a nossa bagagem e partimos para a estação da estrada de ferro, distante uns quatro quilômetros, onde tivemos um grande trabalho para fazer descer nossa cesta com seu conteúdo, pois pesava 200 quilos.

Às seis e meia estávamos novamente em Paris. Havíamos efetuado um percurso de 100 quilômetros e passado duas horas nos ares.” (DUMONT, 1973, p. 85-7).

Depois deste efusivo batismo pelo ar, o aeronauta mais jovem do mundo realizaria ainda mais de 30 subidas com essa dupla de engenheiros, até que viesse a voar em um aparelho próprio, projetado por seu lápis, cuja confecção seria encomendada à tradicional Casa Machuron & Lachambre. Seu primeiro balão, utilizado em experiências fundamentais, subiria aos céus pela primeira vez no ano de 1898.

Santos Dumont descobriu ainda que a oficina desses sócios engenheiros fora a mesma que se encarregara anos antes de prestar serviços a projetos particulares de dois outros brasileiros: primeiramente a Júlio César Ribeiro de Sousa, em 1881; e depois, a Augusto Severo de Albuquerque Maranhão, em 1892, *“ambos os nomes costumeiramente esquecidos por muitos, cujo pioneirismo é ignorado inclusive pela França”* (PIMENTEL, 2006, p. 25). Esses dois ocupam, porém, lugar de máxima importância na história do balonismo.

Por ora, os céus de França já reconheciam Santos Dumont como amigo, viam-no como um estranho pássaro malformado, obstinado a compensar sua natureza desprovida de asas pela ousadia dos que se atiram livres a mais alta e resoluta direção de seus sonhos.

4.4 Alberto Santos Dumont, O Inventor

4.4.1 O Balão Brasil, o Primeiro

“- Monsieur Dumont deve estar louco, Machuron!

- Ele me pareceu mesmo um tanto excêntrico, tio, meio estranho e muito metódico, eu diria; vi quanto ele observava cada detalhe técnico de nosso primeiro vôo, cada gesto meu na condução do balão. Creio que monsieur Dumont deva saber muito bem o que está querendo de nossa oficina. Parece que essa coisa de voar está no sangue, na alma dele, não sei bem ao certo... no trem, quando voltávamos para Paris naquele dia, ele estava em radiante estado de graça, seus olhos brilhavam, e

avivaram-se suas reminiscências; confessou-me ter realizado um dos sonhos de sua vida, desde a infância desejado.

- C'est pá bien, Machuron, pá bien! Monsieur Dumont parece não entender nada de balões! — continuava Lachambre, com ar de espanto diante daquela encomenda — Onde já se viu um balão assim? Duvido que esta coisa que estamos fabricando chegue sequer a levantar do chão.

- De qualquer modo, mon uncle, bem vi quanto o senhor o advertiu a respeito dos riscos, mas ele insistentemente nos exigiu que seguíssemos à risca suas instruções. Acho melhor não desagradar o cliente.

- Mas com 110 metros de cubagem? E invólucro de seda japonesa?! Ora, isso é brincadeira! Pois não sabe monsieur Dumont que os balões devem ter um volume mínimo de 500 metros cúbicos e um revestimento que lhes seja resistente? Ninguém em sã consciência poderia querer voar em um aeróstato tão pequeno e tão frágil como este. O homem é mais teimoso que um belga. E os jornais irão ainda falar mal de nós dois também se o vôo não alcançar bons resultados. Por Saint Genevieve, espero que esse homem saiba lá o que está fazendo!” (PIMENTEL, 2006, p. 64).

Ele sabia. Perfeitamente! No verão de 1898, o primeiro pequeno balão esférico planejado por Santos Dumont, construído nas oficinas Machuron & Lachambre, estava pronto! Diferia de tudo aquilo que se conhecia em se tratando de aeróstatos. *“Este minúsculo "Brasil" despertou grande curiosidade. Era tão pequeno que diziam que eu viajava com ele dentro da minha mala! Nele e em outros, fiz, em vários meses, amudadas viagens, em que ia penetrando na intimidade do segredo das manobras aéreas.” (DUMONT, 1918, p. 18).*



Fig. 8 – Balão Brasil decolando (113 m^3 com 6 m de diâmetro). Disponível em http://www.cabangu.com.br/pai_da_aviacao/



Fig. 9 – Balão Brasil sobrevoando o parque. Disponível em http://www.cabangu.com.br/pai_da_aviacao/

Finalmente, no dia 4 de julho de 1898, com 25 anos de idade Santos Dumont subiu juntamente com o Brasil. Subiu e realizou um belo vôo, estável e seguro, para espanto dos demais balonistas presentes. Santos Dumont começava a aparecer como um inovador respeitado. Quando se fartou de viajar sozinho no Brasil, construí o segundo balão, que chamou de América. Com ele participou de um concurso promovido pelo Automóvel Club “*pois o Aero Club não existia ainda*” (DUMONT, 1918, p. 18). A idéia era conhecer o comportamento das correntes atmosféricas. Doze competidores estavam inscritos, mas, o América saiu vitorioso, realizando um vôo de 23 horas e atingindo a maior altitude.

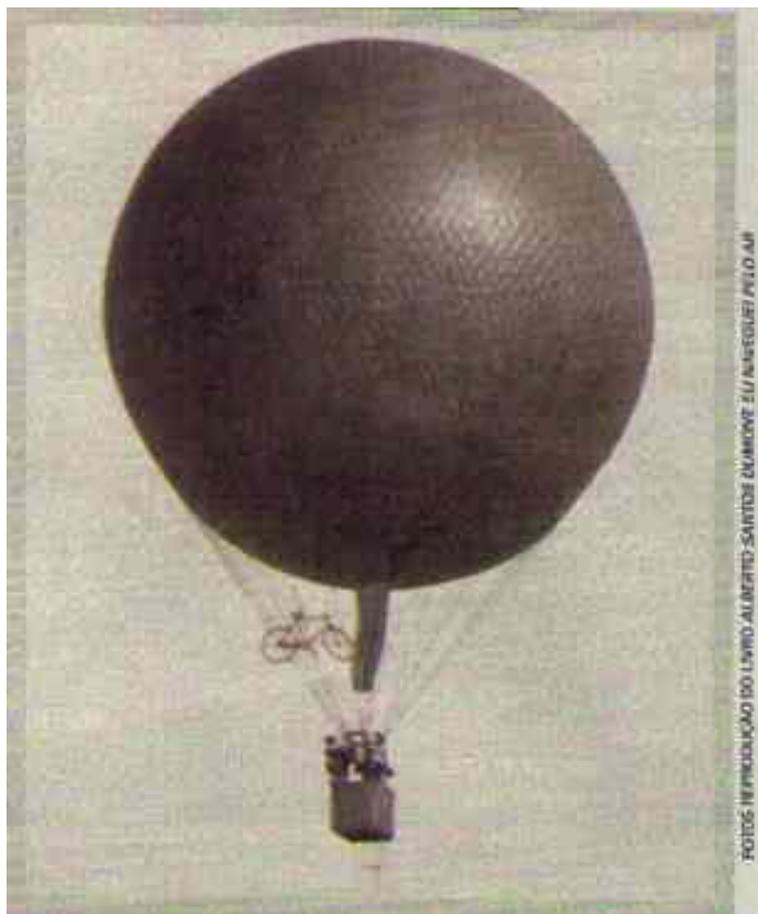


Fig. 10 – Numa foto de 1899, descobriram uma bicicleta presa às cordas do Balão América de 500 m³, mais moderno que o Balão Brasil. Ele a usava quando pousava em lugares distantes, e pedalava a procura de alguém que pudesse ajudar-lo a transportar o Balão de volta à Paris. Disponível em <http://www.cmp.rj.gov.br/petro1/SDbalaoamerica.htm>

4.4.2 A Necessidade da Dirigibilidade

Por duas vezes Alberto sentiu necessidade de controlar o vôo em um balão:

A primeira ocasião, em 30 de maio, ocupando o lugar de Lachambre em uma demonstração pública, levantou vôo em Péronne, norte da França, ao entardecer em um dia de tempestade. Passou a noite dentro da tempestade, *“Lá no alto, na solidão negra, entre o fulgor dos relâmpagos que rasgavam e os faiscar dos raios, eu me sentia como parte integrante da própria tempestade!”* (DUMONT, 1973, p. 102-3). Impossibilitado de agir, sem ao menos saber onde se encontrava. Ao amanhecer ele pode pousar na Bélgica, sem maiores problemas.

Em junho, outra ascensão, agora acompanhado de quatro convidados. Passou maus momentos em uma viagem sem corrente atmosférica para deslocar o balão, a única coisa que conseguia fazer era subir e descer o balão, e deixa sua angústia relatado: *“tenho sentido não só medo, mas até mesmo sofrimento e real desespero a bordo de um balão esférico.”* (DUMONT, 1973, p. 99).

As experiências em um balão livre só fizeram com que a idéia de construir um dirigível ficasse mais sólida. Santos Dumont ficava incomodado com o que os colegas diziam. Quando o balão ficou preso em uma árvore ao sabor do vento em sua primeira ascensão Machuron disse: *“Observe a treita e o humor vingativo desse vento – gritava-me ele no meio dos balanços. Estamos presos a árvore e veja com que força ele procura arrancar-nos! (nesse momento fui atirado ao fundo da barquinha). Que propulsor da hélice seria capaz de vencê-lo? Que balão alongado não se dobraria em dois?”* (DUMONT, 1973, p. 106).

Santos Dumont havia de concordar com o amigo e, retardou seu desejo por um curto intervalo de tempo. Mas, no segundo semestre, não haveria argumentos que o contrariassem e se debruçou sobre o problema da dirigibilidade do balão, pois, acreditava que isto era e seria indispensável para o futuro. Dumont já pensava o balão como algo mais do que um simples instrumento de passeio ao entardecer.

Não cometeria os mesmos erros de seus antecessores, como Giffard, Renard e Krebs, os irmãos Tissandier, Dupuy de Lôme e tantos outros. Pensou em motores a explosão, mas não iria tatear no escuro, pois, os conhecia muito bem das corridas de automóvel. *“Comprei um dia um triciclo a petróleo. Levei-o ao “Bois de Boulogne” e, por três cordas, pendurei-o num galho horizontal de uma grande árvore, suspendendo-o a alguns centímetros do chão. É difícil explicar o meu contentamento ao verificar que, ao contrário do que se dava em terra, o motor do meu triciclo, suspenso, vibrava tão agradavelmente que quase parecia parado. Nesse dia começou minha vida de inventor. Corri à casa, iniciei os cálculos e os desenhos do meu balão n.º 1.”* (DUMONT, 1918, p. 18).

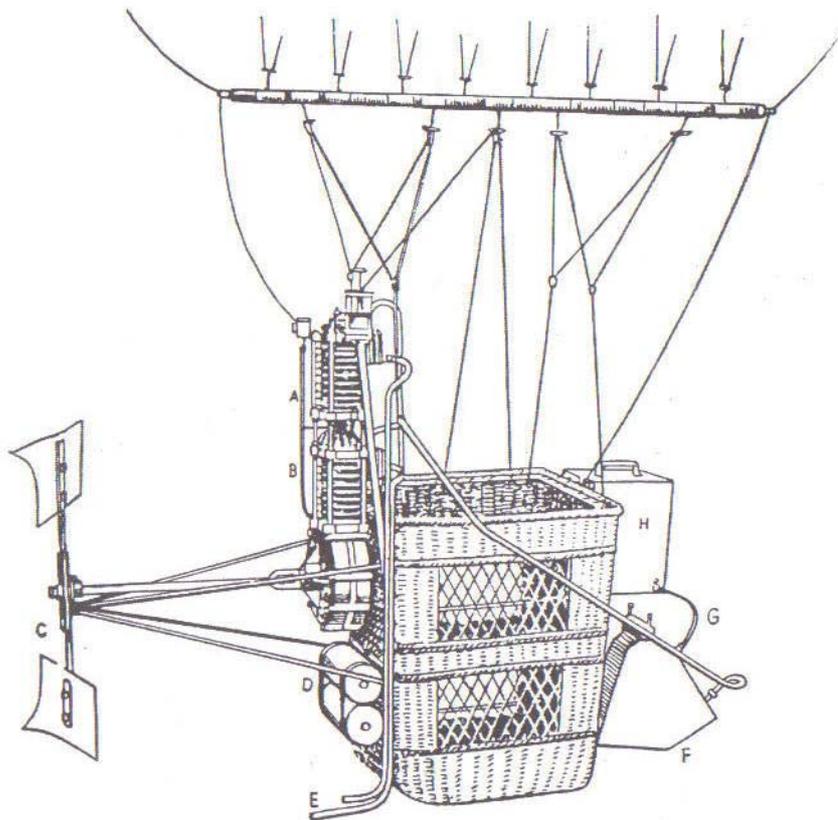
Santos Dumont deixaria de dar nome aos balões e os colocariam números, prevendo que não resolveria o problema da dirigibilidade tão facilmente assim.

Compartilhou então o seu desejo com os colegas do Automóvel Club: *“Nas reuniões do Automóvel Club - pois o Aero Club não existia ainda – disse aos meus amigos que pretendia subir aos ares levando um motor de explosão sob um balão fusiforme. Foi geral o espanto: chamavam de loucura o meu projeto. O hidrogênio era o que havia de mais explosivo! “Se pretendia suicidar-me, talvez fosse melhor sentar-me sobre um barril de pólvora em companhia de um charuto aceso”. Não encontrei ninguém que me encorajasse.* (DUMONT, 1918, p. 18-9).

Santos Dumont projeta o seu primeiro dirigível, usando sempre o que havia aprendido nos vôos livres lembrando a experiência de seus antecessores. *“Comecei por proceder à superposição de dois motores de triciclo sobre um só cárter, de modo a acionar somente uma biela, o todo alimentado por um único carburador.”* (DUMONT, 1973, p. 109). Conseguiu assim um motor de 3,5 cv que pesava 30 kg. Tinha acabado de inventar o motor *tandem*. Para testá-lo participou da corrida Paris-Amsterdã em 1897 e viu que o rendimento foi muito bom.

Para reduzir o peso do balão, abandonou a rede até então acessório indispensável. Para o leme a resposta foi adotar estrutura triangular revestida de seda japonesa esticada. Para fazer o balão subir e descer criou um sistema de pesos deslocáveis (ver fig. 13):

“Para este fim coloquei um à frente e outro atrás, dois sacos de lastro, suspensos por cordas ao invólucro do balão; por meio de outras cordas mais leves, cada um destes dois pesos podia ser puxado para a barquinha, modificando assim o centro de gravidade de todo o sistema. Puxando o peso dianteiro, eu fazia a proa elevar-se diagonalmente; puxando o peso traseiro, produzia o efeito oposto. Eu tinha, a mais, um cabo-pendente de sessenta metros de comprimento, do qual, em caso de necessidade, me serviria também como lastro deslocável” (DUMONT, 1973, p. 113-4).



A e B. Motores superpostos. — C. Hélice. — D. Bobinas. — E. Tubos de escape-
 mento. F. Carburador. — G. Tubo de admissão. — H. Tanque de gasolina.
 A “nacelle” e o motor.

Fig. 11 – Esquema gráfico do sistema de propulsão do N^o -1, com o motor *tandem* inventado por Santos Dumont, em 1897. Disponível em PIMENTEL, 2006.

Todo o trabalho foi realizado na oficina da Rua Coliseu e tomou vários meses. Faltava somente à confecção do invólucro, que deveria ser feito pela Maison Lachambre. Santos Dumont sabia que seria difícil convencer seu amigo, mas, já tinha provado a ele em outras ocasiões que suas ideias tinham fundamento e eram sempre muito bem planejadas. Lachambre quando viu o projeto, reagiu e, tratou de ouvir os argumentos de Dumont. O balão teria 25 metros de comprimento por 3,5 de diâmetro, com volume de 180 m³, tendo no interior um balonete de 25 m³ de ar que era mantido cheio por meio de uma bomba ligada ao motor. O balão teria velocidade máxima de 8 km/h, era pouco, mas, é o que se podia ter no momento. Após a conversas com Lachambre, este concorda em confeccionar o invólucro e no dia 18 de setembro de 1898, no parque de Aclimação, apresentaria aos outros aeronautas curiosos o Santos Dumont N^o 1(ver fig. 13).

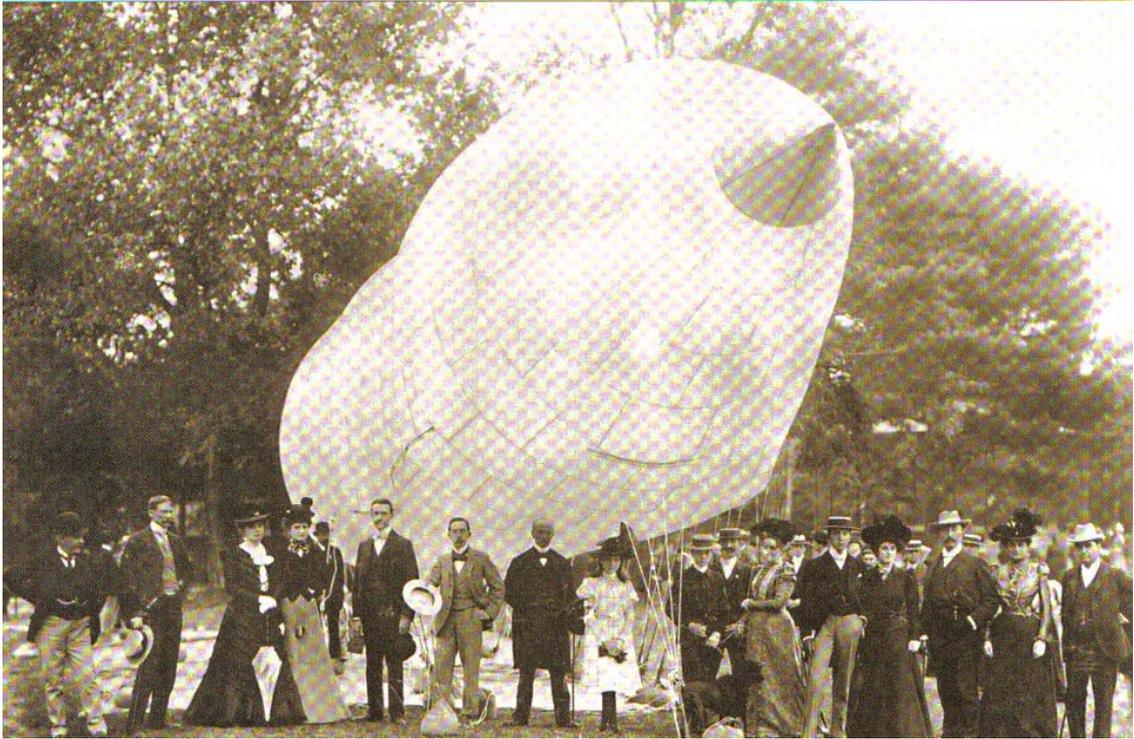


Fig. 12 – 18 de setembro de 1898. Santos Dumont se prepara para levantar vôo com o N^o 1. Disponível em BARROS, 2006.

Os balonistas experientes palpitam que ele deva posicionar-se a favor do vento. É assim que se decola com um balão esférico. Santos Dumont discorda, mas cede, e tão logo é dado o *Lâchez tout* o N^o 1 parte velozmente contra as árvores do outro lado do campo. O N^o 1 está destruído e, o dia arruinado. Santos Dumont analisa o fracasso, e percebe que seu maior erro foi dar ouvidos aos outros aeronautas. “*Sozinho contra todos, tive a fraqueza de ceder. Parti do local que eles me tinham indicado e, no mesmo segundo, tal como receava, meu navio aéreo foi rasgar-se contras as árvores.*” (DUMONT, 1973, p. 117). O investimento de 30 mil dólares havia se perdido? Não, Santos Dumont, anunciou que tentaria voar novamente tão logo fossem feitos os reparos na aeronave.

E no dia 20 de setembro, dois dias depois, ele realizaria a decolagem ao seu modo, com uma multidão ainda maior que a primeira vez, Santos Dumont deu a ordem, *Lâchez tout* e, logo o dirigível alcança 400 metros de altura. Santos Dumont testou o aparelho em todas as direções subia, descia, fazia manobras a favor e contra o vento.

De fato! Santos Dumont era o pioneiro dos ares, seu balão podia mesmo ser controlado pelas mãos do homem! Tudo transcorria às maravilhas até o momento em que Dumont deu início aos procedimentos de descida. De repente, alguém na multidão, apontando em desespero para o céu, grita: "O balão, o balão se desmanchou...". Um vozerio nervoso toma conta do Parque de Aclimação. Instala-se imediatamente em seguida um silêncio pavoroso... Não, nada havia de errado com o motor de explosão, o foco do problema era a bomba de ar que apresentava uma falha fazendo com que o aparelho perdesse altitude rapidamente enquanto começava a se dobrar ao meio. O desastre era iminente! Santos Dumont encontrava-se sobre um campo aberto. No solo, alguns meninos empinavam suas pipas. O aeróstato ainda flutuava levado pelo vento, mas caía rapidamente. O iluminado piloto viu sua chance naquelas crianças...

"Por felicidade, eu caía nas vizinhanças da 'pelouse' de Bagatelle, onde um grupo de meninos empinava papagaios de papel. Uma súbita idéia atravessou-me o espírito: gritei-lhes que agarrassem meu guide-rope, que já tocava o solo, e corressem com toda a força contra o vento. Eram garotos inteligentes, pegaram no instante propício a idéia e a corda. E o resultado desse auxílio in extremis foi imediato e tal que eu esperava. A manobra amorteceu a violência da queda e evitou-me, pelo menos, um choque perigoso. Estava eu salvo pela primeira vez"

Agradei o inestimável serviço dos bravos meninos, que ainda me ajudaram a arrumar as coisas dentro da barquinha. Chamei uma carruagem e transportei para Paris as relíquias da aeronave." (DUMONT, 1973, p. 119).

"Santos Dumont havia conseguido um feito extraordinário: "Subi em um balão e descii num papagaio." (Aerophile, Avril 1901, p. 76 in BARROS, 2006, p. 155).

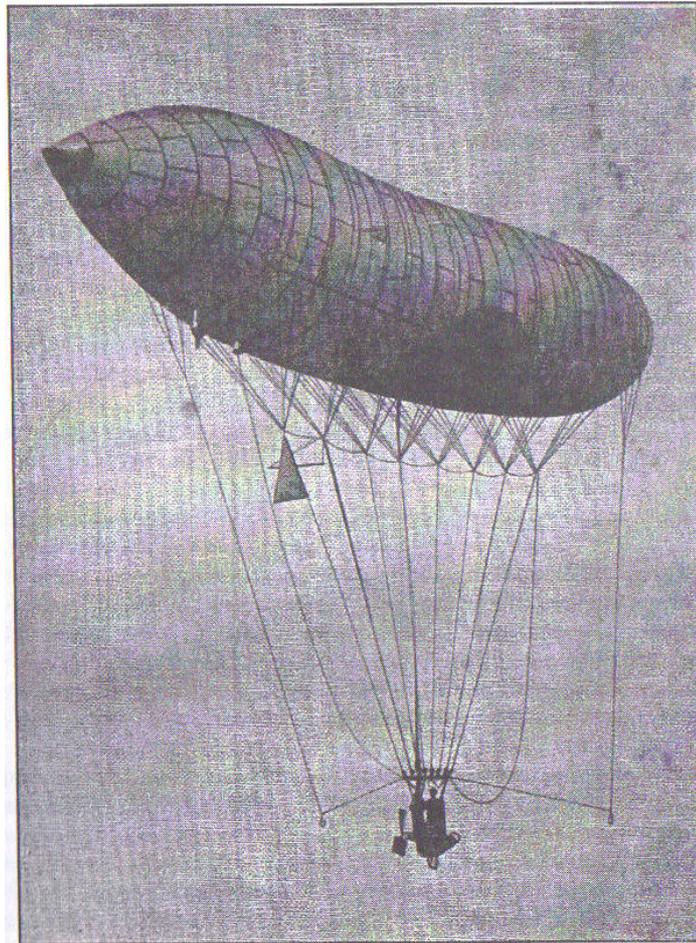


Fig. 13 – Dirigível N - 1, 1898. Disponível em PIMENTEL, 2006.

Terminará 1898, e não haveria mais tempo para outros ensaios. Santos Dumont opina sobre seus ganhos: *“As minhas experiências no ar começaram em fins de 1898. Foram grandemente interessantes, não pelo resultado obtido, mas pela surpresa de ver, pela primeira vez, um motor trepidando e roncando nos ares. Creio mesmo que foram estas experiências que deram lugar à fundação do Aero Club de França.”* (DUMONT, 1918, p. 21). No dia 7 de outubro de 1898, era fundado o Aero Club de France.

Dois anos após fixar-se em Paris, o dirigível N^o 2 estava pronto. Tinha praticamente o mesmo tamanho do N^o 1, mas o diâmetro do cilindro era um pouco maior, o que lhe conferia 200 m³, e um novo motor diferenciado o *Dion-Bouton*, estava reforçado por dois cilindros em formato de “V”, gerando uma potência de 4,5 hp, ajustes estes que aumentavam a força de ascensão.

No dia 11 de maio na Festa de “Ascensão do Senhor”, Santos Dumont prepara o aparelho para levantar vôo. O tempo pela manhã se apresentava bom e convidativo, mas pela tarde o clima mudou e começou a chover. Apesar de tudo Santos Dumont insistiu, e mal deixou o chão o balão se espatifou após o invólucro dobrar-se ao meio. Estava claro que a forma muito alongada do bojo era um problema, e erro seria teimar. *“Eu tinha sido audacioso demais, fabricando um balão demasiado alongado para os meios de que, então, dispunha. Abandonei essa forma e construí um balão ovóide.”* (DUMONT, 1918, p. 21).

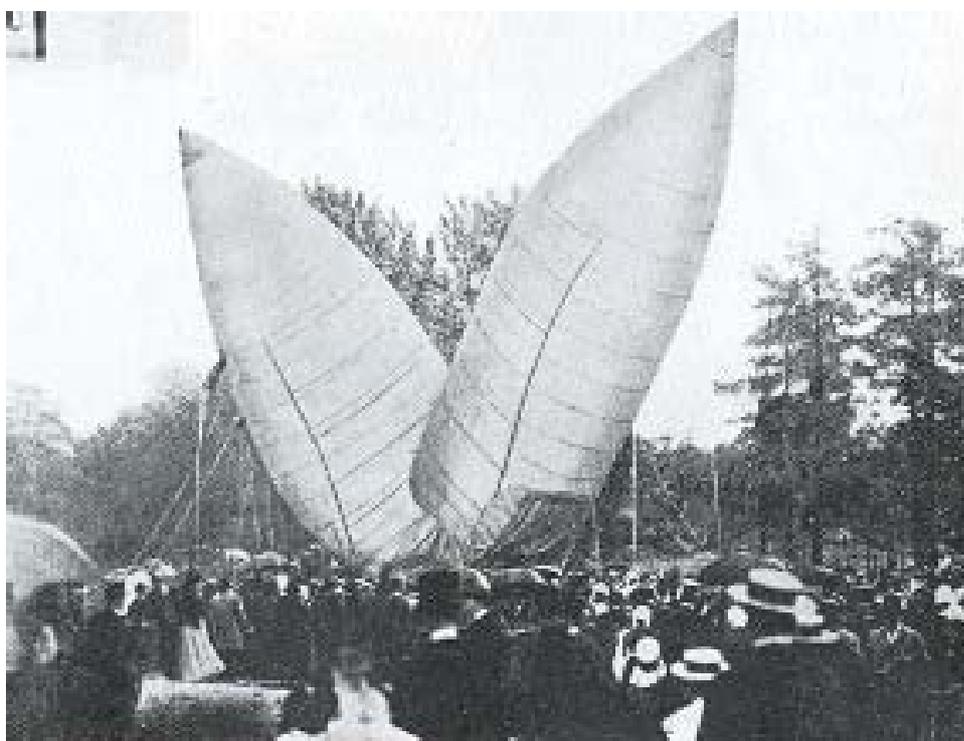


Fig. 14 – Dirigível Nº 2. A fuga do gás fez com que perdesse a rigidez. Disponível em http://www.cabangu.com.br/pai_da_aviacao/3-dirig/a%20fazer/

Alberto dedicava-se meticulosamente, desde o sucesso de seu primeiro modelo, a melhorar a aerodinâmica de seus balões. Resoluto em seu plano de voar, aprendendo a "administrar seus riscos de vida", pôs-se sistematicamente a aperfeiçoar seu engenho aeronáutico e dali a poucos meses terminava a construção de seu Nº 3, que trazia uma série de inovações. Vinte por cento menor em seu comprimento (agora com 20 metros), o balão guardava ainda a silhueta fusiforme, mas seu diâmetro fora ampliado para 7,5 metros, dando à estrutura um perfil mais para o arredondado que para o cilíndrico. Era um charuto cujo volume era duas vezes e meia maior que o do aeróstato anterior: 500 m³. Novamente se valia do par

de motores *Dion-Bouton* de 4,5 HP que, trabalhando de modo conjugado, fariam funcionar sua hélice. Além dessas, o inventor resolvera substituir o hidrogênio por gás de iluminação comum, o halogênio, muito mais barato e mais seguro.

No dia 13 de novembro de 1899, Dumont realizou um vôo bem sucedido com o N^o 3. Deslocou-se a cerca de 25 quilômetros por hora, partindo do Campo de Vaugirard, contornou a Torre Eiffel, em Paris. Depois de alguns vôos, o aparelho sofreu um acidente, perdendo o leme de direção. Dumont realizou um pouso forçado e abandonou o aparelho que, como todos os outros, considerava experimental.

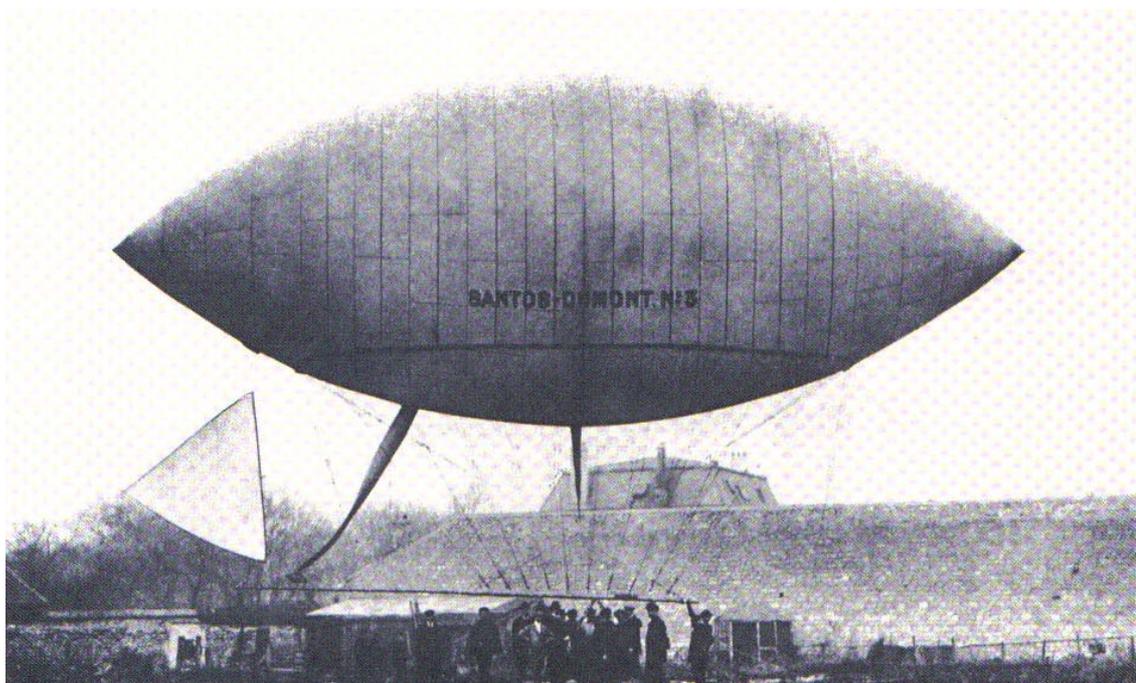


Fig. 15 – Dirigível N^o 3, perceba o lema triangular. Disponível em BARROS, 2006.

Santos Dumont perceberá ser mais interessante ter um local para guardar seus balões, não precisaria enchê-los a todo vôo. Construiu então em Neuilly, o primeiro Hangar do mundo em 1900. Tinha 11 metros de altura, 7 m de largura e 30 m de extensão. As portas de correr também foram as primeiras jamais vistas! Muitos diziam que o peso das portas impediria de serem empurradas, mas Santos Dumont as montou sobre rolamentos, e até uma criança era capaz de movê-las (ver fig. 16).

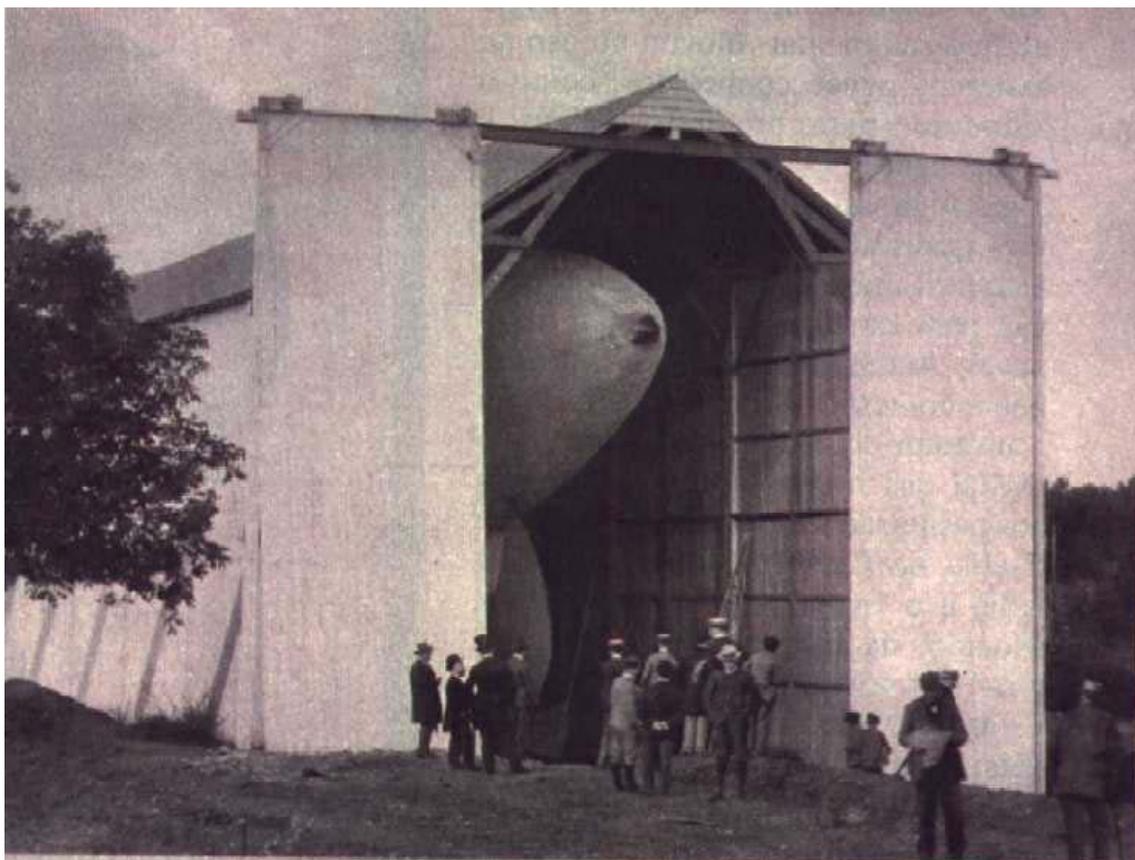


Fig. 16 – O primeiro hangar do mundo. Disponível em http://www.cabangu.com.br/pai_da_aviacao/3-dirig/a%20fazer/

Em setembro ocorreria o Congresso Internacional de Aeronáutica. Os principais aventureiros do vôo estariam na cidade participando do congresso. As discussões estavam animadas no aeroclube e, o magnata do petróleo Deutsch da La Meurthe, encoraja os aeronautas a um desafio: *“A uma das assembléias do Aero Club compareceu um senhor, desconhecido de todos nós, muito tímido, muito simpático, que ofereceu, ele, Deutsch de la Meurthe, um prêmio de cem mil francos ao primeiro aeronauta que, dentro dos cinco anos seguintes, partindo de St. Cloud, que era então onde se achava o Parque do Club, circunavegasse a Torre Eiffel e voltasse ao ponto de partida, tudo em menos de 30 minutos. Acrescentou mais, que no fim de cada ano, caso não fosse ganho o prêmio, se distribuíssem os juros do dinheiro entre os que melhores provas tivessem obtido. Era sentir geral que cinco anos se passariam sem que o prêmio fosse ganho. A direção do balão, naquele tempo, era um desejo sem promessa.”* (DUMONT, 1918, p. 22).

Santos Dumont tinha a convicção que o prêmio tinha se constituído graças ao seu empenho com os seus dirigíveis: *“Com o primeiro tipo tive uma terrível queda de várias centenas de metros, que muito me ameaçou de ver naquele o meu último dia. Não perdi, porém, o alento. Com esse novo aparelho, o meu n.º 3, atravessei a cidade de Paris. Houve grande barulho em torno dessa experiência. Creio mesmo que, se as primeiras deram lugar à fundação do Aero Club, esta foi que determinou a instituição do prêmio Deutsch. De fato, com a travessia que fiz de Paris, começou-se a discutir se seria possível ir de um ponto a outro e voltar ao de partida, em balão.”* (DUMONT, 1918, p. 22).

Entusiasmado, Santos Dumont parte para a construção do N^o 4, que seria um melhoramento dos demais com o intuito de ganhar o Prêmio Deutsch. Este ficaria pronto em agosto de 1900. Era o primeiro balão dirigível que nascia dentro de seu próprio hangar, também o maior de todos construídos até então, com 420 m³ de volume, 29 metros de comprimento e 5,6 metros de diâmetro. Trazia ainda uma quilha e um leme horizontal de 7 metros quadrados. A partir dele, Santos Dumont não precisaria mais comandar seus vôos em pé, senão de uma posição mais confortável, sentado em um selim de bicicleta.

A terrível e interminável noite em que Santos Dumont passou em pé na nacela de seu balão, em meio à tempestade, deve ter sem dúvida colaborado para que esta idéia lhe viesse à tona. De seu assento, o piloto podia controlar o leme e por meio de um inteligente sistema de cordas, operado tanto pelas mãos como pelos pés, acionar o motor a gasolina, abrir e fechar as válvulas de gás e as torneiras para livrar-se do lastro de água que, por sua vez, era armazenada em dois reservatórios feitos de cobre muito leve, com capacidade para 54 litros cada um, uma grande inovação, posto que os balões até então só houvesse se valido de lastros de areia.

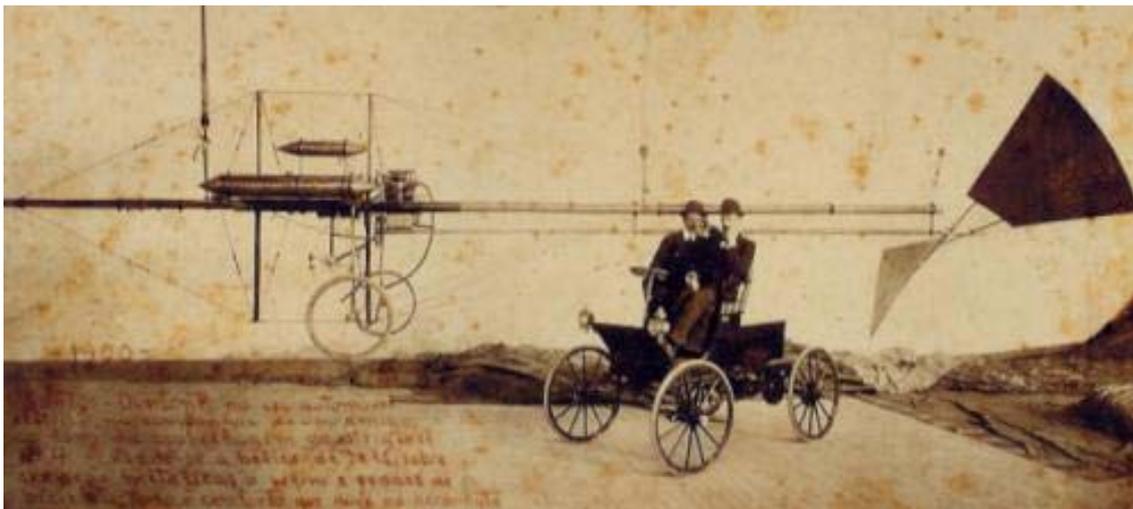


Fig. 17 - Em 1900, Dumont em seu automóvel elétrico, tendo ao fundo a estrutura do dirigível N^o 4. Disponível em <http://www.museutec.org.br/resgatememoria2002/old/biografi/dumonts/007.html>

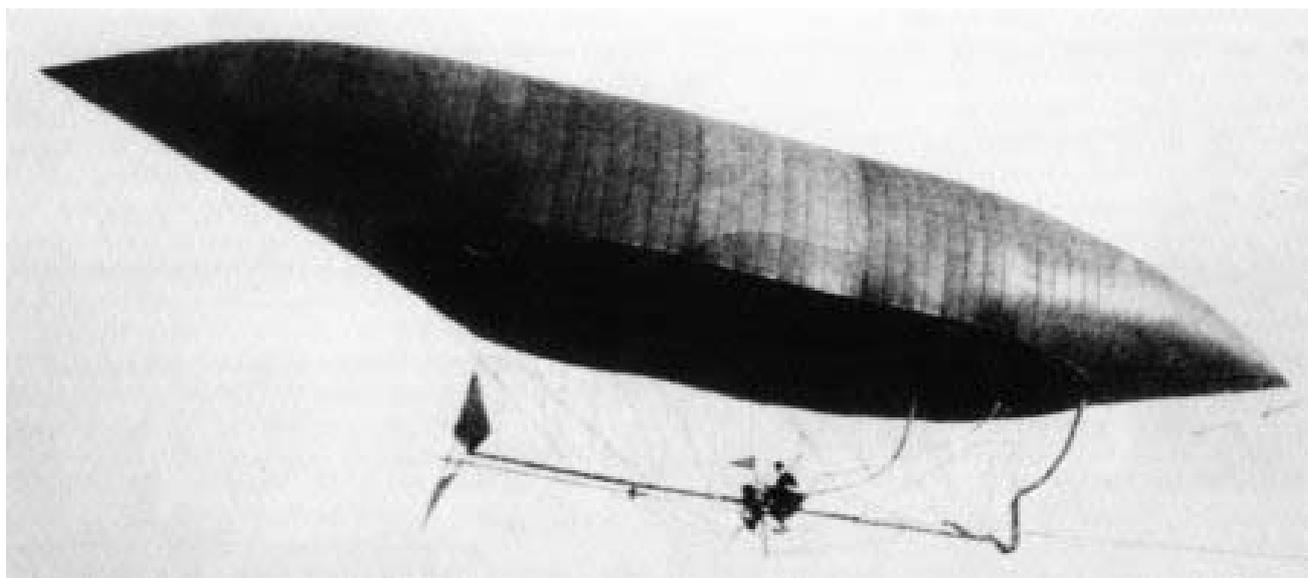


Fig. 18 - Dirigível N^o 4 em pleno vôo. Disponível em http://www.cabangu.com.br/pai_da_aviacao/3-dirig/a%20fazer/

No dia 1^o de agosto de 1900, o N^o 4 ficou pronto, ainda em tempo de ser apresentado à comissão do Congresso Internacional da Aeronáutica. O aparelho se pos nos ares e seguiu rumo a Torre. No percurso de volta, um defeito no leme, ameaçando causar um acidente, fez com que Santos Dumont perdesse altura e fosse obrigado a pousar. Pelo seu esforço Alberto recebeu os juros acumulados pelo prêmio: 4 000 francos.

De imediato Santos Dumont instituiu um prêmio no mesmo valor para quem contornasse a Torre Eiffel, mas, sem o limite de 30 minutos estabelecidos pelo *Prêmio Deutsch* e, que ele próprio não poderia concorrer. Tratava-se de um desafio idêntico ao do Grande Prêmio. Apesar de ser uma competição fácil de ganhar, nenhum aeronauta foi capaz de realizá-lo. Quem voava era ele, Santos Dumont, ninguém mais.

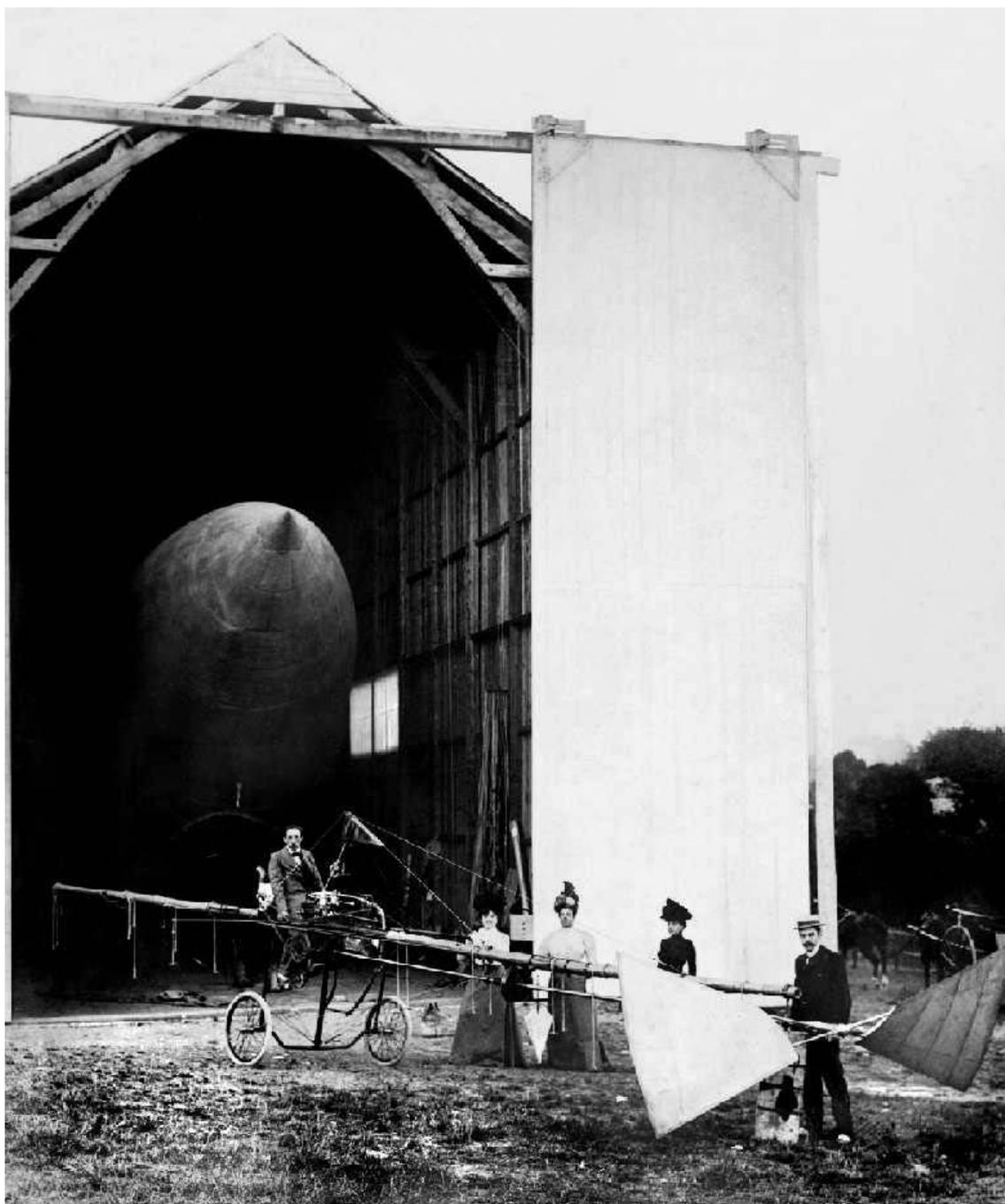


Fig. 19 – O dirigível Nº 4 no hangar. Disponível em http://www.cabangu.com.br/pai_da_aviacao/3-dirig/a%20fazer/

Com o rigoroso inverno daquela época, os testes aéreos ficaram suspensos. O dirigível Nº 5 somente ficaria pronto no verão do ano seguinte. O quinto balão era essencialmente o quarto, mas, aperfeiçoado. Dumont resolveu aumentar a potência do motor e cortou o balão ao meio, aumentando a cubagem do envelope para 500 metros. Um novo balão, com algumas inovações. Voltava à hélice para a popa, voltava à barquinha, e surgia uma quilha de pinho e o emprego de lastro líquido: 54 litros de água. As cordas eram substituídas por encordoamento de piano, de maior resistência.

“Durante o inverno pus em construção o meu famoso Nº 5, que experimentei no Parque do Aero Club. Em 12 de julho de 1901, às 3 horas da madrugada, auxiliado por alguns amigos e meus mecânicos, levei-os para o Hipódromo de Longchamps; comecei a fazer pequenos círculos com o dirigível, que era verdadeiramente dócil; fui ao bairro de Puteaux e evoluía por cima de suas inúmeras usinas quando, de repente, ouço um barulho terrível: uma a uma todas as usinas tinham posto a funcionar seus apitos e sirenes. Fiz duas ou três voltas e cheguei novamente a Longchamps. Fiz um conciliábulo com meus amigos. Pretendia fazer a volta à Torre Eiffel; eles me querem dissuadir disso, por não estar presente a Comissão do Aero Club. “ (DUMONT, 1918, p. 23).

Mas teimoso que era:

“Não me pude conter; o esporte me atraía; parti. Tudo correu bem até as alturas do Trocadero, quando senti que o balão não me obedecia mais. Arrebentara-se o cabo que ligava a roda do governo ao leme da aeronave. Diminuo completamente a velocidade do motor e manobro para tocar em terra. Fui muito feliz, desci mesmo no jardim do Trocadero, onde, por ser ainda muito cedo, havia muito poucas pessoas. A ruptura se dera em ponto dificilmente acessível; era necessário uma escada. Vão buscá-la; quatro a cinco pessoas a sustem de pé e, por ela, consigo subir e consertar o cabo. Parti de novo, circunaveguei a torre e voltei diretamente a Longchamps, onde já havia muita gente à minha espera, inquieta da demora. Foi um sucesso colossal quando cheguei e parei o motor. Nesse mesmo dia a imprensa anunciava ao mundo inteiro que estava resolvido o problema da dirigibilidade dos balões.” (DUMONT, 1918, p. 24-5).

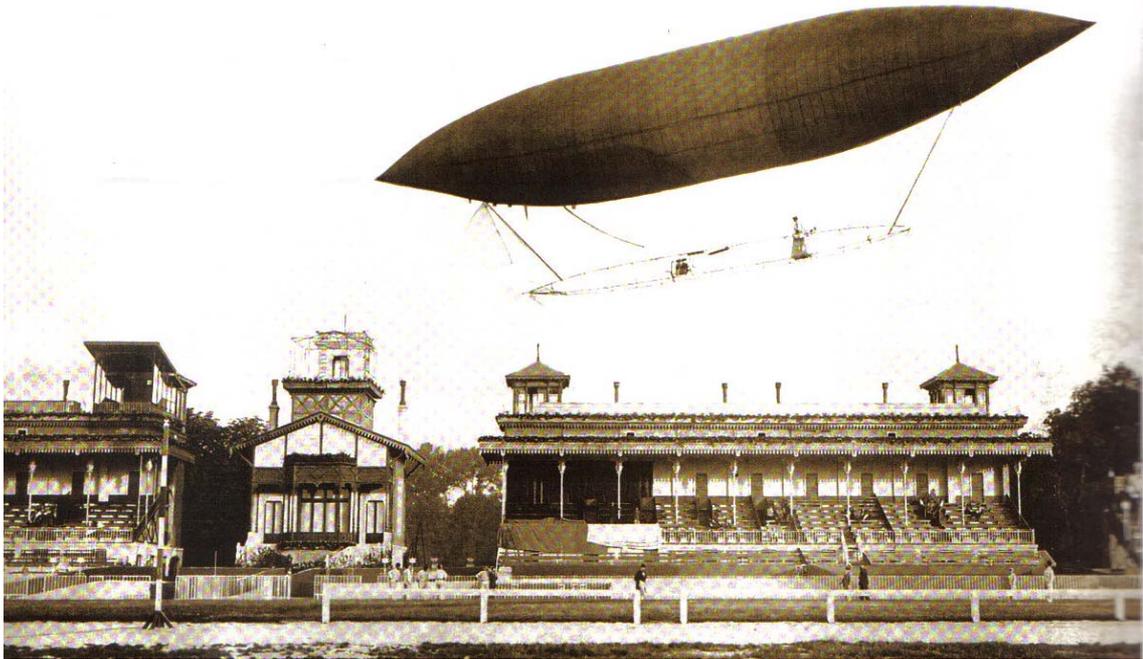


Fig. 20 – Dirigível Nº 5 realizando evoluções em *Longchamps*, em 1901. Disponível em BARROS, 2006.

O Dirigível Nº 5 embora popular, teve vida curta, foi construído para ganhar o Prêmio Deutsch e tinha cada uma de suas partes cuidadosamente projetada e construída para esta finalidade. Na primeira tentativa no dia 13 de julho, ele se apresentou ao público. O motor mostrou não ter potência suficiente para vencer os 30 minutos. O vento no percurso de volta era muito forte, e o motor apresentou problemas. Santos Dumont não teve escolha, o dirigível fora de controle cai e sofre várias avarias e seu invólucro ganhou um enorme rasgo.

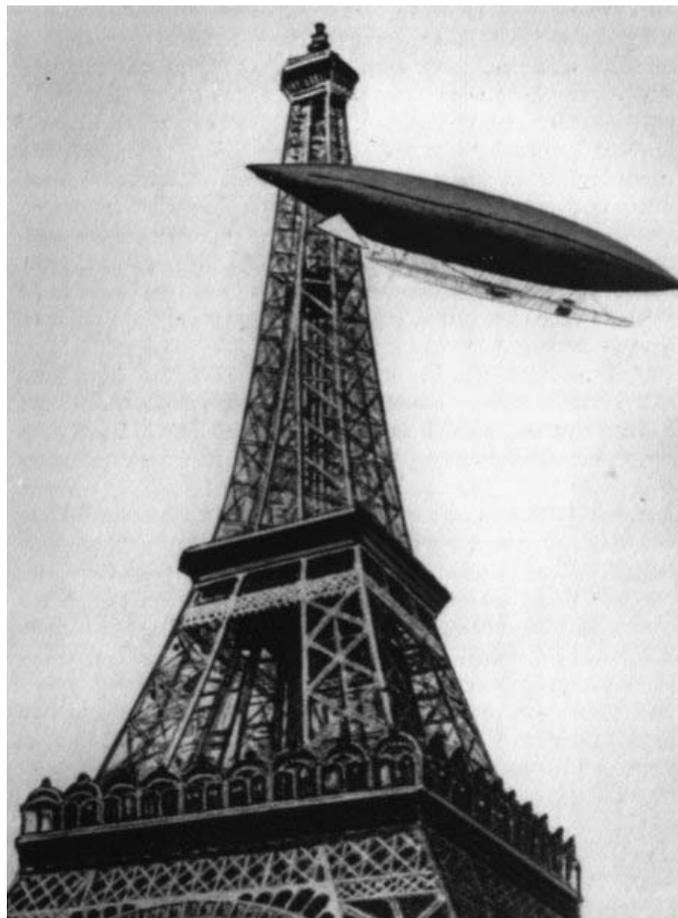


Fig. 21 – Dirigível N^o 5 na tentativa de ganhar o Prêmio Deustch. Disponível em http://www.cabangu.com.br/pai_da_aviacao/3-dirig/a%20fazer/

“Alguns dias mais tarde, ganha uma medalha para levar no pulso. Com ela, um pequeno bilhete:” (BARROS, 2006, p. 163).

“1 de Agosto de 1901.

7, Boulevard de Boulogne, Boulogne-sur-Siene.

Senhor Santos Dumont, Eis uma medalha de S. Bento, padroeiro contra os acidentes. Aceite-a, e traga-a ao relógio, carteira ou ao pescoço. Envio-a pensando em sua boa mãe, e pedindo a Deus que sempre o proteja e o faça trabalhar para glória de nossa pátria. Creia em toda a minha simpatia. Isabel, Condessa d’ Eu.” (Aerophile, Aout 1901, p. 193 in BARROS, 2006, p. 163).

Daquele dia em diante Santos Dumont carregaria a medalha em todas as situações.



Fig. 22 – Medalha oferecida pela Condessa Isabel a Santos Dumont. Disponível em DUMONT, 1918.

O acidente mais grave que ocorreu com Santos Dumont, foi com o N^o 5. No dia 8 de agosto, repetindo o ritual de sempre, Santos Dumont levanta vôo. A comissão em terra observava, enquanto o cronômetro girava. O N^o 5 logo chegou a Torre, uma multidão abaixo acompanhava tudo e vibrava com o feito, mas, quando se prepara para retornar; foi quando começou a apresenta problemas:

“Arrisquei prosseguir. O balão contraía-se, no entanto, visivelmente, a tal ponto que, ao alcançar as fortificações de Pais, perto de La Muette, as cordas de suspensão arqueavam-se tanto que as mais vizinhas do propulsor engancharam-se na hélice em marcha. Vi o propulsor cortá-las e arrancá-las. Parei de imediato o motor. O vento, que soprava com força, levou instantaneamente o aparelho para o lado da torre Eiffel. Ao mesmo tempo, eu caía. A perda de gás era considerável. Teria podido atirar fora muito lastro e amortecer sensivelmente a queda, mas assim o vento teria azo de me jogar contra os ferros do grande monumento. Preferia deixar a aeronave ir a seu modo... Eu caía. E o vento me levava para a torre Eiffel (...) a extremidade do meu balão alongado, que conservava ainda todo o gás, foi bater contra um telhado, mesmo no momento de franqueá-lo. O balão estourou.”
(DUMONT, 1973, p. 179-80).

O barulho da explosão foi ouvido pelos bombeiros da Estação de Passy. O choque se deu contra o Grande Hotel Trocadero, que ele já se enroscara, antes da primeira tentativa. O balão estava todo destruído e, Santos Dumont, preso na cesta a uma altura de 15 metros. Santos Dumont não morrerá por conta do que o destino o reservará para o futuro, difícil não dizer que foi um milagre. Ele não explodiu com o balão e, nem caiu da cesta.



Fig. 23 – O Nº 5 destruído no Hotel Trocadero. Santos Dumont dependurado aguarda por socorro. Disponível em PIMENTEL, 2006.

4.5 A Conquista do Prêmio Deutsch. O Fim da Tirania dos Ventos

Desistir era o mais sensato depois de tal acidente, seria compreensivo para todos, mas com certeza Santos Dumont não pensava assim. Agradeceu aos bombeiros pela sua agilidade, arcou com os estragos do hotel (150 francos pagos sem problema) e, partiu para a construção do N^o 6, anunciando a todos, naquela mesma noite, que ganharia o Prêmio Deutsch com ele.

Vinte e dois dias depois, estava pronto o dirigível N^o 6. Era um aparelho de 33 metros de comprimento no eixo e terminava em cone à frente e atrás. Para enfrentar o problema de perda de forma, causadora de diversos acidentes sofridos pelo inventor, Dumont concebeu um balão compensador no interior do invólucro, com 60 metros cúbicos de capacidade. Esse balão seria alimentado de ar constantemente por um ventilador que trabalharia continuamente, acionado pelo motor, independente da contração do hidrogênio. O excesso de ar seria expulso por um sistema de válvula. O N^o 6 tinha 622 m³, e a propulsão ficava a cargo de um motor de quatro cilindros, de 12 cavalos de força, refrigerado a água.

No dia 6 de setembro o N^o 6 decola, mas o cabo pendente enrosca-se em fios telegráficos, e o balão esbarra numa casa. O vôo é abortado. No dia seguinte numa reunião do aeroclube, os membros da comissão tomaram uma decisão incompreensível; mudaram o regulamento do Prêmio e passaram a exigir que o dirigível devesse parar ao final do percurso. Com isso toda a manobra de pouso entraria para a contagem do tempo. Se trinta minutos eram difíceis, agora ficava praticamente impossível. Santos Dumont protesta veementemente. Como se mudam as regras no meio do jogo?

“Na época em que foi fixado o texto primitivo, a aterragem de um balão dirigível vindo a grande velocidade da torre para o parque era a rigor, possível apesar da terrível travessia do vale do Sena, cujo corrente de ar úmido perturba, no momento decisivo, o equilíbrio aerostático.

Agindo com precisão, podia-se tentar a aproximação do lado do aqueduto das águas do Avre, apesar da exigüidade do terreno encaixado entre os fios telegráficos e os cabos elétricos de alta tensão, entre uma linha de bondes e uma estrada de ferro. Na opinião de todos os aeronautas que interroguei, esse recurso acaba de ser suprimido com a construção do hangar de Deutsch, de 27 metros de altura por 60 metros de comprimento, que impede o acesso ao parque (...) eu sei por que lá já me quebrei duas vezes (...) as impossibilidades só fazem crescer depois que as picaretas dos trabalhadores lá cavaram temíveis trincheiras (...). Meus operários já correm riscos nesses buracos durante as manobras de partida (...). Além do mais, nos hipódromos o cronometrista marca o tempo no momento em que o jóquei atravessa a linha de chegada e não no momento em que, parando sua montaria, ele entrega as rédeas ao palaferneiro (Lavenère-Wanderley, 1980, p.19).

E conclui sem meias palavras: E se, porventura, a minha corda-guia tocar a terra nesse momento, eu proíbo, desde agora, aos meus operários de me fazerem parar na passagem, reservando-me o direito de regressar sem preocupação de tempo e aterrar quando julgar conveniente (Lavenère-Wanderley, 1980; p. 19). Com a atitude, Santos Dumont enfrenta os membros da comissão e já manifesta alguma decepção com o aeroclube. Mas, apesar de não se submeter ao novo regulamento, ele não deixa dúvidas de que está na competição: De qualquer maneira, o meu balão estará reparado no fim desta semana e espero poder continuar as minhas experiências aeronáuticas no próximo domingo (idem).” (BARROS, 2006, p. 168).

No dia 19 de outubro o N^o 6 decola em direção a Torre. A partida se deu às 2h e 40 min, em nove minutos o dirigível chega a Torre. Na volta o vento contra, não facilita o retorno e Santos Dumont vê seu motor brigar com o vento, ameaçando parar. Com toda velocidade o N^o 6 avança sobre a linha de chegada, o aeronauta manobrou o aparelho e parou ao mesmo tempo que os ponteiros do cronômetro param. Ainda dentro da cesta Santos Dumont pergunta. “Não sabia ainda qual o tempo exato. Gritei: Ganhei? Foi a multidão que respondeu: Sim!” (DUMONT, 1973, p. 183). Mas Santos Dumont tinha parado trinta segundos após o tempo de 30 minutos e, alguns membros da comissão não concordaram em dar o Prêmio.

Neste momento Santos Dumont, rancoroso, lembrou que o prêmio seria dividido entre seus operários e os operários parisienses. Contaria com a pressão pública. Pouco conformado só tinha que esperar a reunião da comissão para tomarem uma decisão. No dia 4 de novembro o Aeroclub de França divulgou o resultado oficial e, decidiram por conceder a vitória e o Prêmio para Santos Dumont. No mesmo dia o inventor mandou um telegrama seco para o aeroclube: *Paris, 4 de novembro, tarde. Senhor Presidente do Aeroclub, tenho a honra de apresentar o meu pedido de demissão irrevogável de membro do Aeroclub. Santos Dumont (Le Petit Parisien, 06/nov/1901).*

Dos 129 mil francos recebidos pelo Prêmio, 50 mil francos foram destinados aos seus mecânicos e empregados. O restante, Santos Dumont entregou a *Monsieur Lapine*, chefe de polícia de Paris, para que fossem distribuídos, com a maior justiça possível, entre os pobres da cidade. Santos Dumont era tomado como uma pessoa de referência para as decisões, os homens imitavam suas atitudes e vestimentas, as mulheres lançavam-se aos seus pés. Recebeu de Thomas Alva Edison uma carta de congratulações pelo feito com o N^o 5. A imprensa norte americana o chamava de *King of the Air* e estampavam a frase em manchetes. Daí para frente sua presença será notícia onde estiver. Todos querem conhecê-lo e ver suas demonstrações.



Fig. 24 – Dumont contorna a Torre Eiffel no dia 19 de outubro de 1901. Disponível em BARROS, 2006.

Seu país de origem o homenageia com um prêmio: *"Pela mesma época, recebi outro grande prêmio, tão lisonjeiro quanto inesperado. Quero referir-me à quantia de cem contos de réis (125 mil francos) que me concedeu o governo de meu país. Juntamente com o dinheiro foi-me concedida uma medalha de ouro de grande modelo, muito bem desenhada, gravada e cunhada no Brasil. O verso representa minha humilde pessoa conduzida pela 'Vitória' e coroada pela 'Fama'. Por cima de um sol nascente está gravado, com ligeira variante por mim introduzida e tal qual flutuava na longa flâmula de minha aeronave, o verso de Camões: 'Por céus nunca dantes*

navegados'. O reverso traz a inscrição: O Presidente da República dos Estados Unidos do Brasil, Dr. Manuel Ferraz de Campos Salles fez gravar e cunhar esta medalha em honra de Alberto Santos Dumont – 19 de outubro de 1901.” (DUMONT, 1973, p. 190).



Fig. 25 - Capa da revista *Figaro Illustré*, editada em Paris, com a fotografia de Santos Dumont realizando um vôo no dirigível Nº 6. Disponível em <http://www.museutec.org.br/resgatememoria2002/old/biografi/dumonts/007.html>

Ainda em 1901, visitou a Inglaterra, onde perdera o balão vencedor na Baía de Mônaco. Conhecido mundialmente, não esmorece e continua a produção de seus dirigíveis. Tinha tido uma boa lição com o N^o 6. Santos Dumont aprimorou o espaço inflado de seus dirigíveis, construindo-os desde então com divisões internas, compartimentos cujas paredes eram feitas de papel de seda não envernizado, possibilitando assim que o gás hidrogênio se difundisse por osmose através dele, distribuindo-se e equilibrando sua pressão interna de modo homogêneo.

Ao retornar a Paris após sua breve passagem em Mônaco, recebe a notícia da morte de sua mãe. Bastante debilitada e já cega, afundada em um grave estado neurastênico e depressivo, acabava de suicidar-se em Portugal, na cidade do Porto. O inventor dá uma pausa e somente meses depois retorna aos seus trabalhos com o N^o 7, inteiramente destinado à competição que irá realizar-se em 1904 em Saint-Louis, nos EUA. Mas, que não chega a disputar, pois, o seu dirigível é rasgado na noite anterior à competição. Retorna dos EUA muito chateado e, parte para a construção do N^o 9.

Nas pesquisas realizadas por este autor, percebeu-se que Santos Dumont não faz referências à construção do dirigível N^o 8, o autor Pimentel, justifica o fato do inventor ser supersticioso. “... *tinha aversão a certos números, principalmente o oito. Alguns interpretam que sua rejeição ao oito resulte do histórico acidente ocorrido em 8 de agosto, no qual foi parar preso a uma janela do hotel Trocadero.*” (PIMENTEL, 2006, p. 111). Já Barros (2006), escreve que Alberto teria feito e vendido, “... *ao vice-presidente do Aeroclub dos Estados Unidos, senhor Boyce, e caiu nas proximidades de Nova Iorque.*” (BARROS, 2006, p. 176). Nos livros escritos por Santos Dumont: *Os meus Balões* e, *O que eu Vi o que nós Veremos* não foi verificado por este autor a referência ao N^o 8, mas sim, aos dirigíveis de N^o 7 e N^o 9. Seria necessário uma pesquisa mais ampla para por fim à dúvida.

O N^o 9 foi o balão dos seus sonhos destinado ao vôo individual e ao seu lazer. Apelidado por ele de *Balladeuse* (Passeadeira) “*numa alusão aos pequenos veículos que transportavam uma só pessoa...*” (BARROS, 2006, p. 176). Com ele visitava amigos em seus castelos, descia para tomar chá nos principais restaurantes, participou do desfile das comemorações da "Queda da Bastilha" em 14 de julho de

1903, e fez ascensões noturnas. Também levou como passageiro o menino *Clarkson Potter*, e ainda foi neste dirigível que permitiu que outra pessoa dirigisse um veículo aéreo seu, a cubana Aida de Acosta, a primeira mulher a pilotar uma aeronave no mundo.

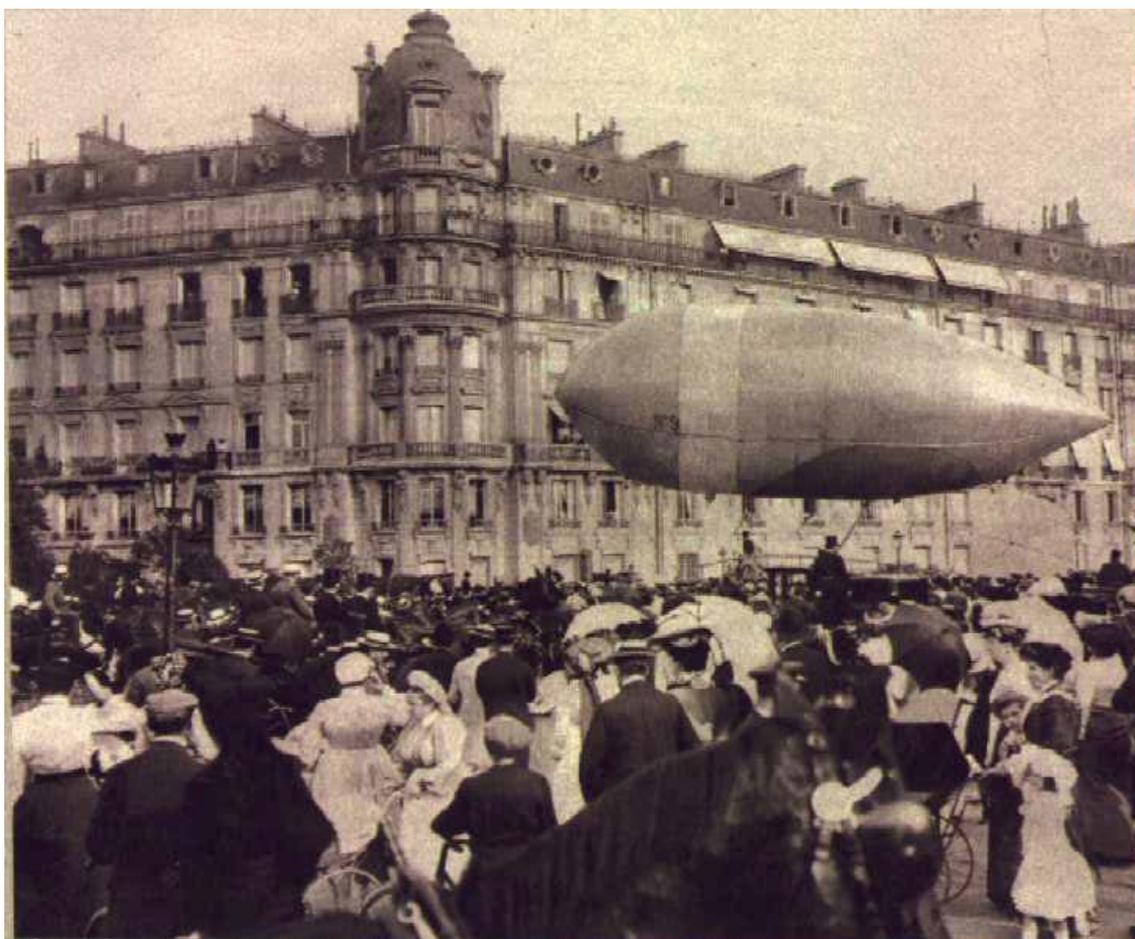


Fig. 26 – Dirigível Nº 9 na praça. Disponível em http://www.cabangu.com.br/pai_da_aviacao/3-dirig/a%20fazer/



Fig. 27 - Santos Dumont pára com o N^o 9 em *Longchamps*, em 26 de junho de 1903, e convida um menino para subir a bordo. Disponível em BARROS 2006.



Fig. 28 – Dirigível N^o 9 realizando um vôo baixo. Disponível em http://www.cabangu.com.br/pai_da_aviacao/3-dirig/a%20fazer/

O dirigível N^o 10 era um grande aparelho de 2010 metros cúbicos, que poderia levar quatro ou cinco passageiros em cada barquinha, num total de 20 pessoas. Dumont acreditava poder levar passageiros no que seria o primeiro "ônibus aéreo do futuro". Logo, apelidou de *Omnibus*. Apesar de que nunca colocou o projeto do *Omnibus* em prática.

“Como todos sabem, o restaurante da Cascade é próximo de Longchamps. Enquanto almoçávamos, oficiais superiores do Exército Francês, ocupados em marcar a colocação das tropas para a grande revista de 14 de julho, avistaram a aeronave e aproximando-se, puseram-se a examiná-la. — O senhor vai trazê-la á revista? Perguntaram-me eles. Já no ano precedente haviam pensado numa demonstração de aeronaves em presença do exército. Eu hesitava, por motivos fáceis de compreender. Após a visita do rei da Inglaterra quiseram saber por que minha aeronave não havia desfilado em honra dele. E procuravam saber quais eram os meus planos para a visita do rei da Itália, anunciada para esse 14 de julho. Respondi aos oficiais que não podia assumir compromisso, pois ignorava a maneira pela qual seria recebida essa minha manifestação. Aleguei, sobretudo que o "N^o 9" — única aeronave da minha flotilha realmente em atividade — não sendo apropriada para lutar contra os grandes ventos; eu não tinha nenhuma certeza de poder sustentar uma promessa. Os oficiais insistiram. Pediram que, de qualquer modo, eu escolhesse um lugar para a aterragem, o qual, desde logo, ficaria reservado. E como eu continuasse invocando a improbabilidade de poder corresponder ao amável convite, eles próprios escolheram e marcaram uma área, defronte da que devia ocupar o presidente da Republica, afim de que o Sr. Loubet e sua comitiva pudessem acompanhar perfeitamente as evoluções da aeronave.” (DUMONT, 1973, p. 224-5).

Logo depois, escreveu uma carta ao ministro da guerra francês, oferecendo sua colaboração, e seus dirigíveis para emprego pela França em caso de guerra, exceto aquelas que se realizassem contra países do continente americano.

Alguns dias mais tarde, recebeu a seguinte carta:

"Ministério da Guerra. Gabinete do Ministro.

Paris, 18 de julho de 1903.

Senhor

Durante a revista de 14 de julho, verifiquei e admirei a segurança com que evoluía o balão por vós dirigido. Seria impossível não constatar os progressos de que dotastes a navegação aérea. Parece que, graças a vós, ela deve prestar-se de hoje em diante á aplicações práticas, sobretudo no ponto de vista militar. Acredito que a este respeito ela pode prestar importantes serviços em tempo de guerra. E sinto-me muito feliz em aceitar o vosso oferecimento de, em caso de necessidade, pôr vossa flotilha aérea á disposição do governo da República, e, em seu nome, agradeço vosso generoso gesto, que testemunha vossa viva simpatia pela França. Designei o chefe de batalhão Hirschauer, comandante do batalhão aerostático do 1º regimento de engenharia militar para examinar, de acordo convosco, as disposições a tomar para pôr em execução as intenções que me manifestastes. O tenente-coronel Bourdeaux, subchefe do meu gabinete, reunir-se-á, a este oficial superior, a fim de me trazer pessoalmente ao corrente dos resultados da vossa colaboração. "Recebei, senhor, os protestos da minha mais alta consideração." (DUMONT, 1973, p.228).

General ANDRÉ

Com a colaboração de Dumont, foi construído um dirigível militar, a aeronave *Patrie*. Foram realizadas experiências para determinar a possibilidade de emprego de dirigíveis em caso de conflito. O maior interesse do Ministério da Guerra francês residia no rompimento de cercos. Dessa forma, o inventor deveria sair de Paris de trem, com o balão desmontado, atingir a um determinado ponto, montar o dirigível e romper um hipotético cerco inimigo sobre uma cidade especificada, em um tempo máximo dado.

Dumont acreditava que, durante uma fase inicial, o emprego dos dirigíveis seria, fundamentalmente, de natureza militar. Em 1902, ele afirma que *"ainda por algum tempo o dirigível terá seu melhor aproveitamento para operações bélicas, mas em seguida se desenvolverão aplicações mercantis"*. (DUMONT, 1973, p. 230).



Fig. 29 – Dirigível N^o 10 deixando o hangar. Disponível em <http://www.museutec.org.br/resgatememoria2002/old/biografi/dumonts/012.html>

Durante a Primeira Guerra Mundial, os dirigíveis foram efetivamente utilizados, tendo sido abatidos trinta e dois desses aparelhos. Em 19 de outubro de 1917, uma esquadrilha composta de onze deles rumou para a Inglaterra com a missão de bombardear cidades. Cinco deles foram abatidos pelos ingleses, e os demais voltaram a seus hangares na Alemanha.

O pacto de rendição da Alemanha determinou a entrega de vários aparelhos à França, Inglaterra, Estados Unidos e Bélgica, e proibiu que a Alemanha fabricasse novos dirigíveis. A Primeira Guerra assinala a passagem de uma fase experimental e pioneira, para uma de uso militar sistemático de aeronaves. Depois da guerra, os dirigíveis vieram a ser utilizados em transporte de passageiros à longa distância.

4.6 A Invenção do Avião. O Despertar de um Pássaro

No aeroclube da França, as discussões caminhavam para a questão do mais pesado que o ar. Apesar de Santos Dumont estar afastado do clube, ele mantinha contato com os principais membros e sabia que o futuro da aeronáutica apontava para os aparelhos mais pesados que o ar. E é bom que se esclareça aqui de uma vez por todas: planadores não eram novidades. Já havia pelo mundo, desde meados do século passado, vários aventureiros arriscando-se com eles em vôos dos mais atabalhoados; o que ninguém ainda havia alcançado era o êxito em voar em um desses aeroplanos que fosse movido a motor e que se erguesse do solo por meios próprios, sem qualquer auxílio de impulsores como a catapulta, por exemplo.

“Desde Lilienthal, passando pelos modelos de Chanute, os planadores de Pilcher e os modelos dos americanos Orville e Wilbur Wright mostravam que era possível manter-se no ar por alguns segundos e percorrer algumas centenas de metros.” (BARROS, 2006, p. 185).

No segundo semestre de 1904, Santos Dumont publica em Paris, seu segundo livro, o autobiográfico *Dans L’Air*. No início do ano seguinte projeta seu N^o 11 que, entretanto, nem chegaria a voar. Por seus planos, que restariam no papel, já se podia perceber que o vôo em um aparelho mais pesado que o ar fosse questão de muito pouco tempo, visto que o N^o 11 nem mesmo balão era, senão um monoplane bimotores! Partes desses estudos seriam retomados e muito contribuiriam para o sucesso de seu 14bis.

Também os projetos do N^o 12 não chegariam a ser concluídos. Encarregar-se deles serviu-lhe apenas como mais uma proveitosa experiência: era o protótipo de um helicóptero! Os gênios de Da Vinci e de Júlio Verne encontravam cada vez maior satisfação em sua alma de aeronauta. O N^o 13 seria finalizado na oficina de seu aeródromo, já no encerrar daquele ano de 1904. Consistia em um aeróstato que deveria se elevar aos céus por meio de dois balões que trabalhavam conjuntamente, um de hidrogênio e o outro de ar quente. Mas os testes com o aparelho não foram nada satisfatórios. Dumont viu aí um sinal; compreendeu que talvez tivesse se

excedido em seus planos. O fiasco em que se revelara o N^o 13 ao menos lhe prestava para corrigir o curso de suas pesquisas.

O N^o 14 nascia em junho de 1905. Era um dirigível de cubagem reduzida, 186 m³, movido por um motor Peugeot de 2 cilindros e 14 HP, cuja grande inovação era a de trazer uma hélice que, colocada na proa, permitia-lhe uma navegabilidade excepcional mesmo em situações de vento adverso.

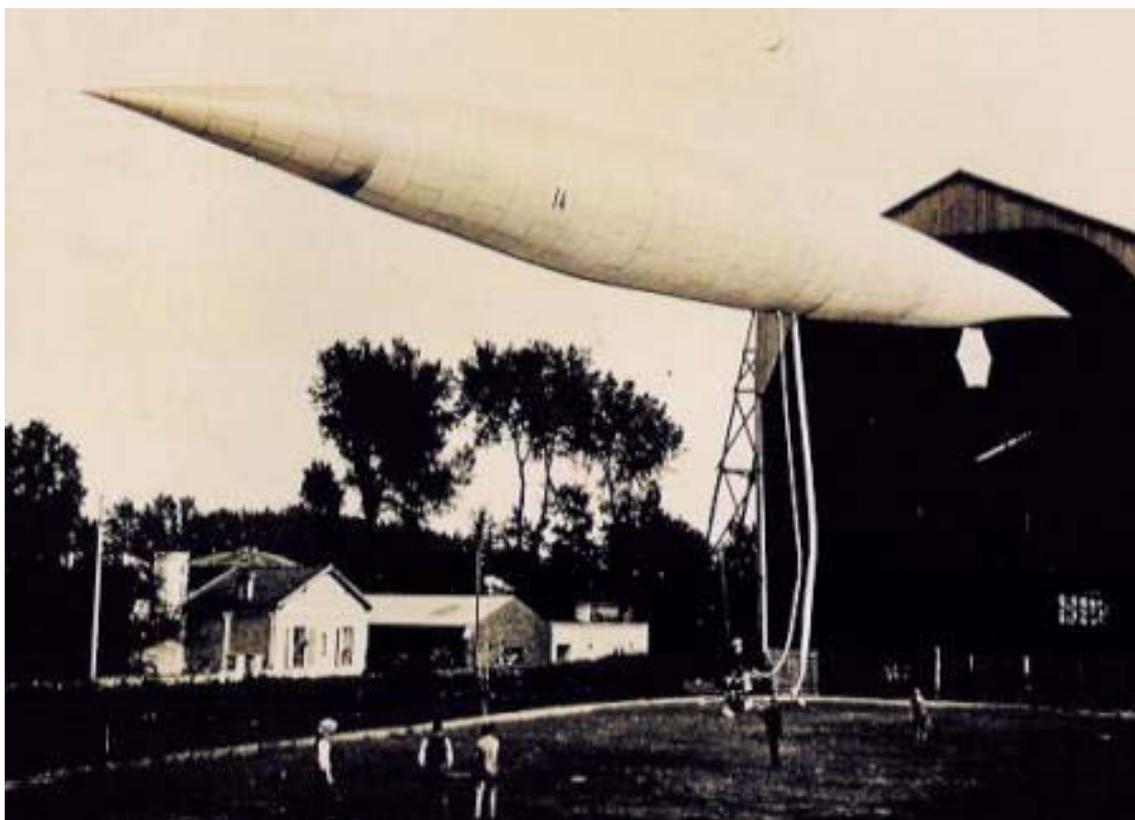


Fig. 30 – Dirigível N^o 14. Disponível em <http://www.museutec.org.br/resgatememoria2002/old/biografi/dumonts/012.html>

Alberto resolve testá-lo na bela praia de *Trouville*, situada ao norte, na Baía do Sena, em sua desembocadura para o Canal da Mancha. A escolha fora intuitivamente acertada; como sempre, uma multidão rodeava-o em seus preparativos para os exercícios de vôo e, justamente em uma dessas manhãs em que preparava seu balão, conheceu *monsieur Leon Levasseur*, mecânico construtor de motores. *Levasseur* era um homem inteligente, artesanalmente, havia acabado de fabricar seu *Antoinette*, uma bela engenhoca de 25 HP, que dava conta de fazer correr sua lancha de navegação costeira.

Quis apresentar o modelo a Alberto. O inventor acercou-se com o máximo interesse do mecânico e com ele discutiu detalhes de seu motor a gasolina. Para Dumont tudo estava claro, estava pronto finalmente para seu passo decisivo. Mais que um passo, seria um salto; mais que um salto, um vôo! Tinha tido naquele instante a idéia de acoplar o *Antoinette* a seu próximo projeto, que seria um planador, inspirado no N^o 11 que havia sido abandonado incólume sobre as planilhas.



Fig. 31 – O helicóptero de Santos Dumont em seu hangar. Disponível em http://www.cabangu.com.br/pai_da_aviacao/3-dirig/a%20fazer/

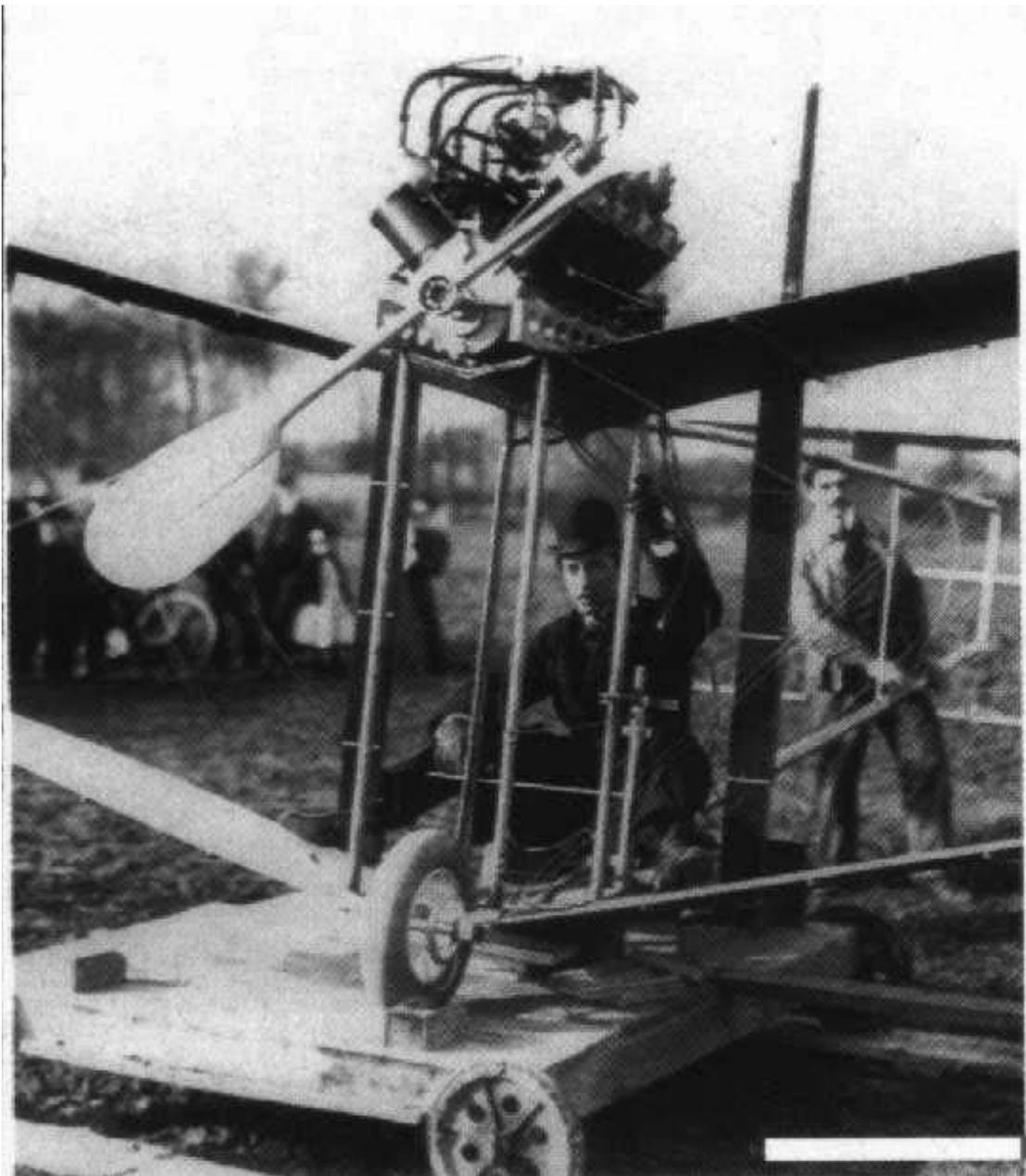


Fig. 32 – Monoplano, projeto Nº 11. Disponível em http://www.cabangu.com.br/pai_da_aviacao/

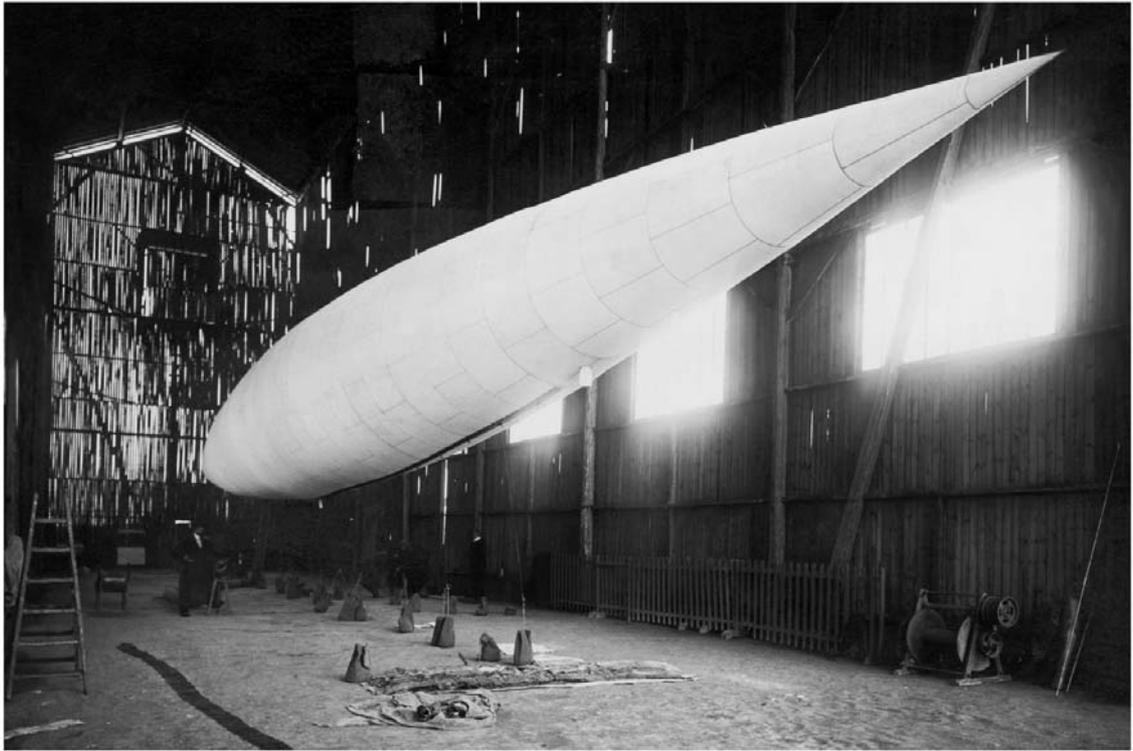


Fig. 33 – Dirigível Nº 14 no hangar. Disponível em http://www.cabangu.com.br/pai_da_aviacao/altadefinicao/

Foi nesse clima que os irmãos Wright informaram para o mundo através de um telegrama que haviam realizado um vôo com um aparelho motorizado na praia de *kitty Hawk*, na Carolina do Norte, Estados Unidos. Deram o nome de *Flyer* (voador), ao aparelho. Todos os aeronautas e interessados gostariam de ver uma demonstração nos moldes de Santos Dumont e tantos outros, mas, tal fato nunca acontecera. Os irmãos *Wright*, afirmavam que para ter uma demonstração era preciso antes de tudo comprar o aparelho.

Na mesma época novamente os irmãos *Wright* anunciaram ter realizado um vôo de 39 quilômetros em circuito fechado, com o *Flyer II*. Mas onde estavam as provas? “*Santos Dumont não se abalou. Sua posição era simples: se eles dizem estar voando, ótimo, eu acredito, mas quero ver. E ninguém viu...*” (BARROS, 2006, p. 185). Foi nesse momento que um grupo de inventores, mecenas e cientistas decidiram criar nos moldes do Comitê Olímpico, a Federação Internacional de Aeronáutica (F.A.I.), com representantes de vários países.

Pelo menos os irmãos *Wright* podem dizer que esta federação nascera por incentivos deles. Tal como Santos Dumont se referiu ao Prêmio Deutsh e à formação do Aero clube.

A F.A.I. logo se responsabilizaria por criar os critérios do que seria considerado um vôo real de um ocasional. Para espanto de todos após a criação da F.A.I., os irmãos *Wright* anunciaram a todos que estavam parando de voar?!

Enquanto isto, Santos Dumont trabalhava no seu avião, começou a construção em fins do primeiro semestre de 1906 e, no dia 18 de julho, o avião estava pronto, e de imediato se inscreveu para concorrer aos dois Prêmios laçados na época: A Taça Archdeacon, para o aparelho que voasse mais de 25 metros; e o Prêmio Aero clube da França, para aquele aparelho que atingisse marca superior a 100 metros. Nos dois casos exigia-se que o aparelho se elevasse aos céus por meios próprios, sem nenhum auxílio externo. A decolagem deveria ocorrer em tempo calmo e em terreno plano, devidamente observado por uma comissão da F.A.I. previamente comunicada. Prêmios que de forma alguma poderiam ser disputados pelo *Flyer I* ou *Flyer II*.

Em 19 de julho, um dia após inscrever-se nos concursos, inicia os ensaios. Primeiro com o avião preso ao N^o 14. Daí o nome de batismo: 14bis. *“Com esse conjunto híbrido, fiz várias experiências em Bagatelle, habituando-me, dia a dia, com o governo do aeroplano, e só quando me senti senhor das manobras é que me desfiz do balão.”* (DUMONT, 1918, p. 50).

Detalhadamente, o 14bis tinha 12 metros de uma asa à outra e 10 metros de fuselagem, de proa à popa. As folhas das asas, direita e esquerda, eram duplas e haviam sido construídas a certa distância, uma acima da outra, de modo a formar de cada lado do eixo principal da aeronave três estruturas cubóides, biplanas e vazadas, ditas células de *Hargrave* que, tendo a forma de diedros-retângulos, eram espaços bastante adequados à passagem do ar através delas, capazes de bem sustentar o aparelho durante o vôo. Uma sétima célula estava situada na proa, conferindo maior equilíbrio ao conjunto. Ademais, o material usado na construção do 14bis era também indicativo de seu espírito de originalidade: eram cabos e varetas

de pinho e de bambu amarradas em junções feitas de alumínio, o que fazia da aeronave, cujos 80 m² de superfície eram revestidos por tela fina de seda japonesa, algo bem leve, a pesar 160 quilos. Se contarmos o magérrimo piloto, 210 quilos.



Fig. 34 – O conjunto híbrido N^o 14 e 14bis. Disponível em http://www.cabangu.com.br/pai_da_aviacao/altadefinicao/

“O ponto fraco nos aeroplanos era o leme; dei, pois, sempre a maior atenção a este órgão e seus comandos, para os quais sempre empreguei os cabos de aço de 1^a qualidade que são usados pelos relojoeiros nos relógios de igreja.” (DUMONT, 1918, p. 54-5).

“Lutei, a princípio, com as maiores dificuldades para conseguir a completa obediência do aeroplano; neste meu primeiro aparelho coloquei o leme à frente, pois era crença geral, nessa época, a necessidade de assim fazer. A razão que se dava era que, colocado ele atrás, seria preciso forçar para baixo a popa do aparelho, a fim de que ele pudesse subir; não deixava de haver uma certa verdade nisso, mas as dificuldades de direção foram tão grandes que tivemos de abandonar essa

disposição do leme. Era o mesmo que tentar arremessar uma flecha com a cauda para a frente.” (DUMONT, 1918, p. 55).

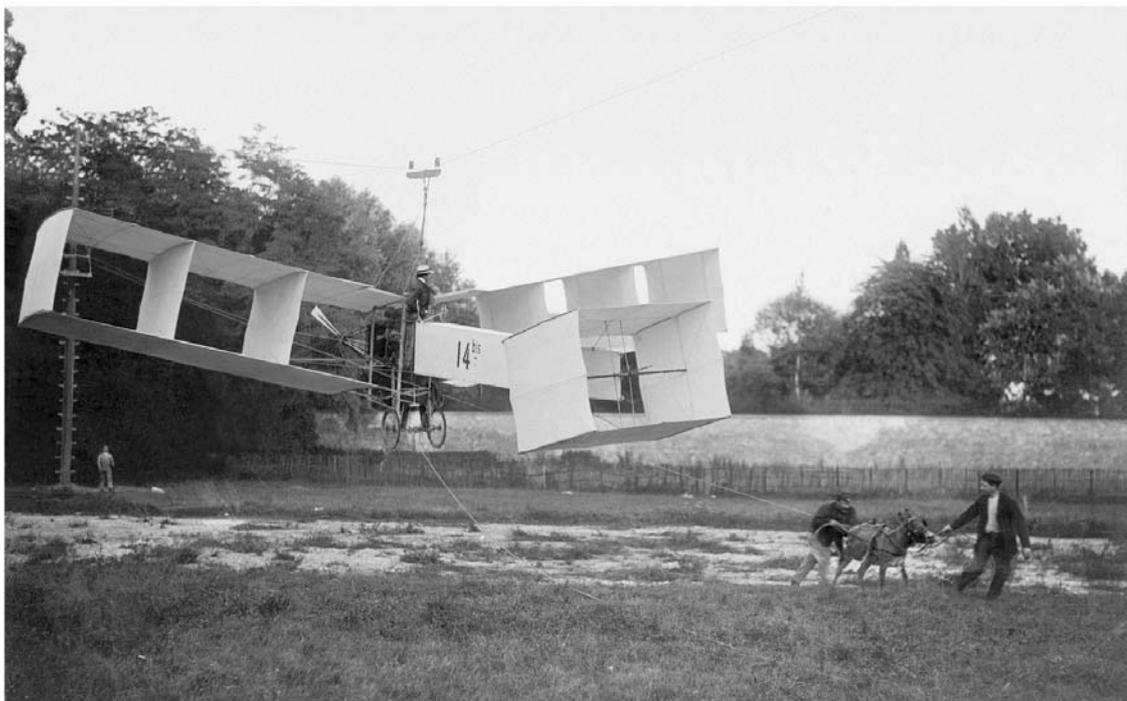


Fig. 35 – O 14bis sendo testado: tracionado por cabos e pela ajuda de um jumento. Disponível em http://www.cabangu.com.br/pai_da_aviacao

A cada ensaio, realizava alguma mudança, ficou claro para ele que o motor de 24 cv não seria suficiente, então aumentou a potência de seu *Antoinette* para 50 cv. Além disso promoveu mudanças no trem de pouso e reduziu o eixo que ligava o motor à hélice de aço. Marcou então para a manhã do dia 23 de outubro, um teste com a comissão fiscalizadora.

"Antoinette' desta vez não prega peças, solta um estampido e começa a trabalhar direito, espalhando seu estridente ruído associado a um forte cheiro de gasolina; conquanto aquele povo todo igualmente se acalora, a hélice do aeroplano responde com precisão e inicia seu giro. O aparelho trepida levemente enquanto vence a inércia e começa finalmente a se movimentar. Os relógios marcam 16h35min. Até mesmo o tempo pára neste instante, imiscuído nos hipnotizados olhares daquela multidão, para admirar um novo herói.

Dentro da máquina voadora, um calafrio percorrendo-lhe a espinha, com a respiração ansiosa, Petit Santos tem uma experiência de vívida memória e revê a imagem de seu saudoso pai... Diz para si mesmo: 'Maravilhoso seria se meu maior amigo estivesse aqui presente!' Pois fora graças ao incentivo que dele sempre recebera e, mais concretamente, devido a seus pés de café, que Santos Dumont amealhara sua fortuna, com a qual pudera patrocinar seus tantos anos de testes e gastos com pesquisas, até que pudesse criar o seu maior invento, capaz de ensinar ao homem a arte cotidiana e sublime dos pássaros... Viver não é preciso; voar é preciso..."

— *"Abram alas — continua a gritar Dumont — afastem-se todos"*.

Aos poucos, o avião vai ganhando velocidade, percorre no solo com rapidez os primeiros 200 metros e toma seu embalo. Para alegria e espanto de todos, o que parecia impossível se realiza: as testemunhas presentes vêem as duas rodas do XIV-Bis se desprendendo do chão. A terra havia sobrado, totalmente! O aeroplano sobe e continua subindo, atinge três metros de altura e voa inacreditavelmente por meios exclusivamente próprios. Pareceu a muitos que iria mais longe, mas começa a baixar e pousa sem qualquer dano a uma distância de 60 metros!

No solo, a multidão que acompanhara em absoluto silêncio aquele apreensivo momento, o minuto mais notável da história da aviação, explode em uma incontida alegria ao ver pousar suavemente aquele estranho pássaro mecânico. Havia cerca de três mil pessoas em Bagatelle." (PIMENTEL, 2006, p. 129). Santos Dumont havia ganhado o Prêmio Archdeacon e, deu os 1500 francos para o seu mecânico Chapin, para que dividisse entre seus colaboradores.

E desabafa para os críticos que sugeriram o vôo como apenas um salto. Um corpo de 210 kg que por si só salta 60 metros, critica mais incoerente! "Este meu primeiro vôo, de 60 metros, foi posto em dúvida por alguns, que o quiseram considerar apenas um salto. Eu, porém, no íntimo, estava convencido de que voara e, se me não mantive mais tempo no ar, não foi culpa de minha máquina, mas, exclusivamente minha, que perdi a direção." (DUMONT, 1918, p. 54).

Santos Dumont, aproveitando-se do ensejo, animado com a conquista da Taça Archdeacon, anunciou que se arriscaria ao Prêmio lançado pelo Aeroclube da França. Como sempre, não era propriamente o valor em jogo que o atraía, senão sua sede por romper barreiras em sua contínua escalada de consagrações oficiais. Para tanto, dedicou-se a alguns ajustes necessários ao seu 14bis.

A inovação mais genial, sem dúvida, eram os *aillérons*, elementos aeronáuticos absolutamente inéditos, introduzidos por Dumont nos diedros da extremidade de cada asa. Os *aillérons* são dispositivos móveis ou articulados que fazem parte das asas dos aviões modernos. Essas peças imprescindíveis ao vôo são responsáveis pela manutenção da estabilidade lateral do aparelho em torno de seu eixo longitudinal e principalmente úteis sempre que se exige controlar a aeronave em movimentos de inclinação para descrever curvas em rotas aéreas.

Nenhum aeronauta no mundo inteiro havia chegado sequer próximo do conceito dos *aillérons*. Só mesmo Santos Dumont, que estudara exaustivamente a dinâmica de vôo, incluindo os testes feitos em solo, em seu aeródromo, com a ajuda de um jumento e dos cabos de sustentação, é que poderia ter inventado algo assim.

Dali a 21 dias, o brasileiro estava novamente em ação. Era o 12 de novembro de 1906, de fria manhã. Novamente o Campo de Bagatelle está tomado pelo público. A comissão do Aeroclube está presente.

Desta vez, há outros dois candidatos à conquista do Prêmio. Gabriel Voisin e Louis Blériot (1872-1936), uma dupla de aeronautas franceses que haviam construído em parceria um aeroplano movido a motor de explosão. A inscrição de Dumont era anterior à de seus concorrentes, e chamado foi para lançar-se à disputa antes deles. Mas, em um gesto de cavalheirismo, concede a dupla a prerrogativa de tentar voar primeiro. A expectativa é grande. Agora, haveria realmente uma competição; Dumont não se exibiria sozinho.

Oito horas e quarenta minutos. O aeroplano francês é acionado. Começa a andar seus primeiros metros sobre o solo e... se quebra. Falha no motor. Voisin e Blériot

ainda tentam, com a ajuda de alguns mecânicos, reparar o problema. Dali a pouco anunciam: não seria possível decolar.

Às 10 horas, é Santos Dumont quem se projeta. Ele voa quase 70 metros em cinco segundos, pouco mais que sua marca anterior, mas aterrissa sem conquistar o Prêmio. Uma segunda tentativa e seu aeroplano sobe e desce, como se saltitasse, por quatro vezes. A comissão entende que ninguém decolaria naquele dia, mas Dumont insiste em realizar nova tentativa à tarde.

De novo, a multidão comparece a *Bagatelle*. Às 16 horas, Santos Dumont faz seu 14bis decolar e voa por 82 metros, e o Prêmio lhe escapa das mãos por causa de 18 metros! Vê, entretanto, que nunca esteve tão perto de alcançá-lo. Insiste em uma quarta e última tentativa; desta vez sairia não a favor, mas contra o vento. Seus adversários já ameaçavam ir embora. Contra o vento? Impossível!

Às 16h45min o 14bis é virado naquela pista improvisada de grama e, com seu motor Antoinette de 50 cv, mais uma vez se elevava do solo por seus próprios meios. Delírio geral. O piloto percorre a distância de 220 metros em 21 segundos, voando à altura de 6 metros, em uma velocidade de 41,3 km/h, pousando perfeitamente! De modo algum, aquilo poderia ser considerado um simples salto. Estabelecia-se assim o primeiro recorde de vôo, agora incontestável, da história da aviação! Ele tinha voado! Concordavam até mesmo os poucos que haviam se mostrado incrédulos diante da exibição de 23 de outubro; afinal, ele voara o dobro do percurso estipulado!

Pela terceira vez, Dumont ocuparia, no dia seguinte, as páginas dos principais jornais em todos os continentes. O *L'illustration* publicaria não só uma extensa matéria sobre o brasileiro, como várias fotos estampando em suas páginas os seus vôos, incluindo os anteriores. Santos Dumont vencera novamente!



Fig. 36 – 14bis sendo puxado com o carro de Santos Dumont. Disponível em http://www.cabangu.com.br/pai_da_aviacao/altadefinicao/



Fig. 37 – O 14bis em seu primeiro vôo de 23 de outubro de 1906. Disponível em http://www.cabangu.com.br/pai_da_aviacao

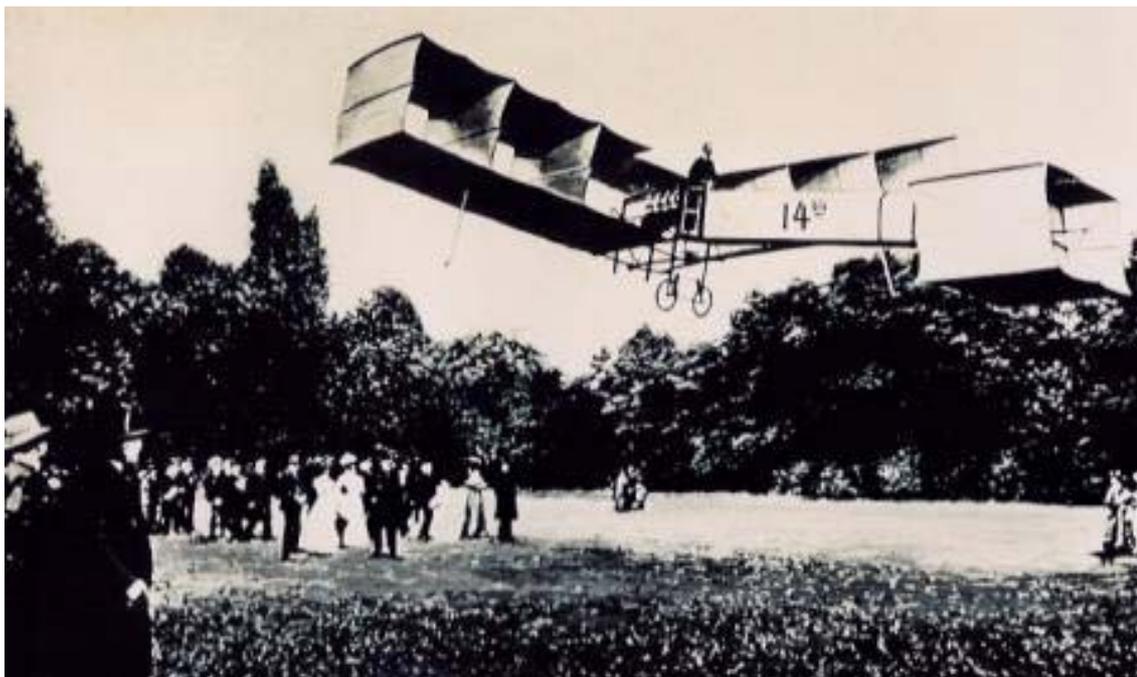


Fig. 38 – O 14bis e a conquista da Taça Archdeacon, em 12 de novembro de 1906.
Disponível em <http://www.museutec.org.br/resgatememoria2002/old/biografi/dumonts/013.html>

Imediatamente, começou a trabalhar em um novo projeto o N^o 15, um avião de madeira com o leme colocado na parte posterior e o motor Antoinette de 50 HP colocado na junção das asas superiores justaposto a elas, bem acima da posição ocupada pelo piloto.



Fig. 39 – Projeto Nº 15, biplano de madeira. Disponível em http://www.cabangu.com.br/pai_da_aviacao/

Em 27 de março com o novo protótipo, fez testes no campo da Escola Militar de *Saint-Cyr*, mas, o avião não conseguiu elevar-se. Ganhou velocidade no chão, sua estrutura não agüentou e o avião desintegrou-se. Algo semelhante acontecera com o 14bis em 4 de abril. Após avião voar 50 metros, entrou em oscilação e caiu. Santos Dumont abandonou-o e partiu para a construção do Nº 16. Com este aparelho insistiu cerca de um ano, mas, o conjunto híbrido (ver fig. 56 e 57) sequer voou mais de 30 metros.

“Depois de um percurso de 30 metros, sobre o relvado de Bagatelle, uma falsa manobra fez o aparelho apontar para o solo. O quadro inferior se torceu e o triângulo de agarre ao balão se quebrou por via de um contragolpe de hélice, que passava perto dele a menos de um centímetro de distância. Esta ruptura determinou vários estragos no invólucro; mas monsieur Dumont, como de ordinário, nada sofreu.”
(Revista *O L'illustration* de 15 de junho in PIMENTEL, 2006, p. 137).



Fig. 40 – Dirigível Nº 16. Disponível em <http://www.museutec.org.br/resgatememoria2002/old/biografi/dumonts/012.html>



Fig. 41 – Projeto Nº 16 sendo fotografado. O balão foi um dos mais primorosos. Disponível em http://www.cabangu.com.br/pai_da_aviacao/altadefinicao/

Achando que o que estava faltando era potência de motor, construiu um aparelho semelhante ao Nº 15, mas com um motor de 100 HP no lugar do motor original de 50 HP. Provavelmente nem chegou a testá-lo. Bastava um olhar crítico para ver que o motor era pesado demais para a estrutura adotada.

Motivado por uma aposta com o construtor de automóveis, senhor *Charron*, aceitou o desafio de fazer uma lancha atingir mais de 100 quilômetros por hora. Construiu uma lancha movida por uma grande hélice aérea de três pás e com asas e lemes submersos. Tratava-se de um avião para voar na água. Testou o novo invento, o N^o 18, rebocando-o com uma lancha de corridas, a *Rapière*, e observou que o aparelho decolava e voava na água. A experiência mais importante com o N^o 18 realizou-se no dia 25 de setembro sendo presenciada por vários colegas.

Os ensaios com o N^o 18 pareciam ter-lhe dado a chave do problema que tentava resolver. Após 15 dias, Santos Dumont apresentava o projeto N^o 19, isso, em pouco mais de um ano após o vôo do 14bis. O invento N^o 19, que logo foi apelidado de *Demoiselle*, era um modelo novo de extrema beleza e leveza. Avião diminuto, com envergadura de 5 metros e comprimento de 8 metros. Com a *Demoiselle*, Santos Dumont batia recordes e mudaria a cara da aviação, logo seu projeto seria copiado por todo o mundo, uma vez que, ele não patentearia o *Demoiselle*.

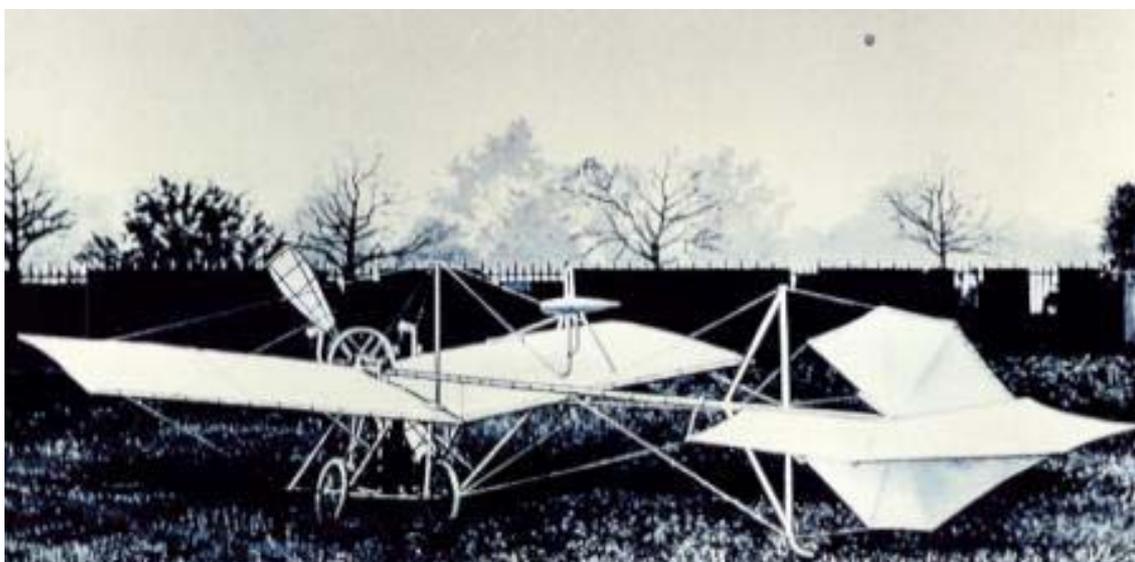


Fig. 42 – Projeto N^o 19, *Demoiselle*, no chão. Disponível em http://www.cabangu.com.br/pai_da_aviacao/5-demois/a%20fazer/

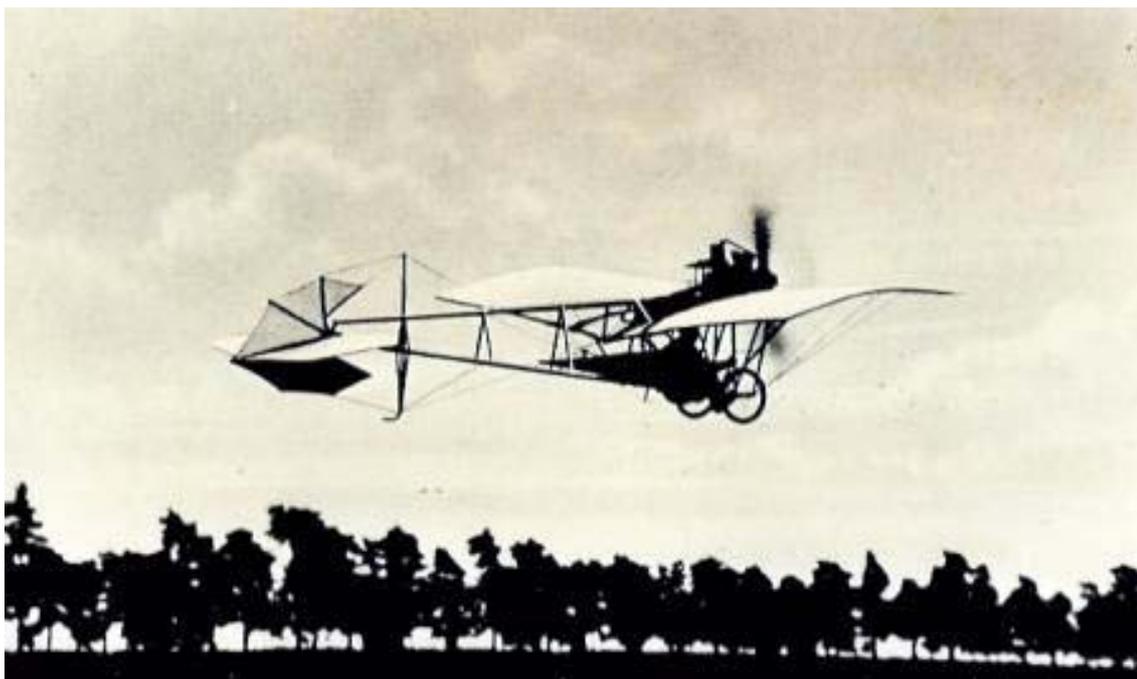


Fig. 43 – Projeto Nº 20, *Demoiselle*, repare na estrutura mais reforçada. Disponível em http://www.cabangu.com.br/pai_da_aviacao/5-demois/a%20fazer/

Os *Demoiselle* 19 e, principalmente, 20 são as obras aeronáuticas máximas de Alberto Santos Dumont. Asa integral, motor e hélice montados no nariz, fuselagem, lemes de direção e profundidade na cauda e trem de pouso triciclo invertido, com bequilha na cauda. Tudo como, a partir de cinquenta anos depois de seus vôos, seria empregado nos primeiros aviões fabricados em série. Centenas deles foram construídos em todo o mundo com a explícita permissão de Santos Dumont, que se negava a aceitar encomendas, mas queria que todos pudessem compartilhar do prazer de voar. Se observarmos o 14bis, que ele pilotava em pé, e os aeroplanos posteriores, que já recebem o piloto sentado, examinando o projeto do hidroplano Nº18, constatamos sua grande capacidade de mudança de conceitos, desenho e soluções. O radiador dos *Demoiselle*, que da haste horizontal da fuselagem, do Nº19, passou para a asa do Nº 20, demonstra bem essa capacidade. O eixo do trem de pouso, instalado no vértice inferior frontal do triângulo estrutural da fuselagem, do Nº 20, é um toque de mestre. Era um modelo tão seguro que os franceses o utilizaram para treinamento de seus pilotos, no começo e nos anos que antecederam a guerra.

Interessante que o projeto Nº 17, não aparece em seus registros, provavelmente devido a sua superstição do número oito ($1+7 = 8$). Enquanto isso, “os irmãos Orville

e Wilbur Wright decidem mostrar o invento mais recente. Haviam realizado algumas viagens, comprado um motor francês e trabalhado em silêncio e em segredo. Quando se apresentaram, estavam com um avião totalmente diferente do modelo de 1903, e ninguém poderia sequer garantir que era o modelo de 1905. Ou seja, em 1908 eles diziam estar voando com uma máquina que já tinha alguns anos, sem, contudo poder provar a afirmação. Era preciso correr e mostrar o Flyer, sem o que os irmãos perderiam a oportunidade de vir a vender o invento. Orville ficou nos Estados Unidos para demonstrar o avião ao exército americano. Num vôo, transportando como passageiro o tenente Selfridge, o aparelho desmontou-se no ar e caiu, matando o militar. Wilbur seguiu para a França e começou a fazer exposições.” (BARROS, 2006, p. 191).

O fato é que Santos Dumont, voou primeiro por meios próprios, sem mentiras. Suas invenções foram e é um livro aberto para quem as quisesse copiar, nunca fez questão de patentear-las, pois acreditava no desenvolvimento da aviação como meio importante para o desenvolvimento da sociedade. *“Se quer prestar-me um grande obséquio, declare, pelo seu jornal, que, desejoso de propagar a locomoção aérea, eu ponho à disposição do público as patentes de invenção o meu aeroplano. Toda a gente tem o direito de construí-lo e, para isso, pode vir pedir-me os planos. O aparelho não custa caro chega a 5.000 francos.”* (Le Matin, nº 9332, 15/Dez/1909 in BARROS, 2006, p. 192).

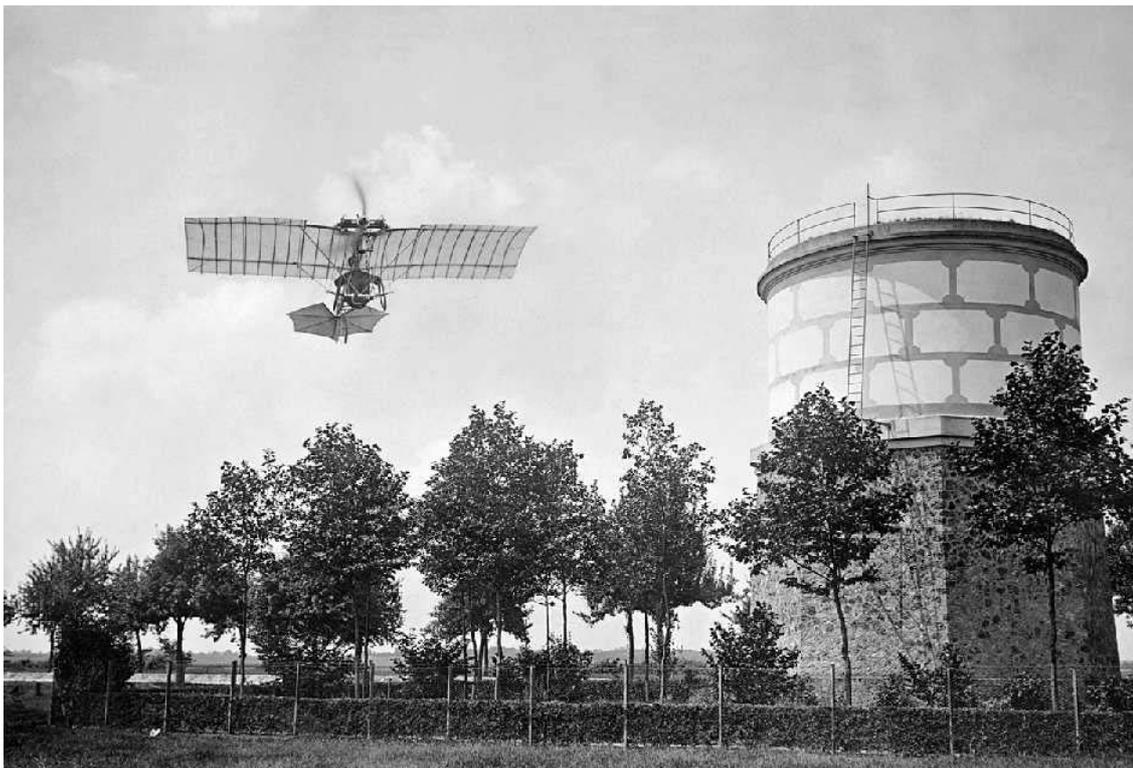


Fig. 44 – Projeto N° 20, *Demoiselle*, em pleno vôo. Disponível em http://www.cabangu.com.br/pai_da_aviacao/5-demois/a%20fazer/

4.7 A Aposentadoria do *Ícaro

Após construir dois balões esféricos, doze balões dirigíveis, seis aviões, um dos quais era um hidroavião e, um projeto de helicóptero; em 1910, anunciou o desejo de parar, sofria de melancolia e os médicos lhe aconselharam abandonar o vôo. A partir deste momento Santos Dumont se dedicaria à divulgação da aviação. Vendeu seu último projeto, ao velocista que viria a ser mundialmente famoso, o senhor *Roland Garros*.

Em reconhecimento às conquistas de Santos Dumont, o Aeroclube de França mandou erguer e inaugurou nesse mesmo ano de 1910, no Campo de Bagatelle, local onde pela primeira vez um homem venceu o desafio de voar em uma máquina mais pesada que o ar, um marco comemorativo em granito, de três metros de altura, com os seguintes dizeres:

*Da mitologia grega. É quando o homem adquiriu asas para ser ver livre de uma prisão.

ICI

LE 12 NOVEMBRE 1906 SOUS LE CONTROLE DE L'AÉRO-CLUB DE FRANCE
SANTOS DUMONT A ÉTABLI LES PREMIERS RECORDS
D'AVIATION DU MONDE DUREE 21s 1/5 DISTANCE 220 m

"Aqui, aos 12 de novembro de 1906, sob o controle do Aeroclube de França, Santos Dumont estabeleceu os primeiros recordes de aviação do mundo; duração 21 segundos e um quinto e distância de 220 metros."

Jamais um monumento havia sido erguido a um brasileiro, fora do país, em todo o mundo, e em presença da pessoa homenageada. (PIMENTEL, 2006, p. 165).



Fig. 45 – O monumento de *Bagatelle*, inaugurado em 1910, em homenagem a Alberto Santos Dumont. Disponível em PIMENTEL, 2006.

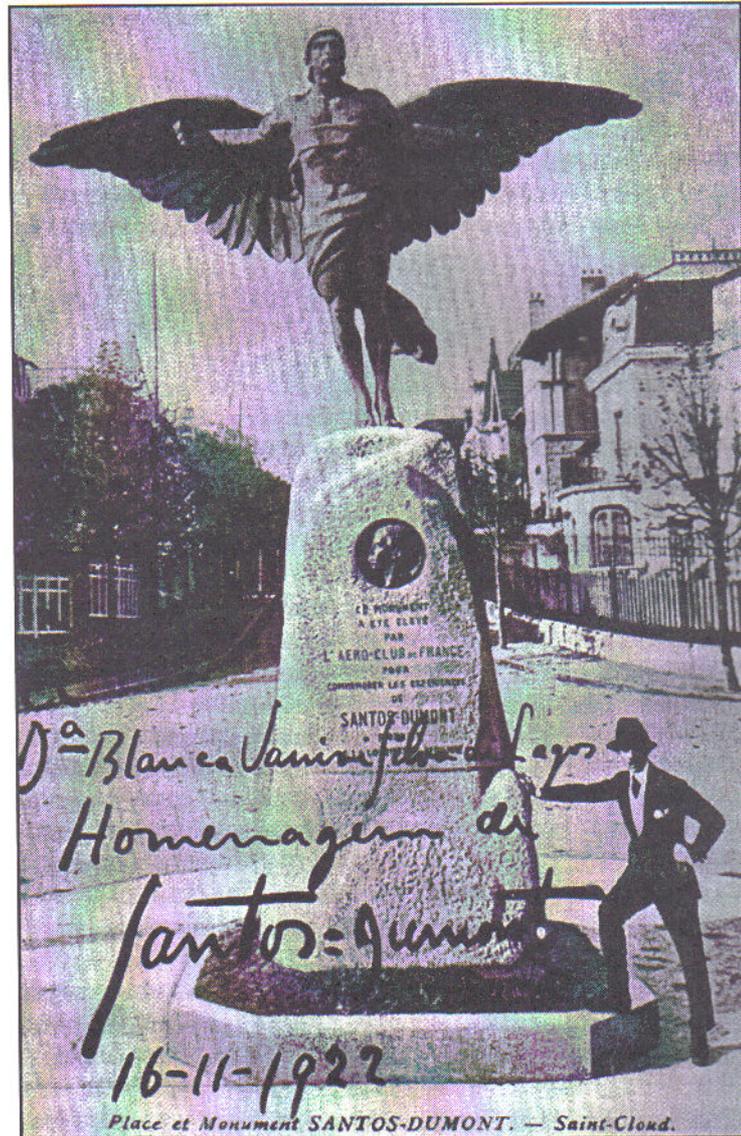


Fig. 46 – O Ícaro de Saint-Cloud. No monumento: “Este monumento foi erguido pelo Aeroclube de França em comemoração às experiências de Santos Dumont, pioneiro da locomoção aérea”. No mesmo dia a praça passou a ser chamar Place Santos Dumont. A estátua foi inaugurada precisamente às 14 horas de 19 de outubro, data de aniversário da circunavegação da Torre Eiffel pelo dirigível Nº 6. Disponível em PIMENTEL, 2006.

Santos Dumont, foi figura central na primeira década do século XX. Recebeu diversas homenagens em vida. Durante a Primeira Guerra, deixou a França e retornou ao Rio de Janeiro em 1914. De volta ao país, passando pelos Estados Unidos, visitou fábricas de aviões, onde “Vi milhares de hábeis mecânicos ocupados na construção de aeroplanos, produzidos diariamente em número de 12 a 18.” (DUMONT, 1918, p. 79). Dumont tentou ser ouvido sobre a implantação da aviação no Brasil, mas o resultado foi frustrante.

“Depois de ter visto o interesse extraordinário que tomam pela aeronáutica todos os países que percorri, e vendo o desprezo absoluto com que a encaravam entre nós, falou mais alto que minha timidez o meu patriotismo revoltado e, por duas vezes, me dirigi ao Sr. Presidente da República. Há dois anos, fiz ver a S. Exa. o perigo que havia em não termos, nem no Exército, nem na Marinha, um corpo de aviadores. Há um ano, escrevi uma crítica e apresentei um exemplo a S. Exa. Nestas notas, eu assim dizia: Leio que o governo vai, de novo, tomar posse do Campo dos Afonsos, onde será instalada a Escola Central de Aviação do Exército, e que a Marinha vai transportar para a Ilha do Governador a sua escola.

Primeiro trataremos do Campo dos Afonsos. Há dois anos o Exército, creio que reconhecendo a pouca praticabilidade desse Campo, o abandonou. O Aero Club ali instalou o seu Campo de Aviação. Convidado pela diretoria desse clube, há anos, para visitar e dar a minha opinião sobre o dito Campo, disse que o achava mais do que ruim: achava-o péssimo. Aconselhei que procurassem uma grande planície ou, melhor ainda seria, que o Club se ocupasse primeiro da aviação náutica, já que nos deu a natureza um aeródromo náutico único no mundo. O Aero Club não seguiu os meus conselhos.

É grande a minha tristeza ao ler que o Governo vai de novo tomar posse desse terreno para ali instalar o campo central de aeronáutica!!! Os franceses tiveram a sorte de encontrar bons campos perto de Paris, porém, as vantagens de um campo ótimo são tão grandes que eles foram instalar os seus novos campos quase no extremo da França, em Pau, onde encontraram imensas "landes". Eu estou certo que, ao sul, nós devemos possuir planícies iguais às de Pau, onde se poderá trabalhar sem perigo, nem para o futuro aviador, nem para o aeroplano e onde o ensino será infinitamente mais rápido, graças a poder-se empregar "Pingouins" para o ensino dos principiantes.

Um principiante, que se familiarize com um desses aparelhos, necessitará de poucas lições para voar. Nos Estados Unidos as escolas de aviação estão muito longe da capital; estão onde se encontram bons campos. Quanto à Escola naval, eu creio que ela não está mal na Ilha das Enxadas.

A minha opinião é, pois: para o Exército, a escolha de um vasto campo no sul do Brasil, ou mesmo o de Santa Cruz. Para a Marinha, creio que se deve escolher uma base, para os seus hidroaeroplanos, o mais perto possível da cidade do Rio, que é onde vivem os oficiais e alunos. Aproveito esta ocasião para fazer um apelo aos senhores dirigentes e representantes da Nação para que dêem asas ao Exército e à Marinha Nacional. Hoje, quando a aviação é reconhecida como uma das armas principais da guerra, quando cada nação européia possui dezenas de milhares de aparelhos, quando o Congresso Americano acaba de ordenar a construção de 22.000 destas máquinas e já está elaborando uma lei ordenando a construção de uma nova série, ainda maior; quando a Argentina e o Chile possuem uma esplêndida frota aérea de guerra, nós, aqui, não encaramos ainda esse problema com a atenção que ele merece!

Rio de Janeiro, 16 de novembro de 1917.

Santos=Dumont.

S. Exa. agradeceu-me e disse-me que, no futuro, se tivesse necessidade de meus conselhos, me preveniria.” (DUMONT, 1918, p. 88-91).

A resposta à carta foi negativa, e Dumont, decepcionado, tornou-a pública, queixando-se de que sua opinião parecia menos valiosa para brasileiros do que para os americanos e chilenos.

Mas se ele revelava preocupação de que o Brasil fosse dotado de uma força aérea, não defendia a fabricação local. Ao contrário, Dumont acreditava que os aviões deveriam ser encomendados às melhores casas européias e americanas, cujos tipos já tinham sido consagrados pelas experiências na guerra.

Por outro lado, Dumont lembrava que os precursores da aeronáutica na França, seus contemporâneos, eram então os homens que estavam à frente da indústria ou da implantação dos projetos fabris. O mesmo aconteceria na indústria automobilística, com Renault e outros à frente. Para ele, isso acontecia porque seus governos os têm sabido aproveitar.



Fig. 47 – Santos Dumont aos 43 anos de idade, raros sorrisos. Disponível em <http://www.museutec.org.br/resgatememoria2002/old/biografi/dumonts/015.html>

Em 1918, ele recebe o sítio Cabangu, onde nascera, como doação do Governo em reconhecimento por seus feitos. Dumont adquiriu terras contíguas, formou pastos, construiu um açude e começou a criar gado.

Quando o inventor tinha menos de quarenta anos, uma terrível doença manifestava seus primeiros sintomas. Dumont foi acometido de esclerose múltipla. A doença, degenerativa e progressiva, logo o impediu de voar e Dumont passou vários anos vivendo entre o Brasil e a Europa, e sofrendo várias internações para tratamento dos sintomas da doença e alternando períodos de depressão e de vida relativamente normal.

Em 1918, Santos Dumont estabeleceu-se definitivamente em Petrópolis, onde constrói sua residência, hoje *Museu Santos Dumont*, batizada por ele de *a Encantada*.



Fig. 48 – A Encantada. Disponível em http://www.cabangu.com.br/pai_da_aviacao/11-encantada/a%20fazer/



Fig. 49 – Detalhes da Encantada, o degrau obrigava o proprietário e os visitantes a entrarem sempre com o pé direito, mais uma de suas superstições. Disponível em http://www.cabangu.com.br/pai_da_aviacao/11-encantada/a%20fazer/

4.7.1 A Jovem Yolanda Penteado

Alberto, muitas vezes não fazia suas refeições em casa durante a noite, preferindo ir jantar em companhia de seu irmão Henrique, que morava com sua esposa Amália, no Flamengo, em uma casa bastante agradável, com terraço e jardim. Foi ali que, certa feita, conheceu a jovem Yolanda Penteado (1903-1983), sobrinha de Dona Amália. *“Para usar um termo pertinente, podemos dizer que Dumont ficou encantado com a moça, linda, inteligentíssima, finamente educada. Boa escritora também. Haja vista seu saboroso livro de memórias Tudo em Cor-de-Rosa, 1976, no qual dedica um elegante e elucidativo capítulo à figura do famoso aviador.”* (PIMENTEL, 2006, p. 184).

Alberto flertava a menina. Sempre que Yolanda vinha passar temporada no Rio de Janeiro, Alberto jantava todas as noites na casa do irmão. E permanecia até altas horas sob pretexto de que queria ver subir a lua.

Yolanda conta-nos:

"Ele era uma pessoa irrequieta. Eu achava engraçado que me desse tanta atenção. E tia Amália dizia: — Alberto, você está ficando tonto, namorando essa menina. Seu Alberto, de fato me fazia a corte: trazia-me bombons, flores, levava-me a passear. As pessoas que o conheciam melhor diziam que quando me via ficava elétrico." (PIMENTEL, 2006, 184).

Alberto costumava levar Yolanda até a luxuosa Casa de Chá Colombo. Passavam juntos momentos agradáveis, mas o relacionamento nunca ultrapassaria os estritos limites da amizade. Sobre a Encantada ela nos deixa este relato:

"Em Petrópolis, ele tinha feito construir uma casa, a Encantada. A casa parecia muito frágil, muito pequena. A escada de entrada tinha só a metade do primeiro degrau, à direita. Assim, todos entravam com o pé direito. Como seu Alberto era baixo, um metro e sessenta e cinco de altura (considerando os altos saltos, notam os autores), toda a casa era proporcional a ele. Nós éramos convidadas para almoçar, e qual não foi o meu espanto, quando vi a mesa toda forrada de violetas dobradas, de Parma. A louça, Royal Dalton, muito bonita, vermelha. Um pretão trouxe uma bandeja com um enorme peru. O preto quase não cabia na sala e foi uma cena para cortar o peru. Seu Alberto serviu só champanhe. Dentro do champanhe também havia uma violeta. Interessante é que as dependências do caseiro eram um casarão grande e confortável. Uma ponte primitiva ligava as duas casas, pois seu Alberto queria sempre estar só." (PIMENTEL, 2006, p. 185).

A respeito de Alberto, a descrição de Yolanda empresta luz a seu obscuro mundo psicológico:

"Seu Alberto era muito estranho e nervoso. A impressão que ficou, até hoje, é que Santos Dumont vivia uma vida interior tão intensa que aquele relacionamento comigo era um oásis de descanso, feito de coisas inteiramente fúteis, de que ele gostava e precisava também. Havia entre nós dois uma diferença de idade tão grande (29 anos, notam os autores) que, talvez por isso, nunca foi cogitado entre nós nada de mais sério. O namoro era uma coisa completamente platônica.

Ele teve uma vida cheia de tormentos, de emoções intensas. Arriscou-se muito mais, nos vôos que fazia, do que esses astronautas em viagens à lua, porque não tinha nada que o defendesse. Alberto Santos Dumont, de uma elegância refinadíssima, quando vinha à casa de tia Amália, era impecável. Vestia-se muito bem, e lançou moda: o colarinho Santos Dumont, chapéus Santos Dumont... dentro daquela simplicidade, era vaidoso e original." (PIMENTEL, 2006, p. 185).

E sobre suas superstições Yolanda Penteado, que o conheceu de perto e na sua intimidade, é clara:

"Alberto era, sobretudo, muito supersticioso. Não pegava em nota de cinquenta mil-réis, tinha horror ao número treze. Contou-me que, quando voava, levava em volta do pescoço uma meia de Madame Letellier, que foi uma dessas mulheres mais famosas da Europa e tinha tido muita sorte na vida." (PIMENTEL, 2006, p. 186).



Fig. 50 – Dona Yolanda Penteadó e Santos Dumont. Disponível em PIMENTEL, 2006.

4.7.2 O Suicídio

Dumont interrompera sua estada no Brasil para retornar a Paris em busca de melhoraras em sua saúde. Em 3 de dezembro de 1928, Dumont voltava de mais uma temporada na Europa. Ao mesmo tempo em que o navio em que viajava se preparava para aportar, já no interior da Baía da Guanabara, um hidroavião com vários passageiros a bordo realizava manobras com o objetivo de lançar sobre o navio uma mensagem de boas vindas ao inventor. No entanto, subitamente, aparentemente em razão de uma manobra equivocada, o avião caiu no mar, matando todos os seus ocupantes.

O acidente provocou grande e prolongada depressão no inventor, que presenciou a queda da aeronave. Dona Yolanda agora casada com o senhor Jayme, que tinham ido buscá-lo em Paris conta-nos esta passagem:

“Antes de o navio atracar veio aquela barca da saúde e nela o Antônio Prado (Prefeito do Rio de Janeiro), muito triste. Ele entrou a bordo e contou a tragédia. No acidente, haviam morrido sete pessoas. Santos Dumont foi tomado de um nervosismo pavoroso. Nessa noite, fomos visitar seis velórios, um após o outro. Isso fez um mal terrível a ele que já tinha, havia muito tempo, os nervos abalados.” (PIMENTEL, 2006, p. 196. Os colchetes é do autor deste trabalho).

Depois de outra temporada no estrangeiro, em meados de 1931, Dumont está de volta novamente ao Brasil, agora de forma definitiva. A doença progredira muito e o inventor tinha grandes dificuldades de locomoção e muitos períodos de melancolia. Vai então morar no Guarujá, onde caminhadas matinais na praia são seus últimos momentos de bem estar.

Mas aos 9 de julho de 1932 irrompe a Revolução Constitucionalista em São Paulo. Em 14 de julho do mesmo ano Dumont redige um manifesto conclamando os mineiros a se unir a São Paulo contra o Governo de Getúlio Vargas. Mas em Minas Gerais, Getúlio dá ordens para que aviões federais bombardeiem os paulistas. O poder destruidor de seu maior invento, conforme ele previra ser de grande vantagem para uso bélico, agora era usado para matar gente de sua própria pátria. *“Entrou em pânico, culpando-se por toda a desgraça que via exposta à sua volta.”* (PIMENTEL, 2006, p. 203).

Na manhã de 23 julho de 1932, duas semanas depois de iniciada a guerra civil, Dumont presencia vôos rasantes de aeronaves do Exército e ouve bombas explodindo ao longe. *“Afligia-se com os acidentes e começou a se sentir responsável pelas mortes causadas por aviões e dirigíveis”* (BARROS, 2006, p. 193). Logo depois, tomado por uma profunda crise depressiva, aos 59 anos o inventor enforcava-se no quarto 152 (1+5+2 = 8) do hotel em que vivia. Três dias após o seu aniversário.

Getúlio Vargas ao ser informado do acontecimento, muda a *causa mortis*, pois, sabia que o inventor era contra a utilização dos aviões contra sua própria gente e, além do que não o apoiava. Dessa forma temeu as complicações que seriam explicar o suicídio de um herói nacional. Os rumos da guerra poderiam ser outros? A polícia isolou o hotel e convocou o médico legista Dr. Walter Habermeld para atestar a *causa mortis*. Uma ordem presidencial exigia que este fosse “parada cardíaca”.

Mas o doutor agiu com prudência, não confiando no que o ditador Vargas faria com o corpo de Santos Dumont, extraiu o coração do nosso herói, para dali a algum tempo provar que não houve parada cardíaca. Doze anos depois, em 24 de outubro de 1944, na “Semana da Asa”, no Aeroclub de Brasil, no Rio de Janeiro, o órgão é devolvido as autoridades do Governo, com a condição de ser mantido em local público. O coração fora entregue à F.A.B., que o mantém sob guarda no Museu Aeronáutico, na Academia da Força Aérea de Campos dos Afonsos, no Rio de Janeiro, onde se encontra até os dias atuais.

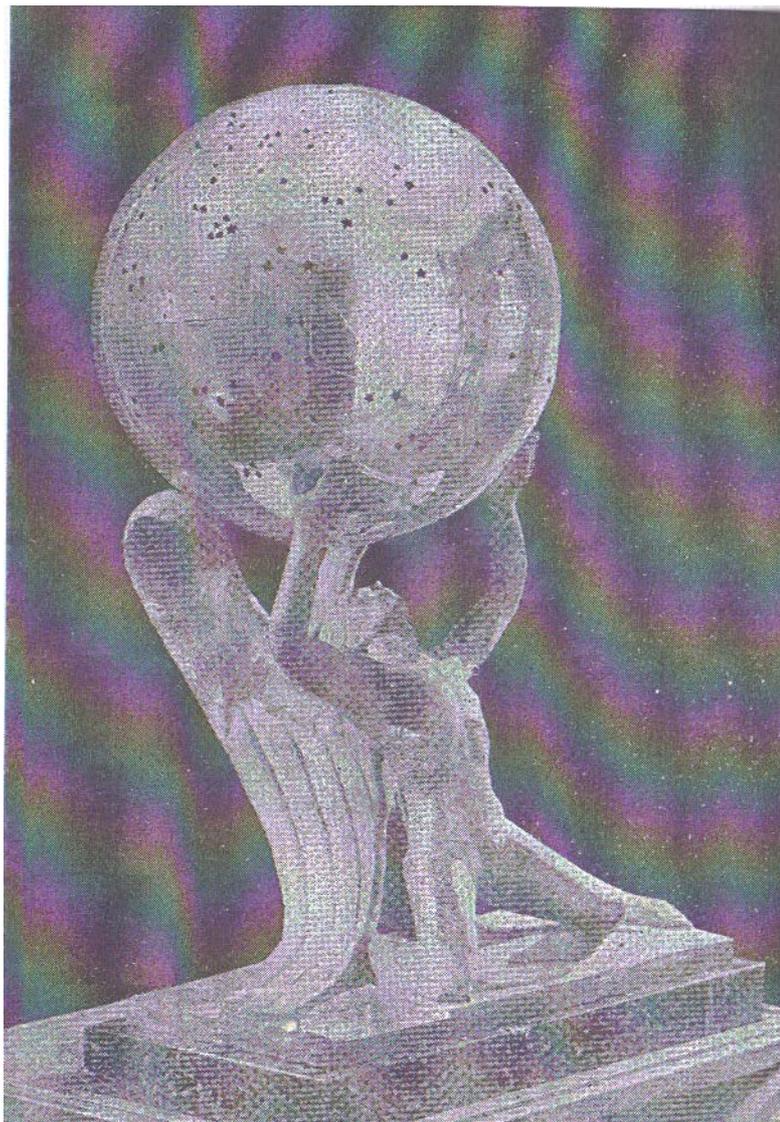


Fig. 51 – O escrínio de ouro e jacarandá onde repousa o coração de Alberto Santos Dumont. Disponível em PIMENTEL, 2006.

Santos Dumont viria a ser enterrado em um dia de forte temporal, no jazigo do cemitério São João Batista, no Rio de Janeiro, sob o Ícaro de Saint-Cloud, somente em 21 de dezembro depois de encerrada a Revolução. A Força Aérea Brasileira conferiria a Santos Dumont as seguintes patentes *post-mortem*:

- Em 5 de dezembro de 1947 – Tenente-Brigadeiro do Ar, Lei nº 165;
- Em 22 de setembro de 1959 – Lei brasileira confere a Santos Dumont o posto honorífico de Marechal do Ar.
- Em 19 de outubro de 1971 – sancionada a Lei nº 5.716, que proclama Alberto Santos Dumont o Patrono da Força Aérea Brasileira.



Fig. 52 – Alberto Santos Dumont. Disponível em <http://www.museutec.org.br/resgatememoria2002/old/biografi/dumonts/015.html>

Santos Dumont

Sempre assinou dando ênfase a sua nacionalidade brasileira como sendo de igual importância à francesa. Ressonância internacional como ele, apenas o Senhor Rui Barbosa obteve na época.

5.0 NOÇÕES DE FLUIDODINÂMICA

Um corpo sólido geralmente tem volume e forma bem definidos, que só se alteram (usualmente pouco) em resposta a forças externas. Um líquido tem volume bem definido, mas não a forma: mantendo seu volume, amolda-se ao recipiente que o contém. Um gás não tem nem forma nem volume bem definidos, expandindo-se até ocupar todo o volume do recipiente que o contém. Observa-se que todos os corpos quando submetidos a uma força superficial arbitrária e, se, mantidos em repouso, deformam-se. Nos líquidos e gases este efeito será tanto maior quanto maior for a componente tangencial à superfície desta força, pois, oferecem pouca resistência à mesma. Por esta razão podem escoar ou fluir. Esta característica faz com que gases e líquidos sejam designados de fluidos.

Alem de gases e líquidos, existe uma gama de substâncias com propriedades intermediárias entre sólidos e fluidos, dependendo da natureza e da magnitude das forças aplicadas, como: massa de pão, gelatina, piche e o vidro. O piche e o vidro têm duplo comportamento, eles se quebram como sólidos, sob a ação de um impacto brusco, mas, escoam como um fluido, embora com extrema lentidão.

5.1 Pressão

O conceito de pressão utilizado para as nossas necessidades, nos permite restringi-lo a um formato bastante simples, envolvendo força e superfície, portanto, contato. Consideremos uma força aplicada sobre uma superfície, sob um ângulo α . Duas situações podem ocorrer: Uma em que a força deforme o corpo alongando-o e outra em que o deforma comprimindo-o. O nosso conceito de pressão está baseado na segunda hipótese, a de compressão.

Considere uma força aplicada sobre um elemento de superfície ΔS . Em geral essa força pode depender da inclinação do elemento de superfície. Pode-se especificar a inclinação dando o vetor unitário \hat{i} da normal a ΔS , convencionando uma orientação para \hat{i} . Adota-se a convenção de que \hat{i} é a normal externa, dirigida para fora da porção do meio que está em estudo.

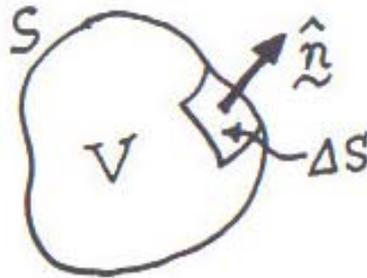


Fig. 53 – Força aplicada sobre um elemento de superfície ΔS . Disponível em NUSSENZVEIG, 1981.

Assim, \hat{n} aponta para fora do meio sobre a superfície do qual está sendo exercida a força superficial, e para dentro da porção contígua do meio, que está exercendo essa força. Uma componente positiva de tensão ao longo de \hat{n} representa um esforço de tração; uma componente negativa uma pressão (ver fig. 53). Dessa forma: a força aplicada sobre um elemento de superfície dS corresponde a uma pressão p .

$$d\vec{F} = -p\hat{n}dS \quad (1)$$

Onde,

$$p = \left| \frac{d\vec{F}}{dS} \right| = \lim_{\Delta S \rightarrow 0} \left| \frac{\Delta\vec{F}}{\Delta S} \right| \quad (2)$$

É sempre positiva e o sinal negativo na Eq. (1) indica o sentido antinormal da pressão. Observar que a pressão é uma grandeza escalar.

Obs.: Se um fluido estiver em equilíbrio estático, então, a *pressão num ponto do mesmo independe da direção*, ou seja, a pressão pode ser escrita como $p = p(P)$, dependente apenas da posição P no fluido.

Depois de ter realizado o estudo sobre as características do que vem a ser um fluido e, do conceito de pressão, passemos para a dinâmica dos fluidos.

Como descrever o movimento de um fluido? Existem dois métodos bem conhecidos. O de Lagrange consiste em subdividir o fluido em movimento em elementos de volume suficientemente pequenos para que possamos tratar cada um deles como uma partícula do fluido. Para identificar sua posição \vec{r} , basta colocar um pouco de corante no ponto \vec{r}_0 no instante t_0 e, a trajetória seria então materializada através de uma fotografia de longa exposição do fluido. Se o cálculo de \vec{r} em função de t para qualquer partícula for possível, teremos então uma descrição completa do movimento do fluido.

Apesar de interessante, neste método é difícil que se consiga obter uma completa solução e, raramente, há interesse em conhecer em detalhes as trajetórias das partículas do fluido, de forma que não é um método muito empregado.

No método mais utilizado, devido a Euler, fixamos a atenção em cada ponto \vec{r} do espaço e descrevemos como varia com o tempo a velocidade \vec{v} nesse ponto fixo. Ou seja,

$$\vec{v} = \vec{v}(\vec{r}, t) \quad (3)$$

Em geral, a cada instante t , será uma partícula diferente do fluido que passará pela posição \vec{r} . Mas, a associação de um vetor a cada ponto do fluido define nele um campo vetorial, que é neste caso, o campo de velocidade no fluido.

Para materializar este campo num determinado instante, podemos introduzir um pouco de corante em diferentes pontos do fluido e depois tirar uma fotografia com tempo de exposição curto (ver fig. 54).

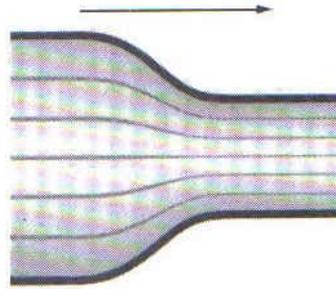


Fig. 54 - A figura dá uma idéia do que seria obtido para o caso de um escoamento numa canalização cujo diâmetro diminui na região à direita. Disponível em HALLIDAY, 1996.

A figura 54 mostra o aspecto das linhas de corrente, que podem ser entendidas como “linhas de força” do campo de velocidades do fluido. O comprimento e a direção de cada traço dão a direção e a magnitude da velocidade do fluido no ponto correspondente. Observe que na direita a velocidade aumenta. Pode-se afirmar isto, pois, a densidade de linhas de corrente é maior nesta localidade, ou seja, o número de linhas de corrente por unidade de volume é maior. A ponta da seta indica o sentido de deslocamento do fluido.

Chama-se tubo de corrente à superfície formada num dado instante, por todas as linhas de corrente que passam pelos pontos de uma dada superfície fechada no fluido (ver fig. 55).

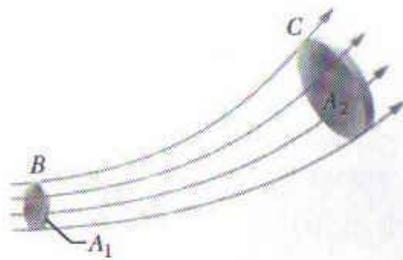


Fig. 55 – Num tubo de corrente a vazão do fluido tem que ser a mesma para todas as secções transversais do tubo de corrente. Disponível em HALLIDAY, 1996.

Em geral, as linhas e tubos de corrente variam com o tempo. Dessa forma torna-se difícil trabalhar com escoamentos cuja velocidade do fluido tem uma dependência com o tempo, sendo assim, este estudo limita-se a trabalhar apenas com a hipótese

de um escoamento estacionário: O escoamento de um fluido é estacionário ou em regime permanente quando o campo de velocidades do fluido não varia com o tempo, ou seja, quando a Eq. (3) se reduz a

$$\vec{v} = \vec{v}(\vec{r}) \quad (4)$$

Isto quer dizer que diferentes partículas do fluido sempre passam pelo mesmo ponto com a mesma velocidade, embora \vec{v} possa variar de ponto a ponto. Caso o escoamento da figura 54 seja feito a baixas velocidades, este é, com boa aproximação, estacionário.

Duas linhas de corrente nunca podem se cruzar, porque, num ponto de cruzamento, haveria uma ambigüidade na direção da velocidade, com duas direções diferentes. Num escoamento não-estacionário, as linhas de corrente variam a cada instante e não coincidem mais com as trajetórias, por exemplo, o da água em uma cachoeira, em que \vec{v} varia de forma extremamente rápida e irregular com t e com \vec{r} .

5.2 Conservação da Massa. Equação de Continuidade

Consideremos um escoamento estacionário e uma porção de tubo de corrente situada entre duas secções transversais de áreas A_1 e A_2 (fig. 54), onde as velocidades e densidades são respectivamente, (\vec{v}_1, ρ_1) e (\vec{v}_2, ρ_2) . Como o escoamento é estacionário a massa do fluido contida entre as secções A_1 e A_2 não pode variar com o tempo, ou seja, a massa Δm_1 que entra por A_1 num intervalo de tempo Δt tem que ser igual à massa Δm_2 que sai do tubo por A_2 nesse mesmo intervalo. Sendo Δm a massa de fluido que atravessa um tubo de corrente dada por:

$$\Delta m = \rho A v \Delta t \quad (5)$$

Da hipótese de que:

$$\Delta m_1 = \Delta m_2 \quad (6)$$

Ou seja,

$$\rho_1 A_1 v_1 \Delta t = \rho_2 A_2 v_2 \Delta t \quad (7)$$

O que dá

$$\boxed{m_1 = \rho_1 A_1 v_1 = \rho_2 A_2 v_2 = m_2} \quad (8)$$

A Eq. (8) é chamada de Lei de Conservação da Massa. Onde v_1 é a velocidade com que o fluido entra na área A_1 e, v_2 é a velocidade com que o fluido atravessa a área A_2 . Então o produto $\rho A v$ permanece constante ao longo do tubo de corrente, representando o fluxo de massa por unidade de tempo através da secção transversal do tubo.

Em particular, se o fluido é incompressível, tem-se que as densidades ρ_1 e ρ_2 são iguais, ou seja, ρ é constante, e a Eq. (8) fica

$$\boxed{A_1 v_1 = A_2 v_2} \quad (9)$$

Neste caso o produto $A v$ é constante e mede o volume de fluido que atravessa a secção transversal do tubo por unidade de tempo, comumente chamada de *vazão* do tubo.

Consideremos uma quantidade de massa Δm de fluido que atravessa ΔS num intervalo de tempo infinitésimo Δt contida em um cilindro de base ΔS e geratriz $\vec{v} \Delta t$, onde \vec{v} é a velocidade do fluido no entorno de ΔS no instante considerado. Sendo a altura do cilindro $\vec{v} \cdot \hat{n} \Delta t$, de modo que:

$$\Delta m = \rho \vec{v} \cdot \hat{n} \Delta t \Delta S \quad (10)$$

Vemos que $\rho \vec{v} \cdot \hat{n} \Delta t \Delta S$ representa o fluxo de massa para fora do volume V por unidade de tempo através de ΔS no instante considerado. A massa total de fluido contida dentro do volume V num dado instante é:

$$m = \int_V \rho dV \quad (11)$$

Onde dV é o elemento de volume, ρ é a densidade em cada ponto de V no instante considerado, e a integral é estendida ao volume V . Pela Eq. (10), o fluxo resultante por unidade de tempo é:

$$\oint_S \rho \vec{v} \cdot \hat{n} dS \quad (12)$$

Onde dS é o elemento de superfície e \oint_S significa a integral estendida à superfície fechada S . Estes resultados provem da equação de continuidade, que é escrita como:

$$\oint_S \rho \vec{v} \cdot \hat{n} dS = -\frac{dm}{dt} = -\frac{d}{dt} \int_V \rho dV \quad (13)$$

Esta relação recebe o nome de Equação de Continuidade. Onde o primeiro membro da equação é o fluxo resultante por unidade de tempo, este fluxo dá a variação por unidade de tempo da massa de fluido contida em certo volume V (ver fig. 53). O sinal negativo no segundo membro é característico desta equação. Significa que se o fluxo for positivo dm/dt será negativo e, se o fluxo for negativo dm/dt será positivo.

Num escoamento estacionário a densidade é em cada ponto independente do tempo e o segundo membro da Eq. (13) se anula. Se tomarmos como volume V a porção de tubo de corrente ilustrada na fig. 3, o primeiro membro da Eq. (13) se reduz a $\rho_2 A_2 v_2 - \rho_1 A_1 v_1$, de modo que a Eq. (13) se reduz a Eq. (8), que é um caso particular.

5.3 Equação de Bernoulli

Consideremos um fluido perfeito em movimento, ou seja, um fluido de viscosidade desprezível. Iremos aplicar a Lei da Conservação da Energia (observe que não existe atrito), para um fluido qualquer, cujo escoamento é estacionário, ou seja, a velocidade do fluido é função apenas da posição de escoamento. Então, a pressão no fluido perfeito em movimento só depende da posição.

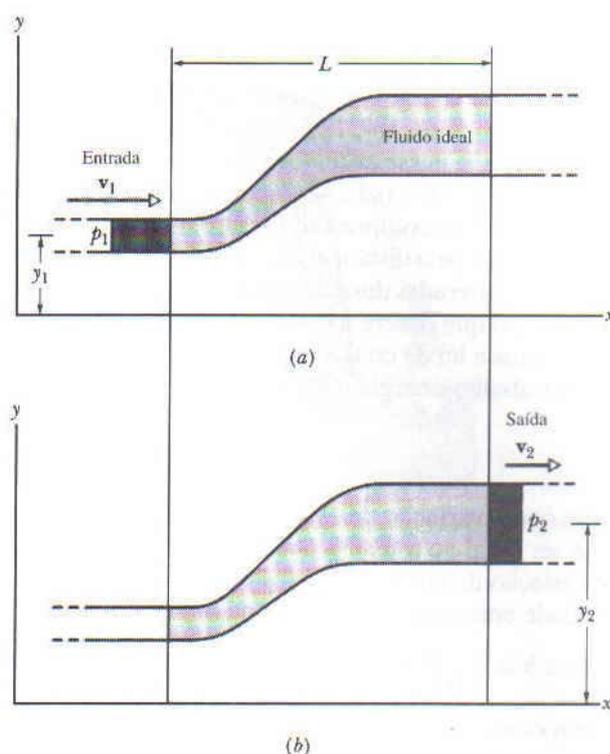


Fig. 56 – Um fluido escoava através de um tubo a uma vazão constante. Disponível em HALLIDAY, 1996.

Pela Lei da Conservação da Energia

$$E_{Mec} = T + U + W \quad (14)$$

Sua Variação é:

$$\Delta E_{mec} = \Delta T + \Delta U + \Delta W = 0 \quad (15)$$

A variação da Energia Cinética é:

$$\Delta T = \frac{1}{2} \Delta m_2 v_2^2 - \frac{1}{2} \Delta m_1 v_1^2 \quad (16)$$

A variação da Energia Potencial é:

$$\Delta U = \Delta m_2 y_2 g - \Delta m_1 y_1 g \quad (17)$$

E o trabalho realizado é:

$$\Delta W = p_1 A_1 (-\hat{n}_1)(\hat{n}_1) \Delta l_1 + p_2 A_2 (\hat{n}_2)(\hat{n}_2) \Delta l_2 \quad (18)$$

$$\Delta W = p_2 A_2 \Delta l_2 - p_1 A_1 \Delta l_1 \quad (19)$$

$$\Delta W = p_2 \Delta V_2 - p_1 \Delta V_1 \quad (20)$$

Mas,

$$\rho = \frac{\Delta m}{\Delta V} \quad (21)$$

Então,

$$\Delta W = p_2 \frac{\Delta m_2}{\rho_2} - p_1 \frac{\Delta m_1}{\rho_1} \quad (22)$$

Finalmente (18) assume a forma:

$$\Delta T + \Delta U + \Delta W = \frac{1}{2} \Delta m_2 v_2^2 - \frac{1}{2} \Delta m_1 v_1^2 + \Delta m_2 y_2 g - \Delta m_1 y_1 g + p_2 \frac{\Delta m_2}{\rho_2} - p_1 \frac{\Delta m_1}{\rho_1} = 0 \quad (23)$$

$$\frac{1}{2} \Delta m_2 v_2^2 + \Delta m_2 y_2 g + p_2 \frac{\Delta m_2}{\rho_2} - \frac{1}{2} \Delta m_1 v_1^2 - \Delta m_1 y_1 g - p_1 \frac{\Delta m_1}{\rho_1} = cte \quad (24)$$

Pela Conservação da Massa, tem-se:

$$\Delta m_1 = \Delta m_2 = \Delta m \quad (25)$$

Então,

$$\frac{1}{2} v_2^2 + y_2 g + \frac{p_2}{\rho_2} - \frac{1}{2} v_1^2 - y_1 g - \frac{p_1}{\rho_1} = cte \quad (26)$$

Ou,

$$\frac{1}{2} v^2 + yg + \frac{p}{\rho} = cte \quad (27)$$

Esta é a Equação de Bernoulli, na qual ρ , p , y e v são grandezas variáveis.

Caso o fluido seja incompressível, teremos $\rho = cte$. Então,

$$\frac{\rho}{2}v^2 + \rho yg + p = cte, \quad (28)$$

Na qual p, y e v são grandezas variáveis. Entre outras aplicações é também utilizada para explicar, de forma equivocada, o vôo de um avião.

6.0 AS FORÇAS ENVOLVIDAS NA DESCRIÇÃO DO VÔO

Dahmen e Studart (2006) definem na aerodinâmica, quatro forças para compreensão do vôo (ver fig. 57 e 58):

- A Sustentação (**S**) – *“Componente da força aerodinâmica perpendicular à direção do movimento do vôo.”* (DAHMEN e STUDART, 2006, p. 36). Trataremos um pouco mais da sustentação na secção seguinte (secção 7.0).
- A Tração ou Propulsão (**T**) – *“Força produzida pelo motor e é dirigida ao longo do eixo longitudinal do avião.”* (DAHMEN e STUDART, 2006, p. 36).
- O Peso (**P**) – Força exercida pela ação do campo gravitacional terrestre, sempre dirigida para o centro da Terra. Para efeitos de simplicidade trabalharemos com o centro de massa do avião, que para pequenos corpos coincide com o centro de gravidade. É claro que existem diversos tamanhos de aviões, mas nenhum grande o suficiente que não possamos dizer que o centro de massa dele coincide com o centro de gravidade, com um pequeno erro.
- O Arrasto (**R**) – *“Essencialmente uma força de atrito”* (DAHMEN e STUDART, 2006, p. 36), dependente da velocidade do avião e do meio. É a componente da força aerodinâmica paralela à direção de vôo e, como toda força de atrito, ela dificulta o movimento.

Considerando um sistema ortogonal de coordenadas orientado na direção longitudinal do avião (eixo x) e, tomando-se um referencial relativo aos eixos do avião, pode-se escrever que na subida, supondo-se uma velocidade constante, (fig. 57):

$$\Sigma F_x = 0 \Rightarrow T - P \sin \theta - R = 0 \quad (29)$$

$$\Sigma F_y = 0 \Rightarrow S - P \cos \theta = 0 \quad (30)$$

Durante a descida e novamente supondo a velocidade constante tem-se que (fig. 58):

$$\Sigma F_x = 0 \Rightarrow T + P \sin \theta - R = 0 \quad (31)$$

$$\Sigma F_y = 0 \Rightarrow S - P \cos \theta = 0 \quad (32)$$

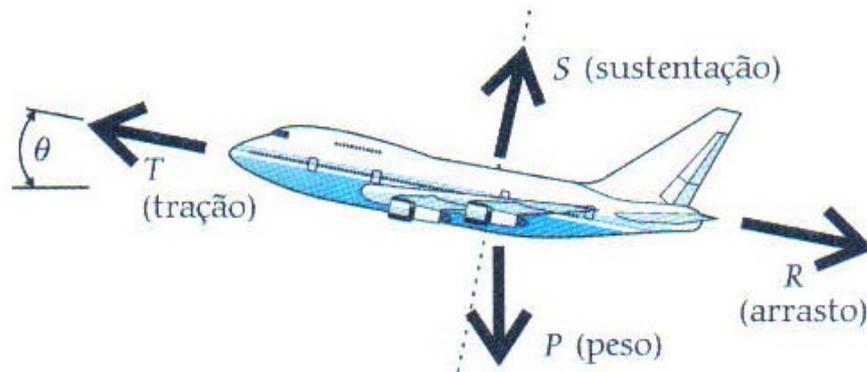


Fig. 57 – Forças sobre um avião no procedimento de subida com velocidade constante e taxa de ascensão constante. Disponível em DAHMEN e STUDART, 2006.

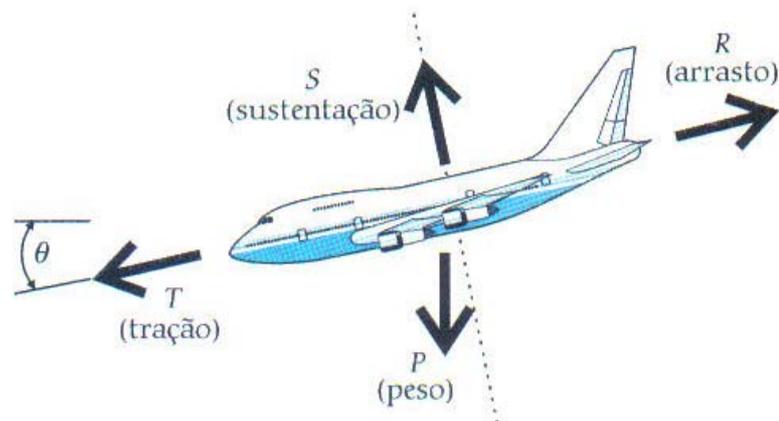


Fig. 58 – Forças sobre um avião no procedimento de descida com velocidade constante e taxa constante. Disponível em DAHMEN e STUDART, 2006.

É interessante notar que as equações 30 e 31 mostram que tanto na subida quanto em uma descida rápida a sustentação tem valor menor do que a força peso, para qualquer valor do ângulo de ataque, tornando-se igual apenas em vôo nivelado. Este resultado deve surpreender muitos estudantes que, em geral, têm a idéia preconcebida de que para que um avião suba, a força de sustentação deve exceder o peso do avião.

A situação acima discutida é análoga ao caso, descrito na ampla maioria dos livros didáticos, de blocos sendo arrastados para cima ou escorregando em rampas com atrito. A força normal neste caso corresponde à força de sustentação e curiosamente não nos surpreendemos com o fato da normal N (o análogo à força S no nosso caso) ser menor que o peso P . A diferença marcante é que enquanto as forças aerodinâmicas dependem da velocidade e do ângulo de ataque, a força normal e a força de atrito são constantes. (DAHMEN e STUDART, 2006, p. 37).

6.1 Fator de carga g

Outra situação que merece discussão em sala de aula é o movimento do avião durante uma curva (fig. 59). Quando as asas se inclinam de um ângulo ϕ , como mostrado na Figura 59, uma componente da força de sustentação aponta na direção do centro da curva originando uma força centrípeta $F_c = mv^2/r$, em que m é a massa do avião, v a sua velocidade e r o raio da trajetória circular.

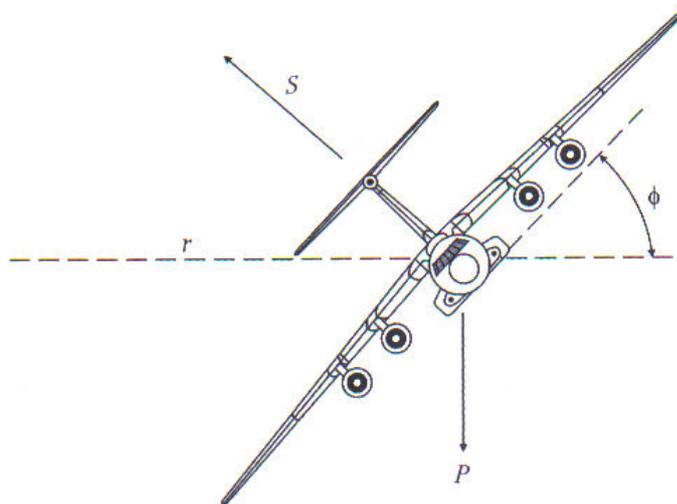


Fig. 59 – Avião em uma curva de raio r inclinado lateralmente (movimento conhecido como rolamento). Disponível em DAHMEN e STUDART, 2006.

Do equilíbrio das forças temos que:

$$m \frac{v^2}{r} = S \cdot \sin \phi \quad (20)$$

$$P = m \cdot g = S \cdot \cos \phi \quad (21)$$

De forma que,

$$\operatorname{tg} \phi = \frac{v^2}{rg} \quad (22)$$

“O ângulo de inclinação é, portanto, determinado de maneira única para uma determinada curva.” (DAHMEN e STUDART, 2006, p. 39). Outra conclusão muito interessante pode ser obtida substituindo a velocidade na Eq. (20) pelo seu valor na Eq. (22). O resultado é:

$$S = m \cdot g \cdot \sec \phi = mg' \quad (23)$$

Tal que,

$$g' = g \cdot \sec \phi \quad (24)$$

Este é o valor efetivo para a aceleração da gravidade em um avião realizando uma curva que é maior que a aceleração da gravidade por um fator de $\sec \phi$. Para uma curva com ângulo de inclinação de 60° corresponde a $2g$. Este fator de carga (no jargão aeronáutico) que a estrutura do avião deve suportar e os pilotos (assim como os passageiros) "sentem" tem considerável importância prática. Os aviões de caça (F16, por exemplo) chegam a atingir inacreditáveis $9g$. (DAHMEN e STUDART, 2006, p. 39).

6.2 Leis de Newton x Princípio de Bernoulli: Uma Escolha

Das quatro forças, a de fundamental importância para a compreensão do voo é a força de sustentação e é nela que iremos atacar. A explicação, em termos simples, de como ela pode ser entendida tem sido alvo de inúmeras controvérsias na literatura e, conceitos errôneos têm sido empregados. Eis a questão: Princípio de Bernoulli ou Leis de Newton para explicar como as asas de um aeroplano "realmente" funcionam?

Na opinião de Eastlake (2006) *“Ambas as abordagens são corretas em todas as situações. Qual abordagem usar é apenas uma questão de conveniência em função do tipo de informação que se dispõe para a caracterização do particular padrão de fluxo do ar.”* (EASTLAKE, 2006, p. 52). A raiz da discórdia é que cada lado da disputa exige que apenas a sua interpretação deva ser ensinada, posto que fosse "a correta".

Neste trabalho de dissertação, foi utilizada as Leis de Newton, por acreditar que esta descrição seja mais completa e correta. Baseado nos trabalhos realizados por Anderson (2006), Weltner et. al (2001), Raskin (2006) e Halliday (1996). Mostramos que a abordagem caracterizada no Princípio de Bernoulli é errada e não resolve vários problemas, ao contrário do que diz Eastlake (2006). Para tanto dedicamos a próxima seção apenas ao tema, sustentação.

7.0 COMO OS AVIÕES VOAM? UMA DISCUSSÃO SOBRE A SUSTENTAÇÃO

“Hoje em dia muita gente já andou de avião e muitos se perguntaram como é que um avião voa. Ao perguntar sobre isso, a resposta que normalmente se obtém ou é enganosa ou simplesmente errada.” (ANDERSON, 2006, p. 43). Nesta seção, será descrito com argumentos físicos a explicação do porque os aviões voam. Existem duas formas para a versão da sustentação: O Princípio de Bernoulli (mais trabalhado nos cursos de Física ou Engenharia Aeronáutica) e as Leis de Newton (adotada neste trabalho).

Para Anderson (2006), existem três descrições da sustentação das asas que são normalmente apresentadas nos livros-texto e manuais das academias.

7.1 Descrição Aerodinâmica Matemática da Sustentação. Usada por engenheiros aeronáuticos, como afirma Anderson (2006), faz,

... usualmente o uso do conceito matemático circulação para com ele calcular a aceleração do ar sobre a asa. A circulação é uma medida da rotação aparente do ar em torno da asa. Apesar de ser prática para calcular a sustentação na asa, não fornece uma compreensão física sobre o voo. (ANDERSON, 2006, p. 43).

Seja Γ uma curva fechada orientada, ou seja, para a qual é definido um sentido positivo de percurso, situada no interior do fluido. Chama-se circulação (C_Γ) ao longo de Γ a integral de linha:

$$C_\Gamma = \oint_{\Gamma} \vec{v} \cdot d\vec{l} \quad (25)$$

Onde \vec{v} é a velocidade do fluido e $d\vec{l}$ o elemento de linha ao longo de Γ orientado no sentido positivo de percurso.

7.2 Descrição Baseada no Princípio de Bernoulli (item 4.3), sendo a mais divulgada nos meios acadêmicos, devido a sua simplicidade e frequência durante os anos. Ela é usada na maioria dos manuais de treinamento de vôo para explicar a sustentação de uma asa. Sua principal desvantagem é o fato de estar baseada no *Princípio dos Tempos de Transito Iguais*, uma vez que o ar tem um caminho maior para percorrer por cima da asa e, o tem que fazer, mais rapidamente do que por baixo da asa (um caminho menor), logo os tempos de percurso são iguais em cima ou debaixo da asa, solicitando velocidades diferentes em cada região. Anderson (2006) adverte que esta explicação para a sustentação da asa:

...impede que se entendam vários fenômenos importantes como o vôo invertido, a potência, o efeito-solo e a dependência da sustentação com o ângulo de ataque da asa 'ângulo formado pelo eixo longitudinal do avião e a horizontal'. (ANDERSON, 2006, p. 43). O parêntese é do autor da dissertação.

Já Weltner et al. (2001) escrevem que:

A explicação convencional da sustentação da asa, baseada na lei de Bernoulli, diz que a pressão menor acima da asa é a consequência de uma maior velocidade do ar acima dela. Este raciocínio tem defeitos fundamentais, pois não dá uma causa para a maior velocidade do ar acima da asa. (WELTNER et al., 2001, p. 429).

Aos estudantes de Física a aerodinâmica é apresentada através do Princípio de Bernoulli, que faz uma relação de proporcionalidade entre a velocidade com que a asa se desloca no ar (que chamaremos de velocidade do ar) com a pressão:

$$V_{Ar} \propto \frac{1}{P} \quad (26)$$

Ou seja, se velocidade da asa aumenta, a pressão sobre a mesma diminui. O argumento principal para a sustentação é que, como o ar flui mais rapidamente na parte superior da asa, a pressão tende a diminuir pelo Princípio de Bernoulli, criando

então uma zona de baixa pressão, na parte superior da asa. Então, o ar flui menos rapidamente, o que acarreta um aumento de pressão sobre a parte inferior da asa, como a quantidade de ar que entra em cima e em baixo da asa percorre espaços diferentes (na parte superior da asa o espaço a ser percorrido é maior), mas, ao mesmo tempo, conclui-se então, que a velocidade do ar em cima é maior do que a velocidade do ar em baixo da asa, criando uma diferença de pressão na asa, gerando a sua sustentação.

Para Weltner et al. (2001) este é o maior problema da aplicação do Princípio de Bernoulli: “... a maior velocidade do ar acima da asa é uma consequência de uma menor pressão e não a causa dela.” (WELTNER et al., 2001, p. 431).

Para poder explicar o porquê de o ar fluir com maior velocidade por cima da asa, muitos recorrem a um argumento geométrico segundo o qual a distância que o ar tem que vencer está diretamente relacionado com a sua velocidade. A afirmação costumeira é que quando o ar se separa no bordo de ataque (a parte dianteira da asa), a parte que vai por cima da asa tem que chegar ao bordo de fuga no mesmo tempo que a parte do ar que foi por baixo.

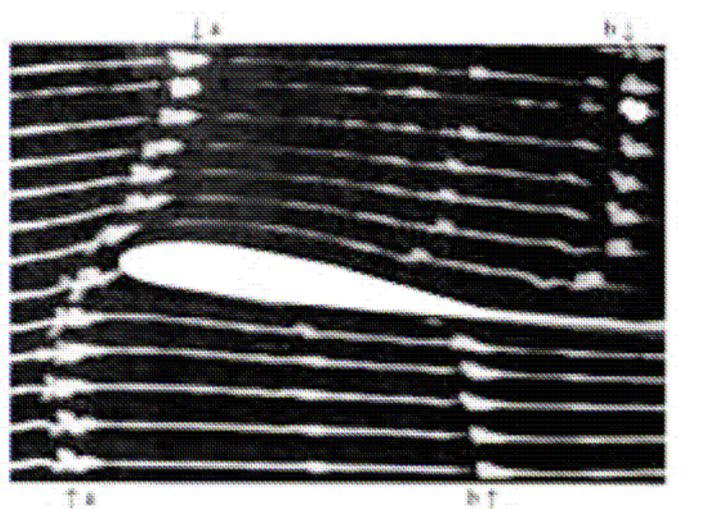


Fig. 60 – Simulação do fluxo de ar por uma asa em um túnel de vento com fumaça. Disponível em WELTNER et al., 2001.

A figura 60 mostra o fluxo de ar no entorno de uma asa em uma simulação de túnel de vento. Neste tipo de simulação, fumaça é periodicamente introduzida no túnel. O que se pode ver é que o ar que passa por cima da asa chega ao bordo de fuga

consideravelmente antes que o ar que vai por baixo. Isto quer dizer que o ar de cima tem uma aceleração muito maior do que aquela prevista pelo Princípio dos Tempos de Trânsito Iguais. Além disso, como uma análise mais detalhada nos mostra o ar que passa pela parte de baixo da asa tem uma velocidade reduzida em relação àquela do ar que flui livremente (longe das asas).

Para Anderson e Eberhardt (2006), partindo desta explicação, vôos invertidos são impossíveis, pois, certamente não considera aviões de acrobacia, que têm asas simétricas (a parte superior e a parte inferior da asa tem o mesmo perfil) e muito menos como uma asa se ajusta às grandes variações de carga quando sai de um mergulho ou faz uma curva acentuada.

Não há nada de errado com o Princípio de Bernoulli, o problema é como ele é aplicado para explicar a força Sustentação, essa explicação prevalece nos livros e meios de informação, devido ao fato deste princípio ser facilmente compreendido e utilizado por vários anos com algo verdadeiro: “... sabemos que, se uma explicação errada for profundamente radicada, é bastante difícil substituí-la.” (WELTNER et al., 2001, p. 429). Mas, esta descrição não explica de forma satisfatória a sustentação, como mostrado no parágrafo acima e, o fato de afirmar que o ar percorre a parte superior e inferior da asa em tempos iguais é errado como mostra a figura 60.

7.3 Descrição Baseada nas Leis de Newton e no Efeito Coanda. A terceira maneira de descrever a sustentação na asa é baseada nas **Três Leis de Newton** e em um fenômeno chamado de **Efeito Coanda**. Para Anderson (2006)

“Esta descrição é a única capaz de explicar os fenômenos associados ao vôo, permitindo que sejam entendidos. Ela é útil para uma compreensão precisa de certas relações entre parâmetros de vôo, como o modo pelo qual a potência aumenta com a carga ou a velocidade de estol ‘que é a velocidade limite para o avião se manter no ar’ aumenta com a altitude. Ela também serve para fazer cálculos simples (com lápis e papel) da sustentação.” (ANDERSON, 2006, p. 43).

¹Tal como enunciadas no *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* (Princípios Matemáticos da Filosofia Natural, 1687) usualmente referido simplesmente por “Principia”, as três leis de Newton são:

Primeira Lei: *Todos os objetos permanecem no seu estado de repouso ou de movimento uniforme ao longo de uma linha reta, a não ser que seja exercida sobre eles a ação de uma força não contrabalançada.*

Ou seja, se vemos o escoamento se curvar ou se o ar, a princípio parado, for repentinamente acelerado, significa que há uma força atuando sobre ele.

Segunda Lei: *A variação da quantidade de movimento de um objeto tem a mesma direção e é diretamente proporcional à força não contrabalançada que age sobre ele e é diretamente proporcional ao tempo de interação da força não contrabalançada no objeto.*

$$\Delta \vec{Q} = \vec{F}_R \cdot \Delta t \quad (27)$$

A sustentação de uma asa é igual à variação do momento do ar que ela está desviando para baixo. Uma outra forma de escrever seria: A sustentação de uma asa é proporcional à quantidade de ar desviado para baixo multiplicado pela velocidade vertical da mesma. Ou seja,

$$\vec{S} = \rho \cdot \vec{v} \cdot \Gamma \quad (28)$$

Esta relação é chamada de Fórmula de *Kutta-Joukowski*, onde S é a sustentação ρ é a densidade do ar, v é a velocidade vertical ascendente do ar e Γ é a circulação, definida pela Eq. (25).

¹Fonte das Leis de Newton: Harvard Project Physics. **Conceitos de Movimento – Unidade 1.** Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1978, 204 p

O raciocínio a seguir é descrito por Prandtl no artigo de Weltner et al. (2001).

“A asa muda o momento do ar gerando a sustentação e a circulação. Na fig. 61 apresentamos um corte de uma asa num volume de controle. Na teoria da dinâmica dos fluidos existe um lema: A força aplicada a um corpo é dada pela integral de superfície da pressão e a variação do fluxo de impulso através do volume de controle. Vamos considerar o caso bidimensional e considerar a envergadura da asa infinita.

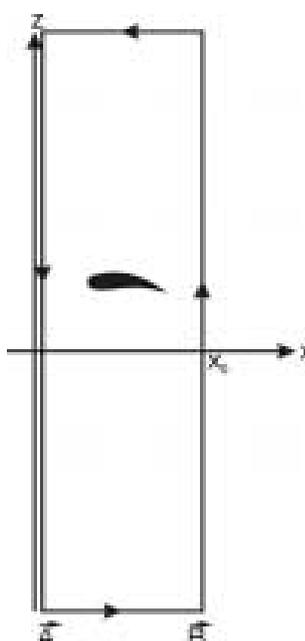


Fig. 61 – Asa dentro de um volume de controle. Disponível em WELTNER et al., 2001.

A fim de determinar a variação de fluxo de impulso vertical referimo-nos ao volume de controle formado por duas superfícies A e B perpendiculares à direção original do escoamento (fig. 62). Referimo-nos a um tubo de escoamento com espessura Δz e de envergadura y (direção perpendicular ao plano da página) que corta as superfícies A e B. O fluxo da massa de ar que é a massa de ar que passa na unidade de tempo pela superfície B pode ser escrito como:

$$\Delta m = \rho \cdot \Delta z \cdot y \cdot v_x \quad (29)$$

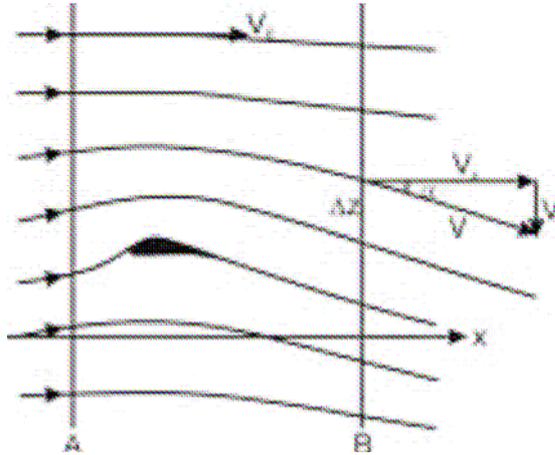


Fig. 62 – Asa dentro de um volume de controle com superfície na frente A, e atrás, B. Disponível em WELTNER et al., 2001.

O fluxo do impulso vertical na direção z é:

$$\Delta A = \Delta m \cdot v_z \quad (30)$$

Substituindo o fluxo de massa nessa equação, obtemos:

$$\Delta I = \rho \cdot \Delta z \cdot y \cdot v_x \cdot v_z \quad (31)$$

Para se obter o fluxo total que passa pela superfície B temos que integrar:

$$I_B = \rho \cdot y \cdot \int_{-\infty}^{\infty} v_z \cdot v_x \cdot dz \quad (32)$$

Usando a aproximação para α pequeno, $v_x = v_o \cdot \cos \alpha \approx v_o$, onde v_o é a velocidade do escoamento, temos que:

$$I_B = \rho \cdot y \cdot v_o \int_B v_z d\vec{z} \quad (33)$$

Para a superfície **A** podemos proceder de forma análoga. Então a variação do fluxo de impulso é dada pela diferença.

$$I_A - I_B = \rho \cdot y \cdot v_o \left[\int_B v_z \cdot dz - \int_A v_z \cdot dz \right] \quad (34)$$

Admitindo o percurso de integração fechado no infinito a expressão transforma-se em uma integral de linha fechada, que corresponde à própria circulação, ou seja,

$$\oint v \cdot ds \quad (35)$$

Na prática, o caminho de integração pode ser bem fechado se consideramos uma distância bem grande quando comparada com as dimensões da asa. Nesse caso as contribuições podem ser desprezadas, pois são pequenas, iguais e de sinais opostos. A variação do fluxo de impulso causada pela asa pode ser escrita como:

$$I_B - I_A = \rho \cdot y \cdot v_o \cdot \Gamma \quad (36)$$

Assim concluímos que a força aplicada na asa neste caso pode ser dada por:

$$F = \rho \cdot y \cdot v_o \cdot \Gamma \quad (37)$$

Que é a mesma Fórmula de Kutta-Joukowski. Fica claro pelo desenvolvimento que a circulação nunca pode ser a causa da sustentação.” (WELTNER et al., 2001, p. 442-3).

Terceira Lei: *A qualquer ação opõe-se sempre uma reação igual; ou as ações mutuas de dois corpos um sobre o outro são sempre iguais e de sentidos opostos. E completariamos dizendo que as forças ação-reação atuam em corpos diferentes, logo, não podem ser anuladas.*

A fig. 63 ilustra as linhas de corrente em torno da asa de um avião em movimento. Pressupomos que o ar se aproxima horizontalmente pela direita, com velocidade v_{a1} . A inclinação da asa para cima, chamada de *ângulo de ataque*, causa uma deflexão para baixo na corrente de ar, que então tem velocidade v_{a2} . Assim, a asa exerce uma força na corrente de ar para defletí-la e, pela Terceira Lei de Newton, a corrente de ar exerce uma força igual e contrária na asa. A componente vertical dessa força F na asa é chamada de *sustentação* e a componente horizontal é chamada *arrastamento induzido* (ou simplesmente arrasto).

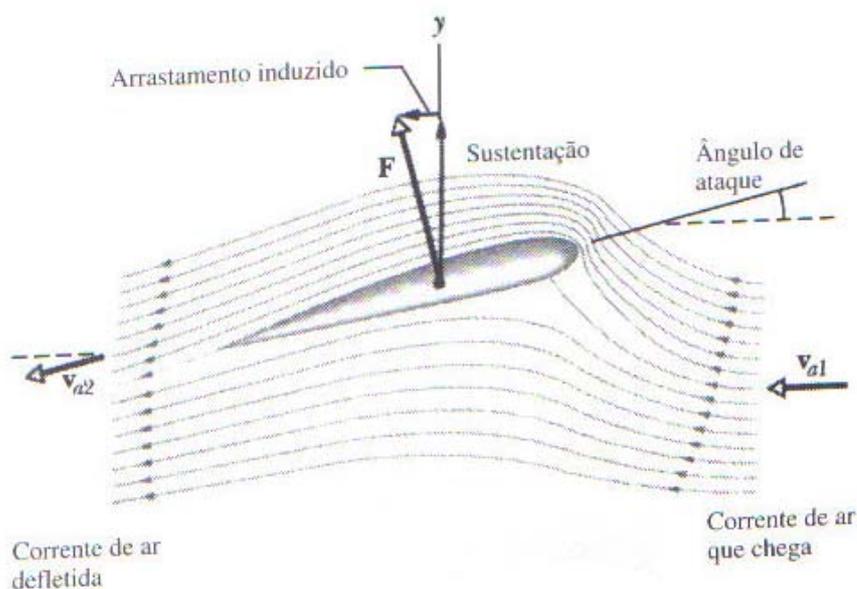


Fig. 63 – Linhas de corrente em torno da asa de um avião em movimento. O ar, vindo horizontalmente pela direita, é defletido para baixo pela asa, que é forçada para cima fazendo com a horizontal um ângulo chamado de ângulo de ataque. Ao ser defletida, a corrente de ar exerce uma força F na asa. Disponível em HALLIDAY et al., 1996.

Halliday et al. (1996) chama a atenção para:

A força de sustentação que atua na asa do avião (frequentemente chamada de sustentação dinâmica) não deve ser confundida com o empuxo que aparece, de acordo com Princípio de Arquimedes, em balões e icebergs flutuantes. A sustentação dinâmica aparece somente quando o objeto e a corrente de ar estão em movimento relativo. (HALLIDAY et al., 1996, p. 96).

Então se pode dizer que a força de sustentação é a reação, devido à ação da asa sobre o ar em movimento relativo.

Comparemos duas figuras para ver as linhas de corrente de ar pela asa. Na fig. 64 o ar vem direto em direção a asa, contorna-a e sai direto pela parte de trás da mesma. Este tipo de representação é muito comum nos manuais. O ar que sai da asa está exatamente igual a quando ele estava na frente da asa. Na concepção de Anderson (2006) não há sustentação, pois, não existe uma força resultante sobre a asa.

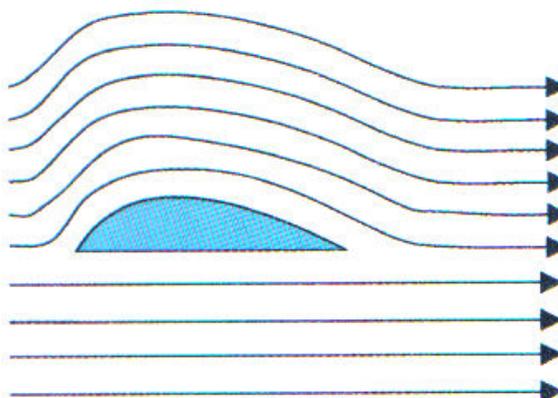


Fig. 64 – Representação mais usada em manuais do fluxo de ar por uma asa. A asa não tem qualquer sustentação. Disponível em DAHMEN e STUDART, 2006.

Na figura 65 as linhas de corrente foram desenhadas como deveriam ser. O ar passa pela asa e é encurvado para baixo. A Primeira Lei de Newton diz que deve haver uma força sobre o ar para encurvá-lo (a ação). A Terceira Lei de Newton diz que deve haver uma força igual e contrária sobre a asa (a reação). *“Para poder criar uma sustentação, a asa precisa desviar uma grande quantidade de ar para baixo.”* (ANDERSON, 2006, p. 45).

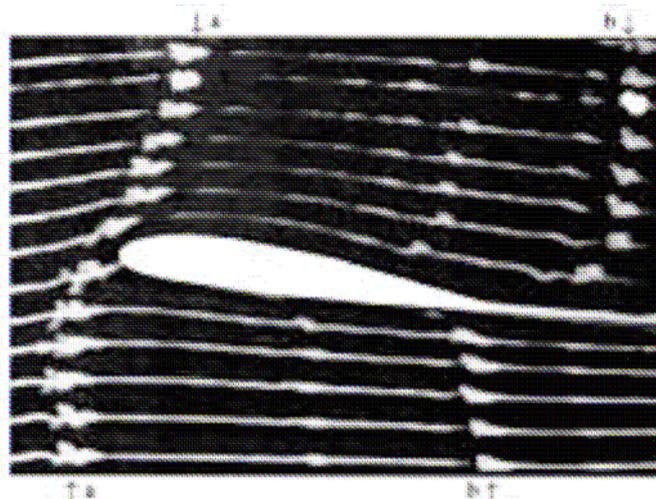


Fig. 65 – Fluxo de ar verdadeiro pela asa. Disponível em WELTNER et al., 2001.

7.3.1 Efeito Coanda. Como a asa desvia o ar para baixo? Quando um fluido que escoar encontra uma superfície curva pela frente, ele tentará acompanhar o perfil geométrico daquela superfície. Este efeito é facilmente verificado.

“... segure um copo debaixo de um filete de água de uma torneira de modo a fazer com que a água toque levemente o lado do copo. Ao invés de continuar fluindo na vertical, a presença do copo faz a água grudar-se nele e escorrer pela sua superfície.” (ANDERSON, 2006, p. 46).

Como mostra a fig. 66. Essa tendência dos fluidos de acompanharem uma superfície curva é conhecida como Efeito Coanda.

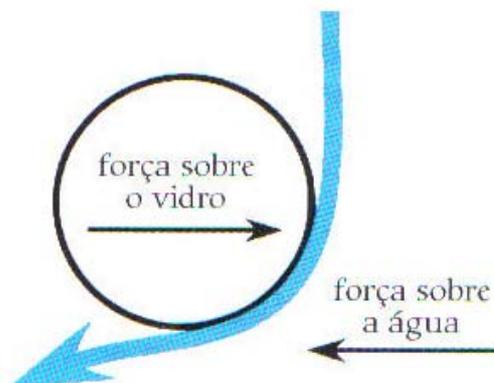


Fig. 66 – O Efeito Coanda. Disponível em ANDERSON, 2006.

Pela Primeira Lei de Newton, o líquido se encurva porque deve haver uma força atuando sobre ele e, a Terceira Lei de Newton nos diz que o fluido exerce uma força de reação igual, mas em sentido oposto sobre o copo.

Por que o fluido acompanha o perfil da superfície? A viscosidade, ou seja, a resistência ao escoamento é que faz a água grudar no copo acompanhando sua curvatura, essa resistência ao movimento também faz com que o ar tenha certa aderência à asa. A viscosidade do ar é pequena, mas, o suficiente para fazê-lo grudar na superfície. Imediatamente sobre a superfície, a velocidade relativa entre esta e as moléculas do ar é zero (razão pela qual não se consegue tirar a poeira de um carro jogando água sobre ele).

Um pouco acima da superfície o fluido tem uma pequena velocidade e quanto mais longe nos afastamos da superfície, mais aumenta a velocidade do fluido até que ela atinja o valor do fluxo livre. Uma vez que o fluido na superfície muda de velocidade, seu fluxo é encurvado em direção à superfície por forças de cisalhamento. A menos que a curvatura da superfície seja muito abrupta, o fluido seguirá o perfil da mesma. O volume de ar ao redor da asa que parece estar parcialmente grudado a ela é chamado de "camada limite" e tem menos de 2,5 cm de espessura mesmo em asas grandes. (ANDERSON, 2006, p. 47).

Olhe novamente para a Fig. 65. As magnitudes das forças sobre o ar (e sobre a asa) dependem de quão "fechadas" são as curvas que o ar faz. Quanto mais a curva for fechada, maiores as forças atuantes. Note que a maior parte da sustentação ocorre na parte dianteira da asa. *"Na verdade, metade da sustentação total de uma asa surge na região dianteira que corresponde a 1/4 do comprimento da corda."* (ANDERSON, 2006, p. 47).

7.4 Sustentação como função do Ângulo de Ataque

Todos os tipos de asas jogam o ar para baixo, ou mais precisamente, puxando o ar sobre ela para baixo (embora as primeiras asas usassem uma contribuição significativa da parte de baixo). O que todas as asas têm em comum é um ângulo de ataque em relação ao ar que contra elas sopra. *"O ângulo de ataque é o parâmetro*

mais importante que determina a sustentação da asa.” (WELTNER et al., 2001, p. 436).

Para melhor entender o papel do ângulo de ataque, é útil introduzirmos o conceito de ângulo de ataque "efetivo", cujo valor zero é definido como o ângulo entre a asa e o ar para o qual a sustentação é nula. Ao se mudar o ângulo de ataque para cima ou para baixo, descobre-se que a sustentação é proporcional ao ângulo.

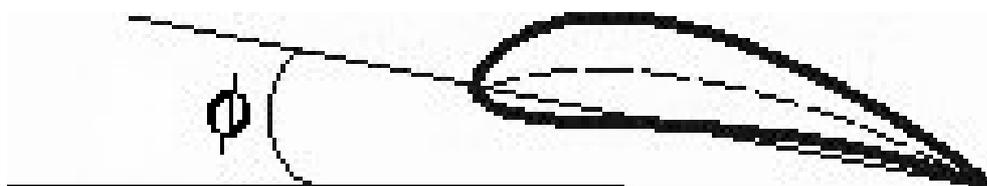


Fig. 67 – Ângulo de ataque. Disponível em WELTNER et al., 2001.

A Fig. 67 ilustra como a sustentação de uma asa típica varia com o ângulo de ataque. *“Uma relação semelhante a esta existe para todo tipo de asa, independentemente de sua forma, isto vale para a asa de um 747, para uma asa invertida ou para a sua mão do lado de fora da janela do carro.”* (ANDERSON, 2006, p. 47). A asa invertida pode ser explicada em termos de seu ângulo de ataque. Um piloto ajusta o ângulo de ataque para assim conseguir ajustar a sustentação à velocidade e à carga da aeronave.

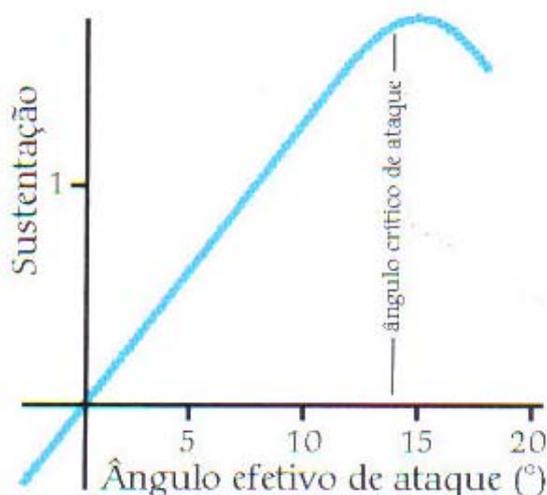


Fig. 68 – Sustentação X Ângulo de Ataque. Conforme Weltner (2001), este gráfico é aplicável apenas para asas simétricas. Disponível em ANDERSON, 2006.

A sustentação diminui tipicamente a partir de um "ângulo crítico" de 15°. As forças necessárias para encurvar o fluxo de ar em ângulos tão íngremes são maiores que a viscosidade do ar pode suportar, e o ar começa a se desprender da asa. Esta separação entre o fluxo de ar e a parte superior da asa é o chamado estol. (ANDERSON, 2006, p. 47).

Para se entender a sustentação, o ângulo de ataque desempenha papel mais importante do que detalhes da forma das asas. O formato da asa aparece quando queremos entender as características do estol ou do arrasto a grandes velocidades.

8.0 DESCRIÇÃO DO CURSO

O curso sobre a Física do Vôo realizado entre o período de 20 de julho a 28 de setembro do ano de 2007, na realidade, foi iniciado um pouco antes, no dia 27 de março do mesmo ano. Neste dia eu tomava posse do cargo, como Professor de Física, concursado pelo estado da Bahia, na Escola Estadual Joaquim da Rocha Medeiros, localizada na cidade de Santa Maria da Vitória, no oeste do estado. Sua população em 2007 era de 40.184 habitantes. É cidade-mãe de São Félix do Coribe, ligada por uma ponte sobre o Rio Corrente, um dos principais afluentes da margem esquerda do Rio São Francisco. Encontra-se em suas margens enormes pedreiras com até 15 metros de altura.



Fig. 69 – Vista dos muros de pedras que cercam as margens do rio Corrente. Principal ponto turístico da cidade.

O dia 27 de março foi uma terça-feira. Durante a semana procurei conhecer as instalações do colégio para saber do que dispunha para o curso. Era um período bem quente na cidade e as minhas aulas eram no turno vespertino. As salas de aula não eram nenhuma novidade para quem já trabalhou no ensino médio de uma

escola pública da Bahia: os ventiladores não funcionavam, tínhamos metade de quadro de giz e a outra metade de quadro branco (totalmente manchado de piloto permanente). O calor era tanto que eu não entendia como os alunos ficavam na sala sem reclamar.

Na primeira semana aproveitei também para conhecer os alunos das quatro turmas do 2º ano que eu iria trabalhar. Tivemos conversas sobre a escola, a cidade, o conteúdo de Física do ano anterior, sobre Física... Foi fácil perceber que eles não tinham idéia de para que a física servia. Em geral eu realizo este tipo de trabalho na 8ª série ou no 1º ano. Não queria falar sobre o que é a Física, para que serve, etc., pois, tínhamos apenas dois encontros semanais. Eu apostei todas as fichas no curso sobre a Física do Vôo para mudar algumas percepções de Física pelos estudantes. Quais? Eles tinham a idéia de que a Física e a Matemática são praticamente a mesma coisa a não ser pelo nome. Acharam bem esquisito quando falei que a nossa ênfase seria maior na teoria, em cima de leituras e da compreensão dos conceitos físicos através das atividades experimentais e que era isto que eu cobraria como conhecimento a ser adquirido ao final de cada unidade.

Após algumas conversas e análises de mini-testes foi revelado que: cerca de 80% deles não dominavam bem as quatro operações matemáticas, e a interpretação de textos era boa, mas o problema era encontrar material para leitura. Comecei a elaborar o material e deixar na copiadora da praça da cidade. Cerca de 90% eram do meio rural, ou seja, não moravam na sede (centro da cidade) e dependiam de transporte para vir à escola. O transporte passava às 11:00 h da manhã na maioria das casas e chegava às 13:40 da tarde, de modo que começávamos as primeiras aulas sempre atrasados, famintos e suados, envoltos num calor de 40° C. Por sorte o clima da cidade é seco.

8.1 A I e II Unidade: O ¹Pré-curso

A primeira unidade, que já começava próximo do início da segunda, foi marcada por um estudo inicial sobre velocidade e aceleração, já que ficaram o 1º ano inteiro estudando Movimento Retilíneo Uniforme (M.R.U.). Logo perceberam a diferença. Viram que minha ênfase estava na compreensão do que é velocidade e aceleração. A preocupação com os cálculos da velocidade e da aceleração deveria vir posteriormente, depois da compreensão dos conceitos físicos.

Logo após, iniciamos o pré-curso de Física do Vôo, ou seja, iniciamos com o estudo da Dinâmica, ressaltando a diferença entre ela e a Cinemática. Desde já, planejei as aulas para a sala de vídeo, onde eu poderia ter acesso ao *Data-show* e ao ar-condicionado. Ficamos então até o final da unidade discutindo sobre a idéia de força como variação do momento de um corpo. Como estávamos um pouco atrasados, discutimos apenas a 1º Lei de Newton ou Princípio da Inércia de Galileu e finalizamos a primeira unidade. Declino-me de comentar as atividades desenvolvidas em cada unidade, pois o meu intuito em descrever a I e a II unidade é apenas contextualizar o que chamei de pré-curso da Física do Vôo.

Em meados do mês de maio, iniciamos a II unidade com a terceira Lei de Newton e, logo após, partimos para a segunda lei. Então, a ordem foi primeira, terceira e segunda lei, até o mês de julho. Nossa opção em apresentar a 1º e a 3º Leis de Newton, tratando a 2º Lei em um momento a parte, deveu-se basicamente aos seguintes fatos:

Sendo a 1º e a 3º leis abordadas quase qualitativamente, exigem uma análise conceitualmente diferente daquela usada no estudo da 2º Lei. Além disso, trabalhando as idéias contidas nestas duas leis, estaremos preparando o estudante para melhor compreender a 2º Lei e suas aplicações, pois assim ele já estará apto a perceber que as forças que atuam em um corpo são provenientes de interações com outros corpos (3º lei). (ALVARENGA & MÁXIMO, 2000, p. 118).

¹O que eu estou chamando de pré-curso da Física do Vôo, é a apresentação das três Leis de Newton, para que se possa então, falar da explicação do vôo como uma aplicação prática das leis de Newton, tais quais: plano inclinado, polia fixa, etc. que são apresentados em livros-textos de Física.

8.2 A III Unidade: O Curso sobre a Física do Vôo

Na III unidade demos início ao curso da Física do Vôo. A idéia inicial era apresentá-la como uma aplicação das Leis de Newton, pois, dessa forma, sua justificativa, dentre outras, para o coordenador do colégio ficou mais clara. Mas o curso tomou corpo próprio, naturalmente o conteúdo deixou de ser um subcapítulo das aplicações das Leis de Newton, passando a ser um capítulo de extrema importância, que tomou conta de toda a III unidade.

8.2.1 Minhas Expectativas

Eu nunca tinha realizado algo semelhante, ou seja, utilizar a história de um personagem brasileiro ou estrangeiro para motivar a curiosidade sobre um conteúdo qualquer de Física. A história de Alberto Santos Dumont, representa o resgate de uma figura brasileira historicamente importante para a aviação, reconhecido internacionalmente. Foi realmente um grande desafio. Não sabia se estava preparado para passar para eles esta mensagem, apesar das leituras realizadas sobre Santos Dumont e descrições do vôo utilizando as Leis de Newton. Em todas as aulas eu analisava o comportamento dos estudantes e principalmente o meu. Ficava curioso em saber se o que tinha preparado iria ter uma boa resposta em sala de aula ou não. Principalmente, se eu iria gostar de apresentar o conteúdo desta forma, haja vista que estava em jogo um novo método de ensino, que poderia ser útil para a minha prática ou não.

8.2.2 O Início

Começamos o curso distribuindo inicialmente quatro roteiros de atividades experimentais estruturados (ver anexo), para que pudessem ser apresentados pelos grupos após o curso. A idéia era provocar a curiosidade deles para o curso. Os experimentos tratavam sobre o conceito de pressão, da primeira lei e da terceira lei de Newton. Todos relacionados ao vôo.

Iniciamos o curso apresentando a história de Alberto Santos Dumont. Justifiquei aos estudantes a necessidade de conhecer a história da aviação, antes de analisar

fisicamente o vôo. Alguns estranharam, “*Estudar história em um curso de Física?*” Mas, a maioria gostou da idéia. Tivemos cerca de cinco encontros com cada turma. Dependendo de como as aulas eram distribuídas, com algumas eu tinha duas aulas seguidas, com outras as aulas eram separadas dentro da semana e nessas o curso demorou mais. A história de Santos Dumont e sua importância para a conquista do vôo pelo homem foram apresentadas em *PowerPoint*, com a utilização de um *Data-show* em uma sala climatizada. Em todo o curso não houve qualquer incidência de indisciplina. A atenção dos estudantes estava bem focada.

Durante a apresentação da história de Santos Dumont, alguns questionamentos foram levantados como curiosidades pelos estudantes: Como eram feitos os balões? O sobrenome da mãe de Santos Dumont gerou a famosa marca *Di Paula*? (eu não faço a menor idéia), entre outras. No entanto, o maior interesse deles era em saber o porquê do suicídio. Várias hipóteses foram discutidas, sendo a mais cogitada a solidão. A não-constituição de uma família para gerar seus descendentes deixaria Santos Dumont sem interesse em viver. Foram citados ainda possíveis traumas depressivos pela morte do pai seguida pela morte da mãe, porém, uma hipótese muito considerada foi o fato de Santos Dumont visualizar a destruição de brasileiros por aviões da pátria. Alguns autores até concordariam com eles.

Durante o curso os estudantes me questionavam a respeito da elaboração do trabalho que eles teriam que apresentar. Certo dia, os alunos de um grupo do 2º ano F, trouxeram-me sua apresentação para que eu pudesse analisar antes da apresentação. Era a construção de uma asa e a explicação do vôo pela corrente mais divulgada nos meios que eles tinham acesso, como a INTERNET, através de *Lan house*. Este grupo me trouxe a explicação do vôo com algo que eu não tinha solicitado, baseada no Princípio de Bernoulli, e que eu não iria apresentar para eles. Eu apenas mostraria a explicação do vôo através das Leis de Newton (como eu e meu orientador tínhamos discutido), porém aquilo me despertou um problema: como mostrar a eles que o vôo se explica através das Leis de Newton, enquanto os meios de informação trazem outra explicação?

Estava perto de iniciar o curso sobre a Física do Vôo e tive que às pressas reformular o planejamento de modo que a discussão sobre o Princípio de Bernoulli fosse incluída.

Apresentaria então para eles a explicação do vôo através do Princípio de Bernoulli e das Leis de Newton, mostrando o porquê que a descrição do vôo através das Leis de Newton é a correta fisicamente, enquanto que, a outra que foi e ainda é aceita por alguns autores estava sendo questionada. Aproveitaria também, para mostrar a eles a dinâmica da ciência, como sendo algo que pode mudar com o tempo.

Era um risco que eu queria correr. Não poderia simplesmente dizer para o grupo que aquela explicação (baseada no Princípio de Bernoulli) não era válida e nem podia fazer um curso diferente somente para aquela turma. As duas teorias eram diferentes. A teoria baseada no Princípio de Bernoulli era muito atraente e me utilizei disto para mostrar o porquê dela permanecer ainda nos meios de informação.

Iniciamos então o curso sobre a Dinâmica do Vôo. Para que eu pudesse prender mais a atenção deles, solicitei, de forma individual, um relatório de toda aula, a ser entregue no início da próxima aula. Esta parte do curso durou cerca de três aulas para cada turma, então eu tinha cerca de 134 relatórios por aula dada multiplicada por três encontros. A leitura foi bem cansativa e repetitiva. Indicaria a quem tenha o desejo de ministrar o curso fazê-lo em grupos, se existir mais de duas turmas.

Eu me sentia bem empolgado, imaginei que seria muito conteúdo para eles, mas, não foi. Os estudantes responderam bem, de que forma? Havia muita participação deles em aula, por vários dias alguns alunos me traziam pesquisas relacionadas ao vôo e questionavam aqueles que se apoiavam no Princípio de Bernoulli. Conforme Matthews (1994), isto na realidade foi devido ao curso sobre Santos Dumont. O pior para mim foi quando eles começaram a questionar outros professores de Física no colégio (que não têm a devida formação em Física) sobre o vôo. Alguns professores me perguntavam o porquê que eu estava fazendo aquilo e gostavam, mas tinha aqueles que eu sentia fazer pouco caso.

E qual foi a repercussão na cidade? É difícil de dizer, pois, os alunos são da zona rural, então retornavam para suas casas onde eu não tinha mais contato. Alguns deixaram opiniões em meu ORKUT, não apaguei e deixei como prova de sua satisfação pelo curso. Alguns estudantes começaram também a questionar como Santos Dumont pensou o vôo, expliquei a eles que na minha visão, o Pai da Aviação, detinha conhecimentos de Física, Mecânica, dentre outros, mas, na realidade ele era um ótimo construtor, era muito bom na resolução de problemas que lhe surgiam, mas, não acredito que ele tinha o intuito de explicar ou de formular uma teoria detalhada do vôo.

Iríamos realizar uma Feira de Ciências, construindo um Barracão da Aviação, mas, não foi possível, por falta de tempo e, também já era notória a evolução dos estudantes sobre o vôo. Um dos pontos importantes seria a visita ao aeroporto da cidade, contudo não tínhamos como chegar lá. Os alunos até conseguiram transporte, mas achei muito perigoso, era somente eu como orientador e o aeroporto era bem afastado da cidade. Com certeza seria um momento interessantíssimo do curso, pois poderiam confrontar o que aprenderam com o conhecimento dos pilotos da aeronave.

Encerramos o curso com a apresentação dos experimentos construídos pelos grupos. Foi bem interessante visualizar a reação deles, poucos, muito poucos entediados, enquanto a grande maioria, fascinados em ver a ação da asa sobre o ar e vice-versa, e a estabilidade com que ela se mantinha no ar. E novamente apresentamos a conclusão tirada por nós no final do curso:

“Pode-se dizer que a força de sustentação é a reação, devido à ação da asa sobre o ar em movimento relativo.”

Desvendar o vôo é na realidade descobrir de fato como a força Sustentação aparece. E no nosso caso, ficamos convencidos que as Leis de Newton explicam bem tal fato, a 1^o e a 3^o Lei principalmente. Vale ressaltar que a 2^o Lei na Física do Vôo, serviria para calcular a intensidade da sustentação, ou seja, a quantização do movimento e outros cálculos necessários. Julguei, pelas turmas que tinha em mãos

e pelo sucesso alcançado no curso teórico/prático, desnecessário um desenvolvimento mais profundo desta lei.

O material instrucional preparado pelo autor, foi deixado na copiadora, para que os alunos acompanhassem o curso e pudessem estudar para uma avaliação. O funcionário da copiadora me disse: *“Nunca vi os alunos do Polivalente (Joaquim da Rocha Medeiros) pegarem um material tão rápido!”* Acredito que o sucesso do curso deveu-se, à magia do questionamento, à liberdade que eles tinham para perguntar sobre um tema tão fascinante como é o vôo, mas também, devido ao grande auxílio que a história de Santos Dumont forneceu.

Ela foi o preparo inicial, a motivação de todo o curso. Como para mim foi uma experiência nova, ficava ansioso para saber como tudo isto iria acabar. Cada aula que passava criava em mim o desejo de que a outra já se iniciasse, era como ver o desenrolar de um romance. E via no olhar e nos gestos dos alunos a mesma expectativa. No final, eles realmente queriam montar um avião; não matei a sede deles com a montagem apenas um elemento, a asa, mas infelizmente eu não detinha conhecimentos técnicos para isso e entrávamos na IV e última unidade do ano de 2007.

9.0 ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS OBTIDOS

A análise deste curso é feita tomando por base os seguintes elementos: os relatórios individuais apresentados pelos alunos durante e ao final do processo, na observação participativa do autor do trabalho e no questionário, que para eles serviu como avaliação, aplicado no final do processo.

Analisei inicialmente, os 134 relatórios individuais apresentados pelos alunos. Foram de dois tipos, o primeiro perguntava a respeito da validade da apresentação da história da física, representado na figura de Santos Dumont, antes da discussão da física que trazia o conteúdo. Disse aos estudantes que gostaria que fossem sinceros ao dizer se a apresentação da história de Santos Dumont serviu de alguma forma como um elemento motivador ou não para estudar o vôo. Expliquei a eles que tomaria a resposta deles como base para repetir o curso no outro ano, com modificações ou então nem apresentar a parte histórica e entrar logo na Física do Vôo.

Em 92% dos relatórios percebeu-se que a discussão histórica de um problema físico trouxe perspectivas diferentes à compreensão da Física. *“Eu não sabia que ela servia para discussões...”* diz João aluno do 2º ano E. Para os restantes 8%, era indiferente a discussão da parte histórica. Quando é realizado um cruzamento com a lista de frequência do curso, 80%, daqueles 8%, assistiram apenas metade do curso, dessa forma não considero estes alunos como uma boa referencia. Enquanto que a frequência dos 92% foi de 96%.

O segundo tipo de relatório que dizia respeito à parte do curso sobre a dinâmica do vôo, ou seja, sobre as descrições mais encontradas na literatura de como a força sustentação aparece. Como já foi dito, foram cerca de três a quatro encontros a depender da turma. Eram no total 134 alunos, que entregaram um montante de 402 relatórios. Os percentuais aqui colocados são referentes sempre ao grupo total de 134 relatórios. Foram encontrados levantamentos que considero como positivos e negativos.

Pontos Positivos

Foram encontrados nos relatórios dos alunos, acerca da Física do Vôo:

- Compreensão da asa como elemento principal do avião, para possibilitar o vôo.

Em Cerca de 85% dos relatórios era verificado que a asa é o elemento principal que permite o vôo de um avião, sem ela um objeto poderia até sair do chão, mas sem a estabilidade para voar. É o que acontece quando vemos carros de corrida literalmente decolarem, quando perdem por algum motivo a aderência ao chão.

- Reconhecimento do tempo de transito iguais, utilizado pela descrição baseada no Princípio de Bernoulli, como incorreto.

Em 70% dos relatórios foi encontrada a referência correta de que o princípio do tempo de trânsito iguais é incoerente, pois, através de uma fotografia instantânea do ar ao redor do corpo aerodinâmico, eles viram que a porção de ar que vai por baixo não se encontra com a porção de ar que vai por cima (ver fig. 8), após se separarem na frente da asa.

- Reconhecimento de que o Princípio de Bernoulli é aplicado de forma equivocada.

Em 75% dos relatórios estava descrito que o Princípio de Bernoulli tinha sido aplicado de forma equivocada na descrição do vôo. E o mais importante é que os estudantes perceberam que o Princípio de Bernoulli é correto, mas, utilizado de forma incorreta.

- Verificação de que há atualmente três descrições sobre o vôo.

Cerca de 90% dos relatórios traziam a menção das descrições sobre o vôo comentadas em sala de aula.

- Compreensão de que, quem gera a diferença de velocidade é a diferença de pressão e não o contrário.

Este fato foi lembrado por 97% dos estudantes, mostrando que reconhecem o erro da descrição baseada no Princípio de Bernoulli, logo tal princípio não pode ser utilizado.

- Entendimento do porque que a descrição baseada no Princípio de Bernoulli é até hoje encontrada e praticada nos meios de informação.

Encontrada em livros de física do ensino superior, citada por livros de ensino médio (apenas o Princípio de Bernoulli, não a aplicação no vôo), abundante na INTERNET, os estudantes passaram ao relatório o porquê que uma explicação tão estudada durante muito tempo pode permanecer inalterada a tantos ataques. A sua forma elegante e simples de ser apresentada também é um ponto positivo para a sua permanência. Quando era apresentada a descrição do vôo, através do Princípio de Bernoulli, os estudantes rapidamente pegavam à idéia básica.

- Compreensão do vôo através das Leis de Newton como a única capaz de explicá-lo corretamente.

Em 92% dos relatórios foi lembrado que a aplicação das Leis de Newton no estudo do vôo é no momento a forma mais correta de explicar o aparecimento da força de sustentação.

- A força de sustentação como reação da ação da asa sobre o ar.

O que na realidade era a nossa conclusão final, aplicar a terceira e a primeira lei, para perceber que através delas também é muito simples compreender o vôo. Tal fato foi lembrado por cerca de 89% dos relatórios.

Foi observado também nos relatórios sobre as descrições do vôo: A Vinculação de Santos Dumont com a Física do Vôo, por apenas 20%. Tal fato não me surpreende, pois, estávamos estudando física e a maioria dos alunos acreditava que não era

interessante escrever sobre ele em um relatório de Física, este ponto foi discutido em sala de aula e já era por mim esperado. Em 60% dos relatórios foi manifestada a satisfação de terem tido um curso teórico, sem a utilização de fórmulas para a realização de cálculos matemáticos. Em 40% dos relatórios foi mencionada a palavra “surpreendente”, ou seja, o estudo da física do vôo era algo que desafiava a imaginação. Também foram lidas nos relatórios menções a respeito de que a aula suscitou a curiosidade em apreender mais, esses relatos apareceram em 55% dos relatórios.

Foram encontradas também outras menções como: A referência ao ângulo de ataque, fator importantíssimo para a sustentação e, à velocidade de Estol como sendo a velocidade mínima para manter a aeronave no ar. Tais fatos foram observados em 70% e 50% dos relatórios respectivamente. E também foram citados o ângulo de ataque crítico, em 75% dos relatórios e a sustentação como tendo um valor nunca maior que a força peso, no mínimo igual, em 50% dos relatórios.

Pontos Negativos

Foram encontrados nos relatórios dos alunos, acerca da Física do Vôo:

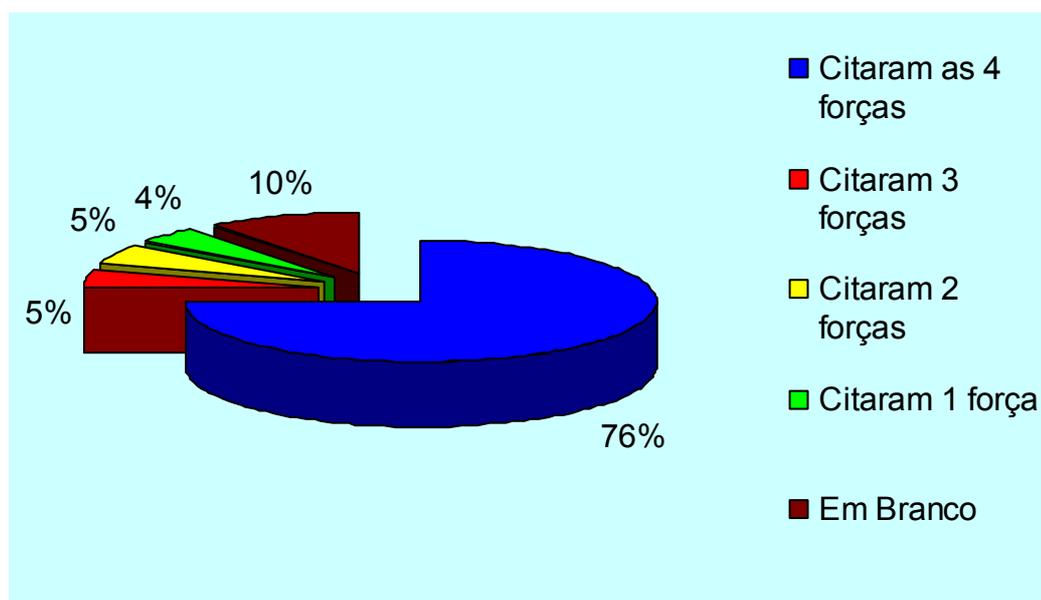
- Em 1,5% dos relatórios foi encontrada a citação errônea de que Bernoulli estudou e inventou o avião.
- Em 1,5% também dos relatórios foi verificado o entendimento incorreto para a descrição do vôo, nestes relatórios, foi mencionado que a descrição que melhor descreveria a sustentação seria a que Anderson (2006) chamou de descrição aerodinâmica matemática da sustentação.

Com relação ao questionário, este foi aplicado 15 dias após o término do curso, neste meio tempo, nós discutíamos os resultados dos relatórios com os alunos e o colégio também parou para uma gincana, nada que atrapalhasse o desenvolvimento do curso. A aplicação do questionário, que na realidade serviu como uma avaliação do que foi estudado no curso, tinha como objetivo confrontar os resultados encontrados nos relatórios e também verificar se os estudantes compreenderam a

idéia básica de como compreender o vôo; além de gerar mais uma nota para a III unidade.

Para tanto, as questões foram formuladas como afirmações, exceto a primeira e a décima questão. As questões eram do tipo Likert, ou seja, as respostas eram classificadas como Concordo Plenamente, Concordo, Indeciso ou não tenho Opinião, Discordo e Discordo Totalmente. Como era algo novo para os estudantes, tivemos uma boa conversa sobre o que cada alternativa queria dizer. O questionário/avaliação foi aplicado em duas salas com ajuda de mais três colegas, em um mesmo momento.

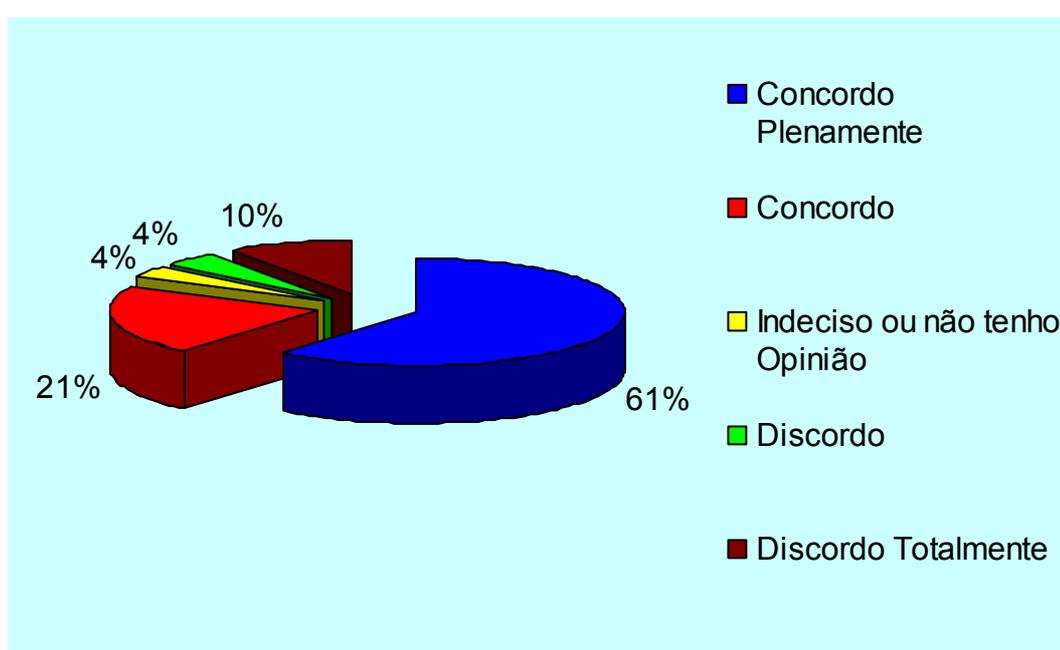
Gráfico 1 - Distribuição das respostas dadas pelos estudantes quando questionados sobre quais são as quatro forças aerodinâmicas definidas por Dahmen (2006) para a compreensão do vôo.



O gráfico 1 traduz as respostas da primeira questão, que dizia respeito às forças envolvidas em um avião durante um vôo. No relatório 90% dos estudantes citaram e descreveram as quatro forças aerodinâmicas, no questionário/avaliação, pode-se ver que 76% dos alunos conseguiram descrever todas as forças que agem em uma aeronave. Na realidade o nosso intuito é à força de sustentação, mas, aproveitamos também para verificar a força peso em ação, a força propulsora ou tração e o arrasto, ou seja, o atrito produzido pelo deslocamento relativo do avião no ar.

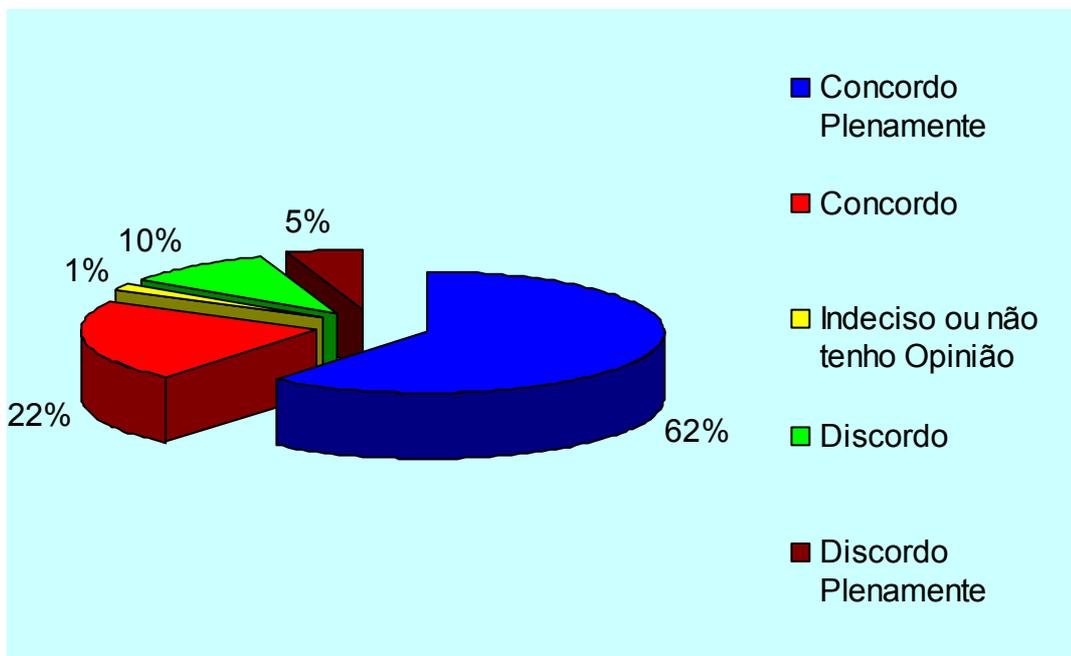
Foi interessante, pois, pudemos comparar com um garoto andando de bicicleta, onde facilmente percebe-se a variação da força de atrito com a velocidade, no caso do avião com a velocidade ao quadrado e, pudemos então estudar um pouco de turbulência, algo muito falado em filmes de ação.

Gráfico 2 – Distribuição das respostas dadas pelos estudantes na afirmação: Tanto na subida quanto em uma descida rápida a sustentação tem valor menor do que a força peso, para qualquer valor do ângulo de ataque, tornando-se igual apenas em vôo nivelado.



Lembrado por 50% dos estudantes em seus relatórios, e por 82% na avaliação. Fato curioso, pois os estudantes, inclusive eu, acreditávamos que o avião saía do chão devido a força de sustentação torna-se maior que a força peso, onde na realidade a sustentação nunca é maior, apenas igual em vôo nivelado. Pudemos observar este fato quando fizemos o experimento da asa. Utilizando-se da fórmula (25), na realidade os cálculos foram feitos pelo autor da dissertação, apenas os resultados foram apresentados aos alunos.

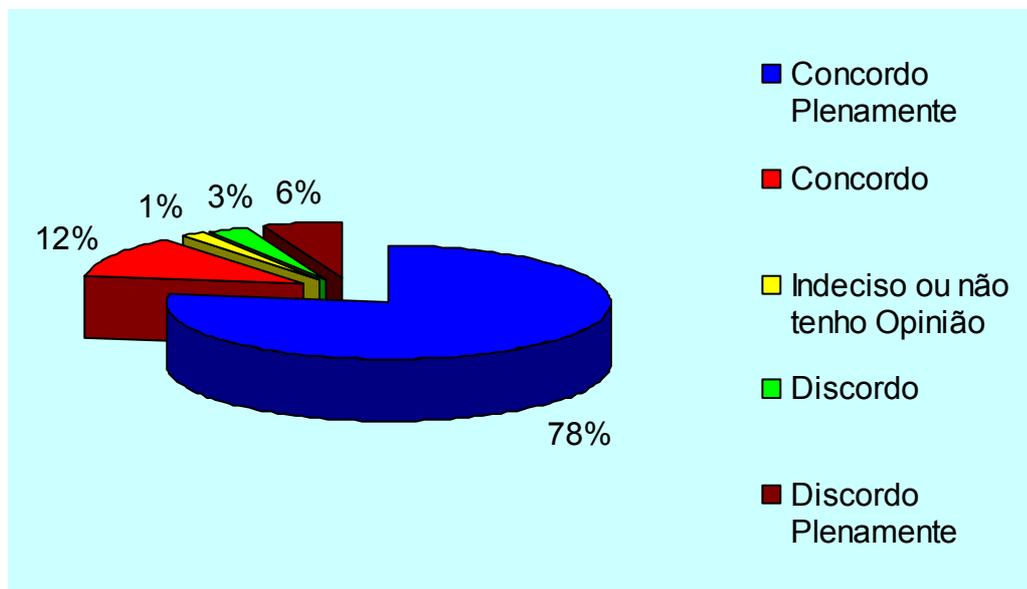
Gráfico 3 - Distribuição das respostas dadas pelos estudantes na afirmação: A força aerodinâmica Sustentação, depende, da velocidade e do ângulo de ataque do avião.



O intuito da terceira pergunta descrita no gráfico 3 era confrontar o aluno com a questão dois, para ver se ele tinha certeza da dependência da sustentação com o ângulo de ataque do avião e de sua velocidade. O que o estudante teria que compreender, onde 84% corresponderam, era que a sustentação se dá por um movimento relativo e o mais interessante é que o avião não precisa estar voando, ele pode estar parado e uma corrente forte gerar a sustentação, pois a asa vai forçá-lo a modificar seu caminho, empurrando o ar para baixo, criando então uma reação sobre ela, que claro irá depender da velocidade do ar.

Este aspecto foi lembrado por 70% dos estudantes, mas, apenas a dependência da sustentação com o ângulo de ataque, por isso foi interessante colocar esta questão.

Gráfico 4 - Distribuição das respostas dadas pelos estudantes na afirmação: A asa é o elemento do avião que gera a força de Sustentação. Retirando-se este elemento, com certeza o avião não sairia do chão, através de meios próprios.



O elemento aerodinâmico é quem cria a sustentação, qualquer objeto pode gerar sustentação, não é a toa que nossa mão do lado de fora do carro em velocidade tende a levantar vôo, mas a asa é feita para isto e, 90% dos estudantes compreenderam isto. Nos relatórios lembremos que 85% dos estudantes descreveram tal fato.

No gráfico 5, com relação a questão de número cinco, iniciamos o confronto da descrição baseada no Princípio de Bernoulli e nas Leis de Newton. Nos relatórios cerca de 70% dos estudantes lembraram que o Princípio dos tempos de trânsito iguais é realmente uma falha na descrição baseada em Bernoulli e, na avaliação 67%. Este princípio dos tempos, realmente não é um problema a ser resolvido na hora da explanação do professor, mas, são necessárias várias figuras de túnel de vento para demonstrar isto.

Gráfico 5 – Distribuição das respostas dadas pelos estudantes na afirmação: A descrição do vôo baseada na utilização do Princípio de Bernoulli tem como principal desvantagem, o fato de estar baseada no *Princípio dos Tempos de Trânsito Iguais*.

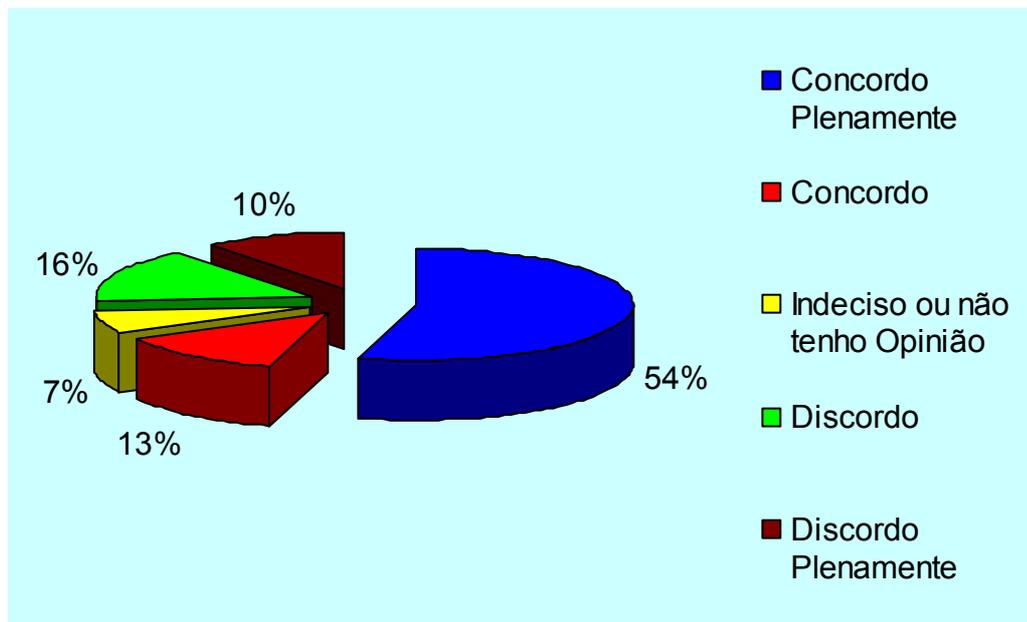
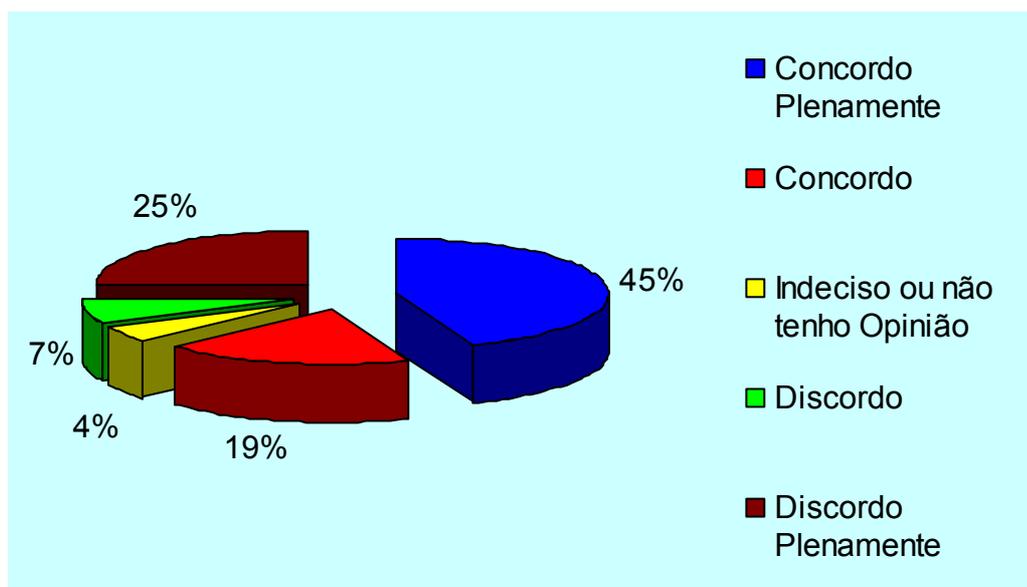
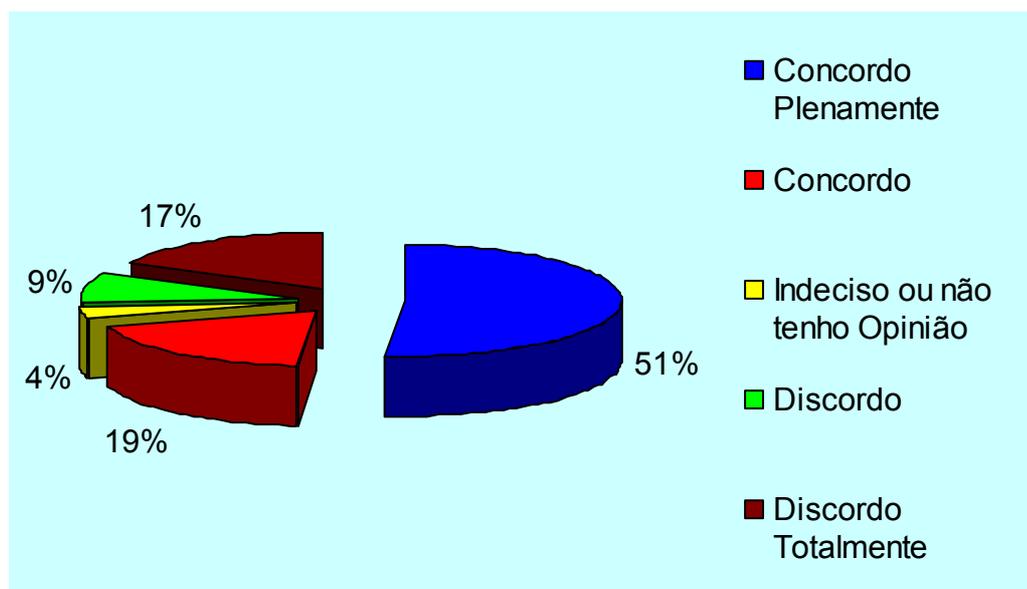


Gráfico 6 – Distribuição das respostas dadas pelos estudantes na afirmação: O *Princípio dos Tempos de Trânsito Iguais* diz que a porção de ar que vai por cima da asa e a porção de ar que vai por baixo tem que chegar ao mesmo instante no bordo de fuga da asa.



A questão seis descrita no gráfico 6, aborda sobre o que é o Princípio dos tempos de trânsitos iguais, 64% dos estudantes mostraram compreender este princípio.

Gráfico 7 – Distribuição das respostas dadas pelos estudantes na afirmação: A diferença de pressão em cima e em baixo da asa é gerada pela diferença de velocidade em cima e em baixo da asa.

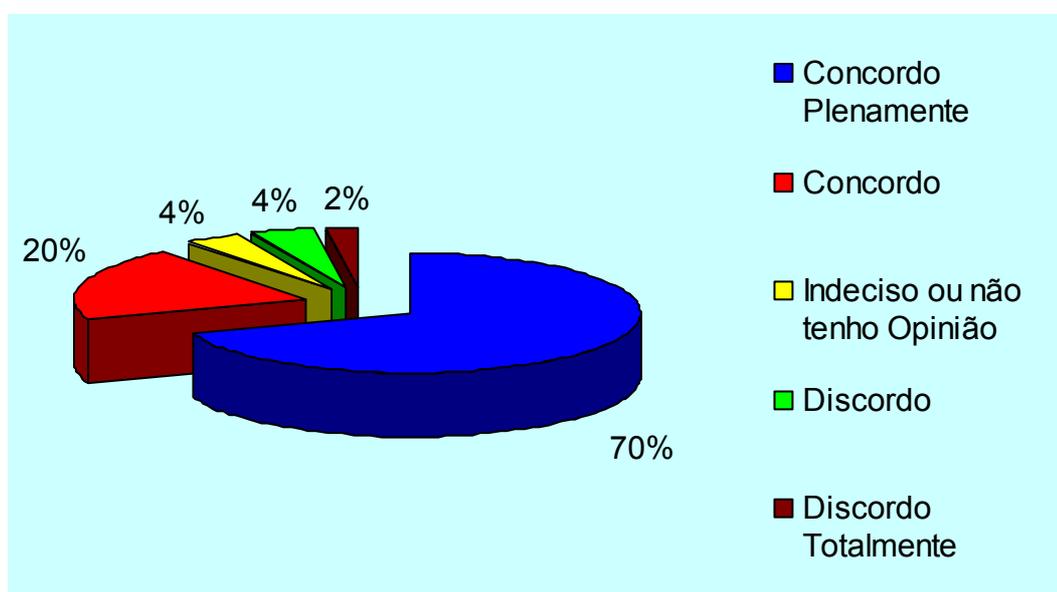


A questão sete, que podemos observar - lá através do gráfico 7, expõe um problema da descrição baseada no Princípio de Bernoulli e este ponto realmente foi o de maior dificuldade no curso e deveria ser pensado algo para facilitar a compreensão de quem gera a diferença de velocidade em cima e em baixo da asa é a diferença de pressão e não o contrário, apenas 17% dos estudantes compreenderam isto. Nesta questão foi observado pelo autor da dissertação que na hora de responder os alunos ficaram um pouco confusos.

Como nos relatórios cerca de 97% dos estudantes foi encontrada a menção correta, acreditamos que, uma reformulação na questão poderia resolver o caso, ou uma investigação em sala de aula, com uma discussão sobre o tema.

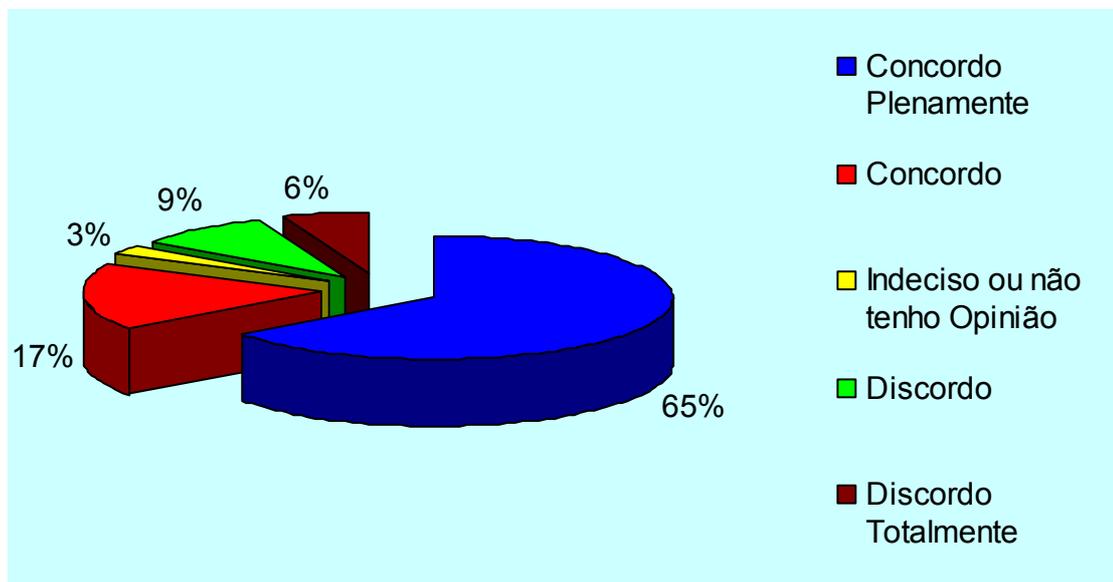
É importante lembrar que os relatórios foram discutidos em aula, ou seja, houve um retorno aos estudantes, mas, com relação à avaliação/questionário não houve tempo para isso, pois a IV unidade estava em cima e a coordenação também.

Gráfico 8 - Distribuição das respostas dadas pelos estudantes na afirmação: Todos os objetos permanecem no seu estado de repouso ou de movimento uniforme ao longo de uma linha reta, a não ser que seja exercida sobre eles a ação de uma força não contrabalançada. (HARVARD PROJECT PHYSICS, 1978). Este é o enunciado da 1ª Lei de Newton, que aplicada ao avião poderíamos dizer: Se vemos o escoamento se curvar ou se o ar, a princípio parado, for repentinamente acelerado, significa que há uma força atuando sobre ele.



A compreensão das Leis de Newton aplicada ao voo, era vital para o sucesso do curso, nesta questão, o gráfico 8 mostra que 90% dos estudantes conseguiram associar a 1ª Lei na asa do avião. Seria interessante também, expor o aluno a algum tipo de situação-problema para melhor analisar esta compreensão.

Gráfico 9 - Distribuição das respostas dadas pelos estudantes na afirmação: Pode-se dizer que a Força de Sustentação é a reação, devido à ação da asa sobre o ar em movimento relativo.



A nossa conclusão final sobre o vôo. A partir da aplicação da 1ª e da 3ª Lei, podíamos então explicar o vôo, de forma bem simples. Nos relatórios este fato foi lembrado por 92% dos estudantes, na avaliação pode-se ver no gráfico 9 que 82%, dos alunos tinham a certeza de que a sustentação é a reação devido a ação da asa sobre o ar.

No Gráfico 10, temos uma preocupação com as imagens ou desenhos que os estudantes podem ver nos meios de informação, dessa forma fizemos questão de colocar uma questão que mostrasse a forma correta de gerar a sustentação e outra amplamente divulgada nos livros-textos e na INTERNET. Como se pode ver 74% dos estudantes conseguiu associar a sustentação à imagem correta. O que revela uma compreensão não apenas teórica, mas, também visual do vôo.

Gráfico 10 - Distribuição das respostas dadas pelos estudantes na pergunta: A partir das duas figuras abaixo, qual delas descreve corretamente o surgimento da Força de Sustentação.

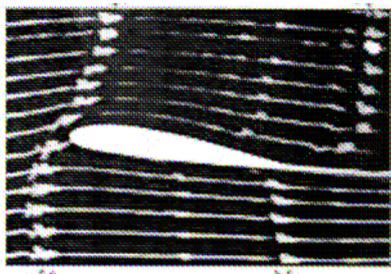


Figura A

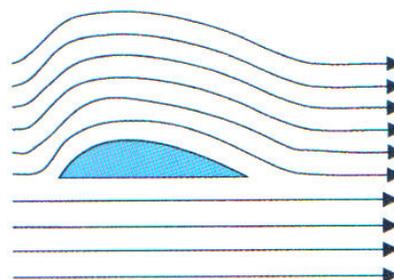
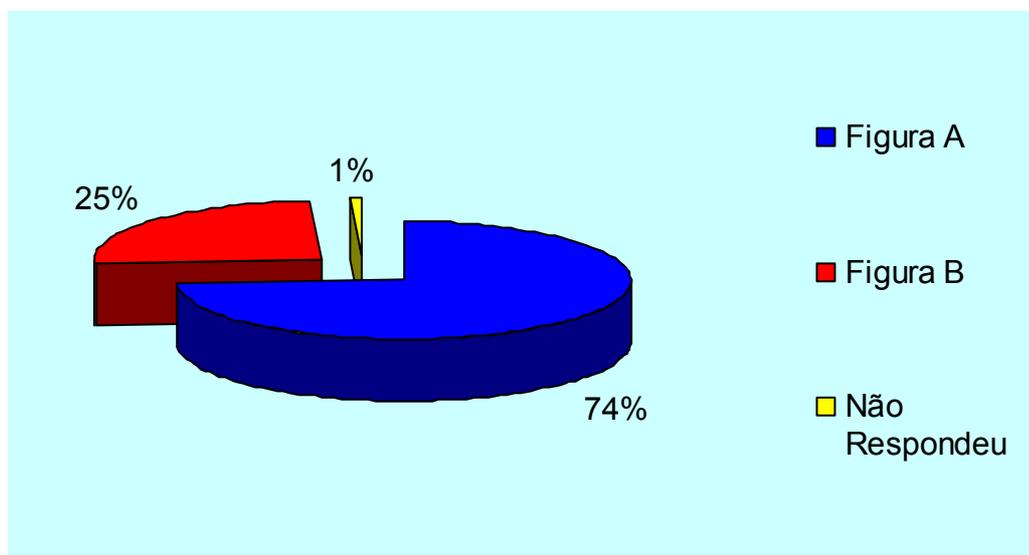


Figura B



10.0 CONCLUSÃO

Após a aplicação do curso pôde-se perceber seu principal resultado. Mostrar a viabilidade da discussão correta de um conteúdo novo – A Física do Vôo – aplicado no Ensino Médio de uma escola pública do interior do Estado da Bahia. A inserção de uma inovação didática foi o grande diferencial deste curso, o resgate da história de um dos nossos maiores heróis, o Alberto Santos Dumont. A inclusão de sua história possibilitou que durante a discussão sobre as descrições do vôo, onde a Física era mais ressaltada esta não se perdesse e nem ficasse entediada. A medida do êxito do curso fora percebido pelo autor através do entusiasmo dos estudantes durante e ao final do processo.

Infelizmente, tem sido usual nos currículos dos cursos de Ensino Médio em Física no Brasil, uma subestimação, quando são utilizados, dos aspectos históricos e epistemológicos da ciência. Tais currículos, em suma, relevam apenas o aspecto operacional da Física, o que caracteriza como um ensino em Física, mas não, sobre Física¹. O ensino que tem sido praticado segue a forma tradicional, essencialmente formal e baseada na exclusiva matematização de um conteúdo linear e fragmentado, exigindo tão somente a memorização de equações sem que se estabeleçam os seus significados e sua contextualização.

Sobre o resgate da história de Alberto Santos Dumont, alguns podem pensar: *Qual aluno que não conhece Santos Dumont?* A única coisa que meus alunos sabiam sobre ele, é que era o pai da aviação e, o mais interessante é que cerca de 35% não sabiam muito bem o porque. E logo em sua terra natal! Em minhas pesquisas percebi que os estrangeiros conhecem melhor nossos heróis do que nós mesmos. É fato que a produção intelectual sobre Santos Dumont é precária. Há pesquisadores sobre sua história como o Henrique Lins de Barros, mas, não há livros ou artigos de referência sobre a biografia de Santos Dumont.

¹ Estas denominações em Física e sobre Física são encontradas em MATTHEWS (1994: 2) e se referem, respectivamente, ao ensino do conteúdo de Física em si, e ao ensino sobre a natureza da ciência Física.

A inclusão da Física do Vôo, através da história de Santos Dumont, não somente trouxe motivação para mim e aos alunos, mas também um melhor poder argumentativo para os estudantes. Isto eu pude comparar, pois fui professor dos alunos desde março e observei as suas argumentações antes, durante e após o curso. Carvalho e Vannucchi (2000) apresentam os mesmo resultados em suas pesquisas.

É claro que o estudo do vôo é fascinante, mas não tenho dúvidas que o conhecimento da história da aviação trouxe melhoras significativas para os alunos. Para o autor, que não enxerga mais o seu curso sem uma discussão histórico-filosófica da ciência a evolução também foi percebida.

Um problema crucial percebido durante a experiência didática e que todo professor que queira trabalhar com a explicação correta da Física do Vôo irá encontrar, é a divulgação na Internet da explicação incorreta através do Princípio de Bernoulli. Esta divulgação errônea antes restrita aos livros de Ensino Superior, prolifera-se através da rede mundial de computadores e provavelmente chegará a livros didáticos de má qualidade.

È percebido que a disputa da autoria sobre o vôo motorizado ficou entre os países de Primeiro Mundo – Os Estados Unidos e a França – isto, e mais o fato de que a França via Santos Dumont como francês devido sua descendência fez com que o nosso inventor fosse esquecido como o verdadeiro Pai da Aviação de nacionalidade Brasileira. Entender o porquê que a versão Americana dos *Irmãos Wright* sobre o vôo prevaleceu é uma questão que não tenho resposta.

Uma pergunta que fica em aberto sobre Santos Dumont é se ele tentou resolver o problema da Sustentação através de uma teoria própria, ou seja, se de fato ele viu o problema ou se o resolveu de forma puramente instintiva como um bom inventor que era. Tal fato mostra que há ainda muito na história deste inventor a ser desvendado e confirma a precária situação em que se encontra a literatura intelectual sobre sua biografia.

No relatório final, em que foi solicitado aos estudantes que respondessem: qual foi a validade do curso? Ou seja, basicamente foi perguntado a eles se valeria a pena que durante outros anos o autor repetisse tal experiência nas outras turmas ou até mesmo com eles em um futuro 3º ano. Nestes 134 relatórios pude tirar minhas dúvidas finais de que a experiência foi bem sucedida.

A motivação que esta inclusão proporcionou para a sala de aula, conhecendo melhor o processo histórico-filosófico do conhecimento científico tornou as aulas mais atrativas. Quando os problemas reais encontrados pelos cientistas são colocados, os estudantes percebem que os cientistas não são deuses ou loucos, apenas pessoas que dedicaram a sua vida a algum tipo de conhecimento. Para o autor o estudo da história da ciência levou-o a uma melhor compreensão dos obstáculos e dificuldades dos alunos.

Com relação aos conteúdos aprendidos, pode-se verificar que houve uma evolução na compreensão do voo, por parte dos estudantes e que mesmo apresentando as diversas descrições sobre o voo, Princípio de Bernoulli x Leis de Newton, o curso mostrou ser viável a compreensão das duas correntes e melhor ainda, é possível convence-los, mesmo tendo a Internet contra, de que as Leis de Newton é no momento a melhor forma de descrever o voo. Pôde-se mostrar aos estudantes que o Princípio de Bernoulli não é errado, mas, a sua aplicação na descrição do voo é incorreta. E isto não é impossível de se conseguir como mostraram os resultados da análise. Outro ponto que também foi possível de ser trabalhado foi a compreensão do Efeito Coanda. Aproveitamos também para estudar a viscosidade ou atrito exercido pelos fluidos.

Um ponto que realmente é de difícil compreensão é a idéia de que a diferença de velocidade é gerada pela diferença de pressão. O problema está em mostrar aos estudantes que a diferença de pressão aparece primeira. O experimento feito com asa construída por eles (ver anexo) é um caminho, mas, há de haver uma forma de mostrar que asa gera essa diferença de pressão. Tal forma já foi elaborada com os Professores Paulo Miranda e Klaus Weltner do Instituto de Física da UFBA, mas não houve tempo para incluir neste trabalho.

Quanto à metodologia empregada, pude verificar que os experimentos poderiam alcançar a elaboração de um avião, fosse ele o 14bis ou não. Faltou ao autor da dissertação organização e preparo técnico para aprender a construir um protótipo.

Com relação à avaliação/questionário acredito que faltaram situações-problemas para melhor diagnosticar o conteúdo aprendido pelos estudantes, tal fato fora substituído pela observação participante do autor, mas, isto é realmente trabalhoso. Como já foi dito há questões que também poderiam ser mais bem elaboradas. Mas isto não implica de forma alguma, que este curso não possa, por outros aspirantes a pesquisadores ou pesquisadores, ser replicado, tendo então seus resultados comparados com o desta dissertação.

Acredito que como trabalho inédito, esta dissertação trouxe contribuições à comunidade e que outros cursos sobre a Física do Vôo, devam ser realizados, tomando os devidos cuidados para que não se repitam os mesmos erros. Vale ressaltar que não houve nenhum desvio de manipulação de dados, gerando assim, dados confiáveis e fidedignos.

Por fim, concluí-se que a inclusão de temas de relevância atual no currículo do Ensino Médio, com o intuito de construir uma visão da Física que esteja voltada para a formação de um cidadão contemporâneo, atuante e solidário, com instrumentos para compreender, intervir e participar na realidade parecem ser necessários para o futuro da Física no Ensino Médio. Para tanto, um instrumento importante, é a exploração atenta das discussões nas quais os estudantes se expressam com maior liberdade e, a utilização freqüente de trabalhos experimentais de manipulação e de questionários.

11.0 REFERÊNCIAS

ALVARENGA, Beatriz & MÁXIMO, Antônio. **Curso de Física**. São Paulo: Scipione, Vol. 1, 5ª edição, 2ª impressão, 2000.

ANDERSON, David & EBERHARDT, Scott. Como os Aviões Voam: Uma Descrição Física do Voo. **A Física na Escola**. São Paulo: Sociedade Brasileira de Física, v. 7, nº 2, 2006.

ARRIBAS, Santos D. & MEINECK, Renato. Câmera Escura. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, vol. 3, nº 1, pág. 46 a 50, abril, 1986.

ARRIASSECQ, Irene & GRECA, Ileana. Introducción de la Teoría de la Relatividad Especial em el nivel Medio/Polimodal de Enseñanza: Identificación de Teoremas - en - Acto y Determinación de Objetivos – Obstáculo. **Investigações em Ensino de Ciências**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, vol. 11, nº 2, agosto, 2006. Disponível em <<http://www.if.ufrgs.br/ienci/>>. Acesso em 20 de dezembro de 2006.

AXT, Rolando et al. O Efeito Fotoelétrico no Segundo Grau via Microcomputador. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, vol. 4, nº 2, pág. 68 a 88, agosto, 1987.

BARROS, José Antônio; CAVALCANTE, Marisa A. & JARDIM, Vladimir. Inserção de Física Moderna no Ensino Médio: Difração de um Feixe de Laser. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, vol. 16, nº 2, pág. 154 a 169, agosto, 1999.

BARROS, Henrique Lins de. **Desafio de Voar: Brasileiros e a Conquista do Ar. 1709 – 1914**. São Paulo: Metalivros, 2006, 214 p.

BONJORNIO, José Roberto et al. **Física: História e Cotidiano**. Volume Único. Coleção Delta. São Paulo: FTD, 2ª edição, 2005.

BRASIL. Ministério da Educação. **PCN+ Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais: Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias**. Brasília, 2002.

BROCKINGTON, Guilherme & PIETROCOLA, Maurício. Serão as Regras da Transposição Didática Aplicáveis aos Conceitos de Física Moderna? **Investigações em Ensino de Ciências**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Vol. 10, nº 3, dezembro, 2005. Disponível em <http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/vol10/n3/v10_n3_a5.html>. Acesso em 10 de dezembro de 2006.

CALÇADA, Caio Sérgio & SAMPAIO, José Luiz. **Universo da Física 2**. Coleção Universo da Física. São Paulo: Atual, 2ª edição, 2005.

CARVALHO, A. M. P. & VANNUCCHI, A. I. History, Philosophy and Science Teaching: Some Answers to "How?" **Science & Education**, Netherlands: Kluwer Academic Publishers, v. 9, p. 427-448, 2000.

CAVALCANTE, Marisa A. & TAVOLARO, Cristiane R. C. Uma Oficina de Física Moderna que vise a sua Inserção no Ensino Médio. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, vol. 18, nº 3, pág. 298 a 316, dezembro, 2001.

CAVALCANTI, Cláudio & OSTERMANN, Fernanda. Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio: Elaboração de Material Didático, em Forma de Pôster, sobre Partículas Elementares e Interações Fundamentais. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, vol. 16, nº 3, pág. 267 a 286, dezembro, 1999.

COSTA, Ana Paula & COSTA, Luciano. O Ensino de Física das Radiações na Formação de Auxiliares de Enfermagem e Atendentes de Consultórios Odontológicos: Sondagem de Concepções sobre os Raios-X com Enfoque na Prevenção e Tecnologia. **Ciência & Educação**. Bauru: Universidade Estadual Paulista, vol. 8, nº 2, pág. 161 a 165, setembro, 2002.

DAHMEN, Sílvio & STUDART, Nelson. A Física do Vôo na Sala de Aula. **A Física na Escola**. São Paulo: Sociedade Brasileira de Física, v. 7, nº 2, 2006.

DUMONT, Alberto Santos. **Os Meus Balões**. Rio de Janeiro: Biblioteca do Exército, 1973.

DUMONT, Alberto Santos. **O que Eu Vi o que Nós Veremos**. São Paulo: Edição do autor, 1918.

EASTLAKE, Charles N. A Visão de um Engenheiro Aeronáutico acerca da Sustentação, Bernoulli e Newton. **A Física na Escola**. São Paulo: Sociedade Brasileira de Física, Vol. 07, nº 02, outubro, 2006.

ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA. **Stalls and Spins**. National Aeronautics and Space Administration (NASA), 1996. Disponível em <http://www.av8n.com/how/htm/spins.html#sec_coanda>. Acesso em 15 de dezembro de 2006.

FILHO, Adalberto Ayjara D. Demonstre em Aula uma Questão em Hidrodinâmica. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, vol. 13, nº 1, pág. 53 a 67, abril, 1996.

GASPAR, Alberto. **Física 3 - Eletromagnetismo e Física Moderna**. São Paulo: Ática, 1ª edição, 2000.

GIL PÉREZ, Daniel et al. Para uma Imagem não Deformada do Trabalho Científico. **Ciência & Educação**. Bauru: Universidade Estadual Paulista v.7, n.2, p.125-153, 2001.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert & WALKER, Jearl. **Fundamentos de Física 2: Gravitação, Ondas e Termodinâmica**. Rio de Janeiro: LTC, 4^o edição, 1996.

HARVARD PROJECT PHYSICS. **Conceitos de Movimento – Unidade 1**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1978, 204 p.

JABOR, Arnaldo. JORNAL NACIONAL. 2006. Disponível em <<http://www.santosdumont.net/midia/index.htm>>. Acesso em 20 de Fevereiro de 2006.

LABURÚ, C.; SIMÕES, A. & URBANO, A. Mexendo com Polaróides e Mostradores de Cristais Líquidos (O ensino da Física Contemporânea, Tendo como Pano de Fundo a Física do Cotidiano). **Caderno Catarinense de Ensino de Física**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, vol. 15, n^o 2, pág. 192 a 205, agosto, 1998.

LATTARI, Cleiton & TREVISAN, Rute. Radioastronomia: Noções Iniciais para o Ensino Médio e Fundamental como Ilustração de Aula. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, vol. 18, n^o 2, pág. 229 a 239, agosto, 2001.

MATTHEWS, M. R. **Science Teaching: The Role of History and Philosophy of Science**. New York: Routledge, 1994.

MEDEIROS, Alexandre & MEDEIROS, Cleide. Einstein, A Física dos Brinquedos e o Princípio da Equivalência. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, vol. 22, n^o 3, pág. 299 a 315, dezembro, 2005.

MOREIRA, Alysson & VALADARES, Eduardo. Ensinando Física Moderna no Segundo Grau: Efeito Fotoelétrico, Laser e Emissão de Corpo Negro. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, vol. 15, n^o 2, pág. 121 a 135, agosto, 1998.

MOREIRA, M. A. **Aprendizagem significativa**. Brasília: Universidade de Brasília, 1999, 130 p.

NUSSENZVEIG, H. Moyses. **Fundamentos de Física 2: Gravitação, Ondas e Termodinâmica**. Rio de Janeiro: LTC, 1981.

OLIVEIRA, M. K. **Aprendizado e Desenvolvimento - Um processo Histórico**. São Paulo: Scipione, 4^o edição, 1997, 111 p.

OSTERMANN, Fernanda & RICCI, Trieste. Relatividade Restrita no Ensino Médio: Os Conceitos de Massa Relativística e de Equivalência Massa-Energia em Livros Didáticos de Física. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, vol. 21, n^o 1, pág. 83 a 102, abril, 2004.

OSTERMANN, Fernanda & RICCI, Trieste. Relatividade Restrita no Ensino Médio: Contração de Lorentz-Fitzgerald e Aparência Visual de Objetos Relativísticos em Livros Didáticos de Física. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**.

Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, vol. 19, nº 2, pág. 176 a 190, agosto, 2002.

PINTO, A. & ZANETIC, J. É possível Levar a Física Quântica para o Ensino Médio? **Caderno Catarinense de Ensino de Física**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, vol. 16, nº 1, pág. 07 a 34, abril, 1999.

PIMENTEL, Homero & URBAN, Paulo. **Santos Dumont: Bandeirante dos Ares e das Eras**. São Paulo: Madras, 2006, 248 p.

POLIT, Denise F. & HUNGLER, Bernadette P. **Fundamentos de Pesquisa em Enfermagem**. Porto Alegre: Artes Médicas, 3º edição, 1995.

RASKIN, Jef. **Model Airplanes, The Bernoulli Equation, and the Coanda Effect**. 1994. Disponível em <http://jef.raskincenter.org/published/coanda_effect.html>. Acesso em 15 de dezembro de 2006.

REGO, T. C. **Vygotsky: Uma Perspectiva Histórico-Cultural em Educação**. Petrópolis: Vozes, 1999, 138 p.

SANTOS, Robson; NASCIMENTO, Silvania & NIGRI, Elbert. Alfabetização Científica e Tecnológica e a Interação com os Objetos Técnicos. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, vol. 23, nº 1, pág. 53 a 67, abril, 2006.

SANTOS, F. J. & SÁNCHEZ G. S. **Pesquisa Educacional: Quantidade - Qualidade**. São Paulo: Cortez, 2000.

SECRETÁRIA DE EDUCAÇÃO DO ESTADO DA BAHIA, COORDENAÇÃO DE ENSINO MÉDIO, 2007. Disponível em <http://www.sec.ba.gov.br/ens_medio/curriculo.htm>. Acesso em 15 de Julho de 2007.

STUDART, Nelson. Carta do Editor. **A Física na Escola**. São Paulo: Sociedade Brasileira de Física, Vol. 07, nº 01, maio, 2006.

STUDART, Nelson. Editorial. **Revista Brasileira de Ensino de Física**. São Paulo: Sociedade Brasileira de Física, Vol. 28, nº 03, jul. - set, 2006.

TERRAZZAN, Eduardo A. A Inserção da Física Moderna e Contemporânea no Ensino de Física na Escola de 2º grau. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, vol. 09, nº 3, pág. 53 a 67, abril, 1992.

VYGOTSKY, L. S. **A formação Social da Mente**. São Paulo: Martins Fontes, 5ª Edição, 1994, 191 p.

WELTNER, Klaus et al. A Dinâmica dos Fluidos Complementada e a Sustentação da Asa. **Revista Brasileira de Ensino de Física**. São Paulo: Sociedade Brasileira de Física, Vol. 23, nº 4, dezembro, pág. 429 a 443, 2001.

ANEXO

Escola Estadual Joaquim da Rocha Medeiros

Professor: Paulo Correia

Turma do 2º ano _____

Turno: Vespertino

Data: ____/____/____

Aluno (a): _____

Atividade de Investigação sobre a Física do Vôo

1) Para os Físicos existem quatro forças envolvidas na descrição da natureza que regem o universo e, a sua compreensão, estaria em torno de como elas se relacionam. São elas: a fraca que produz radioatividade, a forte responsável pela coesão nuclear, a eletromagnética que está relacionada com fenômenos elétricos e magnéticos e a gravitacional, que atua entre corpos que possuem massa. Dahmen (2006) define na aerodinâmica, também quatro forças para compreensão do vôo: Quais são elas?

2) Tanto na subida quanto em uma descida rápida a sustentação tem valor menor do que a força peso, para qualquer valor do ângulo de ataque, tornando-se igual apenas em vôo nivelado. Nesta afirmação você:

- a) Concorda Plenamente
- b) Concorda
- c) Indeciso ou não tenho opinião
- d) Discorda
- e) Discorda totalmente

3) A força aerodinâmica Sustentação, depende, da velocidade e do ângulo de ataque do avião.

- a) Concordo Plenamente
- b) Concordo
- c) Indeciso ou não tenho opinião
- d) Discordo
- e) Discordo totalmente

4) A asa é o elemento do avião que gera a força de Sustentação. Retirando-se este elemento, com certeza o avião não sairia do chão, através de meios próprios.

- a) Concordo Plenamente
- b) Concordo
- c) Indeciso ou não tenho opinião
- d) Discordo
- e) Discordo totalmente

5) A descrição do vôo baseada na utilização do Princípio de Bernoulli tem como principal desvantagem, o fato de estar baseada no *Princípio dos Tempos de Trânsito Iguais*.

- a) Concordo Plenamente
- b) Concordo
- c) Indeciso ou não tenho opinião
- d) Discordo
- e) Discordo totalmente

6) O *Princípio dos Tempos de Trânsito Iguais* diz que a porção de ar que vai por cima da asa e a porção de ar que vai por baixo tem que chegar ao mesmo instante no bordo de fuga da asa.

- a) Concordo Plenamente
- b) Concordo
- c) Indeciso ou não tenho opinião
- d) Discordo
- e) Discordo totalmente

7) A diferença de pressão em cima e em baixo da asa é gerada pela diferença de velocidade em cima e em baixo da asa.

- a) Concordo Plenamente
- b) Concordo
- c) Indeciso ou não tenho opinião
- d) Discordo
- e) Discordo totalmente

8) *Todos os objetos permanecem no seu estado de repouso ou de movimento uniforme ao longo de uma linha reta, a não ser que seja exercida sobre eles a ação de uma força não contrabalançada.* (HARVARD PROJECT PHYSICS, 1978). Este é o enunciado da 1ª Lei de Newton, que aplicada ao avião poderíamos dizer: Se vemos o escoamento se curvar ou se o ar, a princípio parado, for repentinamente acelerado, significa que há uma força atuando sobre ele.

- a) Concordo Plenamente
- b) Concordo
- c) Indeciso ou não tenho opinião
- d) Discordo
- e) Discordo totalmente

9) Pode-se dizer que a Força de Sustentação é a reação, devido à ação da asa sobre o ar em movimento relativo.

- a) Concordo Plenamente
- b) Concordo
- c) Indeciso ou não tenho opinião
- d) Discordo
- e) Discordo totalmente

10) A partir das duas figuras abaixo, qual delas descreve corretamente o surgimento da Força de Sustentação.

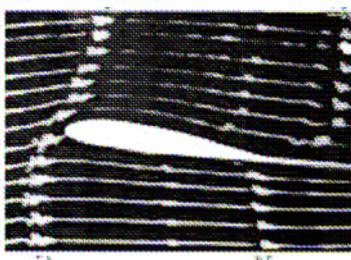


Figura A

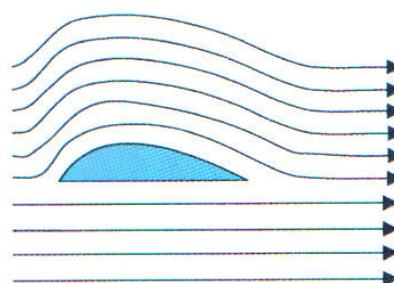


Figura B

Universidade Federal da Bahia / Universidade Estadual de Feira de Santana;
Departamento de Física

Projeto: Introduzir o estudo da Física do voo no ensino médio, a partir da história de Alberto Santos Dumont. Autor: Prof. Paulo dos Santos Correia (tel.: 77 3483 4286 / 77 9136 6491).

Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

Prezado (a) Estudante; este termo é parte integrante do trabalho final de conclusão do mestrado em História, Filosofia e Ensino de Ciências, que consiste em Introduzir o estudo da Física do voo no ensino médio, a partir da história de Alberto Santos Dumont.

Para realizar esta pesquisa será necessário um procedimento, comum em investigações deste tipo, como: i) aplicação de relatórios a serem respondidos pelos estudantes, contendo a solicitação de informações com questões abertas sobre conteúdos apreendidos, sobre a história de Santos Dumont e sobre a metodologia utilizada. Os relatórios serão respondidos na presença do pesquisador ou se o estudante preferir, ele poderá levar para sua residência, para trazer na próxima aula.

Os relatórios serão arquivados pelo pesquisador e a identidade dos informantes será mantida em absoluto sigilo, não sendo revelada em nenhum momento da pesquisa (nem mesmo ao final, quando da publicação dos resultados). Os resultados serão publicados em encontros científicos e revista especializada contendo, eventualmente, citações anônimas e estarão disponíveis a todos ao final do estudo. Os estudantes que participarem da pesquisa, podem, em qualquer fase desta, retirar seu consentimento sem nenhuma penalidade.

A pesquisa não oferece nenhum risco ou desconforto para os participantes e nenhum gasto financeiro. Poderá não haver benefícios imediatos para os participantes, mas os resultados do trabalho, bem como, as reflexões ao longo do mesmo poderão contribuir para o debate sobre o tema investigado, e para a melhoria da qualidade de ensino de Física em geral. Será garantida a oportunidade para o esclarecimento de qualquer dúvida sobre a metodologia empregada na pesquisa em qualquer momento da realização da mesma.

Este termo, em duas vias, é para certificar que eu _____, concordo em participar do projeto de pesquisa acima mencionado e, por meio deste, dou permissão para eu responder aos relatórios nas condições acima expostas. Estou ciente de que os dados (respostas aos relatórios) serão acessados apenas pelo pesquisador e, eventualmente, por outros colegas seus também pesquisadores para discutir resultados, mas todas as pessoas estarão sempre submetidas às normas do sigilo profissional. Estou ciente também que não haverá riscos para mim e que sou livre para recusar a responder a determinadas questões, bem como para retirar meu consentimento e terminar minha participação a qualquer instante sem penalidades. Por fim sei que terei a oportunidade de perguntar sobre qualquer questão e que cada uma deverá ser respondida a meu contento.

Pesquisador: _____; Ass. _____

Aluno Participante: _____; Ass. _____

Santa Maria da Vitória, _____ de _____ de _____.

1. ¹O Nascimento da Dinâmica – Newton Explica o Movimento

A cinemática é o estudo da maneira como se movem os objetos, mas não da razão porque eles se movem. Galileu estudou muitos aspectos da cinemática com discernimento, engenho e deleite. A parte mais valiosa deste trabalho diz respeito a tipos particulares do movimento, tal como a queda livre. Galileu mostrou de modo claro e consistente, como se pode descrever o movimento dos objetos com ajuda de noções matemáticas.

Quando Isaac Newton começou os seus estudos sobre o movimento, na segunda metade do século XVII, uma das primeiras afirmações de Galileu, de que “não parece ser esta a altura mais apropriada para se investigar a causa da aceleração do movimento natural...” já deixara de ser válida. Na realidade, por Galileu ter sido tão eficaz na descrição dos movimentos, Newton podia enfocar suas atenções sobre a *dinâmica*, sobre o estudo de porque se move um objeto de uma determinada maneira – porque se começa ele a mover, porque ele acelera ou se move ao longo de uma trajetória curva e porque pára.

Em que difere a **Dinâmica** da **Cinemática**? Como vimos a Cinemática trata da descrição do movimento. Por exemplo, ao descrever o movimento de uma pedra deixada cair de uma árvore, poderemos escrever uma equação mostrando como varia a distância percorrida pela pedra em relação ao tempo decorrido. Poderemos determinar a aceleração e a velocidade alcançada ao fim de qualquer intervalo de tempo. Mas ao completar-se a descrição do movimento da pedra verificamos que não estamos ainda satisfeitos. Poderemos perguntar, por exemplo, porque será que a pedra acelera em vez de se mover com velocidade constante? Porque será que ela acelera uniformemente, admitindo que a resistência do ar seja desprezível? Para responder a estas perguntas teremos que acrescentar ao conjunto de conceitos estudados os de **força** e **massa**; e ao responder-lhes teremos entrado na Dinâmica. A Dinâmica vai mais longe que a Cinemática ao ter em conta as causas do movimento.

No estudo da Cinemática, deparamos com quatro situações. Um objeto pode:

- a) Permanecer em repouso;
- b) Mover-se uniformemente ao longo de uma linha reta;
- c) Acelerar durante um movimento em linha reta;
- d) Desacelerar durante um movimento em linha reta.

Uma vez que as duas últimas são exemplos de movimentos acelerados, a lista apontada pode, na verdade, ser reduzida a:

- a) Repouso;
- b) Movimento uniforme;
- c) Movimento acelerado.

¹Texto retirado do Harvard Project Physics. **Conceitos de Movimento – Unidade 1**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1978, 204 p.

^{*}Caro Aluno, este material é parte integrante do Curso de Física do Vôo, desenvolvido para a dissertação exigida pelo Mestrado em História, Filosofia e Ensino de Ciências, oferecido pela Universidade Federal da Bahia (UFBA) em conjunto com a Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS).

Repouso, movimento uniforme e movimento acelerado são, portanto, os fenômenos que tentaremos explicar. Mas o termo “explicar” deve ser usado com cuidado. Para um físico, um determinado acontecimento está “explicado” no momento em que fica demonstrado que o acontecimento é uma consequência lógica de uma lei em que há razão para acreditar. Por outras palavras, um físico que acredita numa lei geral “explica” uma observação mostrando que ela é consistente com essa lei. De certa maneira, o trabalho do físico é mostrar que o universo infinito de ocorrências separadas, aparentemente distintas, que se podem observar é constituído apenas por manifestações ou consequências distintas das mesmas regras gerais, que descreve a maneira como “funciona” o mundo. A razão da eficiência desta definição de “explicação” é também notável: o número de regras gerais – “leis” – da física é surpreendentemente pequeno. Neste curso estudaremos três destas leis, e serão suficientes para compreensão de todos os movimentos que podem ser observados com facilidade. De fato, ao longo de toda a física se vê, sempre, maravilhosa a simplicidade da Natureza.

Para explicar o repouso, o movimento uniforme e o movimento acelerado deveremos ser capazes de responder perguntas como estas: porque um objeto colocado sobre a mesa permanece parado? Se dermos um pequeno impulso a um cubo de gelo em repouso sobre uma superfície lisa e plana por que ele se move com velocidade constante ao longo de uma linha reta, em vez de aumentar rapidamente o seu movimento ou de curvar para um dos lados? As respostas a essas perguntas específicas (e a quase todas as outras) sobre o movimento estão contidas direta ou indiretamente nas três “leis gerais do movimento”, formadas por Isaac Newton. Estas leis surgem no seu famoso livro *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* (Princípios Matemáticos da Filosofia Natural, 1687) usualmente referido simplesmente por “*Principia*”. Neste livro estão três das leis físicas mais fundamentais. Discutiremos então estas leis, para uma melhor compreensão do movimento.

Para refletir:

1 - Uma bola é atirada verticalmente para cima. Quais das perguntas estão no âmbito da cinemática e quais estão no da dinâmica?

- a) Qual a altura máxima atingida pela bola antes de parar e começar a deslocar-se para baixo?
- b) Quanto tempo levará a bola a atingir o ponto mais alto?
- c) Qual seria o efeito de se atirar a bola com duas vezes mais força?
- d) Das duas partes do movimento da bola – para cima e para baixo – qual é a que demora mais tempo?
- e) Por que a aceleração da bola no seu movimento para cima é a mesma que ela tem no seu movimento para baixo?

2. Força. A Primeira Lei de Newton ou Princípio da Inércia

Quando exercemos um esforço muscular para puxar ou empurrar objetos, estamos lhe comunicando uma força, um jato de água exerce força para acionar uma turbina, exercemos força quando puxamos ou empurramos um carro, etc., Ou seja, uma força é aplicada sempre que se quer tentar mudar o estado de movimento dos objetos. Analisando os exemplos abaixo, podemos concluir que, para que o efeito de uma força fique bem definido, será necessário especificar seu módulo, sua direção e seu sentido, ou seja, a força é uma grandeza vetorial e poderá, portanto, ser representada por um vetor.



Fig. 1

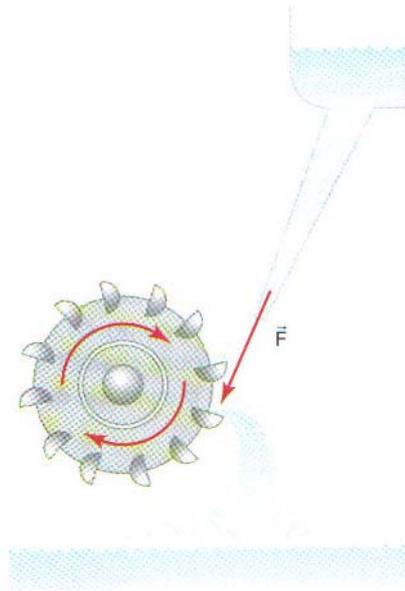


Fig. 2

Um outro exemplo de força, com que lidamos frequentemente, é à força de atração da Terra sobre os corpos situados próximo à sua superfície. Esta força é denominada peso do corpo. Naturalmente, o peso é uma grandeza vetorial e pode ser representado por um vetor. Na figura 3 mostramos o vetor que representa o peso do corpo. Observe que P tem ação vertical e seu sentido é dirigido para baixo. A força de atração da Terra sobre um objeto, assim como as forças elétricas e magnéticas (força de um ímã sobre um prego, por exemplo), é exercida sem que haja necessidade de contato entre os corpos (ação à distância). São diferentes das forças nas figuras 1 e 2, as quais só podem atuar se existir um contato entre os corpos.

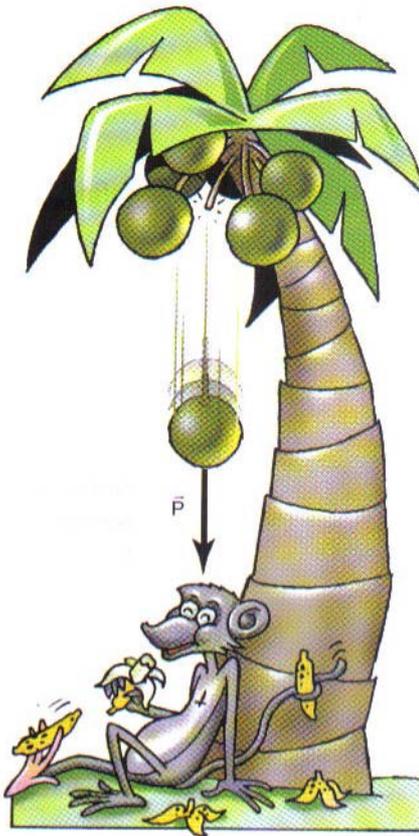


Fig. 3

2.1. Medida de uma Força

Quando uma força (peso de um corpo ou outra força qualquer) é exercida na extremidade de uma mola, esta se deforma (fig. 4). Este fato é usado para medir as forças. Para medir qualquer grandeza, é necessário escolher uma unidade de medida. No caso da força, uma unidade escolhida por convenção entre os físicos é o peso de um corpo padrão (o *quilograma-padrão*), que se denomina 1 quilograma-força = 1 kgf. Por definição: 1 quilograma-força (1 kgf) é o peso do quilograma-padrão, ao nível do mar e a 45 °C de latitude. A relação de Newton com quilograma-força é:

$$9,807 \text{ N} = 1 \text{ kgf}$$

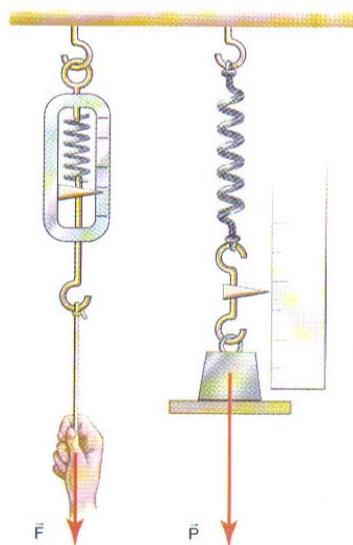


Fig. 4 – Por meio da deformação de uma mola podemos medir o peso de um corpo ou o valor de uma força qualquer.

2.2. ²Força e Movimento – Aristóteles

As relações entre força e movimento sempre foram objeto de estudo desde a Antiguidade. O filósofo Aristóteles, por exemplo, analisando estas relações, acreditava que um corpo só poderia permanecer em movimento se existisse uma força atuando sobre ele. Então, se um corpo estivesse em repouso e nenhuma força atuasse sobre ele, este corpo permaneceria em repouso. Quando uma força agisse sobre o corpo, ele se poria em movimento, mas, cessando a ação da força, o corpo voltaria ao repouso. As afirmações de Aristóteles podem parecer corretas a primeira vista, pois, em nossa experiência diária, vemos que os objetos de um modo geral, só se encontram em movimento quando estão sendo puxados ou empurrados. Um livro empurrado sobre uma mesa, por exemplo, pára imediatamente quando se deixa de empurrá-lo.

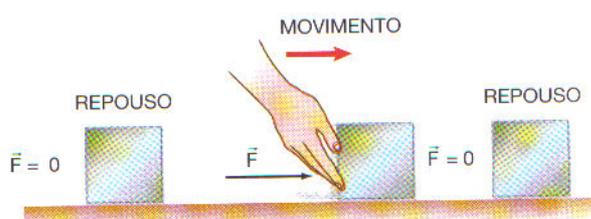


Fig. 5 – Segundo Aristóteles, um corpo só poderia estar em movimento enquanto houvesse uma força atuando sobre ele.

Durante toda a idade média, as idéias de Aristóteles foram acatadas sem que se tenha feito uma análise mais cuidadosa em torno delas. As críticas às teorias aristotélicas, só surgiram com Galileu, no século XVII.

² Texto retirado do livro de ALVARENGA, Beatriz; MÁXIMO, Antônio. **Curso de Física**. Vol. 1. São Paulo: Scipione, 5^ª edição, 2000. As figuras 5 e 6 também são do mesmo livro.

Força e Movimento – Galileu

Introduzindo o método experimental para o estudo dos fenômenos físicos Galileu realizou uma série de experiências que o levaram a conclusões diferentes daquelas de Aristóteles.

Estando uma esfera em repouso sobre uma superfície horizontal, Galileu observou que, empurrando – a com certa força, ela entrava em movimento. Entretanto, a esfera continuava a se mover, percorrendo certa distância, mesmo depois que ele deixava de empurrar – lá. Assim, Galileu verificou que um corpo podia estar em movimento sem a ação de uma força que o mantivesse empurrando.

Repetindo a experiência, usando uma superfície horizontal mais lisa, ele observou que o corpo percorria uma distância maior após cessar a ação da força. Baseando – se em uma série de experiências semelhantes, Galileu conclui que o corpo parava, depois de cessado o empurrão, em virtude da ação do *atrito* entre a superfície e o corpo, cujo efeito seria sempre o de retardar o seu movimento. Assim, se fosse possível eliminar totalmente a ação do atrito, o corpo continuaria a se mover indefinidamente, sem nenhum retardamento, isto é, em movimento retilíneo uniforme. Generalizando suas conclusões, Galileu chegou ao seguinte resultado: *“Se um corpo estiver em repouso, é necessária a ação de uma força sobre ele para colocá – lo em movimento. Uma vez iniciado o movimento, cessando a ação das forças que atuam sobre o corpo, ele continuará a se mover indefinidamente, em linha reta, com velocidade constante.”*

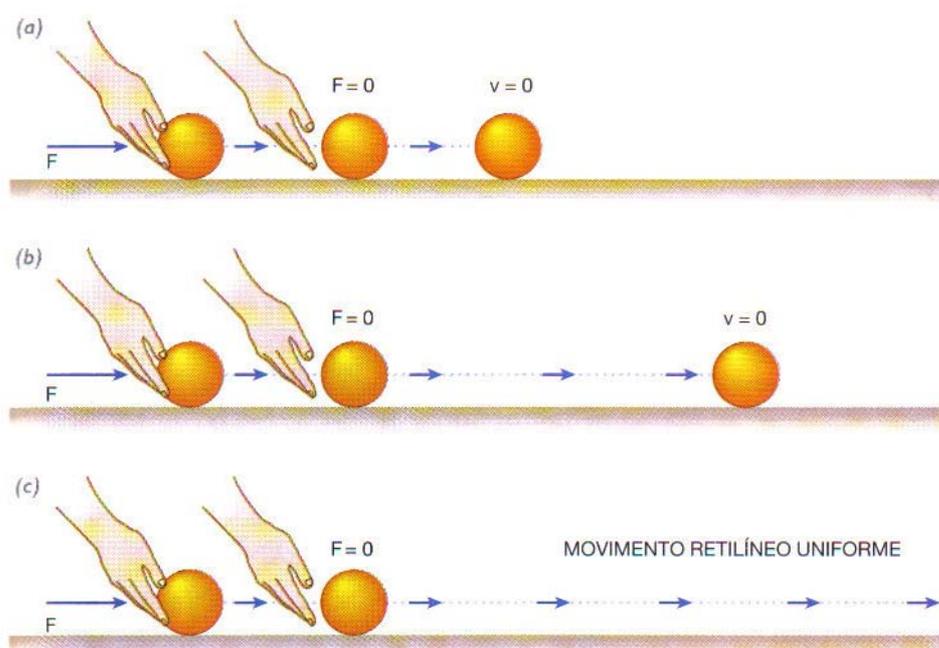


Fig. 6 – Galileu, contestando Aristóteles, chegou à conclusão de que um corpo pode estar em movimento, mesmo que “nenhuma” força esteja atuando sobre ele.

Obs. Na realidade não existe um corpo que não tenha nenhuma força atuando nele, o que existe é que o somatório de todas as forças atuando nele é zero.

2.3. Condição de Equilíbrio de um Corpo

Dizemos que um corpo está em equilíbrio quando este se encontra em uma dessas duas condições:

- 1º) O corpo está em repouso;
- 2º) O corpo está em movimento retilíneo uniforme.

Como vimos na 1º Lei de Newton, qualquer uma dessas situações ocorre quando é nula a resultante das forças que atuam no corpo. Logo, para que um corpo esteja em equilíbrio a resultante das forças que nele atuam deve ser zero ($F_R = 0$ ou $\Sigma F = 0$). A força resultante é o somatório de todas as forças que agem no corpo na direção (vertical ou horizontal, por exemplo) em que se realiza o estudo do movimento.

2.4. Inércia

Observe as figuras 7, 8 e 9, elas mostram situações de corpos que por algum motivo sofreram mudança no seu estado natural (ou inicial) de movimento. Quando isto acontece, o corpo que possui massa tem a tendência natural de se opor à mudança de seu estado inicial, tal característica da massa ou do corpo chama-se de Inércia.



Fig. 7 – Por inércia, os passageiros do ônibus tendem a prosseguir com a velocidade que o ônibus tinha antes de frear.



Fig. 8 – Por inércia, o garoto tende a manter seu estado de repouso.



Fig. 9 – Por inércia, o cavaleiro tende a prosseguir com a velocidade que o cavalo tinha.

Para Refletir

- 1) Observe a figura 10 e descreva porque o corpo em cima do papel cai dentro da moeda.



Fig. 10

3. Referenciais Inerciais

Em todos os exemplos das figuras 7, 8 e 9, o estado de repouso ou de movimento são relativos a referenciais. Os referenciais em relação aos quais vale o princípio da inércia são chamados de referenciais inerciais. Um referencial inercial é aquele no qual o corpo se comporta em estado de repouso ou de movimento retilíneo uniforme. Para variar a velocidade do corpo é necessária a ação de uma força.

Quando um ônibus freia, os passageiros, em repouso em relação ao ônibus, são lançados para frente sem ação de uma força. Isso significa que o ônibus freando não é um referencial inercial, pois há variação de velocidade sem a ação de uma força. Analogamente, um ônibus acelerando em relação à Terra não é um referencial inercial. Os referenciais acelerados em relação à Terra não são inerciais. A própria Terra, em virtude de seu movimento de rotação, não é um referencial inercial. Entretanto, nos problemas comuns dos movimentos dos corpos na superfície terrestre, supondo que estes movimentos tenham pequena duração (bem inferior a 24 h), podemos desprezar os efeitos de rotação da Terra e considerá-la um referencial praticamente inercial.

Para o estudo de movimentos de grande duração, considera-se como inercial um referencial ligado ao Sol e às chamadas estrelas fixas: São aquelas cujas posições relativas no firmamento (céu) parecem invariáveis.

4. Terceira Lei de Newton (Lei da Ação e Reação)

Em seus estudos de Dinâmica, Newton percebeu que as forças sempre aparecem como resultado da interação de dois corpos. Em outras palavras, a ação de uma força sobre um corpo não pode se manifestar sem que haja um outro corpo que provoque esta ação. Além disso, Newton constatou que, na interação de dois corpos, as forças sempre aparecem aos pares: para cada ação de um corpo sobre outro existirá sempre uma reação igual e contrária deste outro sobre o primeiro. Estas observações de Newton podem ser sintetizadas no enunciado de sua 3ª lei, também denominada lei da ação e reação:

Quando um corpo A exerce uma força sobre um corpo B, o corpo B reage sobre A com uma força de mesmo módulo, mesma direção e de sentido contrário.

Também poderíamos enunciar desta forma: *A qualquer ação opõe-se sempre uma reação igual; Ou, as ações mútuas de dois corpos um sobre o outro são sempre iguais e de sentidos opostos.*

As duas forças mencionadas na 3ª lei de Newton, e que aparecem na interação de dois corpos, são denominadas ação e reação. Qualquer uma delas poderá, indiferentemente, ser considerada como a ação ou como a reação.

Observe que a ação está aplicada em um corpo e a reação está aplicada no corpo que provocou a ação, isto é, elas estão aplicadas em corpos diferentes. Conseqüentemente, a ação e a reação não podem se equilibrar mutuamente porque, para isto, seria necessário que elas estivessem aplicadas em um mesmo corpo, o que nunca acontece. *Tentar se levantar puxando seus cabelos com suas próprias mãos, não é possível, pois, a ação e reação ocorrem no mesmo corpo.*



Fig. 11 – Se uma pessoa empurra uma mesa, a mesa empurra a pessoa com uma força igual e contrária.



Fig. 12 – O movimento de um foguete (ou de um avião) é causado pela força de reação exercida pelos gases que ele expela.

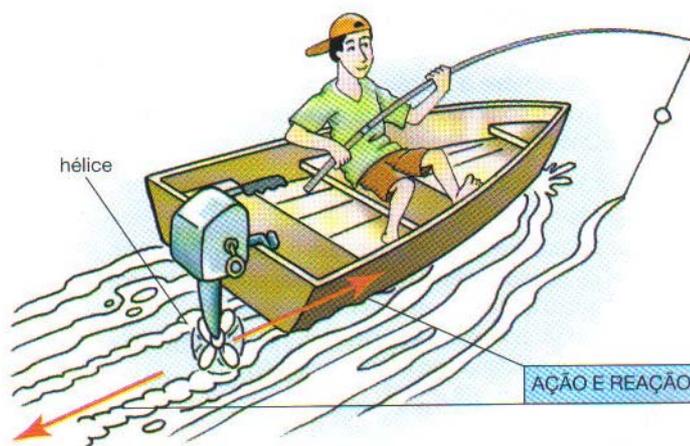


Fig. 13 – Ao girar, a hélice empurra a água para trás. A água reage e empurra a hélice para a frente, fazendo com que o barco se movimente.

Para Refletir

2) Após a visualização das figuras 11, 12 e 13, você conseguiria dizer como é que uma pessoa consegue andar?

3) Se existisse um burro falante, e ele te perguntasse: Se pra toda ação existe uma reação, como então, eu consigo puxar esta carroça? O que você responderia?

No caso mostrado na fig. 14.1, as únicas forças que atuam no bloco são o seu peso \mathbf{P} e a ação normal \mathbf{N} . Como o bloco está em equilíbrio, é claro que devemos ter $N = P$. Entretanto, existem situações em que a reação normal não é igual ao peso. Por exemplo: na fig. 14.2 apresentamos o mesmo bloco da fig. 14.1, sendo comprimido, por uma pessoa, com uma força vertical. Neste caso, a compressão do bloco sobre a superfície, \mathbf{N}' , será maior do que o peso do bloco. Então, a superfície reage sobre o bloco com uma força \mathbf{N} , igual e contrária a \mathbf{N}' e, conseqüentemente, teremos $N > P$. Você poderá, agora, imaginar uma situação em que se tem $N < P$.

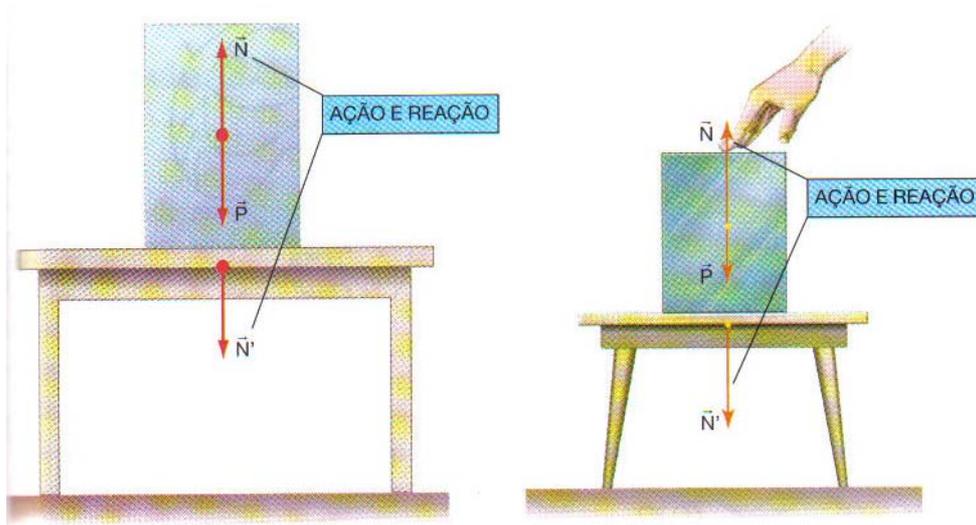


Fig. 14.1 e Fig. 14.2

5. Referências das Figuras

As figuras 7, 8 e 9, 10 foram retiradas de JUNIOR, Francisco et. Al. **Os Fundamentos da Física**. Vol. 1. São Paulo: Moderna, 7^o edição, 1999.

As figuras 1, 2, 3, 4, 5, 6, 11, 12, 13, 14.1 e 14.2 foram retiradas do livro de ALVARENGA, Beatriz; MÁXIMO, Antônio. **Curso de Física**. Vol. 1. São Paulo: Scipione, 5^o edição, 2000.

1.0 As Forças Envolvidas na Descrição do Vôo

Para os Físicos existem quatro forças envolvidas na descrição da natureza que regem o universo e, a sua compreensão, estaria em torno de como elas se relacionam. São elas: a fraca que produz radioatividade, a forte responsável pela coesão nuclear, a eletromagnética que está relacionada com fenômenos elétricos e magnéticos e a gravitacional, que atua entre corpos que possuem massa. Dahmen (2006) definem na aerodinâmica, também quatro forças para compreensão do vôo.

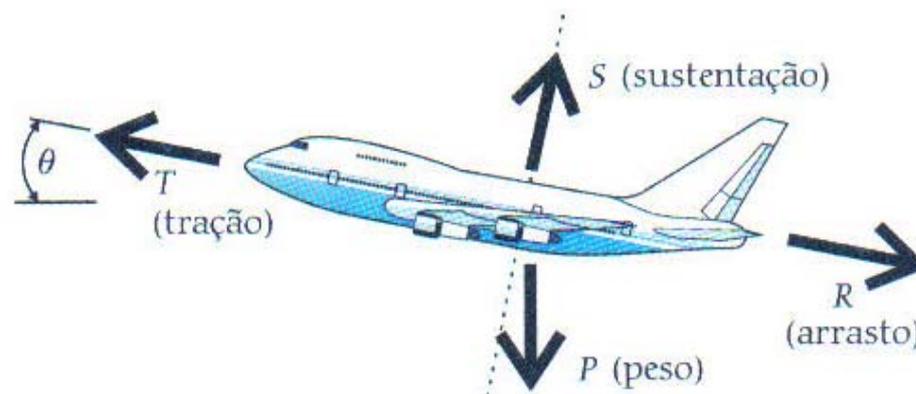


Fig. 1 – Forças sobre um avião no procedimento de subida com velocidade constante e taxa de ascensão constante. Disponível em DAHMEN, 2006.

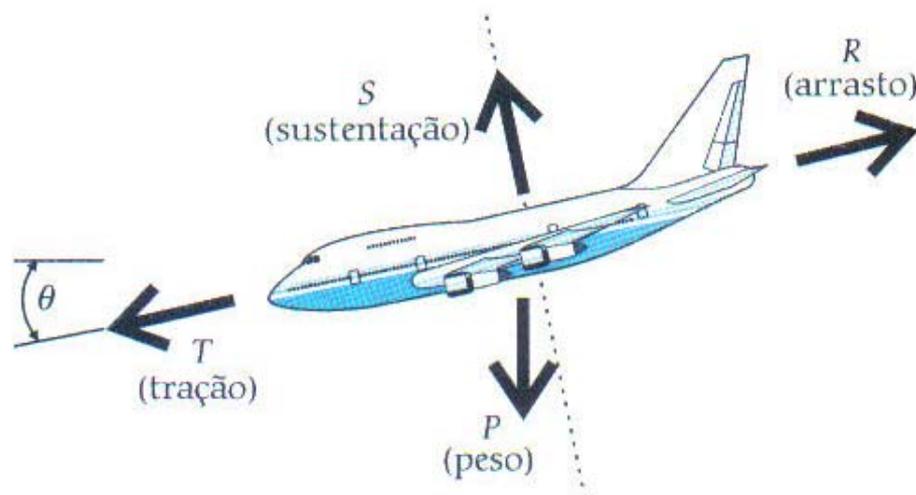


Fig. 2 – Forças sobre um avião no procedimento de descida com velocidade constante e taxa constante. Disponível em DAHMEN, 2006.

As forças são:

- A Tração ou Propulsão (**T**) – “Força produzida pelo motor e é dirigida ao longo do eixo longitudinal do avião.” (DAHMEN e STUDART, 2006, p. 36).
- O Arrasto (**R**) – “Essencialmente uma força de atrito” (DAHMEN e STUDART, 2006, p. 36), dependente da velocidade do avião. É a componente da força aerodinâmica paralela à direção de vôo e, como toda força de atrito, ela dificulta o movimento.
- O Peso (**P**) – Força exercida pela ação do campo gravitacional terrestre, sempre dirigida para o centro da Terra. Para efeitos de simplicidade trabalharemos com o centro de massa do avião, que para pequenos corpos coincide com o centro de gravidade. É claro que existem diversos tamanhos de aviões, mas nenhum grande o suficiente que não possamos dizer que o centro de massa dele coincide com o centro de gravidade, com um pequeno erro.
- A Sustentação (**S**) – “Componente da força aerodinâmica perpendicular à direção do movimento do vôo.” (DAHMEN e STUDART, 2006, p. 36).

É interessante notar que tanto na subida quanto em uma descida rápida a sustentação tem valor menor do que a força peso, para qualquer valor do ângulo de ataque, tornando-se igual apenas em vôo nivelado. Devemos lembrar que as forças aerodinâmicas (sustentação e arrasto) dependem da velocidade e do ângulo de ataque do avião.

2.0 Como os Aviões Voam? Uma Discussão Sobre a Sustentação

Para Anderson (2006), existem três descrições da sustentação das asas que são normalmente apresentadas nos livros-texto e manuais das academias.

2.1 Descrição Aerodinâmica Matemática da Sustentação. Usada por engenheiros aeronáuticos, como afirma Anderson (2006).

2.2 Descrição Baseada no Princípio de Bernoulli. Sendo a mais divulgada nos meios acadêmicos, devido a sua simplicidade e frequência durante os anos. Ela é usada na maioria dos manuais de treinamento de vôo para explicar a sustentação de uma asa. Sua principal desvantagem é o fato de estar baseada no *Princípio dos Tempos de Trânsito Iguais*, uma vez que o ar tem um caminho maior para percorrer por cima da asa e, o tem que fazer, mais rapidamente do que por baixo da asa (um caminho menor), logo os tempos de percurso são iguais em cima ou debaixo da asa, solicitando velocidades diferentes em cada região.

Anderson (2006) adverte que esta explicação para a sustentação da asa “impede que se entendam vários fenômenos importantes como o vôo invertido, a potência, o

efeito-solo e a dependência da sustentação com o ângulo de ataque da asa (ângulo formado pela direção do vento e a direção do avião).” (ANDERSON, 2006, p. 43).

Já Weltner et. al (2001) escrevem que: *“A explicação convencional da sustentação da asa, baseada na lei de Bernoulli, diz que a pressão menor acima da asa é a consequência de uma maior velocidade do ar acima dela. Este raciocínio tem defeitos fundamentais pois não dá uma causa para a maior velocidade do ar acima da asa.” (WELTNER et. al, 2001, p. 429).*

Para Weltner et. al (2001) este é o maior problema da aplicação do Princípio de Bernoulli: *“...a maior velocidade do ar acima da asa é uma consequência de uma menor pressão e não a causa dela.” (WELTNER et. al, 2001, p. 431).*

Para poder explicar o porquê de o ar fluir com maior velocidade por cima da asa, muitos recorrem a um argumento geométrico segundo o qual a distância que o ar tem que vencer está diretamente relacionado com a sua velocidade. A afirmação costumeira é que quando o ar se separa no bordo de ataque (a parte dianteira da asa), a parte que vai por cima da asa tem que chegar ao bordo de fuga no mesmo tempo que a parte do ar que foi por baixo.

2.2.1 Princípio de Bernoulli

$$V_{Ar} \propto \frac{1}{P}$$

Ou seja, se a velocidade da asa aumenta, a pressão sobre a mesma diminui.

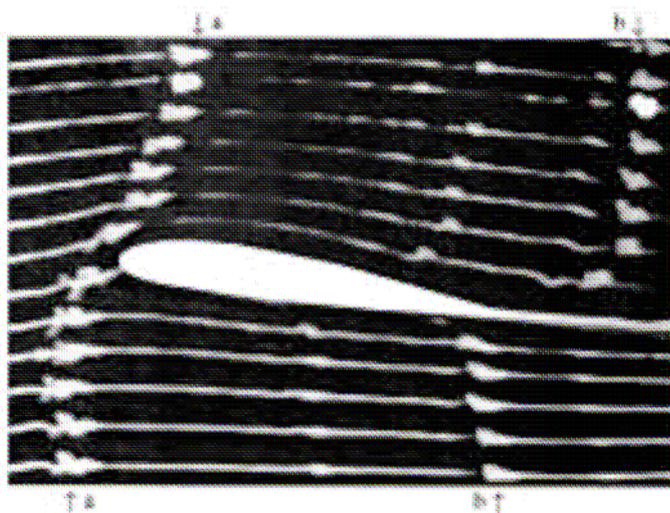


Fig. 3 – Simulação do fluxo de ar por uma asa em um túnel de vento com fumaça. Disponível em ANDERSON 2006.

Não há nada de errado com o Princípio de Bernoulli, essa explicação prevalece, devido ao fato deste princípio ser facilmente compreendido e utilizado por vários anos como algo verdadeiro: “sabemos que, se uma explicação errada for profundamente radicada, é bastante difícil substituí-la.” (WELTNER et al., 2001, p. 429). Mas, esta descrição não explica de forma satisfatória a sustentação, como mostrado acima e, o fato de afirmar que o ar percorre a parte superior e inferior da asa em tempos iguais é **errado**.

2.3 Descrição Baseada nas Leis de Newton e no Efeito Coanda. A terceira maneira de descrever a sustentação na asa é baseada nas **Três Leis de Newton** e em um fenômeno chamado de **Efeito Coanda**.

Para Anderson (2006) “Esta descrição é a única capaz de explicar os fenômenos associados ao vôo, permitindo que sejam entendidos. Ela é útil para uma compreensão precisa de certas relações entre parâmetros de vôo, como o modo pelo qual a potência aumenta com a carga ou a velocidade de estol (é a velocidade limite para o avião se manter no ar) aumenta com a altitude. Ela também serve para fazer cálculos simples (com lápis e papel) da sustentação.” (ANDERSON, 2006, p. 43). O primeiro parêntese é do autor deste trabalho.

- **Primeira Lei:** Todos os objetos permanecem no seu estado de repouso ou de movimento uniforme ao longo de uma linha reta, a não ser que seja exercida sobre eles a ação de uma força não contrabalançada. (HARVARD PROJECT PHYSICS, 1978). Ou seja, se vemos o escoamento se curvar ou se o ar, a princípio parado, for repentinamente acelerado, significa que há uma força atuando sobre ele.
- **Segunda Lei:** A variação da quantidade de movimento de um objeto tem a mesma direção e é diretamente proporcional à força não contrabalançada que age sobre ele e é diretamente proporcional ao tempo de interação da força não contrabalançada no objeto. (HARVARD PROJECT PHYSICS, 1978).

$$\Delta \vec{Q} = \vec{F}_R \cdot \Delta t$$

A sustentação de uma asa é igual à variação do momento do ar que ela está desviando para baixo. Uma outra forma de escrever seria: A sustentação de uma asa é proporcional à quantidade de ar sendo desviado para baixo multiplicado pela velocidade vertical da mesma. Ou seja,

$$\vec{S} = \rho \cdot \vec{v} \cdot \Gamma$$

Esta relação é chamada de Fórmula de *Kutta-Joukowski*, onde **S** é a sustentação **ρ** é a densidade do ar, **v** é a velocidade vertical ascendente do ar e **Γ** é a circulação.

- **Terceira Lei:** A qualquer ação opõe-se sempre uma reação igual; ou as ações mutuas de dois corpos um sobre o outro são sempre iguais e de sentidos opostos. (HARVARD PROJECT PHYSICS, 1978). E completariamos dizendo que as forças ação-reação atuam em corpos diferentes, logo, não podem ser anuladas.

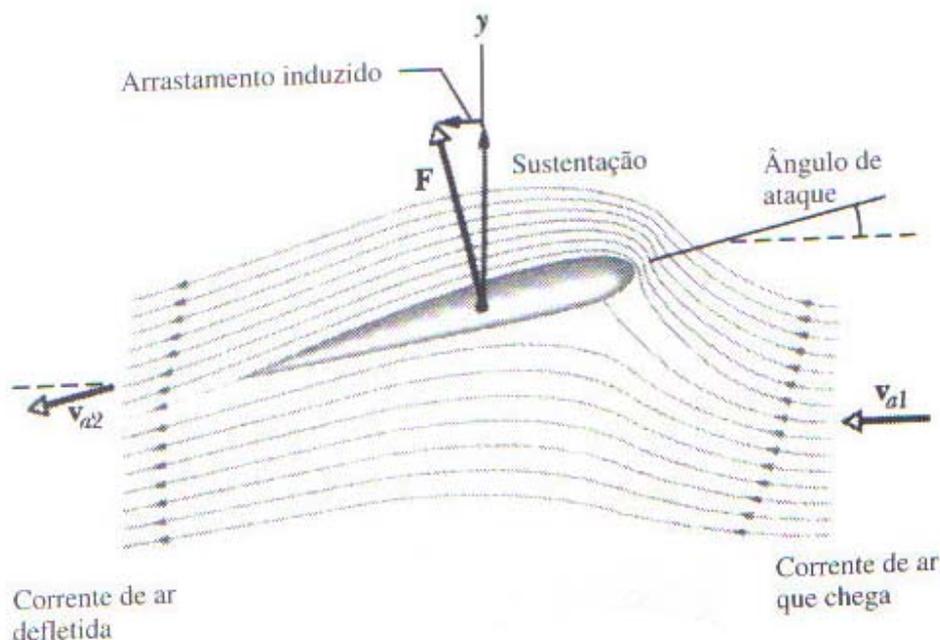


Fig. 4 - Linhas de corrente em torno da asa de um avião em movimento. O ar, vindo horizontalmente pela direita, é defletido para baixo pela asa, que é forçada para cima fazendo com a horizontal um ângulo chamado de ângulo de ataque. Ao ser defletido, a corrente de ar exerce uma força F na asa. Disponível em HALLIDAY et. al, 1996.

Pressupomos que o ar se aproxima horizontalmente pela direita, com velocidade v_{a1} . A inclinação da asa para cima, chamada de *ângulo de ataque*, causa uma deflexão para baixo na corrente de ar, que então tem velocidade v_{a2} . Assim, a asa exerce uma força na corrente de ar para defleti-la e, pela Terceira Lei de Newton, a corrente de ar exerce uma força igual e contrária na asa. A componente vertical dessa força F na asa é chamada de *sustentação* e a componente horizontal é chamada *arrastamento induzido* (ou simplesmente arrasto).

2.3.1 Conclusão

- Pode-se dizer que a força de sustentação é a reação, devido à ação da asa sobre o ar em movimento relativo.

Comparemos duas figuras para ver as linhas de corrente de ar pela asa. Na fig. 5 o ar vem direto em direção a asa, a contorna e sai direto pela parte de trás da mesma. Este tipo de representação é muito comum nos manuais. O ar que sai da asa está exatamente igual a quando ele estava na frente da asa. Na concepção de Anderson (2006) não há sustentação, pois, não existe uma força resultante sobre a asa.

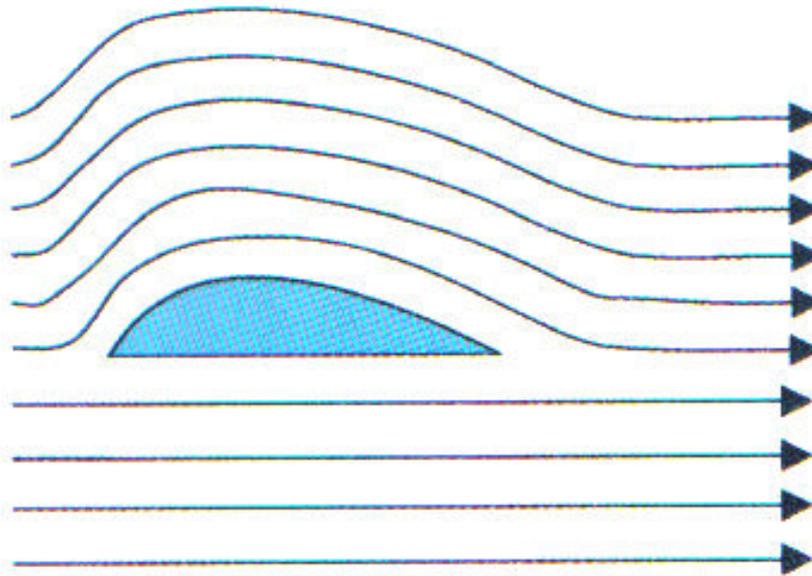


Fig. 5 - Representação mais usada em manuais do fluxo de ar por uma asa. A asa não tem qualquer sustentação. Disponível em DAHMEN, 2006.

Na figura 6 as linhas de corrente foram desenhadas como deveriam ser. O ar passa pela asa e é encurvado para baixo. A Primeira Lei de Newton diz que deve haver uma força sobre o ar para encurvá-lo (a ação). A Terceira Lei de Newton diz que deve haver uma força igual e contrária sobre a asa (a reação). *“Para poder criar uma sustentação, a asa precisa desviar uma grande quantidade de ar para baixo.”* (ANDERSON, 2006, p. 45).

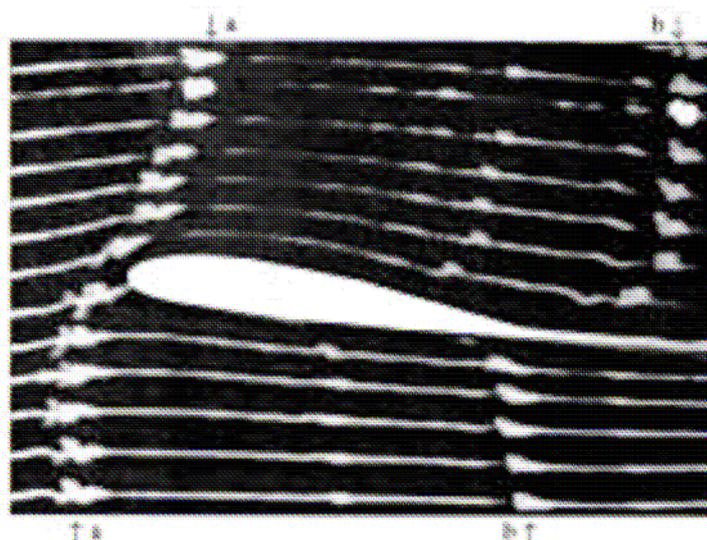


Fig. 6 – Fluxo de ar verdadeiro pela asa. Disponível em WELTNER, 2001.

3.0 Efeito Coanda

Como a asa desvia o ar para baixo? Quando um fluido que escoar encontra uma superfície curva pela frente, ele tentará acompanhar o perfil geométrico daquela superfície. Este efeito é facilmente verificado. *“Pegue um copo e o coloque debaixo de um filete de água, de modo a fazer com que a água toque levemente o lado do copo. Perceberás que ao invés da água continuar fluindo na vertical, ela tenderá a acompanhar o copo e escorrer pela sua superfície.”* (ANDERSON, 2006, p. 46), como mostra a figura a seguir. Essa tendência dos fluidos de acompanharem uma superfície curva é conhecida como Efeito Coanda.

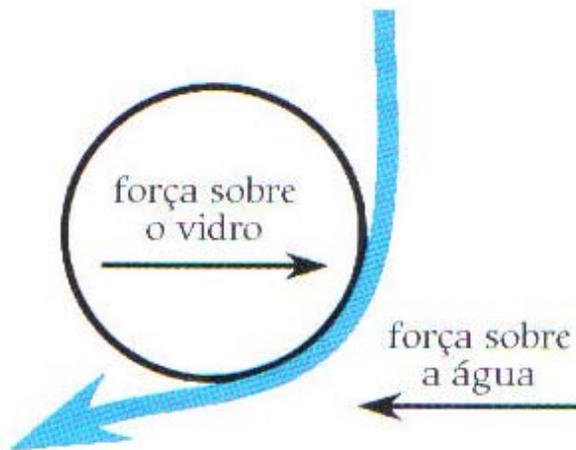


Fig. 7 - O Efeito Coanda. Disponível em ANDERSON, 2006.

Por que o fluido acompanha o perfil da superfície? A Viscosidade, ou seja, a resistência ao escoamento é que faz a água grudar no copo acompanhando sua curvatura, essa resistência ao movimento também faz com que o ar tenha certa aderência à asa. A viscosidade do ar é pequena, mas, o suficiente para fazê-lo grudar na superfície.

4.0 Sustentação como função do Ângulo de Ataque

Todos os tipos de asas jogam o ar para baixo, ou mais precisamente, puxando o ar sobre ela para baixo (embora as primeiras asas usassem uma contribuição significativa da parte de baixo). O que todas as asas têm em comum é um ângulo de ataque em relação ao ar que contra elas sopra. “O ângulo de ataque é o parâmetro mais importante que determina a sustentação da asa.” (WELTNER et al., 2001, p. 436).

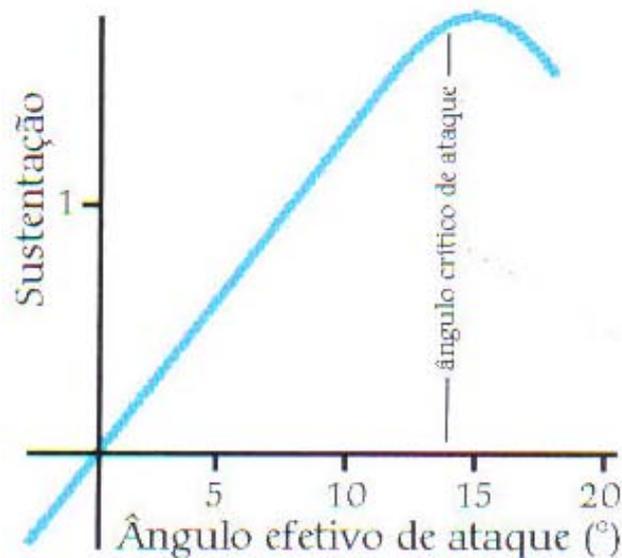


Fig. 8 - Sustentação X Ângulo de Ataque. Conforme Weltner (2001), este gráfico é aplicável apenas para asas simétricas. Disponível em ANDERSON, 2006.

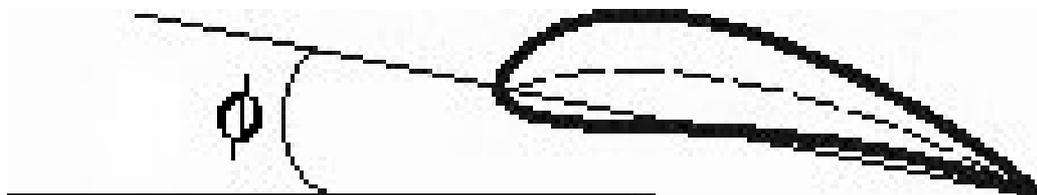


Fig. 9 - Ângulo de ataque. Disponível em WELTNER, 2001.

5.0 Referências

- ANDERSON, David e EBERHARDT, Scott. Como os Aviões Voam: Uma Descrição Física do Voo. São Paulo: Sociedade Brasileira de Física. **Revista Física na Escola**, v. 7, nº 2, 2006.
- DAHMEN, Sílvio e STUDART, Nelson. A Física do Voo na Sala de Aula. São Paulo: Sociedade Brasileira de Física. **Revista Física na Escola**, v. 7, nº 2, 2006.
- WELTNER, Klaus et al. A Dinâmica dos Fluidos Complementada e a Sustentação da Asa. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo: Sociedade Brasileira de Física, Vol. 23, nº 4, dezembro, pág. 429 a 443, 2001.
- HALLIDAY, David; RESNICK, Robert e WALKER, Jearl. **Fundamentos de Física 2: Gravitação, Ondas e Termodinâmica**. Rio de Janeiro: LTC, 4ª edição, 1996.
- HARVARD PROJECT PHYSICS. **Conceitos de Movimento – Unidade 1**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1978, 204 p.

Conceito de Pressão

Distribuindo e Concentrando

	<p>Uma moça com sapato de 'salto agulha' e um homem de bota caminham lado a lado. Qual causa maior dano onde pisa?</p> <p>Acredite ou não, é o sapato com salto agulha! Ele pode arruinar tapetes e fazer buracos no chão. Não, não é porque a moça aplica no chão uma força maior que a do homem da bota. É porque a força que ela aplica está concentrada numa área bem pequena. Ela produz, com isso, uma pressão bem alta.</p>
---	--

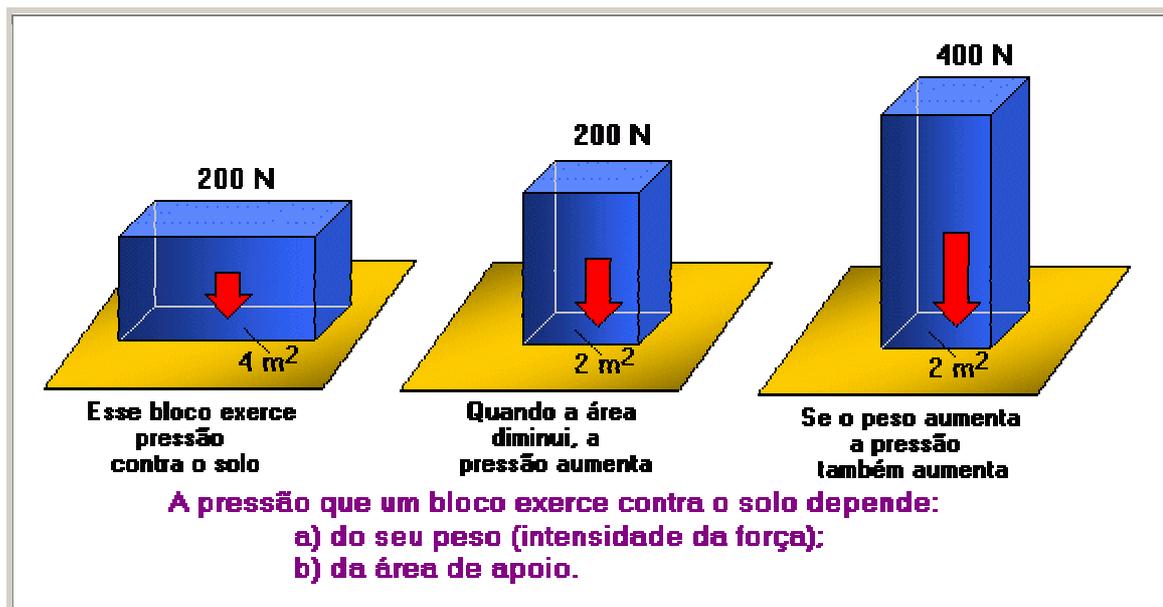
A *pressão* exercida pelas forças nos informa quão *distribuídas* ou *concentradas* elas estão. Para conhecer o valor de uma pressão, precisamos de duas informações:

- 1) a **intensidade da força resultante e**
- 2) a **área da superfície nas quais as forças agem.**

Usamos, então, da expressão: $P = F / A = (\text{intensidade da força}) / (\text{área da superfície})$. A pressão (grandeza escalar) é medida em newtons por metro quadrado (N/m^2) ou pascal (**Pa**).

Exemplificando

Os blocos, na ilustração a seguir, graças a seus pesos (que são as resultantes de todas as forças gravitacionais que agem em cada uma de suas partículas) exercem pressão contra o chão. Salientamos, em cada caso, o valor dessa resultante (o peso) e a área da superfície de apoio.



Para as situações ilustradas o cálculo fornece, respectivamente, as seguintes pressões: 50 Pa, 100 Pa e 200 Pa.

Caso esteja interessado em confrontos, a pressão exercida pelo salto agulha da moça citada na introdução desse trabalho é de cerca de 2 000 000 N/m². É claro que o salto deste sapato tem área bem menor que 1 m²; mas esse salto tem o efeito esmagador contra o chão de 2 000 000 N distribuídos em 1 m².

Assim, a 'lei áurea' das pressões será:

Use área grande para diminuir a pressão	Use área pequena para aumentar a pressão
<p>Caminhar sobre areia dói menos que caminhar sobre pedregulhos: menor pressão significa menos dor!</p> <p>A força da cabeça do parafuso é mais bem distribuída pela arruela; isso evita que a cabeça do parafuso penetre no madeiramento.</p> <p>Animais pesados necessitam de pernas espessas; caso contrário seus ossos não suportariam a pressão.</p>	<p>Cravos em chuteiras de futebol elevam a pressão e permitem afundar no solo.</p> <p>A lâmina da faca: quanto mais afiada, maior será a pressão exercida.</p> <p>Os alfinetes e percevejos para fixação têm pontas; a pressão que exercem é grande e consegue abrir espaço na madeira.</p>

Nota

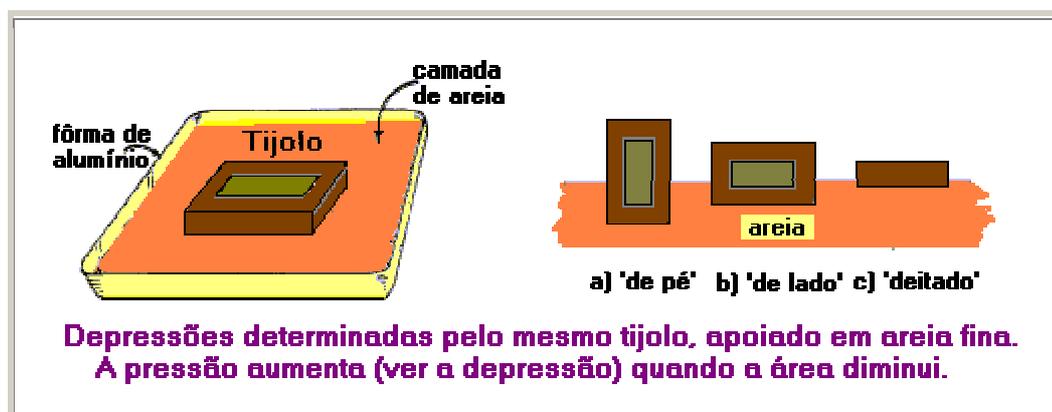
Área da superfície ==> Superfície é a propriedade de ocupar duas dimensões lineares; o quadro-negro tem uma superfície, ele usa duas dimensões de mesma espécie (comprimento e altura). Espaço é a propriedade que implica ocupar três dimensões lineares; um tijolo ocupa certo espaço, ele tem três dimensões de mesma espécie (comprimento, largura e altura). A medida de uma superfície denomina-se área e a medida de um espaço denomina-se volume. A unidade oficial para áreas é o metro quadrado (m^2) e para volumes é o metro cúbico (m^3). Não se deve confundir 'área' com 'superfície'. Está errada a seguinte afirmação: "A superfície do Brasil é de 8 547 403 quilômetros quadrados". Você já leu isso em algum livro de Geografia?

Experimento

Para bem conceituar pressão, nada como um experimento simples. Usaremos:

- Uma bandeja (forma) de alumínio para bolo.
- Areia fina.
- Um tijolo comum de construção.

Montagem



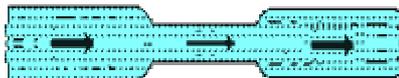
A Sustentação dada pelo Movimento do Ar

Introdução

Avião não é um tubo cilíndrico que voa, avião tem asas! É aí que está o segredo do porque avião se sustenta em vôo. Vamos desvendar esse segredo.

Conceitos básicos

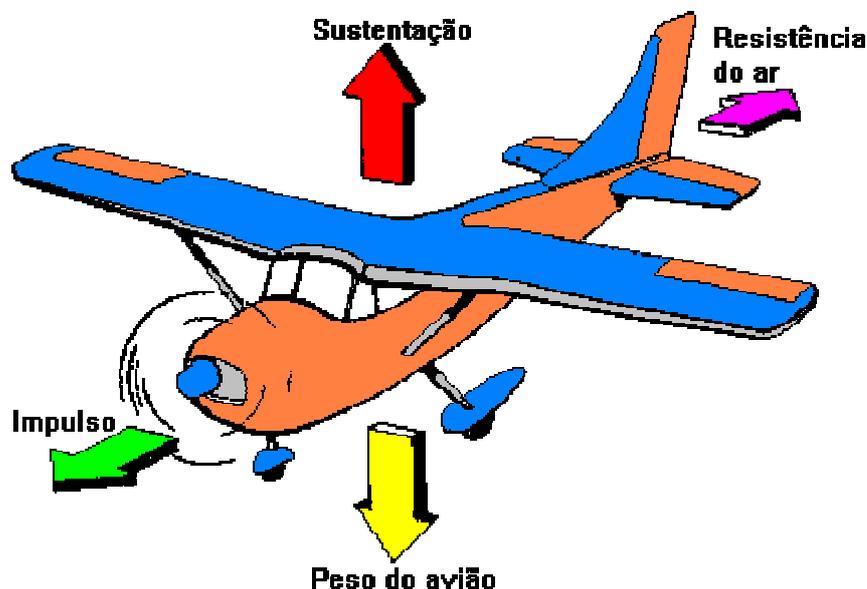
Observe esse tubo de diâmetro variável, dentro do qual a água escoa.



Na parte estreita do tubo o fluxo de água é mais rápido do que nas partes mais largas, porque a mesma quantidade de água, no mesmo tempo, deve passar através de todas as secções.

Como a água sofre um aumento de velocidade ao penetrar na secção estreita, deve haver uma força que a faz correr mais depressa. Devido à sua inércia, um corpo material (sólido, líquido ou gasoso) não pode variar por si só a sua velocidade, isso requer a presença de forças agindo sobre ele. Lembre-se sempre do princípio da inércia.

A Asa do Avião



O helicóptero também tem asas, são móveis, são as pás do seu rotor. E seu funcionamento é explicado tal qual a asa do avião, através das Leis de Newton. O que um helicóptero comum não tem, são hélices de impulsão. As hélices colocadas na parte posterior do helicóptero são apenas para impedir a rotação do corpo dele, em sentido oposto ao do rotor.

Divirta-se (e aprenda) construindo um modelo de asa de avião.

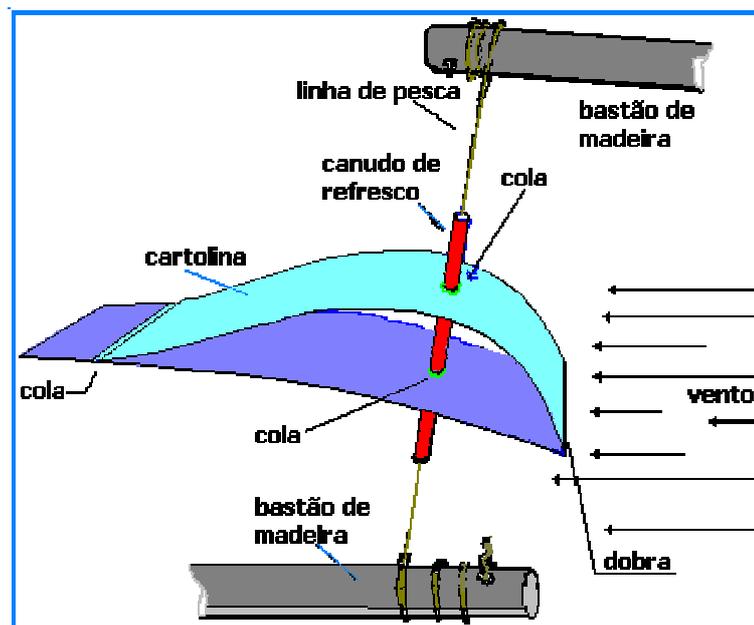
Material Sugerido:

- Cartolina;
- Tesoura;
- Cola;
- Linha de pesca;
- Canudo de refresco;
- Dois bastões de madeira.

Montagem

1. Corte uma tira de cartolina, de (10 x 30) cm.
2. Dobre a tira pela metade, vincando bem.
3. Passe cola ao longo de 1 cm de uma das extremidades (face interna) e cole a uns 4cm da outra extremidade. A tira deverá ficar encurvada.
4. Faça furos na cartolina, para passar justo o canudo de refresco.
5. Cole o canudo na cartolina, mantendo-a encurvada.
6. Passe a linha de pesca pelo canudo e mantenha-a esticada puxando pelos bastões. Os bastões podem ser obtidos de um cabo de vassoura.
7. Vire o perfil da asa de avião contra o vento (pode usar um ventilador) e ela subirá pelo fio. Procure a inclinação adequada do fio em relação ao vento.

Eis como voa um objeto mais pesado que o ar!



Canhão acústico

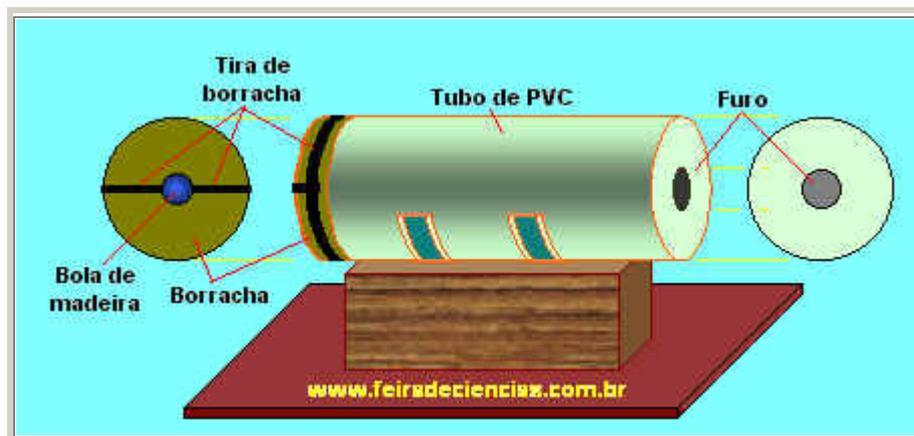
Introdução

Você consegue, com um sopro, apagar uma vela a 4 ou 5 metros de distância? Não? Pois bem, montando esse canhão acústico você realizará essa proeza e outras mais. O assunto está relacionado com o deslocamento de gases (que pode ser o próprio ar) através do ar. Isso também tem a ver com a teoria dos vórtices. Com esse experimento podemos exibir algumas das propriedades de transporte de gases.

Material

- Tubo de PVC de 4, 6 ou 8" (cerca de 35 cm de comprimento);
- Disco de PVC ou tampão de PVC (mesmo diâmetro do item acima);
- Manta de borracha;
- Tiras de elásticos (tiras de borracha);
- Bola de madeira para o percussor; vela, suportes.
- Optativos: incenso; gás de cozinha.

Montagem



Numa das extremidades do tubo de PVC (que será 'a frente do canhão') cole o disco de PVC (ou o tampão próprio para esses tubos) já com o orifício central de diâmetro de cerca de 3 cm. Na outra extremidade estique a manta de borracha e amarre as sobras sobre o tubo com tiras de borracha; essa manta de borracha pode ser substituída por uma manta de couro ou mesmo um plástico bem resistente, o importante é que essa manta seja algo razoavelmente flexível. Nessa mesma extremidade devemos colocar o percussor (uma espécie de 'estilingue'). Use uma tira de borracha com a bola de madeira presa na região central e fixe as extremidades dessa tira no tubo de PVC (usando outras tiras de borracha, por exemplo).

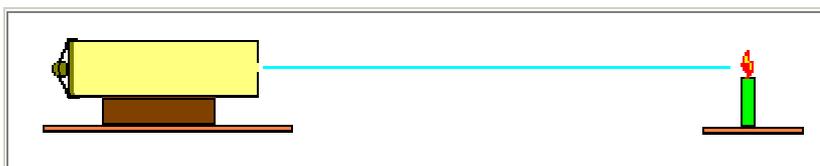
O experimento deve ser feita de tal maneira que puxando a bola de madeira (esticando a tira como se fosse um estilingue) e soltando, ela deverá bater fortemente contra a manta de borracha que fecha a 'traseira' do tubo.

O tubo deve estar firmemente fixado num toco de madeira (e esse preso por sargentos na extremidade de uma mesa) ou dotado de um punho que permita manuseá-lo apontando-o para os devidos alvos.

Procedimento

1) Aponte o canhão para o rosto de uma pessoa localizada a vários metros de distância, puxe a bola de madeira e solte. Feito o disparo a pessoa deverá sentir um sopro de ar.

2) Acenda uma vela, com a chama nivelada com o orifício do canhão, a uns 3 ou 4 metros de distância. Dispare. Aprecie a chama da vela e sua provável extinção.



3) Encha o canhão com fumaça de incenso (vire o canhão de cabeça para baixo e deixe a fumaça quente entrar pelo orifício da boca do canhão). Dispare horizontalmente pela sala. Um anel de fumaça (toro -- com a massa de fumaça girante) percorrerá grande distância sem dispersar.