

# RESUMO

# TEORIA DE VOO



*Karen Kaefer*

# Introdução

Queridos alunos,

*Esse é um material que foi preparado com o objetivo de reunir os principais pontos relacionados a matéria de teoria de voo e principalmente aqueles pontos que são facilmente confundidos, por serem semelhantes!*

*Para o estudo desse material é OBRIGATÓRIO que você tenha assistido todas as aulas de teoria de voo, feito os exercícios ao final de cada aula com índice satisfatório, tenha, de preferencia, feito as suas próprias anotações e resumos e já tenha realizado alguns simulados na nossa plataforma!*

*Isso porque na aviação não existem atalhos, é necessário desenvolver o conhecimento, compreender os conceitos para então revisar. A sua segurança depende do seu estudo. Como dizem, na vida quando mais se vive, mais se aprende; e na aviação, quando mais se aprende, mais se vive!*

*Se você não aprendeu de verdade antes de chegar aqui, pouco ou quase nenhum valor terá esse material, pois você irá ficar perdido (muito provavelmente) ou então irá apenas decorar conceitos, o que será altamente prejudicial no seu futuro.*

*Portanto, esse material visa facilitar a sua revisão para a prova da ANAC, de forma a direcionar o seu estudo para pontos relevantes, trata-se de um matérias “pré-banca” para aqueles que já se sentem preparados para realizá-la, combinado?*

*Eu espero que você goste de tudo que preparamos, porque colocamos no nosso melhor*

*Conte sempre conosco.*

*Lembre de compartilhar a sua aprovação conosco! Sua felicidade também é a nossa!*

*Um grande abraço e bons estudos!*

*Karen*



1)	Conceitos básicos da física	1
2)	Propriedades da Atmosfera	1
3)	Geometria do avião	1
4)	Escoamento	2
5)	Forças Aerodinâmicas	2
6)	Dispositivos hipersustentadores	2
7)	Grupo moto-propulsor	3
8)	Voo Horizontal	3
9)	Voo Planado	3
10)	Voo ascendente	4
11)	Comandos de vôo	4
12)	Voo em curva	5
13)	Cargas dinâmicas	5
14)	Decolagem e pouso	6
15)	Estabilidades	6
16)	Parafusos	6

## 1) Conceitos básicos da física

Os conceitos abaixo são facilmente confundidos! Cuidado!  
Não rateie!

1.1) Massa e peso Massa – invariável Peso – variável

$$P = M \times G$$

Exemplo: Uma cadeira possui a mesma massa se levada para a lua, mas não possui o mesmo peso.

1.2) Velocidade e aceleração

Velocidade é a variação da distância por unidade de tempo, um valor que considera o quanto se anda em um determinado tempo.

Velocidade = distância/tempo

Aceleração é a variação da velocidade, por exemplo, uma pessoa que estava parada sai correndo e atinge a velocidade de 10m/s em 5 segundos, sua velocidade é 10m/s, mas sua aceleração é  $10/5 = 2\text{m/s}^2$  - ou seja a pessoa acelera 2m/s a cada segundo, por isso em 5 segundos atingirá a velocidade de 10m/s.

Aceleração = Velocidade/tempo

1.3) Inércia

Inércia é a tendência do movimento se manter.

O que está em movimento -> Adquire um movimento retilíneo e uniforme (onde não há aceleração).

O que está em repouso -> Mantém em repouso.

## 2) Propriedades da Atmosfera

2.1) Pressão

Quantidade/cilindro de ar que exerce pressão sobre uma determinada superfície.

Pressão = Força/Área

Maior quanto menor a altitude

Menor quanto maior a altitude

2.2) Temperatura

Quantidade de calor que existe em um corpo devido a agitação das suas partículas.

Maior quanto menor a altitude

Menor quanto maior a altitude

2.3) Densidade

Quantidade de massa em uma determinado volume.

Densidade = Massa / Volume

2.4) Relação entre elas

Pressão temperatura e densidade se relacionam e sofre influência ainda de umidade do ar. Para analisa

## PRESSÃO

Pressão aumenta

Volume diminui -> Densidade aumenta -> Temperatura

aumenta Pressão diminui

Volume aumenta -> Densidade diminui -> Temperatura diminui

## TEMPERATURA

Temperatura aumenta

Volume aumenta -> Densidade diminui -> Pressão diminui

Temperatura diminui

Volume diminui -> Densidade aumenta -> Pressão aumenta

## DENSIDADE

Será alterada sempre de acordo com o volume e com a massa. Geralmente a massa se mantém constante e o volume varia. De acordo com a fórmula sabe-se que o volume é inversamente proporcional a densidade.

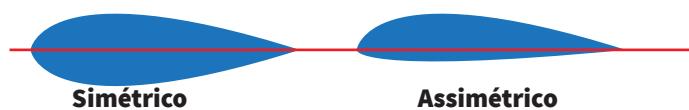
Volume aumenta -> densidade diminui Volume diminui -> densidade aumenta

## UMIDADE

O ar úmido é mais leve que o ar denso, logo o ar úmido é menos denso e o ar seco é mais denso. Na atmosfera padrão não se considera umidade, pois admite-se a atmosfera ISA como SECA (meteorologia).

## 3) Geometria do avião

3.1) Perfil simétrico e assimétrico



### PERFIL SIMÉTRICO

- com ângulo zero não há diferença de velocidade, nem pressão, não há RA.
- com ângulo positivo, é induzida uma assimetria, o vento relativo “acha” que o perfil é assimétrico. Há diferença de velocidade, há diferença de pressão, há RA.
- Mais difícil de criar sustentação.
- dificuldade é associada a instabilidade.

### PERFIL ASSIMÉTRICO

- com ângulo zero há diferença de velocidade, pressão e já há naturalmente RA.
- com ângulo positivo há mais RA
- Mais fácil de criar sustentação
- facilidade é associado a instabilidade.

3.2) Linha de curvatura média e corda LINHA DE CURVATURA MÉDIA

Liga o bordo de ataque ao bordo de fuga deixando eqüidistante o intra do extra dorso CORDA

Liga o BA ao BF na menor distância possível.

\*Perfil simétrico = lcm é igual a corda corda

\*Perfil assimétrico = lcm é diferente da corda.

3.3) Ângulos – É muito importante saber a correta definição de cada ângulo. Isso são grandes ratoeiras sempre:

Ângulo de Ataque = corda e vento relativo

Ângulo de Atitude = eixo longitudinal e linha do horizonte

Ângulo de Incidência = eixo longitudinal e corda (FIXO)

Ângulo de Planeio = trajetória do voo e linha do horizonte

Ângulo de Diedro = Plano de asas e eixo transversal

Ângulo de Enflechamento = Plano do bordo de ataque e eixo transversal

#### 4) Escoamento

A diferença entre os dois conceitos abaixo é meramente conceitual, mas na prova é importante deixar definido qual teorema diz o que.

4.1) Teorema de Bernoulli – diz que quanto maior e estreitamente, maior a pressão dinâmica e menor a pressão estática.

4.2) Equação da continuidade – diz que quanto maior o estreitamento, maior a velocidade.

CUIDADO! Bernoulli fala em **PRESSÃO**; equação da continuidade fala em **VELOCIDADE**! Embora os conceitos sejam os mesmos, perceba que o conceito é diferente!

Pressão estática -> Princípio de funcionamento do altímetro  
Pressão dinâmica -> Princípio de funcionamento do velocímetro

#### 5) Forças Aerodinâmicas

##### 5.1) Sustentação

Componente perpendicular da RA em relação ao vento relativo. Sustenta a aeronave para cima. Contrapõem o peso da aeronave e permite o vôo.

Fórmula matemática

$$L = Cl \times \text{densidade}/2 \times S \times V^2$$

##### 5.2) Arrasto de perfil, Arrasto induzido, Arrasto parasita

Arrasto de perfil – componente paralelo ao vento relativo. Oposta ao deslocamento da acft. Contrapõem a tração da acft. Dificulta o avanço da aeronave

Arrasto induzido – arrasto de ponta de asa, gerado pela diferença de pressão que existe entre o intradorso e extradorso, acentuado na ponta da asa. É maior quanto maior o ângulo de ataque, portanto, quanto menor a velocidade.  
Para evitar -> Tanque nas pontas das asa, winglets ou aumentar o alongamento das asas.

##### Arrasto parasita

Arrasto gerado pelas partes da acft que NÃO geram sustentação (superfícies aerodinâmicas), mas precisam ser carregadas na aeronave.

Exemplo: spinner, fuselagem, carenagem da roda...

#### 5.4) Ângulo e sustentação

##### PERFIL SIMÉTRICO

Ângulo nulo -> Sustentação nula Ângulo positivo -> Sustentação positiva

Ângulo negativo -> Sustentação negativa

##### PERFIL ASSIMÉTRICO

Ângulo nulo -> Sustentação positiva Ângulo positivo -> Sustentação positiva

Ângulo negativo -> Sustentação positiva, nula ou negativa

Ângulo de sustentação nula -> Sustentação negativa

Ângulo menor que o ângulo de sustentação nula -> Sustentação negativa

#### 5.5) Velocidades

Velocidade indicada -> Indicada no painel

Velocidade Calibrada -> Indicada corrigida para erros de POSIÇÃO

Velocidade Equivalente -> Calibrada corrigida para erros de COMPRESSIBILIDADE DO AR

Velocidade Aerodinâmica -> Equivalente corrigida para erros de densidade, pressão e temperatura

Velocidade de Solo -> Aerodinâmica corrigida com o vento atual

##### CUIDADO

QUAL/QUAIS A(s) FORÇA(s) PRODUZIDA PELA ASA?

##### RESULTANTE AERODINÂMICA

#### 6) Dispositivos Hipersustentadores

Entenda que independente dos dispositivos, os objetivos são os mesmos, as seguintes expressões devem ser SINÔNIMOS.

Aumentar o  $C_l$  máximo; aumentar o ângulo de ataque máximo; diminuir a velocidade de estol; gerar mais sustentação e diminuir a quantidade de pista para pouso.

##### 6.1) Tipos de flap

Flap simples

Flap Ventral

Flap com Fenda

Flap Fowler

##### 6.2) Slat x Slot

Os flaps são localizados no bordo de fuga e os slaps e slots no bordo de ataque.

Os slots e slats são fendas que permitem energizar a camada limite e aumentar ângulo e reduzir a velocidade de estol.

*Os slats são acionados através da posição da acft no ar ou um sistema específico Os slots são fendas fixas (buracos)*

*É preferencial usar flaps ao invés de slats e slots em acfts de pequeno porte, pois os slats e slots obrigariam o piloto a aumentar muito o ângulo de ataque, o que prejudicaria muito a visibilidade com a pista.*

## 7) Grupo moto-propulsor

### 7.1) Tipos de potência

Potência Efetiva -> Medida no eixo da hélice

Potência Nominal -> Potência máxima permitida pelo fabricante; consta no manual da acft; pode ser desenvolvida por tempo indeterminado

Potência Máxima -> Potência que excede o projeto; aplicada na decolagem por segurança;; pode ser desenvolvida por tempo limitado.

Potência Útil -> Potência que a hélice desenvolve sobre o avião.

### 7.2) Passo teórico, efetivo e avanço

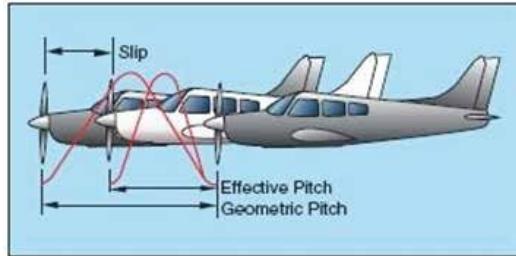


Figure 3-28. Propeller slippage.

Passo teórico = Passo efetivo + Recuo

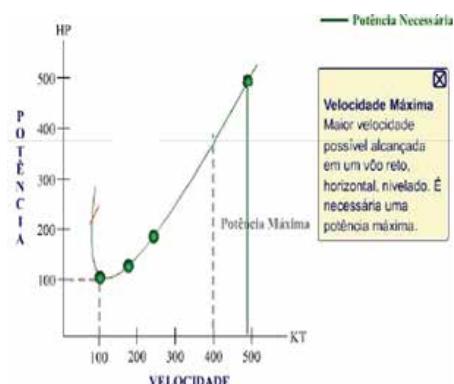
## 8) Voo Horizontal

### 8.1) Vetores

8.2) Potência Necessária - potência necessária para se manter o voo em linha reta horizontal com velocidade constante.

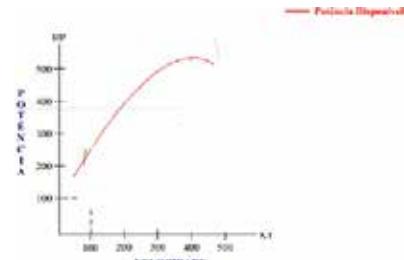
Altas velocidades -> Geram muito arrasto -> Potência necessária é alta. Baixas velocidades -> Geram pouco arrasto -> Potência necessária é baixa

Baixas baixas velocidades -> ângulos de ataque elevados -> Muito arrasto -> Alta potência necessária.



8.3) Potência Disponível - potência que o grupo motopropulsor consegue desenvolver. Baixas velocidades -> Hélice só faz vento -> Baixa potência disponível

Altas velocidades -> hélice produz tração -> Alta potência disponível. Altas altas velocidades -> Perde sincronia -> Baixa potência disponível



8.4) Velocidades - importante lembrar que essas velocidades só existem em linha reta horizontal e deve-se cuidar para não confundir as definições, principalmente velocidade mínima com velocidade de estol.

Velocidade Mínima - Menor velocidade possível nesse tipo de vôo com velocidade constante. Acft está acima do ângulo de ataque crítico e depende do motor para se manter voando.

Velocidade de estol - Menor velocidade possível nesse vôo. Aeronave está no ângulo máximo, no cl máximo, na velocidade de estol e com sustentação máxima.

Velocidade de máximo alcance - velocidade econômica visando distância

Velocidade de máxima autonomia - velocidade econômica visando tempo.

Velocidade máxima - velocidade máxima que o grupo moto propulsor consegue suprir.

DICA:

As fórmulas abaixo tornam mais rápido o raciocínio de questões que relacionam dois fatores. V vale para qualquer velocidade, exceto máxima.

N é potência necessária

V Max é a fórmula exclusiva para a velocidade máxima

$$V = \frac{PACa}{DAC} \quad N = \frac{PACa}{DAC}$$

$$V_{max} = \frac{DCa}{PAAC}$$

## 9) Voo Planado

### 9.1) Vetores

#### 9.2) Velocidade de melhor planeio

Existe apenas uma velocidade. Não é possível fazer NADA para melhorá-la. Acabar com a pane, por exemplo, deve-se manter essa velocidade, visando ter o maior alcance sem motor.

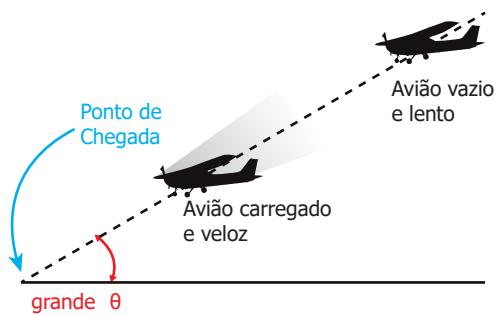
#### 9.3) Velocidade final e velocidade limite

Velocidade final -> velocidade em um mergulho vertical onde a sustentação é nula, o ângulo de ataque é nulo e o peso é igual ao arrasto.

Velocidade limite -> Velocidade estrutural limite da acft, não pode ser ultrapassada.

#### 9.4) Ação do peso

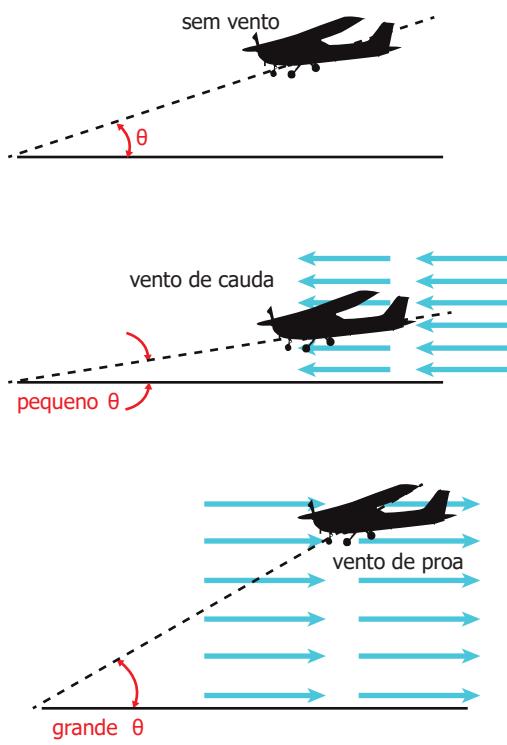
NÃO CONFUNDA AÇÃO DO PESO COM AÇÃO DO VENTO! Os elementos podem ser os mesmos, mas as respostas são diferentes. Não decore as relações, entenda o raciocínio.



Como se comportam as variáveis:

VI -> Igual  
 VA -> Maior com mais peso  
 VS -> Igual  
 Angulo de planeio -> igual  
 R/D -> Maior com mais peso  
 Alcance -> Igual  
 Distância no solo -> Igual

#### 9.5) Ação do vento



Como se comportam as variáveis com vento de cauda?

VI -> Igual  
 VA -> Igual  
 VS -> Maior  
 Angulo de planeio -> Menor  
 R/D -> Igual  
 Alcance -> Maior  
 Distância no solo -> Maior

Como se comportam as variáveis com vento de proa?

VI -> Igual  
 VA -> Igual  
 VS -> menor  
 Angulo de planeio -> Maior  
 R/D -> Igual  
 Alcance -> Menor  
 Distância no solo -> Menor

### 10) Voo ascendente

#### 10.1) Vetores

IMPORTANTE: Para subir a sustentação pode ser IGUAL, MAIOR ou MENOR que o peso, mas a sustentação deve ser NO MÍNIMO igual ao componente vertical peso. Isso se justifica pois no momento que esses dois vetores são iguais a força de tração na hélice que está direcionada para cima, consegue puxar o avião. Claro que nessa situação a razão de subida é muito pequena.

#### 10.2) Ângulo e razão

Velocidade de máximo ângulo de subida – velocidade com ângulo grande, que permite livrar obstáculos, entretanto é uma velocidade menor, por isso a acft sobe lentamente. Aplicada sempre logo após a decolagem, independente de haver obstáculo ou não.

Velocidade de máxima razão de subida – velocidade aplicada (VI) que permite a acft subir o mais rápido possível, ou seja, atingir o nível de cruzeiro mais breve.

#### 10.3) Tetos

Conforme a acft sobe, sabe que a densidade diminui, consequentemente a razão de subida máxima diminui gradativamente.

Razão de subida máxima = 100'/min – Teto Prático ou Teto de Serviço Razão de subida máxima = 0'/min – Teto absoluto

Tetos são altitudes densidades!! Por isso não podem ser definidos nem mesmo medidos.

Teto operacional – altitude que o fabricante da acft define para que a acft não tenha perda de desempenho acentuado. Não tem relação nenhuma com os outros tetos, não é uma altitude densidade e é um valor fixo para cada acft determinado pelo fabricante. Está muito abaixo do teto prático e do teto absoluto, para que a acft nunca chegue neste ponto.

### 11) Comandos de vôo

#### 11.1) Eixos

Eixo longitudinal – Ailerons  
 Eixo lateral – Profundor  
 Eixo vertical – Leme

Ponto de aplicação do peso = CG\*  
 Ponto de aplicação da RA = CP  
 Ponto referência = CA

\*O Cg também é o ponto onde todos os eixos se cruzam e portanto onde ocorre a movimentação da acft.

#### 11.2) Guinada adversa

A guinada adversa ocorre devido ao aileron que desce por gerar mais arrasto. Aileron que desce é o mesmo que asa que sobe. Por haver mais arrasto o nariz é desviado para fora da curva, ou seja, ocorre uma guinada adversa à curva. Isso deixa a curva descoordenada, ou seja, com um raio e um período de duração maior.

Para corrigir a guinada adversa existem três possibilidades

- 1) Aplicação de pedal para o lado da curva ( ou para o lado oposto à guinada adversa)
- 2) Ailerons diferenciais (diminuem a quantidade de arrasto no aileron que desce através da modificação da amplitude de comando)
- 3) Aleileron do tipo frise (aumenta a quantidade de arrasto no aileron que sobe através de uma saliência dianteira).

\* Os aviões que possuírem aileron diferencial ou do tipo frise, não necessitam da aplicação de pedal durante uma curva.

## 12) Voo em curva

### 12.1) Vetores

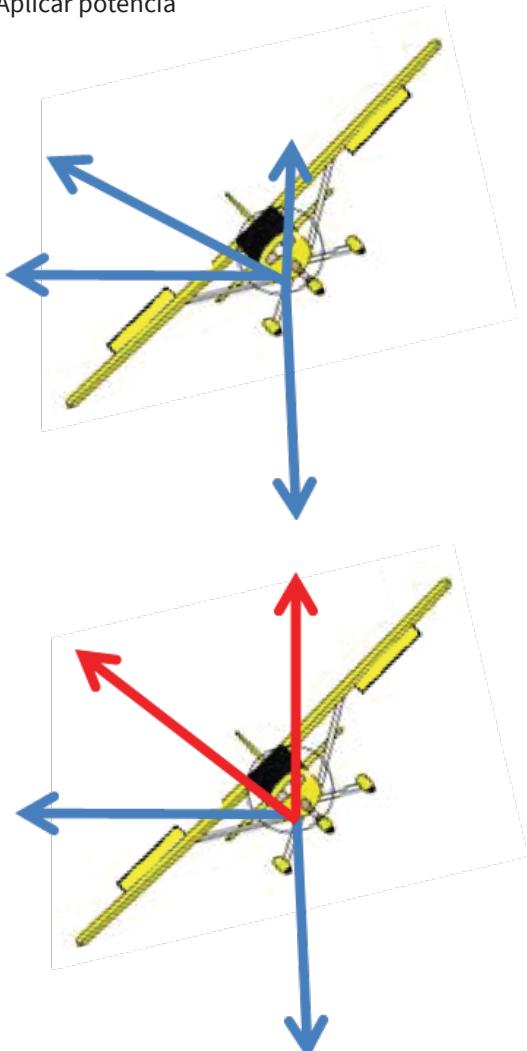
#### 12.2) Mecânica da curva

Ao inclinar a sustentação é decomposta em dois vetores (componente vertical e componente horizontal - força centrífuga). Essa decomposição faz com que o vetor vertical fique menor. Se o vetor vertical for menor que o peso, a aeft irá descer. Para evitar que a aeft desça o piloto deve aumentar a sustentação em ordem de aumentar o componente vertical novamente para que ele fique igual ao peso e a curva seja executada de forma nivelada.

Formas de aumentar a sustentação:

1º Cabrar (até um limite)

2º Aplicar potência



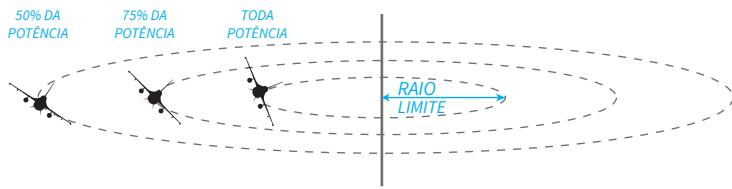
### 12.3) Glissada e derrapagem

Glissada -> O ALUNO EXAGERADO! -> Resultado de muita inclinação, muita aplicação de pedal, movimentação insuficiente do manche no sentido de cabrar ou pouca aplicação de potência. O resultado é a aeft escorregar para dentro da curva e perdendo altitude.

Derrapagem -> O ALUNO CAUTELOSO! -> Reusltado de pouca aplicação de pedal ou pouca inclinação de asa. Aeft escorrega para fora da curva.

### 12.4) Raio limite

Conforme se inclina, deve-se aumentar o ângulo de ataque e a potência. Quando o ângulo de ataque está no máximo e a potência também a aeft descreve uma circunferência. O raio dessa circunferência é denominado raio limite.



### 12.5) Velocidade de estol em curva

É sempre maior. Quanto maior for a inclinação das asas, maior será a velocidade de estol

Isso ocorre porque com o aumento da inclinação, a sustentação deve ser aumentada. Toda vez que a sustentação é maior que o peso, o fator de carga é maior. Toda vez que o G for maior, o peso será maior. ( $P = m \times g$ ). O peso sendo maior, a velocidade de estol também é maior.

$$V = \frac{PACa}{DAC}$$

## 13) Cargas dinâmicas

### 13.1) Fator de carga

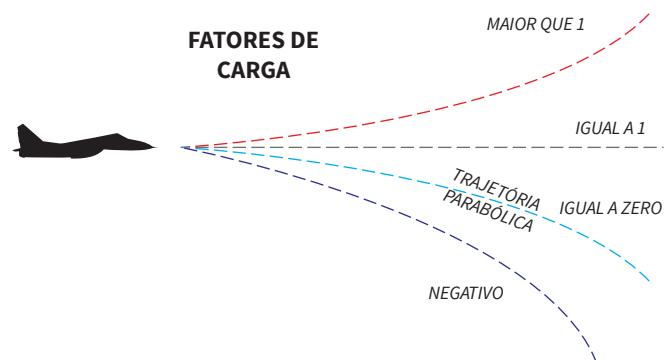
$$\text{Fator de Carga} = \frac{L(\text{Sustentação})}{W(\text{Peso})}$$

Sempre que a sustentação for maior que o peso o fator de carga será maior.

Sempre que o fator de carga for maior, a percepção do G (gravidade) será maior.

Sempre que o G (gravidade) for maior, o peso será maior.

Sempre que o P (peso) for maior, haverá modificações no desempenho da aeft.



13.2) Quando ocorrem fatores de carga elevados  
Sempre que a sustentação for maior que o peso!

**IMPORTANTE:**

Aviões de acrobacia:

- > Fator de carga positivo máximo: 6G
- > Fator de carga negativo máximo: -3G

## 14) Decolagem e pouso

### 14.1) Setor inicial, intermediário e final

Setor Inicial -> Pouca energia, muito atrito, pequeno passo efetivo e muito recuo.

Setor Intermediário -> Mais energia, menos atrito (porque já há um pouco de sustentação contrapondo o peso, porém não o suficiente para decolar), passo efetivo maior e recuo menor.

Setor final -> Muita energia, muito pouco atrito (pois a sustentação já está muito grande), passo efetivo grande e recuo mínimo. Acft decola com 120 a 130% da velocidade de estol, por segurança.

### 14.2) Pouso de pista

Pouso de pista é mais indicado para acft com trem de pouso triciclo. Consiste em tocar a pista ainda com um pouco de motor e toca-se primeiro o trés de pouso principal, retira-se o motor no toque e deixa-se o outro trem tocar naturalmente com suavidade. Indicado para dias com vento forte.

### 14.3) Pouso três pontos

Preferencialmente executado por acft com trem de pouso convencional. Consistem em aproximar sem motor e tocar as três rodas ao mesmo tempo, na atitude de estol.

### 14.4) Pilonagem e Cavalo de Pau

Pilonagem geralmente ocorre por um comando inadvertido durante o pouso. Acft executa uma espécie de cambalhota ficando com a hélice no chão.

Cavalo de pau geralmente ocorre durante a decolagem ou o pouso por um comando excessivo de pedal, isso faz a acft girar em torno do próprio eixo.

## 15) Estabilidades

### 15.1) Longitudinal

É a estabilidade da fuselagem, que é provida pelas asas, logo a estabilidade longitudinal ocorre ao longo do eixo LATERAL. Eixo lateral é acionado pelo profundor.

Não há nenhum efeito que modifique a estabilidade.

### 15.2) Lateral

É a estabilidade da fuselagem, que é provida pela fuselagem, logo a estabilidade lateral ocorre ao longo do eixo LONGITUDINAL.

Eixo LONGITUDINAL é acionado pelos ailerons.

São influentes os seguintes efeitos (5): Efeito de quilha, distribuição dos pesos, quilha, enflechamento e efeito da fuselagem.

### 15.3) Direcional

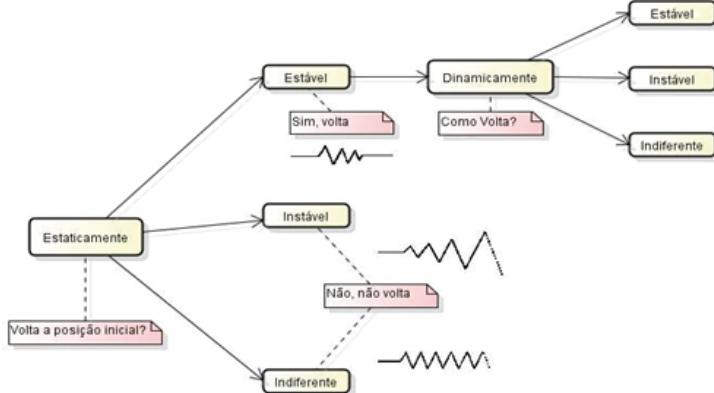
É a estabilidade do nariz da acft, que é provida pelo eixo vertical. Eixo vertical é acionado pelo leme.

Existem 2 efeitos que influenciam a estabilidade: (2) quilha e enflechamento.

É importante saber ir e vir na tabela, ou seja a partir de um dado descobrir os outros:

Estabilidade	EIXO	Sup. de Comando	Efeitos
Longitudinal	Lateral	Profundor	Nenhum
Lateral	Longitudinal	Aileron	TODOS os 5 estudos
Direcional	Vertical	Leme	Enflechamento e Quilha

### 15.4) Classificações



## 16) Parafusos

### 16.1) Por que ocorrem?

Estol assimétrico gerado por torque do motor, rajada de vento, asas com incidências diferentes, curvas

### 16.2) Parafuso convencional

Aeronave entra em parafuso e perde altitude muito rapidamente, mas é possível recuperar através de comandos, pressionando o pedal oposto ao giro e executando uma recuperação gradativa. É preciso estar em uma altura segura para conseguir recuperar.

### 16.3) Parafuso Chato

Aeronave entra em parafuso normal, mas baixa a cauda, isso faz a acft entrar em um auto-giro ou auto-rotação. A turbulência do movimento envolve as superfícies de comando e torna impossível a recuperação através deles. A única forma de recuperar e deslocar a CG para frente, entrar em um parafuso normal e executar a recuperação. Geralmente ocorre com acfts com cauda pesada ou cg próximo ou deslocado do limite traseiro do envelope.

## NOTA DA PROFESSORA:

*Querido aluno, eu espero realmente que o curso, nosso material e todos os detalhes que preparamos com tanto carinho na nossa plataforma de ensino tenha feito diferença no seu estudo, facilitado a sua compreensão e te dado uma ótima base para continuar nessa jornada.*

*Lembre-se que você pode contar sempre conosco e desejamos uma ótima prova!  
Esperamos notícia da sua aprovação, combinado?*

*Nos vemos por aí!  
Um grande abraço e boa sorte!*

*Karen*

