



**UNISUL**

**UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA**

**JARBAS ALVIM AGRICOLA**

**TRANSIÇÃO PARA AERONAVES A REAÇÃO**

**Palhoça**

**2017**

**JARBAS ALVIM AGRICOLA**

**TRANSIÇÃO PARA AERONAVES A REAÇÃO**

Monografia apresentada ao Curso de graduação em Ciências Aeronáuticas, da Universidade do Sul de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel.

Orientadora: Profa. Dra. Conceição Aparecida Kindermann

**Palhoça**

**2017**

**JARBAS ALVIM AGRICOLA**

**TRANSIÇÃO PARA AERONAVES A REAÇÃO**

Esta monografia foi julgada adequada à obtenção do título de Bacharel em Ciências Aeronáuticas e aprovada em sua forma final pelo Curso de Ciências Aeronáuticas, da Universidade do Sul de Santa Catarina.

Palhoça, 13 de novembro de 2017

---

Orientadora: Profa. Conceição Aparecida Kindermann, Dra.

---

Prof. avaliador: Giovani de Paula, Dr.

## **AGRADECIMENTOS**

À minha família.

## RESUMO

O Objetivo desta pesquisa é avaliar se conhecimentos sobre: i) técnicas de pilotagem específicas relacionadas a aeronaves a reação; ii) fenômenos aerodinâmicos envolvidos; e iii) características de funcionamento dos diversos tipos de motores a jato podem dar aos profissionais em transição uma melhor base, facilitando essa transição e tornando-os profissionais melhores e diferenciados no mercado. Para alcançar o objetivo proposto, utilizou-se a pesquisa descritiva e exploratória, quanto à coleta de dados, trata-se de uma pesquisa bibliográfica e documental com abordagem qualitativa. Ao final, conclui-se que o treinamento de transição é realmente essencial não só como fator de enriquecimento técnico aos novos aviadores, mas também como fator de segurança já que contribui para prevenção de acidentes.

**Palavras-chave:** Treinamento de transição. Aeronaves a jato. Asas enflechadas. Características operacionais.

## **ABSTRACT**

The objective of this research is to evaluate if knowledge about: i) specific flight techniques related to jet aircraft ; ii) aerodynamic phenomena involved; and (iii) the operating characteristics of the various types of jet engines can give transition professionals a better basis by facilitating this transition and making them better and more differentiated professionals in the market. In order to reach the proposed objective, we used the descriptive and exploratory research, regarding the data collection, it is a bibliographical and documentary research with qualitative approach. At the end, it is concluded that the transition training is really essential not only as a factor of technical enrichment to the new aviators, but also as a safety factor since it contributes to the prevention of accidents.

**Keywords:** Transition training. Jet aircrafts. Winged wings. Operational characteristics.

## LISTA DE ILUSTRACOES

Figura 1 - Comets em voo de formação.....	12
Figura 2 - Evolução da velocidade .....	13
Figura 3 - EOLÍPILA de HERO.....	20
Figura 4 - Carro a Vapor de Newton.....	21
Figura 5 - Messerschmitt Me 262.....	22
Figura 6 - Motor Turbojato de fluxo centrifugo.....	24
Figura 7 - Motor turbojato de fluxo axial.....	24
Figura 8 - Motor turboélice.....	25
Figura 9 - motor Turbofan.....	25
Figura 10 - motor Turbofan de alto <i>By pass</i> .....	26
Figura 11 - quantidade de movimento.....	29
Figura 12 - Efeito de “Q” no plano horizontal.....	30
Figura 13 - Efeito de “Q” no plano vertical.....	30
Figura 14 - Gráfico Arrasto x Velocidade.....	32
Figura 15 - Posição do acelerador x resposta do motor a hélice.....	33
Figura 16 - Posição do acelerador x resposta do motor a jato.....	34
Figura 17 - Reação e mudança de atitude.....	34
Figura 18 - Efeito do enflechamento.....	35
Figura 19 - características de sustentação asa reta x asa enflechada.....	36
Figura 20 - Dispositivos de Hipersustentação.....	37
Figura 21 - Gráfico de velocidade x arrasto na aproximação.....	37
Figura 22 - Voo na parte traseira da curva de tração.....	38
Figura 23 - Perfil de decolagem normal.....	40
Figura 24 - Decolagem com vento cruzado.....	41
Figura 25 - Perfil de decolagem com um motor inoperante.....	42
Figura 26 - Perfil típico de pouso normal.....	44
Figura 27 - Correção do vento cruzado no pouso.....	45
Figura 28 - pouso em pista contaminada com vento cruzado.....	46
Figura 29 - Média de desempenho dos pilotos de caça a partir de 2002.....	53
Figura 30 - Pouso duro com ruptura da fuselagem traseira.....	54

## LISTA DE ABREVIATURAS

CBAR	Código brasileiro de aeronáutica
$C_L$	Coefficiente de sustentação
DH	<i>Decision Hight</i> (Altura de decisão)
ECEMAR	Escola de Comando e Estado Maior da Aeronáutica
FAA	<i>Federal Aviation Administration</i>
FADEC	<i>Full Authority Digital Engine Control</i>
ICAO	Organização da aviação civil internacional
ILS	Sistema de pouso por instrumentos
PAPI	Indicador visual de rampa de descida
RTO	<i>Reject take off</i>
TRI	<i>Type Rating Instructor</i>
UNIFA	Universidade da Força Aérea
VASI	<i>Visual Aproach System Indicator</i>
V1	Velocidade de decisão
V2	Velocidade de subida inicial (melhor ângulo)
$V_{LO}$	Velocidade de decolagem
VDP	<i>Visual Descent Point</i>
$V_{LE}$	Velocidade máxima com trem de pouso estendido
$V_{MCG}$	Velocidade mínima de controle direcional no solo
$V_{MCA}$	Velocidade mínima de controle direcional no ar

## LISTA DE TERMOS

<b><i>Anti Skid</i></b>	Sistema anti Travamento das rodas
<b><i>Autobrake</i></b>	Sistema de Frenagem Automática
<b><i>Aquaplanagem</i></b>	Perda de contato dos pneus com o piso devido a água acumulada
<b><i>Arremeter</i></b>	Ato de descontinuar uma aproximação
<b><i>Call outs</i></b>	Avisos predeterminados de parâmetros da aeronave
<b><i>Dutch Roll</i></b>	Movimento de guinada lateral
<b><i>Fly by Wire</i></b>	Comandos acionados por sinal elétrico
<b><i>Glide Slope</i></b>	Rampa de Planeio de Precisão
<b><i>Yaw Damper</i></b>	Sistema da aeronave que anula o efeito do <i>Dutch Roll</i>

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>12</b>
1.1	PROBLEMA DA PESQUISA .....	15
1.2	OBJETIVOS .....	16
1.2.1	<b>Objetivo geral</b> .....	<b>16</b>
1.2.2	<b>Objetivos Específicos</b> .....	<b>16</b>
1.3	JUSTIFICATIVA.....	17
1.4	METODOLOGIA .....	18
1.4.1	<b>Natureza e tipo da pesquisa</b> .....	<b>18</b>
1.4.2	<b>Material e método</b> .....	<b>18</b>
1.4.3	<b>Procedimentos de coleta de dados</b> .....	<b>18</b>
1.4.4	<b>Procedimentos de Análise dos Dados</b> .....	<b>18</b>
1.5	ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO .....	19
<b>2</b>	<b>CONTEXTUALIZANDO A TRANSIÇÃO PARA O JATO</b> .....	<b>20</b>
2.1	HISTÓRICO DO DESENVOLVIMENTO DOS MOTORES A REAÇÃO .....	20
2.2	TIPOS DE MOTORES A REAÇÃO AO LONGO DA HISTÓRIA.....	23
<b>3</b>	<b>CARACTERÍSTICAS DOS JATOS COMERCIAIS</b> .....	<b>28</b>
3.1	CARACTERÍSTICAS AERODINÂMICAS E OPERACIONAIS .....	28
3.1.1	<b>Mais pesado e mais veloz</b> .....	<b>28</b>
3.1.2	<b>Quantidade de movimento</b> .....	<b>29</b>
3.1.3	<b>Velocidades de decolagem e pouso</b> .....	<b>31</b>
3.1.4	<b>Ausência de fluxo das hélices sobre as asas</b> .....	<b>32</b>
3.1.5	<b>Características de aceleração dos motores a reação</b> .....	<b>33</b>
3.1.6	<b>Enflechamento das asas</b> .....	<b>35</b>
3.2	TÉCNICA OPERACIONAL PARA MANOBRAS CRÍTICAS.....	38
3.2.1	<b>Decolagem</b> .....	<b>39</b>
3.2.2	<b>Decolagem com vento cruzado ou de través</b> .....	<b>41</b>
3.2.3	<b>Decolagem com falha de motor após a V1</b> .....	<b>42</b>
3.2.4	<b>Pouso normal</b> .....	<b>43</b>
3.2.5	<b>Pouso com vento cruzado</b> .....	<b>45</b>
3.2.6	<b>Pouso com pista contaminada</b> .....	<b>46</b>
3.2.7	<b>Pouso com um dos motores inoperantes</b> .....	<b>47</b>

<b>4</b>	<b>PRINCIPAIS CONHECIMENTOS TEÓRICOS NECESSÁRIOS A FUTUROS PILOTOS EM TRANSIÇÃO.....</b>	<b>49</b>
<b>5</b>	<b>UMA ANÁLISE: MANUAIS DE VOO E TREINAMENTO DE TRANSIÇÃO .....</b>	<b>51</b>
5.1	SOBRE OS MANUAIS DE VOO .....	51
5.2	TREINAMENTO DE TRANSIÇÃO EM AERONAVES A JATO NA FORMAÇÃO e aperfeiçoamento DE PILOTOS .....	52
<b>6</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>57</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>60</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O modo correto de operar uma aeronave está perfeitamente definido em seu manual de operação. Este manual é elaborado pelo fabricante após exaustivos voos de ensaio, testes estáticos e campanhas de homologação que passam por requisitos os mais diversos que atendem a normas elaboradas por engenheiros experientes e após anos e anos de erros e acertos chegam a versão final dos procedimentos padronizados de operação que se tornarão os manuais de operação específicos da cada aeronave.

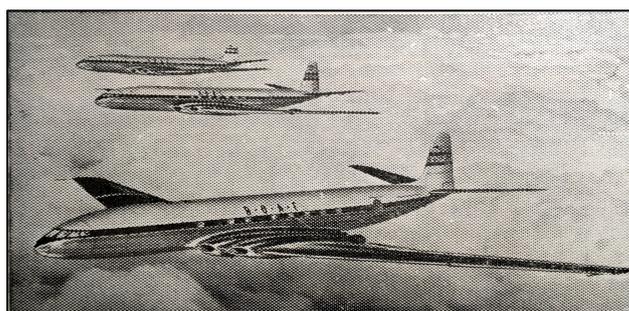
Muitos dos primeiros fabricantes históricos nem mais existem, mas deixaram para a posteridade os resultados de suas experiências assim como o caminho a ser seguido para os novos fabricantes no difícil labirinto que é o desenvolvimento de uma aeronave.

No hall da fama na aviação de transporte um caso bastante emblemático, segundo Haroldo J. P. Nogueira, narra a história da primeira aeronave de transporte de passageiros equipada com motores turbo-jatos construída, lançado em 1952 o De Havilland DH-106 “Comet”, em seu livro Motores a Jacto.

O Comet com sua beleza aerodinâmica, velocidade e capacidade, fascinou e surpreendeu, tanto na glória de seu lançamento quanto na tragédia provocada por seus problemas de projeto que custaram a vida de dezenas de passageiros e tripulantes mas deixou conhecimentos e lições valiosas para os futuros fabricantes dos modelos futuros. [...]. (NOGUEIRA, 1954, p. 372)

Nos voos de ensaio, a aeronave é levada aos extremos de seus limites estruturais e operacionais dentro das mais diversas condições. Os resultados destes testes são registrados e os dados inseridos em computadores que alimentam programas de análises que obtêm as recomendações de como aquela aeronave deve ser operada corretamente.

**Figura 1** - Comets em voo de formação



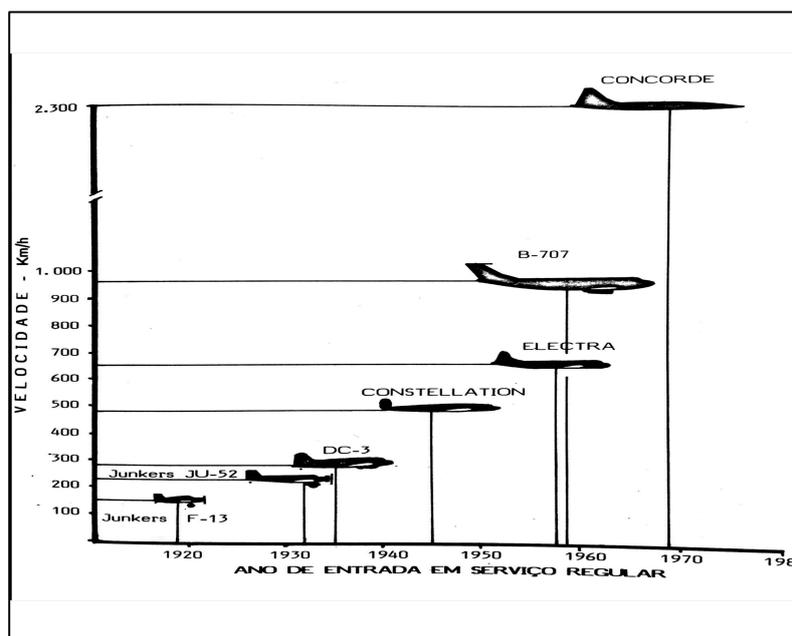
Fonte: Nogueira, 1954

O aprendizado da indústria quanto à maneira de construir e o método de pilotagem dos grandes jatos de passageiros passa ainda hoje por esse caminho de erros e acertos. À medida que passa o tempo, os aprimoramentos e recursos para se obter melhores resultados surgem a cada versão dos modelos novos, e sendo aplicados nos já existentes, dando a eles a eficiência operacional necessária para fazer desse meio de transporte um dos mais seguros e eficientes do mundo moderno.

A operação dos grandes jatos de passageiros assim como o aprimoramento dos projetos, evoluíram a partir dos resultados e observações obtidas nos voos de ensaio.

O surgimento de novos equipamentos e tecnologias tais como pilotos automáticos, sistema de controle de potência dos motores como “*Auto Thrust*” facilitam o trabalho de pilotagem. Computadores incorporados aos sistemas da aeronave que monitoram e protegem o envelope de voo trazem uma diminuição da carga de trabalho dos pilotos, facilitando o gerenciamento dos diversos fatores que compõem o conjunto de problemas a que estarão sujeitos os pilotos dessas aeronaves.

**Figura 2 - Evolução da velocidade**



Fonte: Pinto, 1989

De acordo com Pinto (1989), a aviação comercial atingiu um nível tal de importância na economia e no progresso das nações, que os profissionais dessa atividade precisam se dar conta da seriedade de suas tarefas e se conduzirem de acordo. Especialmente os aviadores de linha aérea de hoje em dia que não são mais meros operadores de uma máquina fascinante em exibição ao público; o prazer de voar se tornou algo secundário, pois a

missão principal é conduzir a aeronave ao seu destino com o máximo de segurança, conforto e pontualidade para seus passageiros.

Como o avião é uma máquina em constante evolução e aprimoramento e também a sua operação ser intrinsecamente perigosa devido sua massa considerável e velocidade com que decola e pousa, a segurança deve ser o ponto central especialmente a operação, ou seja, pilotagem. As companhias, aplicando padrões e programas de treinamento permanentes, levam os patamares de segurança aos níveis necessários, especialmente quando se trata da formação e aprimoramento do profissional aviador que na maioria das vezes, vem oriundo de outras empresas menores ou da força aérea em que só havia operado pequenos turboélices ou, no caso dos pilotos militares, pequenos jatos como o “Xavante” (emb 326) designação na Força aérea de AT-26. Tais jatos não possuem asas enflechadas portanto são ideais para a transição pois sua menor velocidade e ausência dos efeitos aerodinâmicos decorrentes do enflechamento tornam sua pilotagem mais simples principalmente em manobras mais críticas. O que facilita a transição para aeronaves mais velozes, mais pesadas e mais complexas.

O objetivo aqui é mostrar as características e peculiaridades das aeronaves comerciais modernas, movidas por motores a reação, no sentido de dar ao futuro piloto desse tipo de aeronave uma base de conhecimentos teóricos. Sabe-se que é fundamental esses conhecimentos para que ele possa obter um nível satisfatório de aproveitamento e assimilação dos conhecimentos a serem obtidos nas fases de treinamento prático em simulador de voo e treinamento em rota para operar com segurança uma aeronave de linha aérea deste tipo. Não somente nas características envolvidas na operação da propulsão, mas também nos fenômenos aerodinâmicos das asas enflechadas, pois, de fato, todas as aeronaves comerciais modernas possuem a combinação de asa enflechada e motor a jato. Há, enfim, uma gama enorme de diferenças a serem abordadas ainda na questão da velocidade e do peso desses aviões em relação aos aviões comumente usados em escolas de pilotagem bem como aeronaves de transporte regionais ou aeronaves militares de pequeno porte e que são essenciais ao entendimento sobre como essas particularidades influenciam a pilotagem e a operação das aeronaves a reação.

De acordo com Pinto (1989, p. 7), pode-se enumerar várias características como influentes na operação de uma aeronave a jato:

- Mais pesado e mais veloz
- Diferença na quantidade de movimento
- Maiores velocidades de decolagem e pouso
- Ausência de fluxo das hélices sobre as asas
- Aceleração e desaceleração do avião
- Características de aceleração do motor a reação

- Comportamento das asas enflechadas
- Altitudes de voo
- Efeitos da compressibilidade
- Variações do peso e velocidade do mesmo avião
- Filosofia do voo automático

A abordagem teórica neste contexto serve não só como base teórica mas também como base para a doutrina e disciplina de voo que será amplamente explorada e cobrada do futuro candidato a piloto em transição para aeronaves a reação, já que, em última análise, passar de uma aeronave de pequeno porte movida a hélice para uma aeronave de médio ou grande porte movida a jato, significa passar de uma aviação mais simples de transporte regional ou treinamento e recreação para uma aviação de linha aérea no transporte de passageiros e/ou carga, cobrindo grandes distâncias muitas vezes entre várias regiões do país e até entre vários países!

A transição do piloto para aeronaves a reação significa uma grande elevação de patamar profissional. Em um país como o Brasil que, apesar de ter uma grande vocação aeronáutica em função das figuras históricas como Santos Dumont e de fatores históricos como as vitórias obtidas na segunda grande guerra como o primeiro grupo de caça na Itália, ainda há somente quatro grandes empresas de linha aérea nacionais, concorrendo no mercado, apesar de seu imenso território e imenso potencial de crescimento, ou seja, voar grandes jatos comerciais significa ingressar em uma dessas quatro grandes empresas como copiloto para seguir a carreira até atingir o posto máximo que é a habilitação como comandante de linha aérea.

## 1.1 PROBLEMA DA PESQUISA

O conhecimento sobre técnicas de pilotagem específicas relacionadas a aeronaves a reação, o conhecimento teórico a respeito dos fenômenos aerodinâmicos envolvidos, bem como o conhecimento sobre as características de funcionamento dos motores a jato, podem dar a pilotos em transição para o voo em aeronaves a reação de médio e grande porte base satisfatória para enfrentar os processos de treinamento em simuladores de voo e treinamento em rota impostos pelas grandes companhias aéreas a seus quadros de profissionais aviadores, melhorando assim seu desempenho em situações anormais e de emergência que podem ocorrer na operação dessas aeronaves?

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 **Objetivo geral**

Avaliar se o conhecimento sobre técnicas de pilotagem específicas relacionadas a aeronaves a reação, assim como o conhecimento teórico a respeito dos fenômenos aerodinâmicos envolvidos, bem como as características de funcionamento dos diversos tipos de motores a jato, podem dar aos profissionais em transição uma melhor base de conhecimentos, facilitando essa transição e tornando-os profissionais melhores e diferenciados no mercado.

### 1.2.2 **Objetivos Específicos**

Apresentar histórico do desenvolvimento dos motores a reação, assim como o contexto nos quais surgiram, bem como os objetivos de seus idealizadores.

Caracterizar os diversos tipos de motores a reação ao longo da história, assim como suas particularidades de funcionamento e operação.

Identificar e analisar as características aerodinâmicas e operacionais de aeronaves a jato de médio e grande porte com asas enflechadas.

Apresentar técnicas operacionais para aeronaves a jato relativas a manobras críticas ou seja: pousos, decolagens, abortagens de decolagens e emergências nessas fases.

Listar os principais conhecimentos teóricos a serem ensinados aos futuros candidatos a pilotos em transição para o voo em aeronaves a reação de médio e grande porte de forma que possam ter base satisfatória para enfrentar os processos de treinamento em simuladores de voo e em rota impostos pelas grandes companhias aéreas a seus quadros de profissionais aviadores.

Analisar se os conhecimentos adquiridos, nos cursos específicos sobre determinada aeronave, conforme seus manuais de voo, são suficientes para garantir e assegurar aos novos pilotos de jato segurança no desempenho de suas funções em todas as situações normais e de emergência que podem ocorrer.

Avaliar a importância do treinamento de transição em aeronaves a jato na formação dos futuros pilotos de aeronaves de grande velocidade e complexidade.

### 1.3 JUSTIFICATIVA

A transição de pilotos para aeronaves a reação é, provavelmente, a fase mais importante na carreira de qualquer aviador, pois representa uma subida de patamar profissional, não só pela complexidade de operação dos aviões a jato, mas também pela responsabilidade que passa a ter o profissional nessa nova realidade. O transporte aéreo é uma atividade com altos níveis de segurança alcançados a duras penas e a um custo altíssimo. Sendo assim, é necessário que os profissionais envolvidos nas operações sejam muito bem preparados e prontos a atuar em uma realidade de constante aprendizado e desenvolvimento e sempre prontos para absorver novos conhecimentos e ávidos pelos conhecimentos inerentes a profissão. (PINTO, 1989).

Neste contexto, o estudo proposto tem primordial importância, pois irá trazer subsídios básicos ao futuro piloto de jato, na fase que antecede os treinamentos em simulador, ajudando-o a ganhar a segurança e confiança de que precisa para um bom desempenho em seu treinamento inicial. Trata-se de um fato inevitável na vida dos profissionais do voo: a busca constante do aprimoramento com o objetivo primordial voltado para a segurança e eficiência que são os pilares da aviação de transporte aéreo.

O conhecimento teórico prévio das diferenças operacionais entre aeronaves convencionais e aeronaves a jato é a peça chave para o sucesso no treinamento do futuro piloto de linha aérea no entendimento e utilização dos manuais de voo da futura aeronave em que almeja se tornar tripulante habilitado.

Os requisitos de homologação dos aviões modernos preveem um nível mínimo de capacidade operacional desses profissionais, sendo que todo e qualquer esforço no sentido de melhorar as chances de sucesso do profissional deve ser utilizada, inclusive, porque a segurança da operação também pode ser impactada por fatores relativos a deficiências de treinamento de transição como consta nas conclusões de vários relatórios de acidentes aeronáuticos como fator contribuinte.

## 1.4 METODOLOGIA

### 1.4.1 **Natureza e tipo da pesquisa**

Este trabalho, em relação aos objetivos ou aprofundamento sobre o tema, trata-se de uma pesquisa descritiva e exploratória. Quanto à abordagem, trata-se de uma pesquisa qualitativa, na identificação das características de funcionamento e operação no estabelecimento de relação de causa e efeito entre as características observadas e as necessidades de adaptação por parte dos profissionais envolvidos nos programas de treinamento.

### 1.4.2 **Material e método**

O trabalho é essencialmente bibliográfico a partir dos livros mencionados no referencial teórico assim como em artigos, documentos e manuais que enriquecem a análise dos diversos fenômenos envolvidos nas rotinas de treinamento de transição de pilotos seja em simuladores de voo ou treinamento em rota, considerando as exigências das companhias aéreas em termos de conhecimentos teóricos e práticos de seus aviadores.

### 1.4.3 **Procedimentos de coleta de dados**

Nesta pesquisa, a coleta de dados foi feita através de pesquisa bibliográfica do conteúdo das publicações e livros existentes que em cada parte pudessem contribuir para o enriquecimento e atualização conforme os objetivos relacionado ao tema.

### 1.4.4 **Procedimentos de Análise dos Dados**

A análise dos dados para esse trabalho foi feita a partir do aprofundamento do conteúdo obtido nas publicações e livros relacionados ao tema com especial ênfase aos procedimentos e técnicas operacionais que são comuns ao dia a dia dos profissionais do voo em aeronaves a jato.

## 1.5 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Este trabalho está organizado em seis capítulos. No primeiro capítulo, apresenta-se a introdução, problema da pesquisa, justificativa, objetivos, metodologia e a organização da pesquisa. No segundo capítulo, são apresentados a contextualização do tema, o histórico de desenvolvimento e os tipos de motores que surgiram ao longo da história assim como suas principais características e particularidades. No terceiro, capítulo passa-se a explorar as aeronaves médias e pesadas equipadas com motores a jato abordando suas características operacionais e focando principalmente nos aspectos da operação para manobras consideradas críticas detalhando as características aerodinâmicas e sensoriais destas aeronaves baseados nos conteúdos das publicações enumeradas nas referências assim como na experiência de mais de vinte anos do autor como comandante e instrutor de grandes jatos comerciais. No capítulo quatro, coloca-se em certa perspectiva os conhecimentos que poderiam ser julgados como necessários aos novos pilotos que se encontram na fase de transição para a operação de aeronaves a jato. No capítulo cinco, analisa-se a realidade dos manuais de voo das aeronaves atuais e os conhecimentos fornecidos em contraste com o que se espera de um treinamento de transição com sua gama de conhecimentos operacionais baseados tanto na teoria aerodinâmica quanto na prática adquirida e transmitida através dos livros publicados e materializados nos treinamentos em simulador de voo onde podem ser aprendidos e experimentados em ambiente de total segurança. E, por último, apresentam-se as considerações finais, seguidas das referências.

## 2 CONTEXTUALIZANDO A TRANSIÇÃO PARA O JATO.

Um piloto em transição de um avião movido a hélices para um avião a jato, mesmo de porte médio, deve ser muito bem instruído sobre as diferenças fundamentais entre esses dois tipos. Segundo Pinto (1989), essa transição é vital para que o novo profissional não encontre tantas dificuldades a ponto de prejudicar seu desempenho ao longo da carreira.

Para Brown (2016), a transição bem embasada é fator de segurança de voo já que é decisivo para a qualidade técnica da operação de uma forma geral deixando de ser fator contribuinte em caso de acidente ou incidente aéreo.

Neste capítulo, são apresentados o histórico do desenvolvimento dos motores a reação e os tipos de motores a reação ao longo da história.

### 2.1 HISTÓRICO DO DESENVOLVIMENTO DOS MOTORES A REAÇÃO

A ideia da propulsão a jato é bem mais antiga do que se imagina. Segundo Nogueira (1954), no início da era cristã, Hero, celebre filósofo de Alexandria, apresentou um aparelho com o qual conseguia transformar a pressão do vapor da água em energia mecânica. Este aparelho era composto por uma esfera oca ajustada entre dois tubos que suportam a esfera deixando-a com movimento giratório livre e canalizando vapor d'água sob pressão da caldeira para o interior da esfera.

**Figura 3 – EOLÍPILA de HERO**



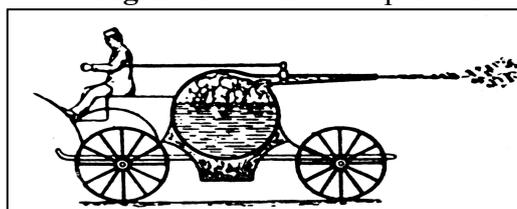
Fonte: Nogueira, 1954.

Na esfera, foram colocadas duas pequenas saídas de vapor em posições opostas com bicos recurvados de forma que quando se acendia a caldeira o vapor era direcionado pelos dois tubos e produziam o efeito de rotação da esfera.

Em 1687, o célebre cientista Isaac Newton estabeleceu a terceira lei do movimento: A toda ação corresponde uma reação igual de sentido contrário, verdadeira base dos princípios dos motores a jato até hoje.

Para explicar mais claramente a lei de ação e reação, como ficou conhecida a terceira lei, Newton elaborou um desenho que serviu de ilustração para diversas obras que estudavam os princípios de ação e reação.

**Figura 4** – Carro a Vapor de Newton



Fonte: Nogueira, 1954

A origem da primeira turbina a gás não pode ser muito bem definida, mas, segundo Nogueira (1954), tem sido atribuída a Leonardo da Vinci, a concepção de um aparelho que é considerado o primeiro esboço da aplicação prática da lei de ação e reação e foi descrito em um livro de Bishop Wilkin, publicado em 1648. Tratava-se de um disco cujos raios eram formados por pequenas tábuas colocadas inclinadas, tais como pás de um ventilador. Esta roda foi instalada no canal de uma chaminé, sendo que os gases produzidos pela combustão do carvão, na base da chaminé, produziam o movimento giratório da roda no eixo vertical.

Em 1791, um inglês, Jonh Barber, criou e patenteou um dispositivo movido a gás que trazia muitos dos detalhes de desenvolvimento da teoria das turbinas.

Somente em 1928, um Cadete da RAF, Frank Whittle, apresentou uma tese na qual defendia a possibilidade da propulsão a jato e as turbinas a gás poderem ser usadas para impulsionar aeronaves. Em 1930, Frank Whittle patenteou uma série de desenhos de mecanismos guarnecidos de turbina com suficiente capacidade para gerar força de Reação, capaz de propulsar um aeroplano. (NOGUEIRA, 1954).

Ao mesmo tempo, na Alemanha, na companhia Heinkel, iniciaram-se as pesquisas sobre esses motores, já com o intuito claro de registrar patentes de motores do tipo turbina a gás para uso em aeronaves militares.

Em Março de 1936, foi criada na Inglaterra a companhia Power Jets Ltda com o objetivo de desenvolver o motor turbo-jato de Frank Whittle que após vários desenvolvimentos foi equipado com compressor rotativo do tipo centrífugo dentre outras modificações. Em Julho 1939, o governo britânico assina um contrato com a Power Jets para em conjunto com a British Thomson-Houston fabricarem o primeiro motor turbo jato para equipar em 1941 o Gloster Pionner que seria o primeiro avião movido a jato da história.

Segundo Nogueira (1954), as dificuldades de projeto e alguns acidentes acabaram atrasando o desenvolvimento do Gloster, dando aos alemães e a Heinkel com seu modelo HE 178E em 27 de agosto de 1939 a execução do primeiro voo de um avião equipado com motor turbojato.

Conforme Nogueira, (1954) em abril de 1941, a Messerschmitt com seu Me 262 conseguiu a proeza de colocar em serviço totalmente operacional o primeiro caça a jato da história, propulsado por motores turbojatos Junkers Jumo. Ainda, segundo Nogueira, (1954), talvez o curso da segunda guerra mundial tivesse sido outro caso o Me 262 tivesse sido fabricado em massa e colocado nas frentes de combate onde a Alemanha vinha perdendo terreno sistematicamente.

**Figura 5** – Messerschmitt Me 262



Fonte: Nogueira, 1954

## 2.2 TIPOS DE MOTORES A REAÇÃO AO LONGO DA HISTÓRIA

De acordo com Saintive (2015), os motores a jato são estatorreator, pulsojato, foguete e turbina a gás.

Estatorreator – É o mais simples dos motores a jato, pois não possui partes móveis. Consiste de um tubo com um bocal de entrada divergente, um sistema de injeção de combustível e um bocal propulsor convergente. No duto de entrada, a velocidade dos filetes de ar é reduzida, aumentando a pressão, em seguida o ar recebe o combustível e é produzida a combustão que aumenta a energia dos gases e os expelle em grande velocidade produzindo a tração.

Pulsojato – Trata-se de um Estatorreator ao qual foi adicionado uma entrada com um conjunto de válvulas providas de molas para permanecerem na posição abertas. O ar passa pelas válvulas e vai para a câmara de combustão onde é aquecido pela queima do combustível injetado. Na câmara, a expansão resultante provoca um aumento da pressão, fechando as válvulas e os gases são então forçados em grande velocidade para fora do bocal propulsor na traseira do motor. A depressão causada pela exaustão dos gases permite a abertura das válvulas e o início de um novo ciclo.

Foguete – É um motor que possui uma diferença básica dos outros jatos: não usa o ar atmosférico para produzir a queima. Ele leva, além do combustível, o oxigênio necessário à combustão, o que o torna capaz de operar fora da atmosfera terrestre.

O avião Bell X-1 é a primeira aeronave a superar a velocidade de Mach 1, rompendo a barreira do som e o North American X-15, que fora utilizado nos testes de pouso pós orbital e que atingia velocidade Mach 6,85, eram equipados com motores foguete.

Turbinas a Gás (MTG) Esta categoria inclui os motores turbojatos, turboélice, turboeixo, *turbofan*, *propfan*, *geared turbofan*, ciclo variável, turbo estatorreator e turbo foguete.

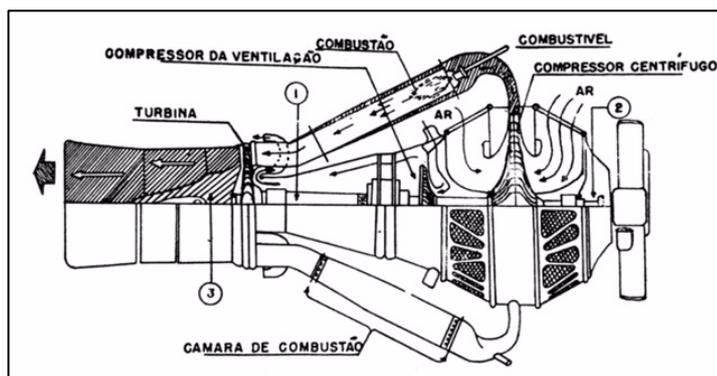
Nas décadas de 30 e 40, a velocidade que atingia as hélices dos aviões somada à própria velocidade dos aviões, principalmente em voos de mergulho, era comum atingirem velocidades próximas a do som, o que provocava grande perda de eficiência das superfícies de controle das mesmas, podendo ocasionar até mesmo a total perda de controle e eventualmente a queda. Parecia que seria obtida uma velocidade acima da qual o progresso e a tecnologia da época consideravam impossível de se atingir.

Todos os três tipos de motores a jato mencionados só seriam eficientes em velocidades supersônicas, ainda assim com grande consumo de combustível o que não atendia as necessidades da aviação na época e, em especial, a iniciante aviação comercial.

O mais promissor em relação às possibilidades, segundo Saintive (2015), era a turbina a gás. Com a continuação do desenvolvimento das variações da turbina a gás após o término da segunda guerra, em 1952, entra em operação o inglês De- Havilland DH-106 “Comet”, o primeiro avião de transporte equipado com motores turbojato, sendo este de fluxo centrífugo.

O turbojato é o mais simples do tipo turbina a gás ou MTG. Segundo Saintive (2015), é uma máquina projetada para produzir gases em alta velocidade no bocal propulsor. Seu ciclo de partida se inicia através de um motor de arranque, girando o compressor e comprimindo o ar juntamente com o combustível que é pulverizado na câmara de combustão. Ignitores posicionados na câmara de combustão iniciam a queima da mistura, gerando alta pressão de escape, girando assim a turbina e completando o ciclo.

**Figura 6 – Motor Turbojato de fluxo centrífugo**

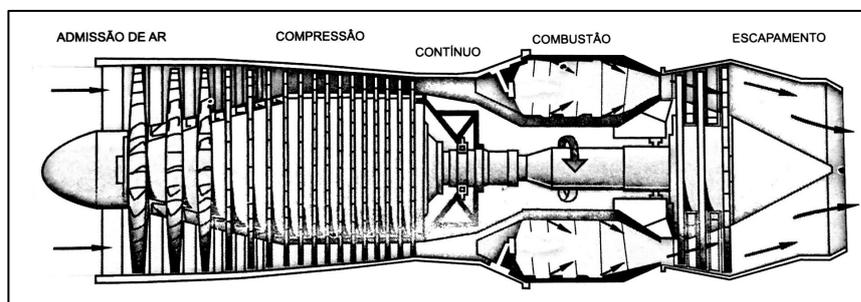


Fonte: Nogueira, 1954.

Após a partida, quando o compressor já está girando em rotação suficiente, o arranque e as velas são desligadas e o motor continuará funcionando sem nenhuma assistência enquanto houver combustível e ar entrando sob pressão nas câmaras de combustão. O segredo do funcionamento dos motores turbojatos é o compressor. O compressor aumenta a pressão dos gases e com ela a densidade do ar e a tração do motor como consequência. Os compressores axiais são mais eficientes que os compressores centrífugos, pois possuem taxas de compressão muito mais elevadas, além de permitirem uma área frontal menor. Segundo

Saintive (2015), os compressores centrífugos foram usados nos primeiros turbojatos ingleses, mas atualmente só equipam motores pequenos.

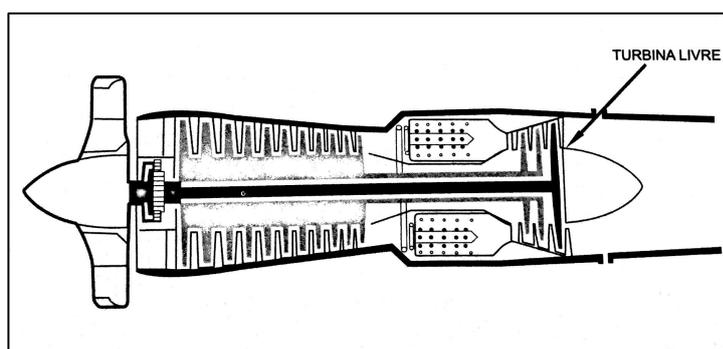
**Figura 7** – Motor turbojato de fluxo axial



Fonte: Saintive, 2015

Motor Turboélice - O turboélice ganha destaque por unir a vantagem do turbojato com a eficiência propulsora das hélices em baixas velocidades. A turbina de um turbojato extrai dos gases potência para girar os compressores e acessórios enquanto a de um turboélice absorve não só esta, mas também a potência para girar a hélice. A Tração desse tipo de motor é produzida pela ação combinada da hélice na parte dianteira e da tração produzida pelos gases expelidos pelo bocal propulsor, na parte traseira. Em turboélices mais modernos, foi acrescentado um estágio extra de turbina que se conecta diretamente ao eixo da hélice e a caixa de redução de velocidade, acionando os sistemas relacionados ao controle do próprio motor e da hélice. É chamada de turbina livre, pois ela gira livremente em conjunto com a própria hélice.

**Figura 8** – Motor turboélice

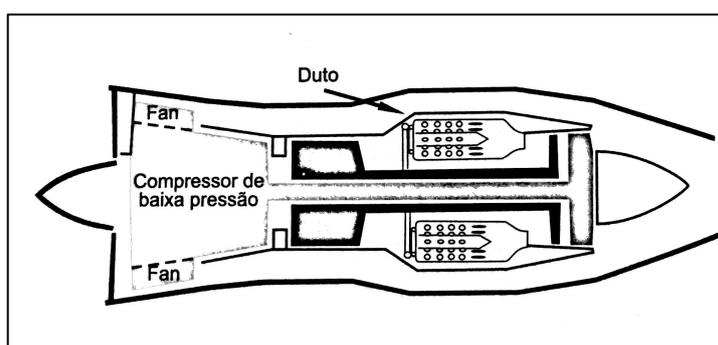


Fonte: Saintive, 2015

Motor Turbofan - Os motores turbofan, em princípio, são semelhantes aos motores turboélices com as seguintes diferenças: As pás da hélice são substituídas pelo fan (ventilador), constituído por palhetas e estatoras semelhantes às do compressor porém maiores, sendo que estão dentro da carenagem externa do motor.

Os diâmetros externos das palhetas dos fans internos são muito inferiores aos do fan principal que fica na dianteira deste tipo de motor. Não possui redutor de velocidade para as palhetas internas. A taxa de *by pass ratio* é muito menor que a do turboélice.

**Figura 9** – motor Turbofan



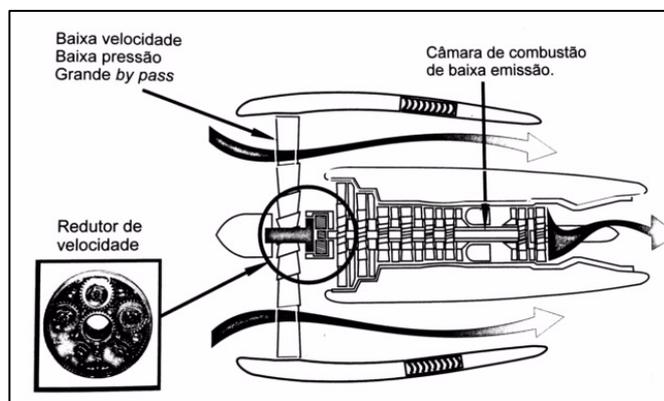
Fonte: Saintive, 2015

O turbofan desloca uma massa de ar relativamente grande, maior que a de um turbojato e menor que um turboélice, para uma aceleração relativamente pequena, maior que a do turboélice e menor que a do turbojato. Devido à área frontal muito maior que a de um turbojato, o fan movimentava uma massa de ar muito superior àquela movimentada pelo compressor de um turbojato. A maior parte desse ar, após ser comprimido pelo fan, é expelido para a atmosfera sem passar pela câmara de combustão e pela turbina. É o chamado fluxo secundário ou fluxo frio e é responsável por produzir até 75% da tração desenvolvida pelo motor.

Segundo Saintive (2015), o fato dos motores turbofans serem mais econômicos e silenciosos fez com que a indústria se concentrasse mais em desenvolver versões cada vez mais avançadas deste tipo de motor, levando ao surgimento de novos turbofans com largas taxas de *by-pass*, ou seja, grande fluxo de ar frio nas partes externas em comparação com a parte do ar que entra dentro da parte quente do motor e que, portanto, transforma-se em monóxido de carbono. O fluxo de ar frio que escoava pela parte externa possui baixa pressão e baixa velocidade, mas ainda assim produz a maior parte do empuxo desse tipo de motor,

resultando em baixo nível de ruído, baixo consumo de combustível e facilidade de manutenção em função das áreas de acesso.

**Figura 10** – motor Turbofan de alto *By pass*



Fonte: Saintive, 2015

Os motores Turbofans, conforme mostrado na figura 10, representam o estado da arte atualmente, em termos de motorização para grandes jatos comerciais, trazendo em si o resultado de anos e anos de pesquisa e desenvolvimento, segundo Saintive (2015). As inovações da indústria com a utilização de ligas metálicas leves e resistentes a altíssimas temperaturas assim como o grande uso de materiais compostos vêm tornando esses motores cada vez mais econômicos, eficientes e confiáveis, fazendo com que fabricantes e operadores cada vez mais optem por este modelo para equipar seus aviões, realimentando assim o ciclo de desenvolvimento da tecnologia nessa área.

A história da propulsão a jato teve seu começo motivado pela ânsia de se obter uma arma de guerra imbatível. Para sorte da humanidade, o conflito terminou e a busca tecnológica tomou o lugar como fator motivador para o desenvolvimento, dando continuidade a esta história que ainda não acabou. A indústria motivada pelos ganhos obtidos em eficiência e economia de combustível continua a desenvolver os sistemas de propulsão das aeronaves de hoje e do futuro.

### 3 CARACTERÍSTICAS DOS JATOS COMERCIAIS

Neste capítulo, são tratadas as características operacionais dos jatos comerciais médios e pesados em relação à aerodinâmica essenciais para o conhecimento do piloto em transição.

#### 3.1 CARACTERÍSTICAS AERODINÂMICAS E OPERACIONAIS

Não se trata apenas do fato dos aviões comerciais de hoje serem mais pesados e mais velozes que os torna diferentes. Há inúmeras outras características importantes que precisam ser bem entendidas, segundo Pinto (1989), para que uma transição suave e progressiva do aluno piloto, no novo equipamento possa se processar.

A seguir, apresenta-se as principais características.

##### 3.1.1 Mais pesado e mais veloz

De acordo com Pinto (1989), a primeira grande diferença que um piloto enfrenta em sua transição de um avião convencional a hélice de pequeno ou médio porte, para um jato comercial, é seu peso e, conseqüentemente, suas velocidades operacionais. Compare a relação de peso e velocidade de um Piper Aztec que é de 2360 Kg com velocidade de decolagem de 70 Kt. com um Boeing 737 cujo peso de decolagem é de cerca de 52 toneladas e a velocidade de decolagem em torno de 150 Kt .

Ainda, conforme o autor supracitado, enquanto o piloto em questão estava habituado com uma velocidade de subida da ordem de 100 Kt em avião convencional e, agora no Boeing 737, essa velocidade será no mínimo 250 Kt, ou seja, tudo acontece mais depressa e se a operação não for bem planejada com as devidas antecipações, corre-se o risco do avião disparar na frente do piloto, complicando a pilotagem e a navegação.

### 3.1.2 Quantidade de movimento

Conforme Saintive (1996), quantidade de movimento é a relação entre a massa de um corpo multiplicado por sua velocidade ou seja:  $Q=MxV$  em que Q= quantidade de movimento, M a Massa em Kg e V a velocidade em metros por segundo.

Ao compararmos os dois aviões do exemplo anterior, o bimotor Piper Aztec e o jato Boeing 737, considerando apenas a diferença de peso e velocidade. Veja a seguir:

*Piper Aztec*: peso: 2360 Kg

Velocidade: 100 Kt ou 53 M/S

Calculando a Massa: peso/gravidade =  $2360\text{Kg}/9,8\text{m/s}^2 = 241 \text{ Kg}$

Quantidade de movimento =  $241 \text{ Kg} \times 53 \text{ M/s} = \underline{12773 \text{ Kg M/s}}$

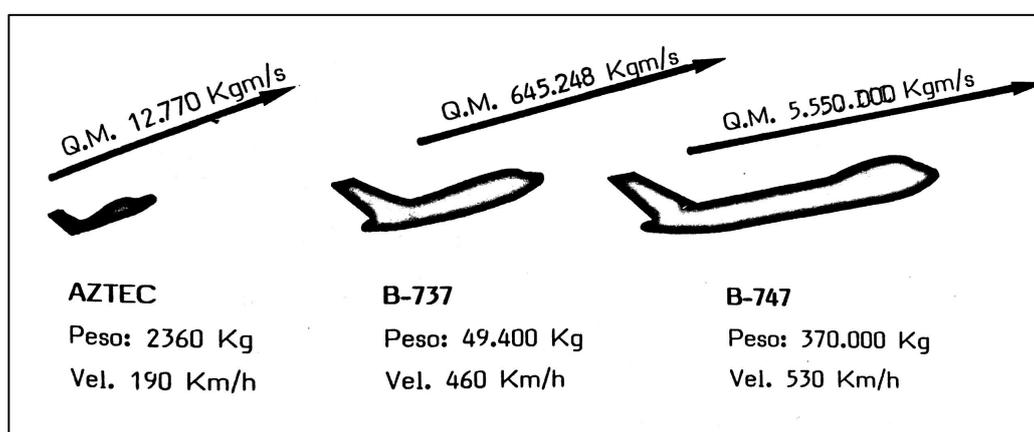
*Boeing 737*: peso: 49400 Kg

Velocidade: 250Kt ou 128 M/s

Calculando a Massa: peso/gravidade =  $49000\text{Kg} / 9,8 \text{ M/s}^2 = 5041 \text{ Kg}$

Quantidade de movimento:  $5041 \times 128 \text{ M/s} = \underline{645248 \text{ KgM/s}}$

**Figura 11** – quantidade de movimento

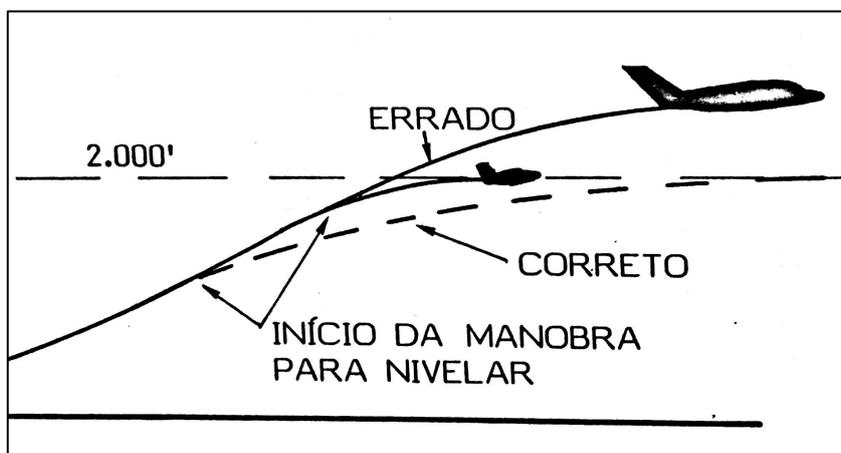


Fonte: Pinto 1989

O que significa, na prática, essa enorme diferença de quantidade de movimento entre essas aeronaves como mostrado na figura 11 é que quanto maior a quantidade de movimento, mais a aeronave tenderá a manter sua trajetória com muito mais firmeza, resistindo mais a desvios e aplicações de comando em comparação a um avião menor e, sendo

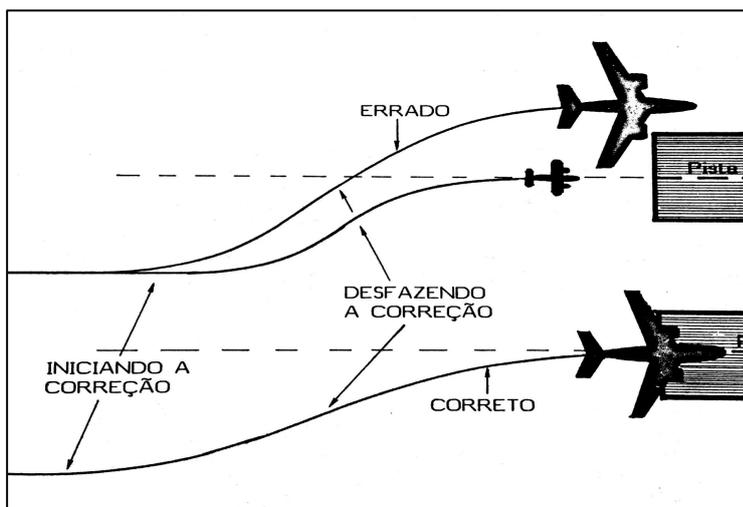
assim, conforme Pinto (1989), os comandos das manobras para efetuar mudanças de trajetória, tanto no plano horizontal quanto no plano vertical deverão ser mais antecipados, pois a aeronave não obedecerá tão prontamente como faria uma aeronave menor e menos veloz.

**Figura 12** – Efeito de “Q” no plano horizontal.



Fonte: Pinto, 1989.

**Figura 13** – Efeito de “Q” no plano Vertical.



Fonte: Pinto, 1989.

Conforme se observa nas figuras 12 e 13, a pilotagem de uma aeronave a jato de porte médio ou grande requer do piloto um perfeito entendimento da necessidade de

antecipação das manobras ao se interceptar uma altitude específica e na interceptação de uma determinada direção ou rumo, como no caso de uma aproximação para pouso.

### 3.1.3 Velocidades de decolagem e pouso

As velocidades de decolagem e pouso nos jatos comerciais são, normalmente, bastante mais elevadas do que nos aviões convencionais. Dependendo do modelo e do peso no momento da decolagem a velocidade de decisão ( $V_1$ ) pode chegar a 180 Kt ou, para se ter uma ideia de grandeza 333 Km/h. A interrupção de uma decolagem nessa velocidade é uma manobra muito crítica, exigindo ação imediata e precisa por parte dos pilotos, não só pela manutenção do controle da aeronave sobre a pista, mas também pela decisão de abortar a decolagem e executar o chamado RTO. (*Reject Take off*). (PINTO, 1989).

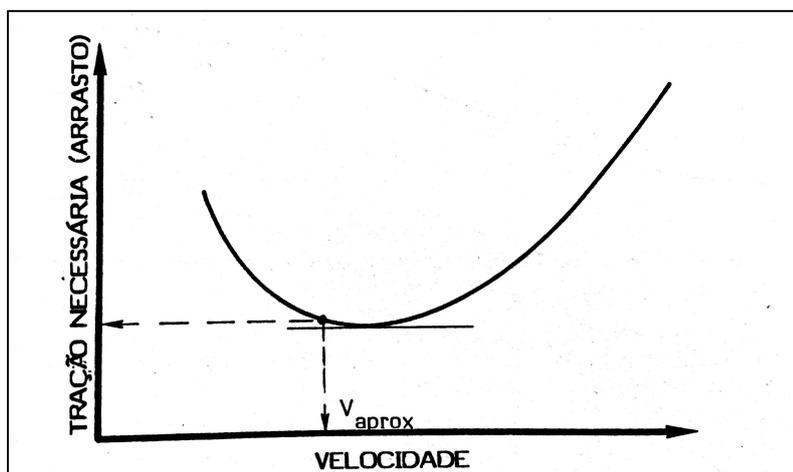
A manobra de pouso, segundo Brown (2016), é a mais crítica que uma aeronave a jato pode executar, pelo simples fato de que a maioria dos acidentes e incidentes ocorrem nessa fase do voo. Muitas armadilhas se escondem no pouso de uma aeronave a jato, principalmente se a pista estiver contaminada com água ou qualquer outro elemento resultante de mudanças climáticas, tais como neve ou granizo.

É muito comum, segundo Pinto (1989), após o pouso o piloto que executa a manobra desacelerar para 80 ou 60 Kt sobre a pista e achar que a aeronave já se encontra sob controle e relaxar a frenagem. Na realidade nos grandes jatos o pouso só pode ser considerado concluído quando a aeronave atinge a velocidade de taxi ou seja em torno de 10 Kt

Um fator muito importante segundo Saintive (1996), em relação às velocidades de aproximação e pouso, é o fato de as mesmas em geral se encontrarem muito próximas ou até abaixo da velocidade de arrasto mínimo na maioria das aeronaves a jato. Qualquer queda de velocidade nessa região ascendente da curva de arrasto X velocidade resulta no aumento considerável do arrasto total, o que demanda ação imediata do piloto em aplicar potência para evitar a deterioração da velocidade e conseqüentemente da trajetória vertical.

Essa problemática, de acordo com Pinto (1989), torna-se muito crítica, pois é preciso antecipação para se reconhecer a necessidade de aplicação de potência, já que uma das principais características dos motores a jato é a reação lenta a aumentos de potência que podem levar até 8 segundos, dependendo do regime em que se encontrava a rotação dos motores.

**Figura 14** – Gráfico Arrasto x Velocidade



Fonte: Pinto,1989

Na figura 14 vemos que o ponto mais baixo da curva representa o menor arrasto de acordo com a velocidade correspondente. Segundo Saintive (1996), a redução de velocidade a partir deste ponto irá provocar aumento de arrasto e, conseqüentemente, mais diminuição da velocidade o que forçará o piloto a aumentar a tração aumentando a potência.

#### 3.1.4 Ausência de fluxo das hélices sobre as asas

Nos aviões convencionais ou com motores turbohélices, o fluxo de ar produzido pelas hélices sobre as asas tem efeito favorável na sustentação, principalmente, segundo Pinto (1989), nas situações de arremetida ou nas correções de trajetória durante uma aproximação.

Desta forma, nas aeronaves movidas a hélices pode-se perfeitamente executar uma descida acentuada na aproximação final a partir de um VDP mais alto sem comprometimento da segurança e efetuar o pouso da aeronave, algo que seria extremamente não recomendável em uma aeronave a jato principalmente se for um grande jato comercial.

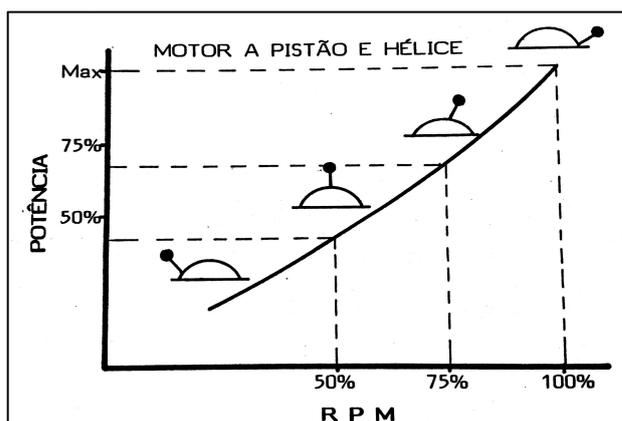
A área do extradorso da asa de uma aeronave é responsável por produzir a maior parte da sustentação. Ao adicionar potência, o aumento do fluxo de ar produzido pelas hélices sobre as asas aumenta automaticamente a sustentação, contribuindo para modificar a trajetória de descendente para ascendente.

Ainda, segundo Pinto (1989), nesse aspecto, reside uma das diferenças fundamentais entre a operação de uma aeronave a jato e de uma aeronave movida a hélices a qual deve ser muito bem entendida e considerada pelos pilotos em transição. Na pilotagem de uma aeronave a jato, a trajetória vertical só é modificada pela mudança do ângulo de ataque, sendo que a potência controla somente a velocidade.

### 3.1.5 Características de aceleração dos motores a reação

As características de aceleração de um motor a jato são totalmente diferentes de um motor a pistão a hélice ou mesmo de um turbohélice. Conforme Pinto (1989), num motor a pistão com hélices existe uma proporção mais direta entre a posição da manete do acelerador e a potência desenvolvida pelo motor, ou seja, a medida em que a RPM aumenta a potência também aumenta quase que linearmente. A resposta de potência do motor convencional a hélice também é bem mais rápida e proporcional à velocidade de avanço das manetes.

**Figura 15** – Posição do acelerador x resposta do motor

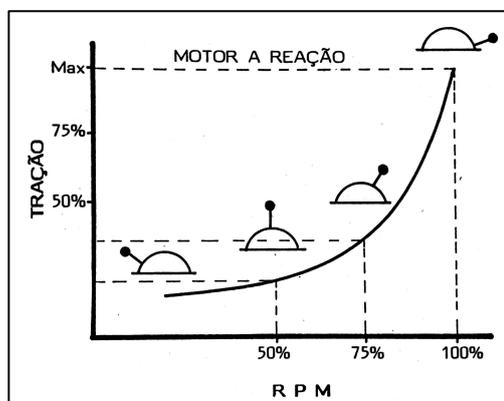


Fonte: Pinto, 1989

Nos motores a reação, um aumento significativo de tração só é obtido quase no fim do curso da manete de potência, ou seja, a tração nos motores a jato só cresce significativamente nas altas rotações, além disso, o tempo que o motor a jato leva para atingir a tração máxima é bem maior que o de um motor convencional, podendo levar de 5 a 8 segundos, dependendo do tipo de motor. Sendo assim, um piloto em transição para aeronaves a jato precisa estar condicionado a uma maior antecipação, na aplicação da potência na medida em que ela se torna necessária, principalmente nas correções de trajetória durante a

aproximação, assim como na eventualidade de uma tesoura de vento em que pode ser necessário a máxima potência disponível para execução de uma arremetida.

**Figura 16** – Posição do acelerador x resposta do motor a jato



Fonte Pinto, 1989

Segundo Brown (2016), a combinação entre o tempo de reação em acelerações dos motores a jato e uma maior inércia dos aviões de grande porte com asas enflechadas, usados na aviação comercial de hoje, obrigam a um maior planejamento nas manobras e mais antecipação nas correções necessárias

Nos aviões comerciais mais modernos, equipados com computadores de controle dos motores, os chamados FADEC, segundo Brown (2016), controlam, entre outros parâmetros, os níveis de rotação mínima dos motores em relação às diversas fases do voo de forma que, para cada situação e momento da operação, haja uma margem de segurança para, a qualquer momento, se possa atingir potência máxima, no menor espaço de tempo possível de forma eficiente. Ainda, conforme Brown (2016), os sistemas de controle automático dos motores devem ser muito bem entendidos, em seu funcionamento e os programas de treinamento devem contemplar simulação em falhas desses equipamentos, pois o uso constante pode levar a um certo nível de complacência dos pilotos pelo automatismo excessivo.

**Figura 17 – Reação e mudança de atitude**



Fonte: Pinto 1989.

Na figura 17, vemos novamente os efeitos da falta de antecipação adequada na aplicação de potência e na atuação dos comandos para interceptação da trajetória correta da rampa de descida ou do *Glide Slope*, no caso de uma aproximação de precisão.

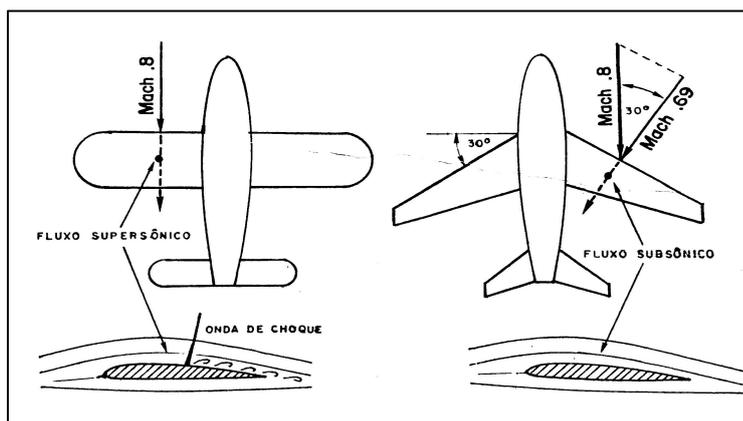
### 3.1.6 Enflechamento das asas

O enflechamento das asas, segundo Nogueira (1954), foi consequência direta do aumento de velocidade das aeronaves equipadas com os novos motores a jato, porém resolvendo um problema, surgiram inúmeros outros. Os efeitos do fluxo de ar que passa pelas asas, ou seja, sustentação e arrasto, são proporcionais ao ângulo do enflechamento, de acordo com Pinto (1989).

Sendo assim, a asa enflechada produzirá menos sustentação que uma asa não enflechada, pois a sustentação é sensível apenas a componente de vento relativo perpendicular ao bordo de ataque, conforme Saintive (1996) que ressalta ainda como agravante da questão do enflechamento o fato de que as asas utilizadas nos aviões a jato modernos tendem a ser cada vez mais afiladas ou com menor espessura e menor curvatura do extradorso que é a região responsável pela maior parte da sustentação aerodinâmica das asas.

Ainda, conforme Saintive (1996), para compensar o enflechamento, é preciso aumentar o ângulo de ataque nas manobras em voo de forma proporcional, principalmente durante as aproximações e pouso onde as velocidades precisam ser menores, para possibilitar o toque na pista de forma controlada e em condições de parar a aeronave dentro dos limites da pista.

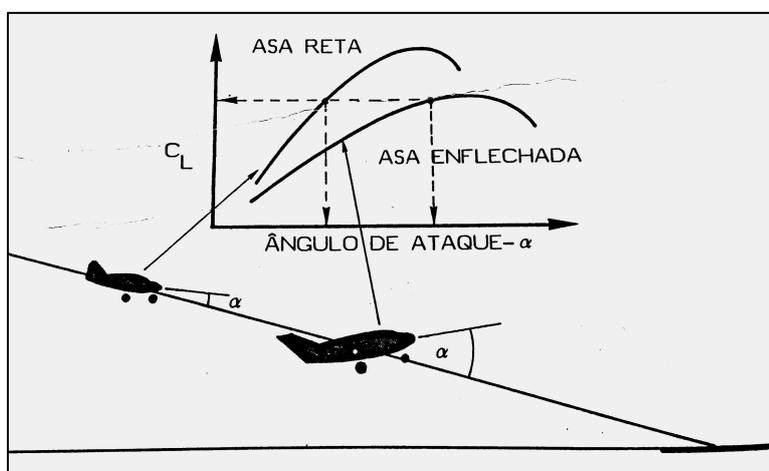
**Figura 18** – Efeito do enflechamento.



Fonte: Pinto, 1989.

O coeficiente máximo de sustentação de uma asa enflechada além de ser menor que o de uma asa convencional, ocorre em um ângulo de ataque maior o que tras evidentes desvantagens na operação. Isso implica velocidades maiores durante as manobras de decolagem e pouso e a utilização de dispositivos de aumento de sustentação como *Slats e Flaps*, além de sistemas auxiliares de redução de velocidade após o pouso, tais como reversores de empuxo e freios mais eficientes com sistema *anti skid*.

**Figura 19** - Características de sustentação asa reta x asa enflechada.



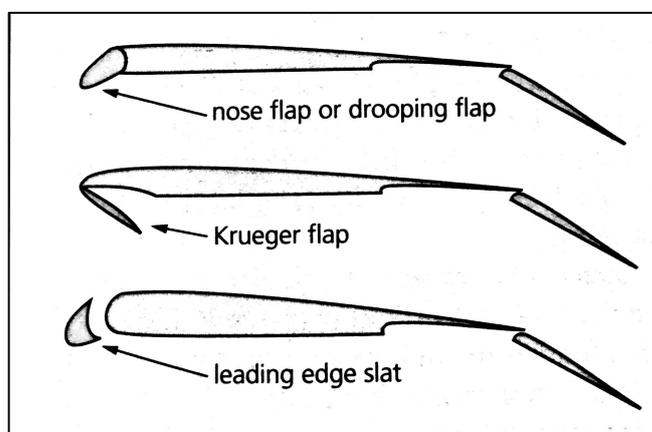
Fonte: Pinto, 1989

A operação com asas enflechadas tem características muito peculiares de acordo com Pinto (1989) muito diferentes em relação a uma aeronave com asas retas. Alguns fenômenos aerodinâmicos atingem sua intensidade máxima nas asas enflechadas como por exemplo o “*Dutch Roll*” que é provocado por ventos laterais que provocam mudanças no

equilíbrio aerodinâmico da aeronave provocando movimento cíclico de rolagem lateral. Na maioria das aeronaves o *Dutch Roll*, é neutralizado pela ação do sistema *Yaw damper* que basicamente amortece o movimento de guinada lateral aplicando leves deflexões ao leme de direção de forma a anular o movimento.

E conformidade com Pinto (1989), quando falamos em aproximações, podemos se considerarmos a curva de sustentação para um mesmo aerofólio, numa asa reta e numa enflechada, observa-se que, para obter o mesmo coeficiente de sustentação ( $C_L$ ), a asa enflechada precisa de um ângulo de ataque bem mais acentuado. Como a sustentação é sempre proporcional a componente do vento relativo perpendicular ao bordo de ataque da asa e esta componente é sempre de valor menor do que a velocidade do avião, uma asa enflechada sempre produz menos sustentação do que uma asa reta com a mesma área e aerofólio.

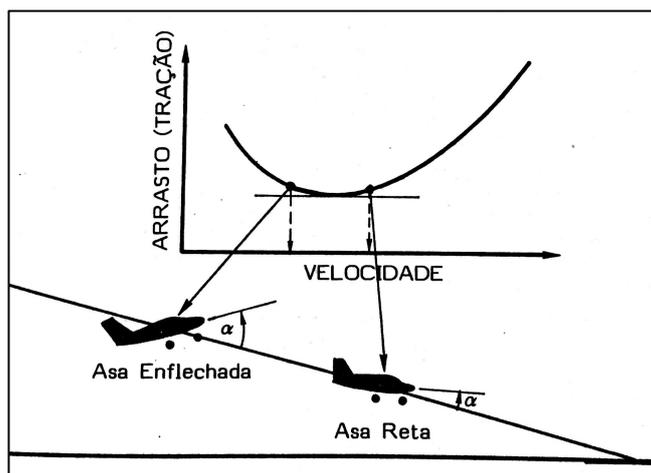
**Figura 20** – Dispositivos de hipersustentação



Fonte: Saintive, 1996.

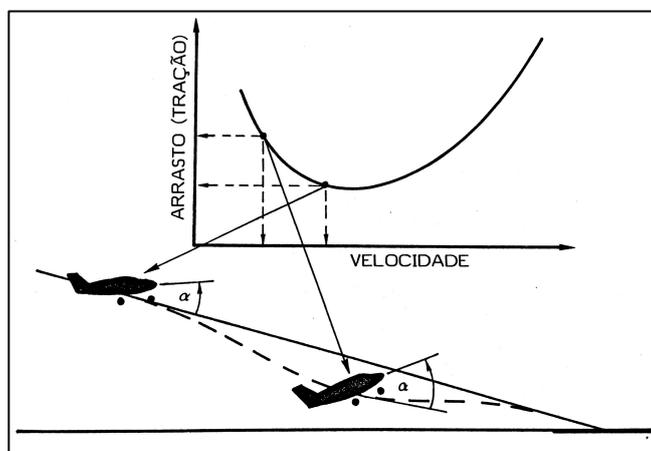
A maioria dos aviões, para Saintive (1996), com asas enflechadas tem sua velocidade de aproximação na parte traseira da curva de tração, ou seja, abaixo da velocidade de arrasto mínimo. Essa condição resulta numa instabilidade de velocidade que quando diminui, aumenta o arrasto e, conseqüentemente, diminui ainda mais a velocidade, levando a aeronave a afundar em sua trajetória. Neste caso, a reação correta é a aplicação de potência e aumento do ângulo de ataque a fim de diminuir a razão de decida. Este tipo de situação pode ocorrer não apenas por falha de pilotagem, mas também por razões meteorológicas como mudanças bruscas de vento, daí a real necessidade de um aluno em transição estar bem familiarizado e treinado para esse tipo de situação.

**Figura 21** – Gráfico de velocidade x arrasto na aproximação.



Fonte: Pinto, 1989.

**Figura 22** – Voo na parte traseira da curva de tração.



Fonte: Pinto, 1989.

As características aerodinâmicas das aeronaves a reação com asas enflechadas devem ser matéria de estudo constante e aprofundado por parte daqueles que queiram e precisem estar bem atualizados com relação as teorias aerodinâmicas relacionadas ao dia a dia das operações de pousos e decolagens.

### 3.2 TÉCNICA OPERACIONAL PARA MANOBRAS CRÍTICAS

Segundo Brown (2016), existem diversas técnicas operacionais que podem ser aplicadas em diversas situações e condições, dependendo da experiência do piloto e do

momento ou da situação, mas, a mais importante de todas, é a da segurança operacional ou seja, se a situação foge ao contexto do que está previsto, nas regras e na lei, não faça!

Tudo o que estiver fora deste contexto pode ser aplicado dependendo da situação e da experiência profissional de cada um.

Cabe aqui um breve esclarecimento a respeito de tomada de decisão a bordo das aeronaves brasileiras.

Segundo o CBAR (Código Brasileiro de Aeronáutica), o responsável legal pela operação de uma aeronave é sempre o comandante. No caso de aeronave de transporte aéreo, o CBAR destaca que o comandante pode delegar a execução de manobras ao Copiloto, mas mesmo assim, ele continua a ser o responsável legal pelas operações em todas as fases do voo. Considerando o que foi colocado, refere-se ao piloto que executa a manobra como PV (Piloto Voando) e PM (Piloto Monitorando).

### 3.2.1 Decolagem

Considerando os riscos inerentes a cada manobra crítica, a decolagem é uma das que envolve o maior número de riscos, segundo PINTO (1989), e mais uma vez aqui vem a colocação de Brown, (2016), definindo que se pode prever um grande número de situações passíveis de ocorrer durante uma decolagem, mas as mais perigosas são aquelas que nem se poderia prever.

Pinto (1989) enumera recomendações gerais muito importantes tais como, estar realmente autorizado a decolar antes de iniciar a manobra e, sendo assim, estar certo de que a pista esteja realmente livre e que seja a pista correta, especialmente quando em condições de visibilidade reduzida. Estar mentalmente preparado para uma eventual emergência e estar ciente da condição de vento presente no momento do início da manobra.

A partir do início da rolagem, o piloto que estiver executando a manobra, o PV deverá estar mentalmente preparado para reagir às diversas situações que possam ocorrer, ao mesmo tempo o piloto que monitora (PM) os parâmetros de decolagem e faz os *Call outs* de decolagem deve estar também perfeitamente preparado para dar informações vitais para a tomada de decisão do Comandante que poderá ser a de abortar a decolagem ou prosseguir com a manobra e tirar a aeronave do chão.

Ao se ajustar a potência, segundo Pinto (1989), a aeronave a jato tem um comportamento normalmente bastante estável, não sendo necessário grandes atuações de

pedal de leme que serão feitos apenas de forma suave e suficientes para se manter a aeronave no eixo da pista.

À medida que a velocidade aumenta, a autoridade do leme também aumenta, fazendo com que a atuação nas correções seja mínima.

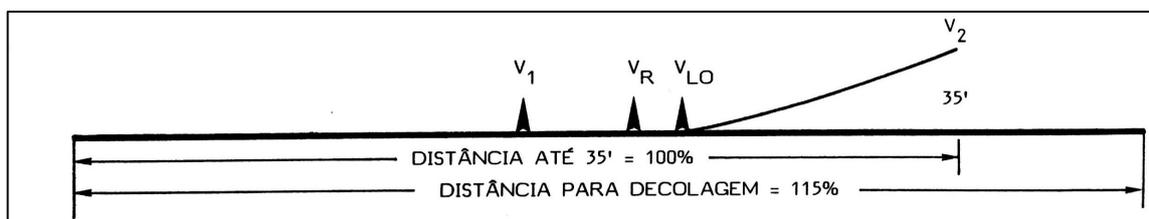
Toda decolagem tem um ponto de decisão, conforme Pinto (1989), é chamado de  $V_1$ . A  $V_1$  é a velocidade chamada de velocidade de decisão, a qual ao ser atingida, a aeronave precisa continuar a manobra e decolar ou então abortar a manobra e parar sobre a pista remanescente.

A decisão de continuar a decolagem ou abortar deve sempre ser tomada pelo comandante da aeronave, independentemente de ser ele quem está efetuando a decolagem. No caso, se for o copiloto que estiver decolando e o comandante estiver como piloto monitorando, e a decisão for de descontinuar a decolagem, então ele deverá assumir os controles da aeronave e executar a manobra de abortar.

Veja que aqui reside um risco bastante grande, segundo Brown, (2016), o risco da troca de controle já que a interação entre os dois pilotos deve ser precisa e bem executada, pois dela depende o sucesso da manobra de descontinuar a decolagem de forma a parar a aeronave nos limites da pista.

Conforme Pinto (1989), são vários os fatores que devem ser considerados na tomada de decisão, nesse caso, porém esta pesquisa não pretende englobar os aspectos relacionados ao perfil do Comandante que é quem toma a decisão de abortar, mas sim de esclarecer e dar preparo teórico preliminar aos pilotos em transição para as aeronaves a reação.

**Figura 23** – Perfil de decolagem normal.

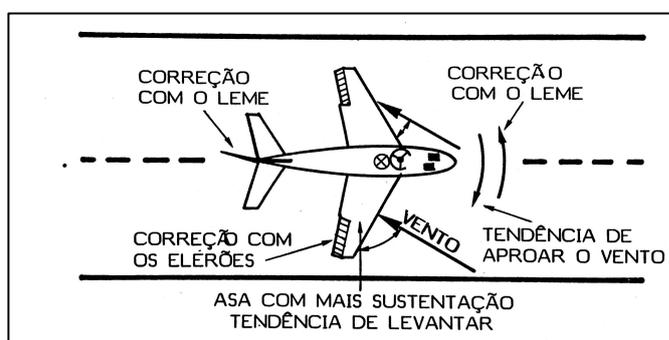


Fonte: Pinto, 1989.

### 3.2.2 Decolagem com vento cruzado ou de través

As aeronaves a jato com asas enflechadas, segundo Pinto (1989), nas decolagens com vento cruzado ou de través, sofrem tendência de aproar o vento em consequência da área lateral maior atrás do centro de gravidade e de levantar prematuramente a asa do lado que sopra o vento, em função deste vento lateral atingir de forma mais perpendicular em relação à asa do lado oposto, produzindo portanto mais sustentação. Em ambas as situações, o piloto pode contrariar os dois efeitos, utilizando o leme de direção e os ailerons de forma a se manter o controle da aeronave. Após deixar o solo os comandos devem ser reajustados de forma a se seguir a trajetória de subida normal.

**Figura 24** – Decolagem com vento cruzado.



Fonte: Pinto, 1989.

Vemos na figura 24 as ações de correção feitas pelo piloto com o cruzamento de comandos onde no caso o leme é atuado para a esquerda enquanto os ailerons são atuados para a direita.

Deve-se atentar também para o fato de que estas correções são maiores quanto maior for a intensidade do vento e mais rápido deverão ser desfeitas no momento em que a aeronave deixar o solo a fim de se evitar um possível choque da asa com o solo.

### 3.2.3 Decolagem com falha de motor após a V1

A falha de motor durante a manobra de decolagem é muito crítica, segundo Pinto, 1989, pois, além de exigir habilidade instantânea para se manter o controle sobre a aeronave quando ainda na pista, vai exigir mais ainda quando em voo.

Considerando que a falha ocorra exatamente ou muito próxima da velocidade de decisão V1 e que a decisão do comandante seja de prosseguir com a decolagem, vários serão os fatores que pesarão na decisão de abortar ou de prosseguir, como por exemplo, contaminação da pista com chuva ou outro elemento de contaminação como neve. Nesse caso, a abortagem pode exigir mais pista do que há disponível a frente. Segundo Pinto (1989), o tempo de decisão para se reconhecer a falha é fator decisivo, pois poucos segundos representam muitos metros percorridos e abortar pode não ser mais possível em função desses metros que faltam.

Na dúvida, estando a aeronave acima da V1 e, conseqüentemente, acima da velocidade mínima de controle aerodinâmico, a melhor decisão pode ser prosseguir na decolagem, dar a volta e retornar para pouso monomotor.

Como extraído de Brown (2016), a decisão de abortar ou não uma decolagem depende de uma série de fatores sensoriais que só estarão disponíveis no momento da decolagem.

Com a decisão de prosseguir com a decolagem, manter o avião na pista até que se atinja a velocidade de rotação VR. No caso, tendo havido a falha de um dos motores entre a V1 e a VR

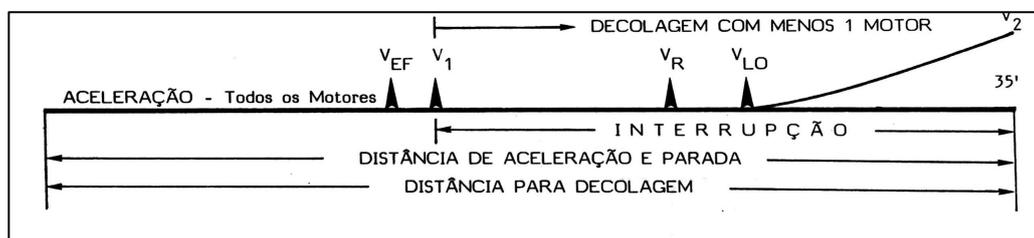
Pinto (1989), chama a atenção para o momento da rotação, ou seja, retirar o nariz do solo, colocando a aeronave em voo. Peso a mais na manobra deve ser esperado, pois o balanceamento estava previsto para uma condição de equilíbrio com os dois motores, produzindo tração, então quando essa realidade muda, mudam também certas condições.

A razão de rotação será mais lenta que o normal, sendo que o piloto deverá buscar o melhor ângulo de subida equivalente à velocidade V2 calculada previamente e disponível no mostrador de velocidade.

Nas decolagens com pista escorregadia por chuva, é previsto, de acordo com Pinto (1989), que o valor do peso máximo de decolagem seja reduzido, assim como o valor da V1, a fim de que a aeronave possa cumprir os requisitos operacionais de abortagem sobre a pista,

caso ocorra ou prosseguir na decolagem, mesmo estando com somente um motor funcionando.

**Figura 25** – Perfil de decolagem com um motor inoperante,



Fonte: Pinto, 1989.

A decisão de abortar uma decolagem, estando a aeronave nas proximidades da  $V_1$ , só se justifica em caso de absoluta emergência como falha de motor detectável antes de se atingir a  $V_1$ , travamento de comandos, guinada brusca com tendência a perda de controle, problemas com o trem de pouso, só alguns dos problemas que podem levar a decisão de abortar desde que seja detectado antes de se atingir a  $V_1$ .

A maioria dos aviões modernos possuem sistemas de alarmes que inibem certas falhas menores de serem indicadas durante a corrida de decolagem, justamente para evitar que o piloto possa ser pego de surpresa e acabar abortando uma decolagem por um motivo menor.

De acordo com Pinto (1989), são raros os acidentes resultantes da continuação de uma decolagem com emergência ao contrário, porém muitos acidentes ocorreram resultantes de uma abortagem da decolagem na fase crítica, ou seja, próxima à velocidade de decisão.

### 3.2.4 Pouso normal

Uma boa aproximação, segundo Pinto (1989), deverá sempre terminar sobre a cabeceira da pista, alinhado com o seu eixo, na altura correta e na velocidade prevista. Fora dessas condições, guardadas certas tolerâncias, a aproximação não deve ser considerada satisfatória e o recomendável é iniciar o procedimento de aproximação perdida.

Conforme Pinto (1989), é sempre muito mais seguro arremeter do que tentar o pouso após uma aproximação deficiente.

A aproximação para pouso em um grande jato precisa ser feita com muito profissionalismo e consciência, pois, em função do peso, essas aeronaves têm muita inércia para permitirem certas correções nos últimos momentos da final para pouso. Sendo assim, o que preconiza é que a aeronave já esteja em trajetória de aproximação estabilizada e já com todos os checklists efetuados e configurada para pouso ao atingir a altura de 1000 Ft acima do solo, cabendo, nesse caso, apenas pequenas alterações de proa, *pitch* e potência para cruzar a cabeceira e completar o pouso. (BROWN, 2016).

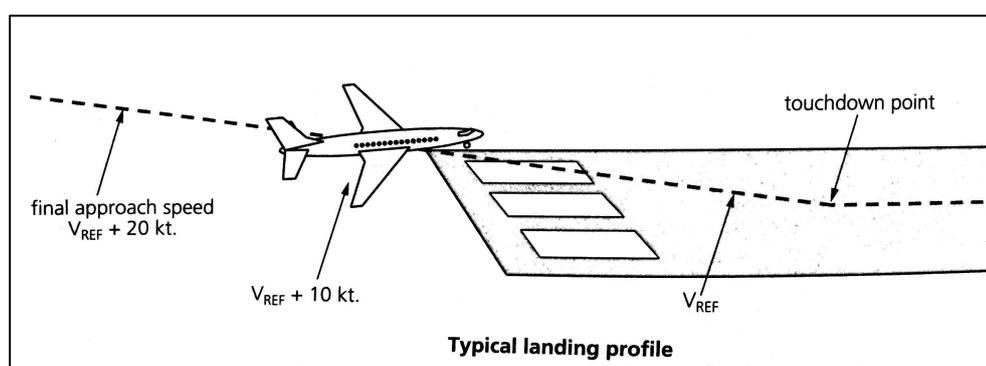
Nesse caso, ainda segundo Brown (2016), cumprindo todos os requisitos para uma boa aproximação estabilizada, o pouso ocorrerá de forma natural e suave.

Recomenda-se que todos os recursos disponíveis no aeroporto tais como ILS, PAPI ou VASIS sejam utilizados efetivamente para auxiliar na manutenção da trajetória correta de planeio até o toque na pista.

A manobra de pouso normal em uma pista adequada para o tipo e peso da aeronave se inicia. Ao cruzar a cabeceira da pista, estando na velocidade correta que fora previamente calculada em função da performance e do comprimento da pista, na altura correta, alinhado com o eixo da pista. (PINTO, 1989). Assim, a aeronave irá tocar a pista na área correta com as rodas do trem principal, bastando, para isso, um leve movimento de levantar o nariz e a redução da potência para a mínima.

É muito importante que a trajetória de cruzamento da cabeceira seja seguida corretamente, pois, segundo Brown (2016), isso irá garantir a altura mínima correta sobre a cabeceira e, conseqüentemente, o ângulo correto de toque na pista mesmo em condições adversas de meteorologia

**Figura 26** – Perfil típico de pouso normal.



Fonte: Brown, 2016.

A figura 26 mostra o perfil típico de uma aproximação estabilizada onde ocorre apenas pequenas correções de trajetória e redução gradual de velocidade de forma a tocar a pista com a velocidade  $V_{REF}$ , previamente calculada em função do peso da aeronave e do comprimento e condições da pista.

### 3.2.5 Pouso com vento cruzado

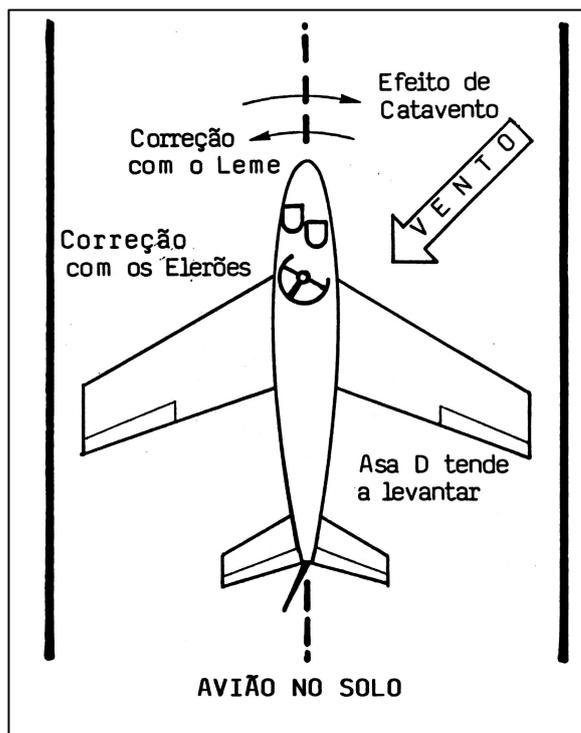
Em relação à aproximação normal, a aproximação com vento cruzado implica que a aeronave estará com a proa deslocada em relação ao eixo da pista. Conforme Pinto (1989), essa aproximação se assemelha ao caranguejar ou voar de lado, dependendo da intensidade da componente de vento lateral.

A aproximação deverá ser feita com a aeronave nessa condição e, próximo ao cruzamento da cabeceira, a manobra de caranguejar deverá ser desfeita e a aeronave alinhada com o eixo da pista para o toque das rodas no solo.

Como já foi colocado no capítulo 3, seção 2.2, a aeronave a jato com asas enflechadas, ao encontrar vento lateral, tem a tendência de levantar a asa voltada para o vento e, sendo assim, na manobra de pouso com vento cruzado, essa tendência deverá sempre ser antecipada pelo piloto, de acordo com Pinto (1989), a fim de se evitar que uma das asas acabe tocando o solo pelo levantamento da oposta.

De uma forma geral todas as grandes aeronaves possuem limitação máxima para intensidade do vento de través nas operações de pouso, sendo assim, o piloto deverá estar perfeitamente inteirado dos limites de vento envolvidos na operação para que, em caso desses limites sejam excedidos, deverá haver a descontinuidade do pouso e uma arremetida deverá ser executada.

**Figura 27** – Correção do vento cruzado no pouso.



Fonte: Pinto, 1989.

Novamente vemos a ação de cruzamento de comandos devido ao vento de través na figura 27 porém neste caso durante o pouso o que torna a manobra mais crítica ainda pois a coordenação dos comandos precisa ser precisa para se evitar um possível toque de ponta de asa no solo e a perda de controle após o pouso em função da aeronave se aproximar de lado em relação ao eixo da pista afim de contrariar o efeito do vento lateral.

### 3.2.6 Pouso com pista contaminada

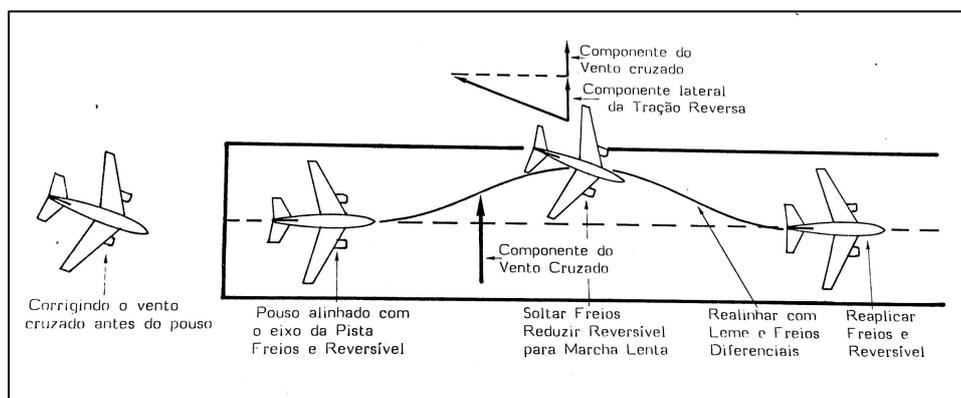
Segundo Pinto (1989), uma pista contaminada é aquela em que, pelo menos, 25% de sua área está com lâmina de água ou algum outro elemento derivado de mal tempo como neve ou lama de neve, sendo assim, diante do risco inerente à possibilidade de uma aquaplanagem após o pouso, nessas condições, é essencial que os pilotos em transição para o jato estejam preparados para uma situação em que terão que pousar em pista contaminada.

A aproximação deverá ser efetuada de forma estabilizada, pois assim fatores como excesso de velocidade e ângulo de planeio mais elevado não serão fatores de risco.

Para Brown (2016), todos os recursos disponíveis na aeronave deverão ser utilizados tais como máximo flap, máximo reverso, máximo *autobrake* e Mínima velocidade

o que irá minimizar o risco de uma aquaplanagem, no momento do toque das rodas na pista molhada. Máxima atenção também ao efeito do vento cruzado nessas condições, pois como se sabe em operação com mal tempo o vento é quase sempre um ente extremamente variável e pode atuar de forma repentina sem aviso.

**Figura 28** – pouso em pista contaminada com vento cruzado



Fonte: Pinto, 1989.

Permanecem aqui enumeradas as recomendações operacionais feitas por Pinto (1989) que dizem respeito à segurança. Sempre verificar se a pista tem suficiente margem de segurança em relação ao comprimento mínimo requerido para o pouso da aeronave de acordo com o peso da mesma, no momento, apesar da condição de estar molhada ou contaminada.

Estando o vento cruzado em relação à trajetória de pouso, sempre verificar se a aeronave encontra-se dentro do envelope de limites para essa condição e efetuar o toque de forma segura sem tentar alisar o pouso, pois, dessa forma, evita-se utilizar maior extensão de pista, além do necessário, para parar a aeronave de forma segura e atingir a velocidade de taxi. Descontinuar o pouso sempre que houver degradação das condições em qualquer momento da aproximação.

### 3.2.7 Pouso com um dos motores inoperantes

A aproximação e pouso com um dos motores inoperantes é sempre uma manobra crítica e anormal. Sendo assim, merece todos os cuidados possíveis na sua execução para que se possa minimizar os fatores de risco que poderiam facilmente degradar a situação de forma irreversível e provocar um acidente.

Para Pinto (1989), a manobra monomotor na grande maioria dos aviões é executada de forma semelhante a de um pouso normal. Seguindo-se as orientações e preparações previstas no manual de operação do modelo e seguindo certas recomendações para esse tipo de operação, tais como sempre efetuar uma aproximação com a aeronave bem compensada para a condição de potência assimétrica e sempre desfazer a compensação de forma a neutralizar qualquer tendência lateral antes do toque na pista. Após o pouso utilizar os reversíveis de acordo com a técnica recomendada no manual do fabricante de forma a atingir o quanto antes a velocidade de táxi.

As manobras mostradas neste capítulo representam a parte do treinamento dos novos pilotos em que pesa mais a experiência prévia e/ou o conhecimento teórico prévio bem embasado. Aqueles que nunca voaram uma aeronave comercial a jato pesada ao terem contato com essas informações, estarão tendo a oportunidade de melhorar seu sensorial pelo simples fato de já estarem esperando, cientes do que enfrentarão durante as seções iniciais do simulador. Para os que já tiveram a experiência de terem voado alguma aeronave a jato previamente, terão um apanhado de conhecimentos úteis para enriquecer sua experiência.

#### 4 PRINCIPAIS CONHECIMENTOS TEÓRICOS NECESSÁRIOS A FUTUROS PILOTOS EM TRANSIÇÃO

O aprendizado é um processo escalonado e sequencial. Sendo assim, para que um conhecimento prático possa ter real efetividade, no conjunto de experiências do ser humano, é preciso que previamente haja o contato com o conhecimento teórico, caso contrário, corre-se o risco de aquele conhecimento prático que fora experimentado não ser assimilado da forma adequada e se tornar algo vazio e sem sentido ou uma perda de tempo. Neste capítulo, apresenta-se um conjunto de conhecimentos, visando o enriquecimento teórico dos pilotos em transição para o voo em aeronaves a jato.

Os pilotos comerciais que voam monomotores ou bimotores já percorreram um longo caminho de conhecimentos e experiências. Já se tornaram experts em voar aeronaves movidas a hélices em altitudes até 12000 pés com velocidade máxima de 180 a 200 kt.. Alguns que já tenham feito o curso de instrutor já estão transmitindo seus conhecimentos aos novos candidatos a licença de pp (piloto privado) que é o primeiro degrau a ser alcançado por aqueles que desejam se tornar pilotos. Segundo Brown (2016), muitos dos pilotos que chegam ao estágio de se candidatarem ao posto de pilotos de jatos comerciais já possuem uma gama de conhecimentos teóricos e práticos que os colocam em posição de destaque e em vantagem em relação àqueles que por qualquer razão não tenham tido a chance de garantir essa bagagem antes dessa fase. Alguns até podem já ter voado aeronaves leves a jato do tipo transporte executivo em alguma empresa de táxi aéreo, mas é certo que a grande maioria não terá essa sorte.

Os conhecimentos aqui listados vão ajudar a preencher uma parte dessa lacuna. Para alguns, uma redundância mas para outros, uma fonte de leitura rápida que pode garantir a vantagem de ter o conhecimento teórico, no momento que antecede aos processos de seleção e treinamento inicial, exigidos pelas empresas para seus futuros primeiros oficiais ou copilotos.

As empresas esperam um certo nível de conhecimento teórico para o início dos treinamentos de seus pilotos iniciantes. Cada degrau da carreira, segundo Brown, (2016) leva o profissional aviador ao contato com uma aeronave mais avançada que a anterior, então, neste contexto, torna-se muito útil especificamente para o momento da chegada ao *cockpit* do jato médio ou pesado, as informações e conhecimentos apresentados nesse trabalho.

O histórico, a evolução e os tipos de motores a jato existentes trazem aprofundamento ao conhecimento normalmente superficial sobre esses assuntos, assim como

dão uma noção inicial valiosa a respeito do tipo de motor do avião que irá voar em determinada companhia, facilitando a familiarização no momento do *ground school* da aeronave.

As características de funcionamento dos motores da mesma forma vão se antecipar às informações do *ground school*, dando ao candidato a vantagem de já conhecer detalhes e características do tipo de motor que equipa a aeronave que irá operar.

As características de funcionamento e de operação vão ajudar nos estudos dos fatores limitadores e garantir o diferencial de conhecimentos ao novo piloto.

Técnicas operacionais das aeronaves equipadas com motores a reação trará luz para o princípio do conhecimento das diferenças que o futuro candidato terá que saber e aplicar na prática já nas primeiras missões, no simulador de voo, lembrando que as empresas aéreas têm recursos limitados para gastos em recrutamento e seleção, assim como número de horas limite a ser empregados nos treinamentos iniciais.

Sendo assim, ainda conforme Brown, (2016), cada momento de leitura dos materiais impressos, contendo pontos teóricos vivenciados na prática por pilotos experientes, instrutores TRI (*type rating instructor*) ou instrutores de determinado modelo de jato comercial pesado, “vale ouro”, pois representa horas de voo a menos gastas pelas empresas aéreas na qualificação e treinamento, e claro, tudo isso significa economia e diminuição de custos que se reflete nos ganhos da empresa, e para o candidato um diferencial que com certeza será decisivo para sua contratação.

O conhecimento nunca é demais. No meio aeronáutico, lidamos todos os dias com variáveis que nos afetam e que somos obrigados a conviver com elas de forma construtiva. O gráfico que representa o conhecimento do piloto ao longo de sua carreira deve ser sempre uma curva ascendente, ou seja, deve-se aprender sempre. Cada curso, cada treinamento, cada informação do manual de voo é tão importante quanto cada pouso e decolagem, pois cada um traz em si mais conhecimento e mais experiência para aqueles que estiverem prontos para aprender sempre, pois, em algum momento vital, esses conhecimentos poderão ser necessários.

## 5 UMA ANÁLISE: MANUAIS DE VOO E TREINAMENTO DE TRANSIÇÃO

Neste capítulo, apresentamos um paralelo entre os conhecimentos normalmente abordados nos cursos iniciais de formação para um determinado jato comercial, os chamados *ground school*, em contraste com os conhecimentos abordados nesse trabalho e que ajudam o novo piloto em sua transição operacional das aeronaves a hélices para os jatos.

### 5.1 SOBRE OS MANUAIS DE VOO

Os candidatos selecionados pelas empresas aéreas começam seu treinamento inicial a partir do *Ground School* da aeronave que irão operar. O *Ground School* é um curso de duração média de duas semanas, em que o futuro piloto daquele equipamento terá seu primeiro contato com os detalhes e características da aeronave.

De acordo com Pinto (1989), todos os sistemas são apresentados, porém sem aprofundamento em detalhes antecedentes, ou seja, parte-se do princípio de que o candidato já possui a bagagem necessária prévia para entender o funcionamento e os detalhes necessários para serem aplicados na fase seguinte que é o simulador de voo.

Ainda conforme Pinto (1989), cada *Ground School* é elaborado a partir dos manuais de operação da aeronave e, com base neles, são aprovados e homologados pela autoridade aeronáutica, no caso a ANAC conforme IS 61-005. Muito do conhecimento que é apresentado no *Ground School* pressupõe que o candidato já possua, sendo assim, as coisas ficam mais simples, entretanto essa não é a realidade de todos os candidatos.

Considerando como base o *Ground School* do Airbus A-320, vivenciado pelo autor, e que é aplicado aos candidatos em meio eletrônico, normalmente em inglês, somente o conhecimento sobre os sistemas da aeronave, limitações de operação, procedimentos normais e emergências são instrumentos do curso, além do conhecimento para manuseio dos manuais já que muitas das informações deverão ser consultados, no manual, no momento em que forem necessárias, no dia a dia das operações.

As informações sobre as características de pilotagem, características de operação de aeronave com controle *Fly by wire*. Sistema de controle de tração dos motores “*Auto Thrust*” que controla os regimes de funcionamento dos motores automaticamente, de acordo com a necessidade de potência, conforme a fase do voo e muitas outras informações que

poderiam ser consideradas importantes para pilotos com pouca ou nenhuma experiência com essas tecnologias simplesmente não são abordadas.

Todos esses sistemas são bastante complexos em sua arquitetura, porém extremamente simples no que diz respeito à operação. Entretanto, Segundo Pinto (1989), é necessário que haja certo nível de conhecimento prévio para que se possa se contextualizar cada informação recebida. Em resumo, o *ground School* de uma aeronave bem como seus manuais de voo têm como pressuposto que os candidatos já terão uma bagagem de conhecimentos prévios que os habilitarão a entender tudo o que será eventualmente mostrado ao longo do curso e do treinamento, ou seja, somente o *Ground School* não é suficiente para capacitar os futuros pilotos, “há conhecimentos pregressos que são necessários aos candidatos a futuros pilotos habilitados naquele equipamento.

## 5.2 TREINAMENTO DE TRANSIÇÃO EM AERONAVES A JATO NA FORMAÇÃO E APERFEIÇOAMENTO DE PILOTOS

O treinamento de transição para aeronaves a jato é considerado essencial na visão de Brown (2016), pois contribui para a segurança de voo a partir da premissa de que a não execução adequada pode ser fator contribuinte para ocorrências de acidentes.

Conforme Pinto (1989), a transição é muito importante, pois pode ser um fator de diferenciação para um piloto que almeja a posição de primeiro oficial, em uma companhia aérea.

As companhias aéreas que no passado operavam aeronaves turboélices e também jatos médios possuíam programas de treinamento de transição para seus pilotos que já voavam os turboélices, fossem designados para voar o jato. Nesse caso haviam tanto o treinamento de sala de aula quanto as seções de simulador elaboradas com este intuito.

Atualmente, as grandes companhias aéreas não possuem turboélices e jatos para que haja possibilidade de progressão dos pilotos do turboélices para os jatos. No caso da progressão ou transição, nas empresas aéreas antigas como a Rio-Sul, não havia obrigatoriedade para que se executasse o treinamento, dependendo apenas da experiência prévia do candidato. Por causa disso, as informações sobre deficiências de treinamento ou insucesso dos candidatos acabavam não sendo registradas de forma a se ter uma estatística a respeito, o que torna difícil afirmar o quanto houve necessidade de mais treinamento, nos casos em que houve alguma deficiência operacional.

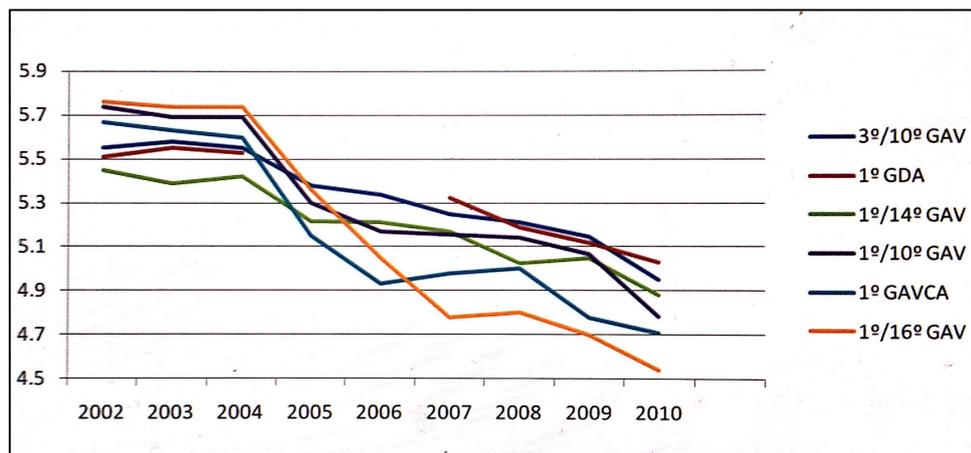
Por outro lado existe uma situação que motivou um estudo a respeito da transição dos pilotos, no caso, na Força Aérea Brasileira, na progressão para os caças de primeira linha, ou seja, aeronaves com desempenho supersônico e repletas de equipamentos de alta tecnologia. O estudo em questão deu origem a um artigo científico apresentado a UNIFA (universidade da força aérea) pelo então Major aviador Alvim, no curso de Comando e estado-maior da aeronáutica o qual avalia o impacto da desativação da aeronave xavante (AT-26), em 2005, na progressão dos pilotos para a aviação de caça de alto desempenho no caso os F-5, AM-X e Mirage 2000.

O estudo em pauta defende que a partir da desativação dos xavantes, passou-se a observar um decréscimo, na qualidade dos pilotos, demonstrado pelo número de horas a mais de instrução em voo e no número de pilotos que não obtiveram os mínimos necessários para se habilitarem à operação dos caças de primeira linha. Segundo Alvim (2011), a progressão operacional para a primeira linha tinha um aliado importante dos pilotos que era o xavante, pois sendo uma aeronave leve a jato, porém sem enflechamento de asas, era perfeito para a transição dos pilotos que iriam compor os quadros dos esquadrões de caça de primeira linha como os F-5 e o Mirage 2000 ambos supersônicos.

Para esse mesmo autor, a deficiência nasceu a partir de 2005 com a desativação da aeronave xavante (AT-26) e a adoção do Super Tucano, no papel de treinador avançado para o lugar do xavante. O problema, segundo Alvim (2011), é que o Super Tucano é uma aeronave turboélice de asa retangular, o que acaba deixando a desejar em termos de performance e complexidade de operação ao futuro piloto de caça, deixando lacunas de treinamento que acabam se refletindo no desempenho dos pilotos na operação dos caças de primeira linha.

Conforme o gráfico a seguir, mostra-se o desempenho dos pilotos que efetuaram o treinamento inicial para os caças de alto desempenho e complexidade, observando-se uma queda significativa de desempenho a partir do ano 2005 que foi o ano em que o AT-26 Xavante foi desativado, deixando de prover o treinamento de transição a estes pilotos.

**Figura 29** – Média de desempenho dos pilotos de caça a partir de 2002



Fonte: Alvim, 2011

Se fizermos um pequeno exercício de analogia deste caso com a transição de pilotos civis aos jatos médios e pesados, podemos observar que a falta de treinamento de transição adequado pode provocar deficiências operacionais aos futuros pilotos de jatos comerciais da mesma forma que a falta de experiência de voo, em uma aeronave como o Xavante, trouxe problemas de desempenho técnico na progressão para a primeira linha de caças da força aérea. Claro que a comparação não é totalmente completa, porém ilustra como é importante que o treinamento de transição para equipamentos mais complexos e mais velozes sejam feitos da melhor forma possível e utilizando todos os recursos possíveis ao alcance, sejam simuladores de voo ou uma aeronave de treinamento avançado como é o caso do Xavante.

Uma lição sobre a importância da transição foi aprendida pela empresa área Rio-Sul em 1998 durante uma aproximação ILS para a pista 15 do aeroporto de Curitiba o Emb-145 JetClass, um aeronave a jato com asas enflechadas, utilizado no transporte de passageiros prefixo PT-SPE, tocou a pista com razão de descida em torno de 2800 ft/min o que provocou a ruptura da fuselagem traseira da aeronave. Conforme relatado, no Painel de segurança de voo número 25, 1998, a investigação descartou supostos problemas estruturais com o Emb-145 e se concentrou na área operacional, concluindo como fator decisivo para a ocorrência do acidente, a falta de treinamento de transição do piloto que pilotava a aeronave.

Tratava-se de um comandante oriundo do Emb-120 Brasília, uma aeronave turboélice que a Rio-Sul operava simultaneamente à operação com os jatos 145 e Boeing 737.

**Figura 30** - Pouso duro com ruptura da fuselagem traseira



Fonte: Painel de segurança de voo Rio-Sul, 1998

A figura 29 mostra a fuselagem traseira quebrada do Emb-145 Prefixo PT-SPE que era operado pela Rio-Sul nos anos 90. Felizmente, este acidente não deixou vítimas, mas contribuiu para que as dificuldades da empresa se agravassem ao longo dos anos futuros e encerrasse suas operações em 2004.

Segundo RIO-SUL GIPAR, (1999), o piloto havia migrado do Emb-120 que é uma aeronave turboélice para o Emb-145 sem efetuar nenhum treinamento de transição para aeronaves a jato. Na aproximação para o pouso em Curitiba, ainda conforme o painel 25 de segurança de voo, o piloto ao efetuar a aproximação ILS para a pista 15, em dado momento ficou acima da rampa e tentou corrigir a trajetória vertical, reduzindo totalmente a potência e baixando o nariz da aeronave. De acordo com o que foi exposto no capítulo 3, seção 2.2 deste trabalho, a correção foi excessiva, pois reduzindo totalmente a potência, no momento de desfazer a correção e reinterceptar o eixo do *glide slope*, a aeronave entrou na parte posterior da curva de velocidade X arrasto, provocando um decréscimo de velocidade excessivo e a rápida perda de altitude. O piloto tentou corrigir aplicando máxima potência, porém a falta de antecipação da manobra fez com que o motor demorasse demais a atingir a potência necessária para se evitar o choque com a pista com cerca de 4 vezes a razão de descida máxima prevista e provocando a ruptura da fuselagem.

Neste capítulo, foram apresentados informações e dados que confirmam a importância dos treinamentos de transição para aeronaves a jato. Considerando que são

aeronaves mais rápidas, mais complexas e com características de pilotagem totalmente diferentes da maioria das aeronaves com asas retas e propulsão a hélice fica aqui demonstrado que a falta do treinamento adequado não só traz aumento dos custos de treinamento como também pode ser um fator contribuinte para a ocorrência de acidentes.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Objetivo geral deste trabalho foi avaliar se o conhecimento sobre técnicas de pilotagem específicas relacionadas a aeronaves a reação, assim como o conhecimento teórico a respeito dos fenômenos aerodinâmicos envolvidos, bem como as características de funcionamento dos diversos tipos de motores a jato, podem dar aos profissionais em transição uma melhor base de conhecimentos, facilitando essa transição e tornando-os profissionais melhores e diferenciados no mercado. Quanto à metodologia utilizada, esta pesquisa classifica-se como descritiva e exploratória com abordagem qualitativa. Em relação à coleta de dados, trata-se de uma pesquisa bibliográfica e documental.

A pesquisa começou a partir da própria experiência do autor ao revisar os próprios passos da experiência adquirida ao longo dos anos analisando o que existia e o que existe em cada área de especialização como o livro “Piloto de Jato” escrito pelo Comandante L. S. Pinto, ex comandante de jatos pesados da saudosa Varig, instrutor de voo com longa experiência, principalmente, no campo da instrução de voo em aeronaves tipo jatos comerciais pesados. No exterior, encontramos o complemento teórico ao conteúdo do livro “piloto de Jato” com o livro “*Turbine Pilots Flight Manual*” dos autores Gregory N. Brown e Mark J. Holt ambos pilotos experientes com grande destaque como instrutores de voo e teoria, e que trouxe enriquecimento e informações bastante atualizadas a respeito das novas tecnologias e uma visão bastante ligada à eficiência operacional e segurança de voo, típicas nas maiores empresas aéreas dos estados unidos.

Os livros do Professor Newton Soler Saintive, “motores a Jato” e “aerodinâmica de alta velocidade” são muito conhecidos no meio aeronáutico não só como ferramenta de estudos para as provas oficiais para qualificação junto a ANAC, mas também como enriquecimento profissional para os que desejam estar sempre com seus conhecimentos teóricos atualizados.

Completando o conjunto de publicações importantes que ajudaram a trazer mais aprofundamento teórico estão o livro “curso prático de voo por instrumentos” escrito pelo comandante Heitor Bottura, em 1980, que traz a experiência real da pilotagem de grandes jatos com asas enflechadas para a realidade de todo aquele que esteja se preparando para iniciar a fase de adaptação ou simulador para uma aeronave média ou pesada.

Com relação aos objetivos específicos propostos pela pesquisa, mostrou-se, inicialmente, breve histórico do nascimento e desenvolvimento dos primeiros motores baseados no princípio da ação e reação, as chamadas turbinas a gás e, não menos importante,

o contexto no qual surgiram, que foi no auge da segunda grande guerra mundial. Seguiu-se, mostrando a evolução dos motores desde os mais simples até os mais modernos e atuais que representam o padrão atual da indústria.

Também foi importante trazer para este estudo as principais características dos motores assim como a evolução tecnológica dos modelos. Em seguida, foram caracterizados os aspectos operacionais das aeronaves equipadas com os motores a jato, mostrando suas particularidades de operação e detalhando pontos importantes em relação aos objetivos do trabalho.

Seguiu-se na análise da operação, caracterizando as particularidades das aeronaves em manobras mais críticas como pousos, decolagens, decolagens e pousos com vento de través, decolagem com falha de motor e pouso monomotor. Também foram analisados os conhecimentos julgados importantes e que devem ser trabalhados com os pilotos em transição, de forma que se possa ter uma razoável bagagem de informações a fim de facilitar o aprendizado e a adaptação às características de voo das aeronaves a jato.

Finalmente, foi realizado um paralelo entre os conhecimentos que são comumente expostos nos cursos iniciais de formação para operação de um jato comercial e os conhecimentos considerados essenciais para a transição ao jato de forma segura e analisando a real importância desse tipo de treinamento na formação final do piloto em transição.

Em verdade, a questão que se impõe e que é o centro deste estudo é se conhecimentos sobre: i) técnicas de pilotagem específicas relacionadas a aeronaves a reação; ii) fenômenos aerodinâmicos envolvidos; e iii) características de funcionamento dos diversos tipos de motores a jato podem dar aos profissionais em transição uma melhor base, facilitando essa transição e tornando-os profissionais melhores e diferenciados no mercado? Considerando os estudos feitos nesta pesquisa, fica demonstrado que sim.

As empresas aéreas de uma forma geral não possuem dados estatísticos de desempenho dos candidatos a pilotos, nos casos em que o candidato não atinge o grau ou nível técnico operacional necessário para ser contratado. Os custos de treinamento em simuladores de voo e instrutores em sala de aula, assim como o treinamento em rota, tornam os requisitos e exigências para os novos pilotos cada vez maiores no intuito de se tentar reduzir esses custos.

Obviamente a pesquisa não tem a pretensão de esgotar o assunto relacionado à formação ou transição do piloto para o jato, já que se trata da área de formação técnica de pessoal em que vários dos aspectos e resultados não são divulgados e isso se constitui naturalmente como um fator limitante para o estudo, porém na medida em que as empresas

evoluem, aplicando novas técnicas e novos conhecimentos, na busca da eficiência operacional e da segurança, espera-se que a rotina normal de ingresso em empresas aéreas inclua o treinamento de transição como fator essencial e obrigatório, o que irá, com certeza, agregar mais eficiência e segurança às operações dos grandes jatos comerciais no futuro.

Assim, sugere-se como futuras pesquisas, um estudo mais aprofundado sobre o número de candidatos que não atingem esse nível técnico operacional, trazendo dados estatísticos, tanto a respeito do quanto essa taxa de reprovação representa em termos de custos para as empresas quanto para um plano de treinamento preparatório inicial, especificamente para essa finalidade.

## REFERÊNCIAS

ALVIM, M. A. Major Aviador. **O Impacto da Desativação do AT-26 Xavante na Progressão operacional dos Pilotos de Caça da Força Aérea Brasileira**, Escola de Comando e Estado Maior da Aeronáutica, ECEMAR – Rio de Janeiro, 2011.

BARROS, M. L. de. **Xavante o Guerreiro da FAB**. Rio de Janeiro, ADLER, 2011.

BOTTURA H. **Curso Prático de Voo Por Instrumentos**. São Paulo, Picture, 1980.

BRASIL. Lei nº 7.565 de 19 de novembro de 1986. **Código Brasileiro de Aeronáutica**. Presidência da Republica. Brasília DF, Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/L7565.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L7565.htm)> . Acesso em: 04 Nov. 2017

\_\_\_\_\_. ANAC – Instrução Suplementar **IS 61-005 2016**. Disponível em: <<http://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/boletim-de-pessoal/2014/51s1/anexo-ii-2013-is-61-005-revisao-a/view>> Acesso em: 9 nov. 2017

BROWN, Gregory N. **The Turbine Pilot's Flight Manual**. Newcastle USA, ASA 2012.

CHIAVENATO, Idalberto. **Recursos Humanos**. 3ª Edição. São Paulo, COMPACTA, 1994

NOGUEIRA H. J. P. **Motores a Jacto**. São Paulo, LEP, 1954.

PINTO, L. S, **Piloto de Jato**. Porto Alegre, Magister, 1989.

RIO-SUL GIPAR. **Painel de Segurança de Voo**. número 25, São Paulo, 1999.

ROITMAN, R. Reflexões sobre o processo de ensino-aprendizagem. Brasília, ATLAS, 1976

SAINTIVE, N. S. **Aerodinâmica de Alta Velocidade**. São Paulo, ASA, 1996.

\_\_\_\_\_. **Motores a Jato PC/IFR-PLA-Mecânicos**. São Paulo, ASA, 2015.