

CDU 629.7.016

JACKSON PAUL MATSUURA

TURMA DE 1995

**APLICAÇÃO DOS SIMULADORES DE VÔO NO
DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO DE
AERONAVES E PERIFÉRICOS**

TRABALHO DE GRADUAÇÃO

Orientação do Prof. Takashi Yoneyama, ITA/IEEE

DIVISÃO DE CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

SÃO JOSÉ DOS CAMPOS
CENTRO TÉCNICO AEROESPACIAL
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE AERONÁUTICA
1995

APLICAÇÃO DOS SIMULADORES DE VÔO NO DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO DE AERONAVES E PERIFÉRICOS

Esta publicação foi aceita como Relatório Final de Trabalho de Graduação.

São José dos Campos, 20 de novembro de 1995.

JACKSON PAUL MATSUURA

Aluno

TAKASHI YONEYAMA

Orientador

MÁRCIO L. X. SANTOS

Chefe da Divisão de Ciência da Computação

AGRADECIMENTOS:

À DEUS, AO QUAL DEVO MINHA VIDA, MEUS DONS E TUDO O QUE TENHO, O QUE FAÇO E O QUE SOU.

AOS MEUS PAIS, MINEO E AYAKO, AOS QUAIS DEVO MINHA EDUCAÇÃO E A FORMAÇÃO DE MEU CARÁTER.



À MINHA ESPOSA, MARLENE, POR SEU APOIO E COMPREENSÃO E POR SUA PRESENÇA A MEU LADO EM TODOS OS MOMENTOS.

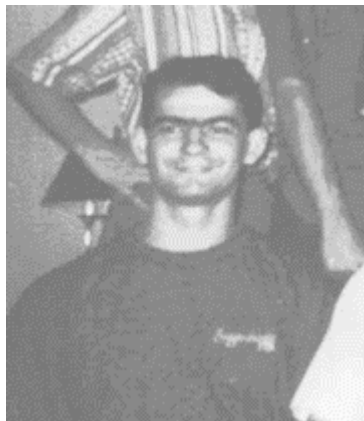


À PASTORAL UNIVERSITÁRIA CATÓLICA DE SÃO JOSÉ DOS CAMPOS, E EM PARTICULAR AO PADRE FERNANDO JOSÉ CARNEIRO CARDOSO, POR AUXILIAR NA MINHA FORMAÇÃO E CRESCIMENTO ESPIRITUAL.



AO MEU ORIENTADOR, TAKASHI YONEYAMA, E À MINHA CONSELHEIRA, MARIA CRISTINA, POR SUA ATENÇÃO, DISPONIBILIDADE E COMPREENSÃO.

E AO MESTRE MARCELO SANTIAGO AMARAL POR SERVIR DE GUIA E MODELO NA CÉLEBRE ARTE DO GAGÁ.



RESUMO

Desde o início da aviação os simuladores de vôo vem sendo empregados no treinamento de pilotos e tripulações completas; toda sua evolução baseou-se nesse objetivo, mas modernamente os simuladores de vôo estão sendo utilizados também no projeto e avaliação de aeronaves e sistemas embarcados com grande êxito. Os simuladores de vôo podem ser utilizados em vários estágios desde a concepção até a fabricação e posteriores melhorias da aeronave. Através de dois exemplos verificamos sua aplicabilidade e importância como ferramenta de engenharia, que além de poupar tempo e dinheiro, recursos tão escassos, ainda auxilia na investigação de acidentes aéreos, na proposição de modificações na aeronave e na verificação de desempenho e conformidade. Assim sendo é muito importante sua larga disseminação e utilização no aprimoramento de nossa tecnologia aeroespacial.

OBJETIVO: APRESENTAR, ATRAVÉS DE UMA LINGUAGEM CLARA E DE FÁCIL ACESSO, A IMPORTÂNCIA DA UTILIZAÇÃO DOS

SIMULADORES DE VÔO NO PROJETO E AVALIAÇÃO DE AERONAVES E SISTEMAS EMBARCADOS.

CONTEÚDO

1.O que São Simuladores de Vôo.....	1
2.Histórico	2
2.1.Necessidade.....	2
2.2.Primeiros Simuladores	2
2.3. A Necessidade de uma Abordagem Sistemática	4
2.4. O Simulador Toma Forma	7
2.5. O Simulador Eletrônico.....	10
2.6. O Simulador de Vôo Moderno	11
3.Utilização dos Simuladores de Vôo	15
3.1.Treinamento	15
3.2.Entretenimento	16
3.3.Engenharia	17
4.Exemplos de Aplicações do Simulador em Engenharia.....	19
4.1. Sistema de Entrada de Dados.....	19
4.2. Sistema de Compensação de Força	21
5.Conclusões	24
6.Referências Bibliográficas.....	25

1.O que São Simuladores de Vôo

Uma característica comum aos simuladores é a tentativa de fornecer uma imitação operacional da atividade real. Podemos ter vários níveis de abstração e de envolvimento humano em uma simulação. Como o propósito dos simuladores de vôo é simular o comportamento de uma aeronave eles envolvem um baixo nível de abstração e um alto nível de envolvimento humano.

A essência de um simulador de vôo é a criação de um modelo dinâmico do comportamento de uma aeronave de modo a permitir que o usuário humano interaja com o simulador como parte da simulação.

A forma da simulação envolve uma combinação de ciência, tecnologia e arte para criar uma realidade artificial com o propósito de pesquisa, treinamento ou diversão.

Um simulador de vôo é composto de um modelo, real ou teórico, um dispositivo através do qual o modelo é implementado e de um regime de aplicação, no qual o modelo e o dispositivo são combinados através de uma técnica de utilização para atingir um objetivo particular.

2.Histórico

2.1.Necessidade

Após o primeiro vôo do mais pesado que o ar ocorreram muitos acidentes com os sucessores de Santos Dumont, cada um causado por uma falha ou falta de habilidade específica dos pilotos. Surgiu então a necessidade de proporcionar ao iniciante uma idéia clara do comportamento dos controles de um aeroplano e das condições existentes em vôo sem nenhum risco pessoal ou material.

2.2.Primeiros Simuladores

Muitos simuladores foram construídos com esse propósito e o "Professor de Sanders" apresentado em 1910 foi o um dos primeiros a entrar em campo. Ele era um aeroplano modificado montado sobre uma articulação universal presa ao solo. Nele um estudante podia aprender os movimentos necessários para controlar a aeronave e manter o equilíbrio em vôo. A idéia de utilizar um aeroplano fixado ao solo para treinamento elementar foi patenteada na Inglaterra por Billing em 1910. Na verdade sua máquina (Fig. 2.1) não era um aeroplano adaptado mas uma máquina de propósito específico. Obviamente esse tipo de simulador dependia do vento para provocar turbulências. Alguns eram montados em eixos que permitiam que os simuladores fossem redirecionados para ficarem contra o vento.

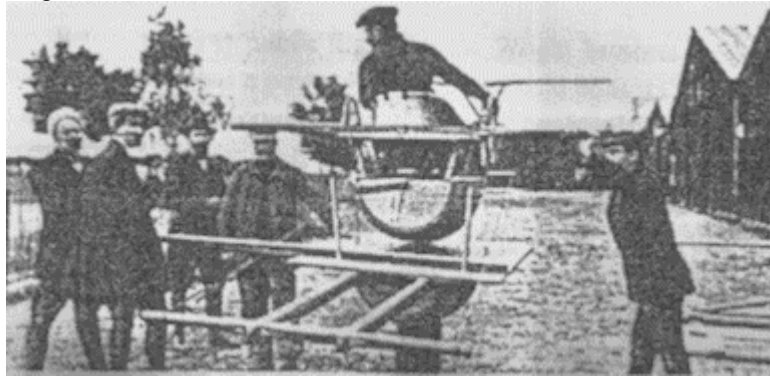
Figura 2.1. Um treinador do tipo Billing.



Uma variação desse princípio, que não dependia do vento, também foi utilizada nos primeiros tempos do vôo. Um instrutor provocava os distúrbios enquanto o aluno procurava manter o equilíbrio através dos controles conectados por cabos e polias com a base. A "Máquina de Walters", também de 1910, era desse tipo.

Uma evolução desse simulador foi o "Barril de Aprendizado de Antoinette" (Fig. 2.2), com uma segunda articulação universal ele resolveu o problema do aluno ter que exercer uma força diretamente contrária à do instrutor.

Figura 2.2. Treinador de Antoinette.



Durante a Primeira Guerra Mundial os simuladores de vôo não foram muito utilizados para treinamento de pilotos; apenas a França utilizava-os de maneira significativa, mas a necessidade de diminuir o desperdício de recursos na Primeira Grande Guerra encorajou o crescimento dos simuladores de vôo através dos testes de aptidão. Eram utilizados simuladores para medir o desempenho do aprendiz em algumas tarefas que representavam habilidades essenciais de pilotagem.

Os dois tipos de testes mais populares eram o de tempo de resposta e o de coordenação. Em 1915 uma máquina para o primeiro teste foi proposta; ela consistia de uma fuselagem com controles e um aparato elétrico onde a resposta do aluno ao estímulo do treinador podia ser gravada. Entre outros vários exemplos cabe citar apenas o de Reid e Burton, que era um aparato

controlado eletricamente montado em uma cabine e que podia gravar o tempo levado para o aluno levar o indicador de atitude à sua posição central.

Erroneamente acreditava-se que tais simuladores abilitavam uma pessoa a se orientar em vôo como em solo. Mais tarde descobriu-se que a orientação depende largamente da visão. Um dos primeiros derivados dessa teoria foi o "Orientador de Ruggles", que consistia de um assento montado em um anel que permitia rotação total do aluno sobre os três eixos além de movimento vertical. Todos os movimentos eram produzidos por motores elétricos em resposta aos movimentos do estudante ou do instrutor. Esses modelos foram úteis para acostumar os pilotos a posições em que eles podiam se encontrar em combate aéreo e proporcionar um treinamento razoável para vôos às cegas.

2.3. A Necessidade de uma Abordagem Sistemática

Do ponto de vista de engenharia uma boa simulação requer os seguintes elementos:

- um modelo completo, preferencialmente expresso matematicamente, das respostas da aeronave a todas as entradas: do piloto e do ambiente.
- uma maneira de resolver essas equações em tempo real, ou, em outras palavras, de animar o modelo.
- uma maneira de apresentar as saídas dessa solução ao piloto através de respostas mecânicas, visuais ou auditivas.

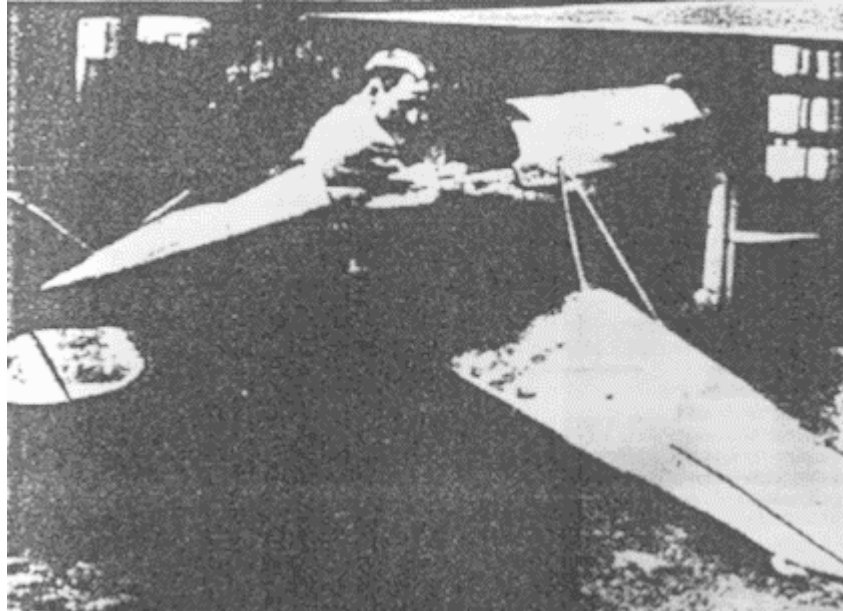
Nenhum deles ainda foi completamente resolvido, e não é possível se dizer se ou quando serão solucionados.

Em 1920 havia-se adquirido conhecimento suficiente da mecânica do vôo para produzir-se um modelo matemático aceitável (Bairstow), mas ainda não era possível transformar esse modelo em uma simulação.

Os controles automáticos produzidos por Sperry e outros, baseavam-se em entendimentos empíricos do comportamento de uma aeronave e testes práticos ao invés de simulação. Entretanto a evolução da tecnologia de controle automático provê a base para uma simulação melhor; todos os elementos, sensores, atuadores e mecanismos de computação, são comuns para ambas disciplinas. No trabalho de Sperry os mecanismos de computação podiam ser construídos e ajustados baseados num entendimento prático do comportamento de sistemas; esta foi a metodologia nas primeiras tentativas de simulação.

A intenção dos fabricantes de simuladores era reproduzir as sensações de um aeroplano. Muitos não puderam alcançar tal objetivo por causa da primária ou não existente simulação de movimentos. O modelo que chegou mais perto foi o Treinador de Link (Fig. 2.3).

Figura 2.3. O Primeiro Treinador de Link



O treinador foi desenvolvido entre 1927 e 1929 e fazia uso de mecanismos pneumáticos. Link trabalhou muito tempo ajustando o desempenho por tentativa e erro.

A primeira descrição do treinador não faz referência a instrumentos, o simulador tinha como objetivo principal demonstrar aos estudantes o efeito dos controles na atitude do aeroplano simulado e treiná-los em sua operação coordenada. O efeito simulado dos aleirons, profundores e pedais eram independentes, não representando as interações presentes em um aeroplano real. Também por causa da ligação direta entre causa e efeito de controles e atuadores, seu movimento servia apenas para indicar a atitude e não para prover sinais do movimento correto.

Link havia conseguido um sentimento mais realista que seus predecessores, mas ainda não parecia ter atingido as reais necessidades de treinamento, como por exemplo o vôo instrumental. Esse requisito demandava uma aproximação mais analítica para a simulação, e um modelo do comportamento da aeronave deveria ser utilizado.

Todos os dispositivos de treinamento descritos até aqui utilizavam-se de cabines móveis, sendo ela própria a única função do simulador. Sendo esse tipo de movimento uma pista inútil do movimento real, um simulador provido de instrumentos podia dispensá-lo. Isso de fato aconteceu em todos os simuladores posteriores, (menos o de Link) até a era dos "full flight simulator" (simuladores de missão completa).

A patente de Rougeri de 1928 decreta um treinador simples fixo no solo, consistindo de uma cadeira para o estudante colocada na frente de um painel de instrumentos e dois conjuntos de controles, um para o estudante e outro para o instrutor. Os instrumentos do estudante eram conectados diretamente aos controles do instrutor. O estudante podia voar o treinador em resposta aos comandos do instrutor, que modificava as leituras dos instrumentos de acordo com as ações do estudante. Uma versão mais automatizada desse esquema pode ser observada na invenção de Johnson de 1931. Em sua versão mais

simplificada um indicador da velocidade do vento, um indicador de rolamento e um indicador de guinada eram diretamente operados por cabos ligados às alavancas e barras de leme do estudante e instrutor. Melhorias posteriores incluíam um controle de propulsão que afetava o indicador de velocidade do vento.

2.4. O Simulador Toma Forma

Os Treinadores de Link receberam instrumentos como equipamento padrão. O treinamento de vôo às cegas começou no início dos anos 30 e quando a importância desse tipo de treinamento foi totalmente comprovada, notada pela US Army Air Corp, quando tinham a incumbência de transportar correspondência, as vendas dos Treinadores de Link cresceu. O novo Treinador de Link podia girar de 360 graus, o que permitiu a instalação de um compasso magnético, enquanto os vários instrumentos eram operados mecânica ou pneumaticamente.

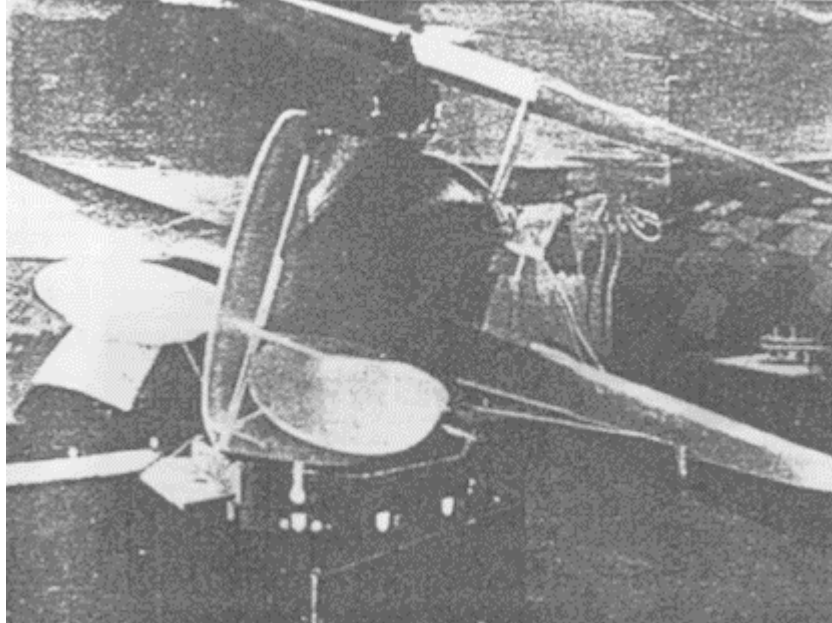
A altitude, por exemplo, era representada pela pressão do ar em um tanque diretamente conectado ao altímetro. Interação pedal/aleirom foi adicionada nos treinadores mais avançados. O Treinador de Link era então uma forma simples de um computador analógico. Mas a reprodução da dinâmica de vôo ainda era desenvolvida de maneira empírica.

Uma melhoria posterior na utilidade desses treinadores foi atingida com a adição de um traçador de curso, possibilitando ao instrutor monitorar o vôo simulado de um estudante.

O Treinador de Link foi um grande sucesso durante os anos 30. Ele foi produzido em várias versões e vendido para diversos países, entre eles Japão, URSS, França e Alemanha. Em 1937 foi entregue o primeiro Treinador de Link vendido a uma companhia aérea, a American Airlines. A RAF também recebeu seu primeiro Link neste ano. No começo da Segunda Guerra Mundial, muitas

das maiores forças aéreas realizavam seu treinamento básico de instrumentos em Links ou derivados. Os pilotos alemães dos esquadrões de bombardeiros haviam tido 50 horas de vôo cego nos Treinadores de Link (Fig. 2.4).

Figura 2.4. Treinador de Link com cyclorama.



Logo surgiu a necessidade de treinar um grande número de recrutas em muitas habilidades individuais e coletivas envolvidas na operação de cada tipo de aeronave militar, com o número desses tipos crescendo. A instrução básica de instrumentos era feita parcialmente nos Links, mas peculiaridades de certos tipos de aeronaves faziam do treinamento na cabine real uma atividade essencial. Utilizar uma montagem de uma fuselagem real de um avião era uma solução. O Treinador de Hawarden, por exemplo, era feito da parte central da fuselagem de um Spitfire, o que possibilitava treinamento de procedimentos de um vôo operacional completo.

Os Links também foram desenvolvidos até o estágio em que a disposição e aparência dos instrumentos e o desempenho de aeronaves específicas eram duplicados.

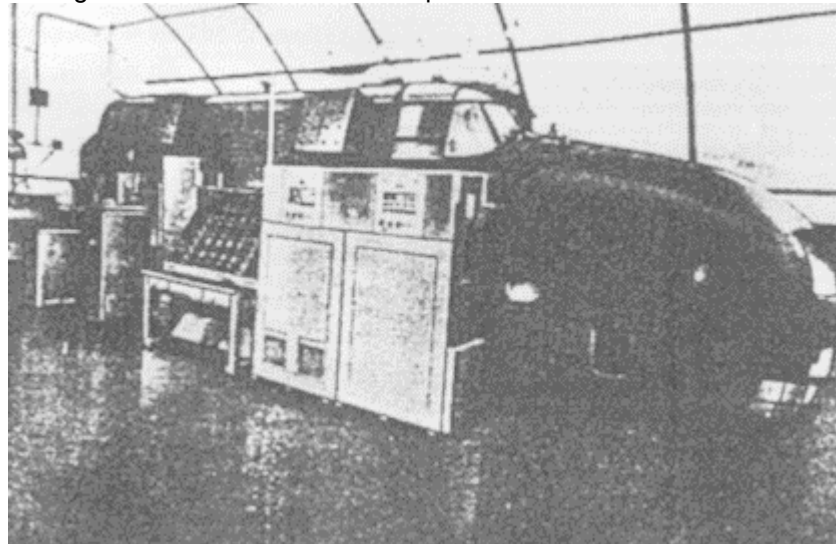
Em 1939 a Inglaterra pediu que Link desenvolvesse um treinador que pudesse ser utilizado para melhorar as capacidades de navegação celestial de

suas tripulações, que voavam sobre o Atlântico. Além disso era esperado que este simulador pudesse ser utilizado para melhorar a exatidão dos bombardeios durante missões noturnas sobre a Europa.

O primeiro Treinador de Navegação Celestial foi completado em 1941 e a RAF pediu sessenta desses, mas apenas um número limitado foi instalado. Nos Estados Unidos centenas deles foram instalados e operados.

Um desenvolvimento mais recente foi a "fuselagem instrucional", consistia da fuselagem do tipo requerido montada dentro de um hangar. Ela podia ser usada para treinar tripulações para todas as ações que deveriam executar no avião em que estavam sendo treinados. Todos sistemas, hidráulico, elétrico e pneumático e seus instrumentos trabalhavam normalmente, deste modo todas as ações feitas pela tripulação eram realistas. Lançamento de bombas e abandono de aeronave com para-quedas também eram treinados: as bombas eram jogadas em caixas de areia embaixo da aeronave.

Figura 2.5. Treinador de Silloth para uma aeronave Halifax



Um treinador desse tipo que obteve grande sucesso na RAF foi o Treinador de Silloth (Fig.2.5). Esse treinador foi desenvolvido para todos os membros da tripulação e era primariamente um treinador de familiarização de

tipo para o aprendizado das ações e contorno de mal funcionamentos. Toda a computação era pneumática. A simulação foi desenvolvida empiricamente, mas quando bem ajustada, dava respostas realistas.

2.5. O Simulador Eletrônico

O Treinador de Silloth demonstrou que as técnicas mecânicas e pneumáticas haviam atingido o final de sua utilidade, pelo menos para simulações detalhadas de aeronaves específicas. Métodos elétricos de computação analógica eram conhecidos mas foram necessárias a urgência e a troca de informações provocados pela Segunda Guerra Mundial para que o desenvolvimento dessa técnica ocorresse.

O computador analógico, ou analisador diferencial como era conhecido, possibilitou o cálculo das respostas de uma aeronave às forças aerodinâmicas, em oposição à duplicação empírica de seus efeitos.

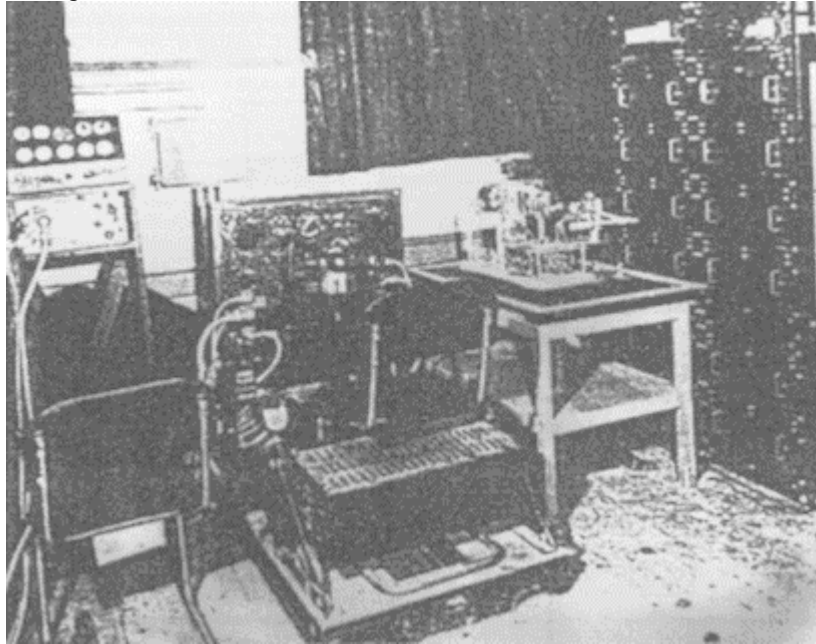
Em 1936 Mueller, no MIT, descreveu um computador analógico eletrônico para simulação mais rápida que em tempo-real da dinâmica longitudinal de um aeroplano. Seu interesse estava no projeto de aeronaves e na solução das equações de movimento, mas ele chegou a mencionar a possibilidade de mudar a escala de tempo e incluir um homem na simulação.

Em 1941 um simulador eletrônico que resolvia equações de movimento de aeronaves foi projetado no Telecommunications Research Establishment (TRE) na Inglaterra, famoso por seu trabalho com radares. Este simulador foi desenvolvido para prover a unidade de vôo para o TRE aerial intercept (AI), um treinador de radares para interceptação aérea (Fig 2.6).

O método de computação dc era utilizado na simulação da aerodinâmica simplificada de um avião de caça. Muitas dessas unidades foram utilizadas durante a guerra. Além de usar métodos de computação eletrônica avançados, os treinadores TRE AI são exemplos de treinadores de tripulação completa. Os

quatro estágios de interceptação aérea podiam ser praticados: seguir um curso de interceptação dado por um operador em terra, aproximação utilizando o radar de bordo, contato visual e o momento do disparo.

Figura 2.6. Uma unidade de voo TRE.



Em 1943 os Laboratórios Bell completaram um simulador de voo para o avião PBM-3 da marinha. Este dispositivo consistia da parte da frente de uma fuselagem e da cabine de um PBM, com controles completos, instrumentação e equipamento auxiliar, junto com um computador eletrônico que resolvia as equações de voo.

Desenvolvimentos posteriores na simulação ac foram feitos e a tecnologia eletrônica migrou das válvulas para os transistores, possibilitando computadores analógicos menores e mais velozes.

2.6. O Simulador de Voo Moderno

No começo dos anos 50 os fabricantes de aeronaves não tinham uma boa quantidade de dados analíticos sobre o desempenho de seus aviões e motores, os espaços em branco tinham que ser preenchidos pelos fabricantes

de simuladores por tentativa e erro e avaliações de pilotos. Esta situação mudou com o aumento dos dados proveniente dos programas de teste de voo. Aliado aos requisitos de movimento e sistemas visuais e a melhoria da exatidão e transferência de treinamento aumentos significantes no hardware dos computadores analógicos se tornaram necessários.

Este período coincidiu com a introdução da segunda geração de computadores digitais, essas máquinas tinham o potencial de resolver os problemas de exatidão e realizabilidade a um custo que se tornou suficientemente baixo para ser utilizado na maioria das aplicações. Como consequência disso houve uma migração completa da tecnologia analógica para a digital, com os computadores analógicos sendo utilizados somente nos simuladores mais simples e nas partes da simulação onde desempenho bom o suficiente só seria atingido digitalmente a um custo muito elevado.

O projeto UDOFT (Universal Digital Operational Flight Trainer) foi iniciado em 1950. Este computador foi fabricado pela Sylvania Corporation e completado em 1960. O UDOFT demonstrou a realizabilidade da simulação digital e era principalmente relacionado com a solução das equações de movimento de uma aeronave.

No começo dos anos 60 Link desenvolveu um computador digital de propósito específico, o Link Mark I, projetado para simulação em tempo-real. Esta máquina tinha três processadores paralelos para aritmética, geração de funções e seleção de estação de rádio.

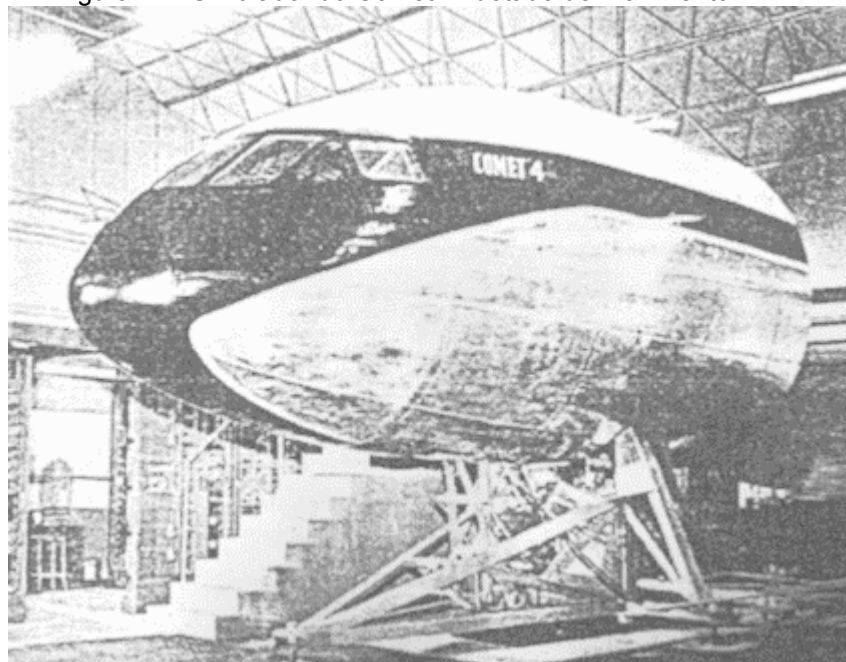
Ao final dos anos 60 computadores digitais de uso geral projetados primariamente para aplicações de controle de processos mostraram-se adequados para a simulação graças a seus requisitos de grande quantidade de entradas e saídas em tempo real e o uso de máquinas de propósitos específicos caiu. Atualmente os computadores de uso específico são usados

somente em aplicações que exigem um processamento muito rápido, como simulação de radar e geração de imagem.

Os simuladores de vôo produzidos até o meio dos anos 50 não eram dotados de movimento. Achava-se que poderiam ser feitos melhoramentos no sistema de movimento dos simuladores por tentativa e erro. Propostas de simuladores de movimento foram feitas por vários fabricantes, mas apenas no fim dos anos 50 as linhas aéreas decidiram comprá-los.

Em 1958, Rediffusion produziu um sistema de movimento de arfagem para o simulador do Comet IV (Fig. 2.7). Sistemas mais complexos foram desenvolvidos para serem capazes de produzir aceleração em até seis graus de liberdade.

Figura 2.7. Simulador do Comet IV dotado de movimento.



Vários sistemas para produzir cenas do visual externo foram propostos e produzidos durante toda a história dos simuladores de vôo, entretanto os sistemas visuais realistas e flexíveis são desenvolvimentos bem recentes.

O primeiro sistema visual que obteve uma grande disseminação nos simuladores de aviação civil era baseado num modelo em escala observado através de um sistema de televisão.

O primeiro sistema gerador de imagem computadorizado para simulação foi produzido pela General Electric Company para o programa espacial norte-americano. O progresso nessa tecnologia foi rápido devido ao fato de seu desempenho estar fortemente ligado aos avanços da tecnologia em microeletrônica. O primeiro sistema gerador de imagem computadorizado economicamente utilizável para simuladores comerciais foi produzido pela McDonnell-Douglas Electronics Corporation em 1971.

O simulador de vôo atingiu sua forma moderna provavelmente no final dos anos 60.

3.Utilização dos Simuladores de Vôo

3.1.Treinamento

Os simuladores de vôo são largamente empregados para treinamento de pilotos e tripulações inteiras; suas principais vantagens são:

- A redução do custo de formação e treinamento de pessoal, o preço de aquisição de um simulador de vôo varia de 30 a 65% do preço da aeronave e o custo de operação gira em torno de 8% do custo de operação da aeronave real.

- A redução do tempo de formação e treinamento de pessoal, o treinamento pode ser centrado em uma manobra ou procedimento específico, não tendo que se repetir todo o vôo.

- Segurança, no simulador situações potencialmente perigosas podem ser experimentadas sem risco de vida ou de perda de equipamento. Antes da adoção dos simuladores para esse tipo de treinamento, em certos casos mais acidentes aconteciam durante os treinamentos de emergências do que em suas ocorrências reais. Um desses casos foi o da prática de pilotagem assimétrica após a falha simulada de um dos motores, o que resultou na perda da aeronave.

Uma solução alternativa é o custoso desenvolvimento de uma versão com dois assentos da aeronave, que provavelmente terá algumas diferenças de comportamento.

- Oportunidade, para um treinamento em vôo é preciso que a aeronave e o espaço aéreo estejam disponíveis, além de ser necessária a colaboração das condições atmosféricas. Além disso nenhum inimigo potencial permite que um adversário pratique missões de ataque.

Ecologia: os simuladores de vôo reduzem os custos operacionais e a produção de poluição atmosférica e sonora, reduzindo distúrbios ambientais e poupando preciosas fontes de combustível.

Podemos dividir os simuladores de treinamento em quatro níveis:

Simulador para treinamento de procedimentos de cabine: baixa fidelidade, baixo custo, realidade limitada, base fixa e capacidade limitada de computação. É usado para treinamento de procedimentos normais, de emergência e instrução técnica da aeronave. Apresenta poucos instrumentos que funcionam.

Simulador para treinamento de instrumento: fidelidade moderada, normalmente utiliza um microcomputador, não tem sistema de imagem e permite que o tripulante exercite suas habilidades motoras.

Simulador de transição: apresenta fidelidade limitada, capacidade de reproduzir o pouso, sistema de imagem, capacidade de fidelidade perceptual. Utilizado normalmente para treinamento de instrumento.

Simulador de missão completa: é o mais completo de todos os simuladores, apresenta alta fidelidade e reprodução quase exata do ambiente de vôo. Engloba alta capacidade de computação, sensações e imagem.

3.2. Entretenimento

Com o avanço da eletrônica e da computação começaram a surgir os primeiros simuladores de vôo para entretenimento, no começo eram dotados apenas de manche ou stick e de uma tela, mas atualmente encontramos simuladores de vôo com liberdade total de movimentos nos três eixos, controle de propulsão, radar, ECM, ILS e muitas outras características de uma aeronave real. A grande diferença entre os simuladores de treinamento e os de entretenimento é a fidelidade do modelamento, enquanto os de treinamento precisam se aproximar ao máximo do avião real, os de entretenimento precisam dar apenas uma idéia dos movimentos reais da aeronave, por esse motivo as equações matemáticas utilizadas nos simuladores de entretenimento

são muito simplificadas e permitem que a simulação possa ser executada em tempo-real em plataformas não muito poderosas.

3.3.Engenharia

Podemos dividir a aplicação dos simuladores de vôo na engenharia em quatro fases: concepção, projeto, ensaio e produção.

Na fase de concepção a ênfase do simulador no projeto de uma aeronave está no desempenho e na operacionalidade. Verifica-se se todo o benefício potencial de um novo projeto ser totalmente explorado operacionalmente, quando outros fatores estão envolvidos, se ocorrerão mudanças no desempenho de outras funções da aeronave, se serão necessárias melhorias nos sistemas e se novos problemas surgirão em função desse novo projeto.

Do mesmo modo os simuladores de vôo podem ser utilizados para medir quantitativamente os benefícios de uma melhoria em um aeroplano ou do desempenho de armas em combate. Esses resultados podem ser comparados com os provenientes de uma melhoria no sistema de aviônica. Mudanças na disposição da cabine podem ser exploradas. Até mesmo questões básicas como se um novo avião de combate terá um ou dois lugares pode ser investigada através de simulação.

Na fase de projeto, modelos computacionais da aeronave e dos sistemas são requeridos. Apenas na década de "80" a capacidade computacional e velocidade tornaram viáveis os modelos de tempo-real de um simulador completo. À medida que novos dados emergem dos testes em túnel de vento e dos especialistas em controle de vôo, mudanças rápidas no modelo devem ser possíveis, apontando para o uso de um bom sistema operacional, com facilidades para verificar se as mudanças desejadas foram implementadas.

Ao final dessa fase começam a ser utilizadas partes da aeronave na simulação.

Na fase de ensaio do protótipo dá-se especial atenção às avaliações das capacidades operacionais versus requisitos. Produz-se o aprimoramento das capacidades aerodinâmicas e estruturais, o desenvolvimento do software utilizado na aeronave e a integração e o aprimoramento dos sistemas.

O simulador é também utilizado para verificar se a aeronave está em condições de ser homologada.

Durante a fase de produção o simulador é usado para desenvolvimento e aprimoração do software, integração e desenvolvimento de novos sistemas, desenvolvimento de táticas e treinamento.

Além disso, durante toda a vida da aeronave ocorrerão atualizações de procedimentos e definições de novos desenvolvimentos e será necessária a análise de situações perigosas ou acidentes que tenham ocorrido ou possam ocorrer no emprego operacional da aeronave.

4.Exemplos de Aplicações do Simulador em Engenharia

4.1. Sistema de Entrada de Dados

Um caso típico é a comparação de três métodos de entrada de dados em um computador embarcado, durante o voo, devido a uma mudança no plano de voo. O computador de navegação deve ser informado das posições revisadas dos pontos de checagem para permitir o cálculo de informações como tempo a ser gasto até os pontos de checagem e o consumo de combustível. Normalmente o string de números que representa os pontos de checagem é entrado via teclado.

Esta investigação compara os méritos de dois métodos alternativos: uma tela sensível ao toque (touch-sensitive display) e uma entrada direta de voz. A necessidade da inserção rápida e sem erros de dados é particularmente importante para aeronaves de ataque que voam a baixas altitudes, pois como voam a alta velocidade e rentes ao solo, sob condições de operação exigem consideravelmente as habilidades do piloto.

Neste exemplo, o desempenho foi medido de três formas: medindo a variação da altitude durante a entrada de dados, medindo o tempo levado para entrar o string e o tempo que o piloto gasta olhando para a cabine durante a entrada de dados.

Oito pilotos em operação nos esquadrões da RAF (Royal Air Force) foram usados neste teste. Cada piloto voou quatro missões com cada um dos três sistemas. A ordem em que os sistemas foram utilizados foi aleatória para eliminar o efeito de aprendizagem. As latitudes e longitudes utilizadas foram escolhidas de modo a randomizar o conteúdo e a ordem dos dígitos. Cada piloto recebeu treinamento suficiente para se familiarizar com cada dispositivo. Simulações experimentais não foram feitas até que o reconhecedor de voz tivesse sido re-treinado para entender cada piloto em particular.

O desempenho dos pilotos na variação de altura pode ser visto na Fig. 4.1. Nota-se que a variação para a entrada direta de voz é bem menor do que para os dois sistemas manuais, ilustrando a não necessidade do piloto olhar para dentro da cabine ao invés de olhar para a tela acoplada no capacete e para fora. Esse resultado é confirmado pela Fig. 4.2. cujos dados foram coletados a partir de gravações de câmeras que seguiam os olhos dos pilotos.

Figura 4.1. Comparação entre variações de altura.

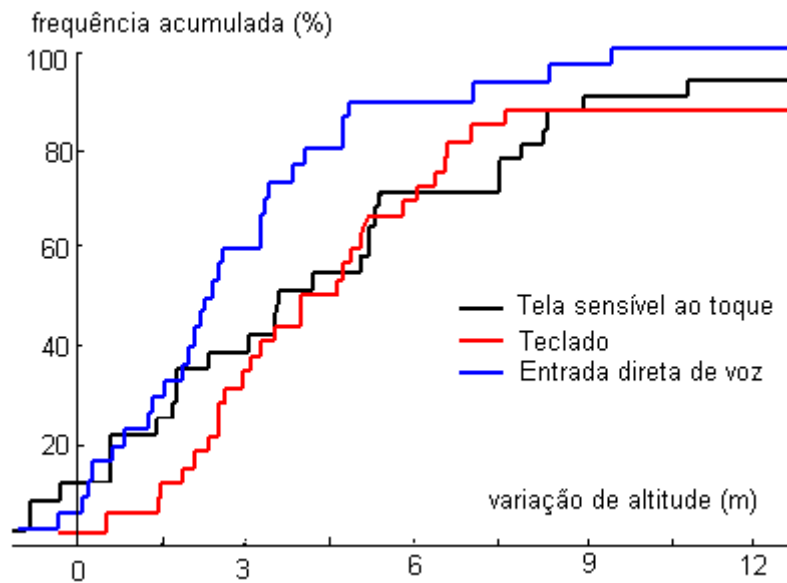
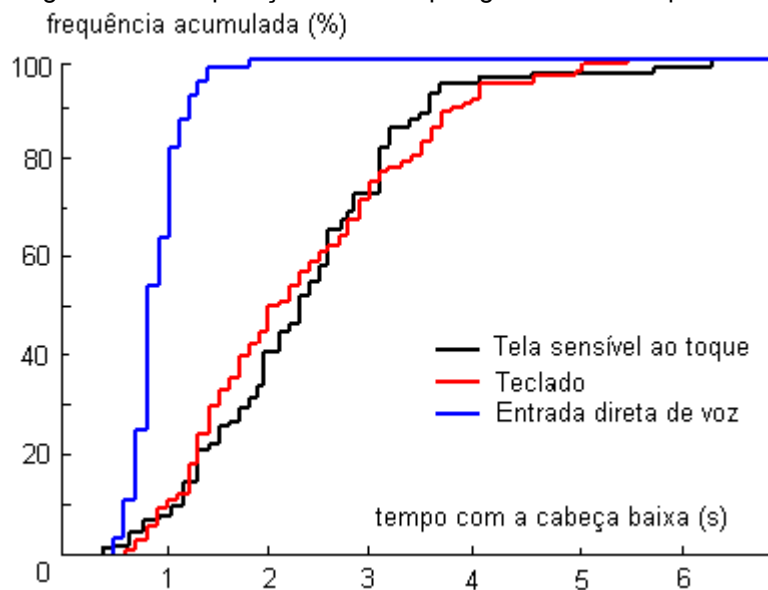
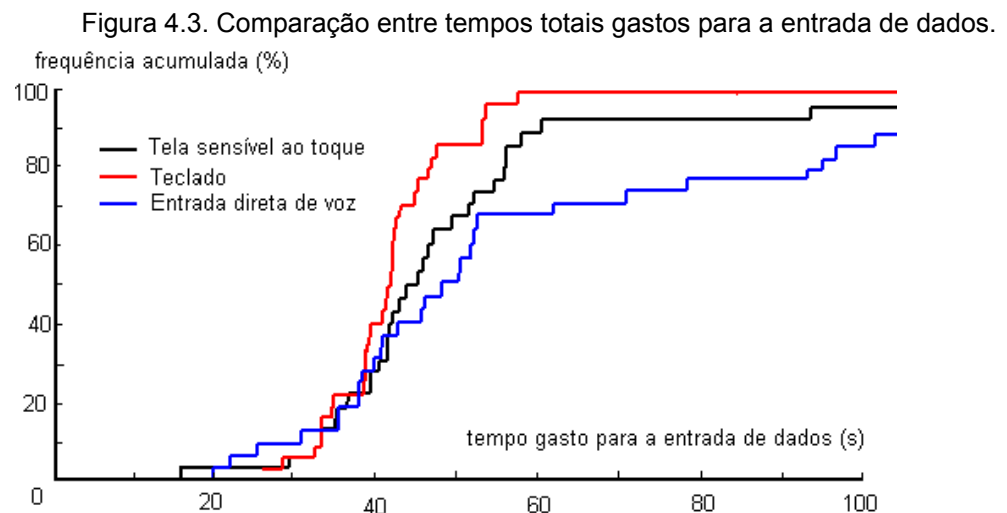


Figura 4.2. Comparação entre tempos gastos olhando para dentro da cabine.



Por outro lado o tempo gasto para entrar os dados utilizando a entrada direta de voz é muito maior do que o gasto com os dois outros sistemas (Fig. 4.3). Este resultado deve-se mais à inabilidade do sistema reconhecer os comandos do piloto do que a do piloto falar mais rápido. E também ao fato do piloto ter que conferir cada comando dado na tela ao invés de entrar todo o string de uma vez devido à entrada via voz não ser 100% confiável.



Apesar de não termos um sistema vencedor essa comparação serviu para mostrar claramente as vantagens e desvantagens de cada um e possivelmente direcionar melhores pesquisas futuras e melhorias nesses três sistemas.

4.2. Sistema de Compensação de Força

A aeronave em questão era dotada de atuadores hidráulicos para os aleirons, deixando o piloto da aeronave sem noção da força que estaria sendo a eles aplicada.

Nas aeronaves sem esse tipo de aparato ocorre uma diferença de esforço proporcional ao quadrado da velocidade da aeronave, em vôos a baixa velocidade o piloto pode causar uma grande deflexão com um pequeno

esforço, já em alta velocidade, devido à grande pressão exercida sobre os aleirons pela massa de ar em deslocamento o esforço é bem maior.

Para compensar essa falta de sentimento da aeronave e levando-se em consideração que normalmente a altas velocidades as deflexões dadas são pequenas e a baixas velocidades grandes decidiu-se utilizar um sistema de molas para dar ao piloto este sentimento.

Figura 4.4. Curvas características de dois sistemas de molas disponíveis.

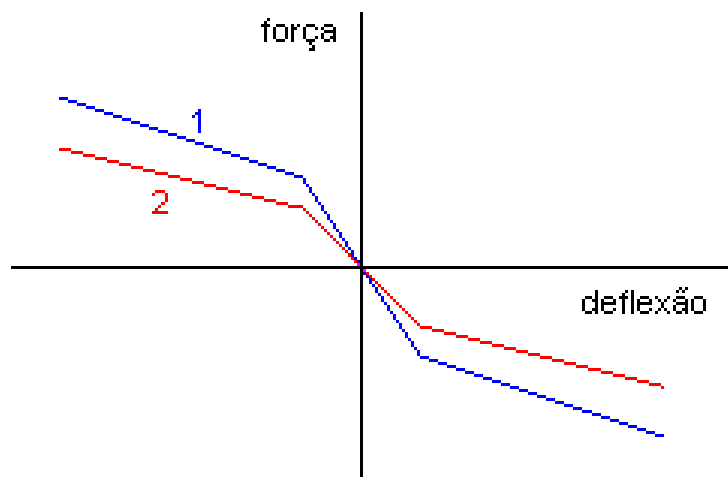
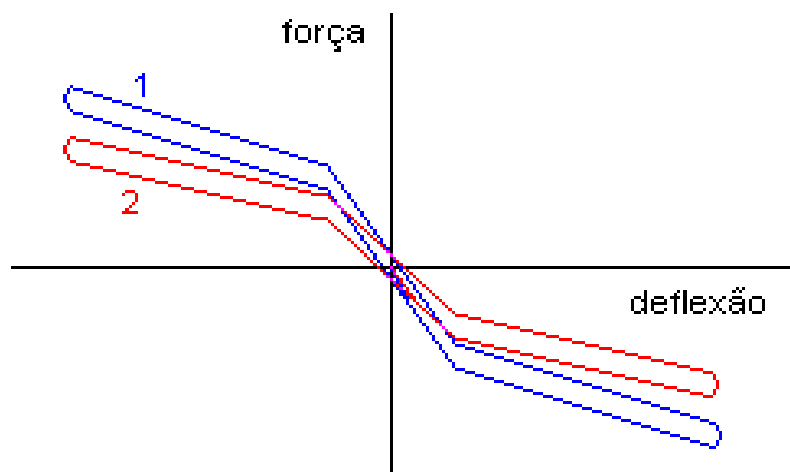


Figura 4.5. Curvas medidas no simulador.



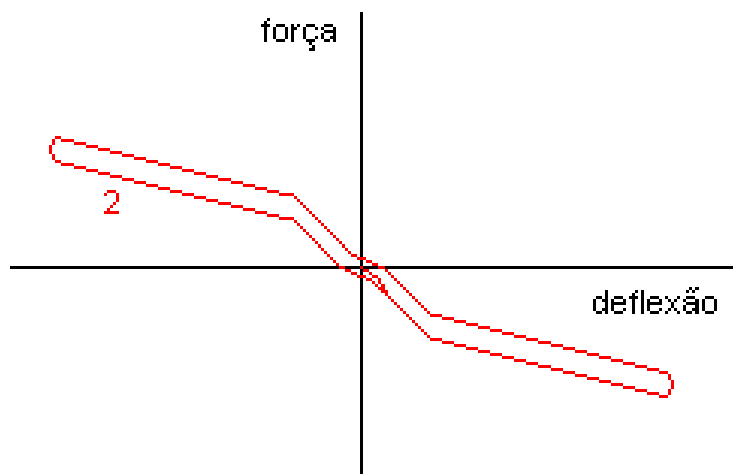
O sistema tinha como característica uma razão força/deflexão grande para pequenas deflexões e pequena para altas deflexões, como mostra a Fig 4.4.

Utilizando-se as características da mola 1 simulou-se o comportamento da aeronave e o piloto preferiu que o esforço para pequenas deflexões fosse menor, o que acarretou uma mudança para a mola 2, que o piloto achou mais adequada. A Fig. 4.5 ilustra as curvas de "esforço x deflexão" medidas no simulador.

A Fig. 4.6 mostra a mesma curva medida no avião em solo, parado.

Mais uma vez o simulador de vôo demonstra sua utilidade, auxiliando na escolha do melhor sistema sem grandes custos de prototipação.

Figura 4.6. Curva medida na aeronave.



5.Conclusões

Os simuladores de vôo desempenham um papel fundamental no treinamento, aperfeiçoamento e manutenção das habilidades de pilotos e tripulações, mas também desempenham um papel muito importante na concepção e no projeto de novas aeronaves e na avaliação de novos sistemas aeronáuticos.

Através do seu uso no projeto de uma aeronave muito tempo e investimento podem ser poupados ou utilizados mais adequadamente. É importante que sua utilidade e aplicabilidade sejam conhecidos e difundidos pelos profissionais da área, a fim de minimizar custos com o desenvolvimento e a avaliação de novos sistemas e aeronaves.

Para chegarmos a ser um país de primeiro mundo é preciso primeiro agir como um país de primeiro mundo, é preciso utilizarmos todos os recursos e ferramentas disponíveis para o desenvolvimento do país, cada setor deve fazer o melhor possível, cada setor deve utilizar seus recursos da maneira mais inteligente possível e os simuladores de engenharia auxiliam os engenheiros e projetistas de aeronaves e sistemas embarcados a fazerem isso.

6.Referências Bibliográficas

Rolfe, J. M. e Staples, K. J., "Flight simulation", Cambridge University Press, Inglaterra, 1986.