



Parabéns! Você acaba de ter acesso a Versão Anotação dos Slides que fazem parte do Sistema de Ensino da Espaço Aéreo, presente nas principais Universidades, CIACs e Escolas de Aviação do Brasil.

Esse conteúdo foi desenvolvido usando metodologias ativas, gamificadas e conceitos de Sala Invertida, tudo para garantir que o aprendizado possibilite você a conectar a teoria com a prática.



SISTEMA DE ENSINO PARA AVIAÇÃO: FERRAMENTAS LÚDICAS QUE CONECTAM A TEORIA COM A PRÁTICA.

O futuro já chegou na sua aula. Tenho acesso a versão animada dos slides, vídeos de até 20 minutos de todo conteúdo, e-books, mapas mentais, estudos de caso, simulados, resumos, jogos e muito mais.

Verifique com seu professor o link de acesso específico para o material do seu curso ou então conheça todas nossas soluções em:

WWW.ESPACOAREO.COM



GAMIFICAÇÃO



METODOLOGIAS ATIVAS




ESTUDOS DE CASO



SALA INVERTIDA

VIII – GRUPO MOTOPROPULSOR
TEORIA DE VOO - PP



OBJETIVO GERAL

Apresentar algumas definições do sistema propulsivo, fundamentais para a compreensão do desempenho da aeronave. E mais, analisar a geração de tração do grupo motopropulsor formado por motor e hélice, a geometria da hélice, e reações aerodinâmicas e inerciais desse grupo motopropulsor.

Universidade Federal de São Carlos - UFSCAR

1

VIII – GRUPO MOTOPROPULSOR
TEORIA DE VOO - PP

ROTEIRO


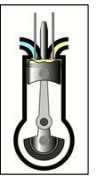

1. Definições de potência
2. Princípios da hélice
3. Ângulo de passo
4. Torque
5. Efeito esteira
6. Carga assimétrica ou Fator P
7. Efeito da precessão giroscópica
8. Tipos de hélices
9. Eficiência ou rendimento da hélice

Universidade Federal de São Carlos - UFSCAR

2

1 – DEFINIÇÕES DE POTÊNCIA
GRUPO MOTOPROPULSOR Cap. VII

- Potência Teórica
- Potência Indicada
- Potência Efetiva ou Potência no Pisto
- Potência Máxima
- Potência de Nominal
- Potência de Atrito
- Potência Útil

Universidade Federal de São Carlos - UFSCAR

3

1 - DEFINIÇÕES DE POTÊNCIA

GRUPO MOTOPROPULSOR

Cap. VII

- Potência Teórica
- Potência Indicada
- Potência Efetiva ou Potência ao Freio**
- Potência Máxima
- Potência de Nominal**
- Potência de Atrito
- Potência Útil**

3 principais para Teoria de Voo

1 - DEFINIÇÕES DE POTÊNCIA

GRUPO MOTOPROPULSOR

Cap. VII

4

1 - DEFINIÇÕES DE POTÊNCIA

GRUPO MOTOPROPULSOR

Cap. VII

- Potência Teórica
- Potência Indicada
- Potência Efetiva ou Potência ao Freio**
- Potência Máxima
- Potência de Nominal**
- Potência de Atrito
- Potência Útil**

BANCADA DE TESTES



MEDIDA NO EIXO DA HÉLICE
25% a 30% da potência teórica

1 - DEFINIÇÕES DE POTÊNCIA

GRUPO MOTOPROPULSOR

Cap. VII

5

1 - DEFINIÇÕES DE POTÊNCIA

GRUPO MOTOPROPULSOR

Cap. VII

- Potência Teórica
- Potência Indicada
- Potência Efetiva ou Potência ao Freio**
- Potência Máxima
- Potência de Nominal**
- Potência de Atrito
- Potência Útil**

BANCADA DE TESTES



POTÊNCIA EFETIVA MÁXIMA
Sem limite de tempo
Potência Máxima Contínua
Especificações do Motor

1 - DEFINIÇÕES DE POTÊNCIA

GRUPO MOTOPROPULSOR

Cap. VII

6

1 - DEFINIÇÕES DE POTÊNCIA
GRUPO MOTOPROPULSOR

Cap. VII

POTÊNCIA DESENVOLVIDA NO AVIÃO

Potência Teórica

Potência Indicada

Potência Efetiva ou Potência ao Fuso

Potência Máxima

Potência de Nominal

Potência de Atrito

Potência Útil

$P_{util} = P_{efetiva} \times \eta_{hlice}$

η_{hlice} - Eficiência ou Rendimento da hélice

Fundamentos e Teoria de Voo de Balsa Volante - Prof. Renato - 2014

7

1 - DEFINIÇÕES DE POTÊNCIA
GRUPO MOTOPROPULSOR

Cap. VII

Necessária para vencer o arrasto aerodinâmico

Arrasto

Disponibilizada pelo grupo motopropulsor

Tração

1) Qual a diferença entre **potência necessária (requerida)** e potência disponível?

APENAS PARA AMPLIAR O CONHECIMENTO

Potência = Arrasto x Velocidade

Potência = Tração x Velocidade

Fundamentos e Teoria de Voo de Balsa Volante - Prof. Renato - 2014

8

1 - DEFINIÇÕES DE POTÊNCIA
GRUPO MOTOPROPULSOR

Cap. VII

Potência Requerida

Arrasto

Potência Disponível

Tração

- **ESTOL** - Menor velocidade para um nívelado
- **MÍNIMA** - Maior que a velocidade de estol, devido ao grande arrasto.
- **MÁXIMA AUTONOMIA** - Menor quantidade de combustível consumido, devido a mínima potência requerida.
- **MÁXIMO ALCANCE** - Maior distância voada devido a sua grande eficiência aerodinâmica (C_L/C_D)_{HELIXE0}
- **MÁXIMA** - Maior velocidade para o voo horizontal nívelado.

Fundamentos e Teoria de Voo de Balsa Volante - Prof. Renato - 2014

9

2 – PRINCÍPIOS DA HÉLICE
GRUPO MOTOPROPULSOR

2) Como a hélice gera tração no avião?

Cap. VII

10

2 – PRINCÍPIOS DA HÉLICE
GRUPO MOTOPROPULSOR

(ANDERSON, 2000)

Cap. VII

11

2 – PRINCÍPIOS DA HÉLICE
GRUPO MOTOPROPULSOR

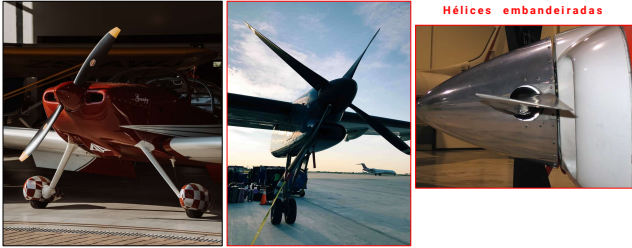
TORÇÃO EM TODA A PÁ
ÂNGULOS DIFERENTES

(ANDERSON, 2000)

Cap. VII

12

2 – PRINCÍPIOS DA HÉLICE
GRUPO MOTOPROPULSOR Cap. VII



Hélices embandeiradas

Introdução à Teoria de Voo de Baixa Velocidade – Prof. Renato – pag. 125

13

2 – PRINCÍPIOS DA HÉLICE
GRUPO MOTOPROPULSOR Cap. VII



- ✓ A **raiz da hélice** possui **maior espessura**
- ✓ Torção constante em toda a pá
- ✓ Ângulos diferentes

Introdução à Teoria de Voo de Baixa Velocidade – Prof. Renato – pag. 125


14

3 – ÂNGULO DE PASSO
GRUPO MOTOPROPULSOR Cap. VII



3) Como identificar o ângulo de passo da hélice?

Formado entre **PLANO DE GIRO** e **LINHA DA CORDA**



Introdução à Teoria de Voo de Baixa Velocidade – Prof. Renato – pag. 126

15

3 – ÂNGULO DE PASSO
GRUPO MOTOPROPULSOR

4) Qual a diferença entre **ângulo de ataque** e **ângulo de passo**?

- ✓ **Ângulo de Ataque:** corda e o **vento relativo**
- ✓ **Ângulo de Passo:** corda e o **plano de rotação**

Tração

Linha da corda

Vento relativo

Velocidade de rotação

Linha da corda

Vento relativo

Velocidade de rotação

16

3 – ÂNGULO DE PASSO
GRUPO MOTOPROPULSOR

3.1 - Passo efetivo

Giro da hélice

Situação real

Situação teórica

MATERIAL SÓLIDO

Passo teórico – Hélice com 100% de eficiência

Passo efetivo – Hélice com 70% de eficiência

Recuo

17

3 – ÂNGULO DE PASSO
GRUPO MOTOPROPULSOR

- ✓ Ar é um meio fluido
- ✓ Passo Geométrico = Passo Efetivo

Recuo

Passo efetivo **ou** avanço

Passo geométrico

18

4 - TORQUE
GRUPO MOTOPROPULSOR

5) Como é gerado o torque na hélice?

(WARD, 2013)

19

4 - TORQUE
GRUPO MOTOPROPULSOR

6) Qual a consequência do torque durante o voo?

3ª Lei de Newton

REAÇÃO

AÇÃO

20

4 - TORQUE
GRUPO MOTOPROPULSOR

Reação

Ação

→ Tendência de rolar a aeronave, no sentido contrário da rotação da hélice.

→ Quanto maior o ângulo de passo, maior o torque.

21

4 - TORQUE
GRUPO MOTOPROPULSOR Cap. VII

6) E qual a consequência do torque durante a corrida de decolagem?

Para o exemplo

- ✓ Maior força normal no trem de pouso esquerdo.
- ✓ Maior atrito de rolagem no trem de pouso esquerdo.
- ✓ **QUINAR PARA A ESQUERDA** na corrida de decolagem.

1. Fundamentos e Teoria de Voo de Balsa Modelada - Prof. Renato - pag. 120

22

5 - EFEITO ESTEIRA
GRUPO MOTOPROPULSOR Cap. VII

7) O que o vento induzido pela hélice faz na aeronave?

1. Fundamentos e Teoria de Voo de Balsa Modelada - Prof. Renato - pag. 120

23

5 - EFEITO ESTEIRA
GRUPO MOTOPROPULSOR Cap. VII

Vórtice da ponta da pá na direção anterior do fuselagem

Hélice com giro horário na visão do piloto

Vórtice da ponta da hélice girando para a direita

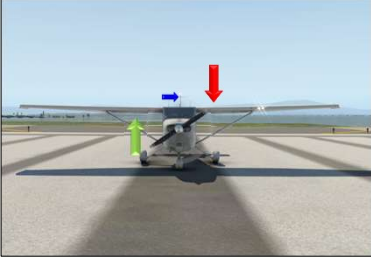
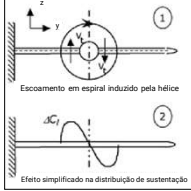
(GUDMUNDSSON, 2014)

1. Fundamentos e Teoria de Voo de Balsa Modelada - Prof. Renato - pag. 120

24

5 - EFEITO ESTEIRA
GRUPO MOTOPROPULSOR

O efeito esteira também atinge a asa e causa uma **tendência de rolagem?**


Escoramento em espiral induzido pela hélice

Efeito simplificado na distribuição de sustentação

25

6 - CARGA ASSIMÉTRICA
GRUPO MOTOPROPULSOR

8) Tem como **uma pá** gerar **mais tração** do que a **outra?**




Fator P (Propeller) ou Carga Assimétrica

26

6 - CARGA ASSIMÉTRICA
GRUPO MOTOPROPULSOR

Modificou o **vento relativo** e **ângulo de ataque** da pá!



Fator P (Propeller) ou Carga Assimétrica

27

6 - CARGA ASSIMÉTRICA
GRUPO MOTOPROPULSOR

Cap. VII

(GUMUNDSSON, 2014)

28

6 - CARGA ASSIMÉTRICA
GRUPO MOTOPROPULSOR

Cap. VII

Motor crítico em bimotores

(GUMUNDSSON, 2014)

29

6 - CARGA ASSIMÉTRICA
GRUPO MOTOPROPULSOR

Cap. VII

Motor crítico em bimotores

POSSUI MOTOR CRÍTICO
No caso é o MOTOR ESQUERDO

(GUMUNDSSON, 2014)

30

6 – CARGA ASSIMÉTRICA
GRUPO MOTOPROPULSOR Cap. VII

Falha no motor em bimotores
Perda de desempenho na subida (pistão)

	Altitude máxima possível (m)	Altitude máxima possível (ft)	Ponto em %
Beech Bonan 18	1144	3753	87,76
Beech Queen Air	1271	4170	83,33
Beech Duke	760	2493	89,88
Cessna 170	1403	4599	78,13
Cessna 240	1590	5215	83,33
Cessna 441B	1920	6283	83,33
Piper Archer	1440	4724	85,98
Piper Navajo Cherokee	1740	5725	83,43
Piper Navajo Pressurizado	1740	5725	83,28
Piper Seneca II	1800	5905	85,78

Tração Necessária e Disponível x Velocidade em Voo Nivelado

OPERAÇÃO NORMAL
 $L = W$
C Centro de Gravidade

UM MOTOR INOPERANTE
"Inclinar para cima do motor bom"
 $L_y = W$
 $L_x = W \sin \phi$
 $\phi \approx 2-3^\circ$ (típico)
No máximo 5°
C Centro de Gravidade
(GUDMUNDSSON, 2014)

31

7 – EFEITO DE PRECESSÃO GIROSCÓPICA
GRUPO MOTOPROPULSOR Cap. VII

9) O que acontece se eu realizar uma arfagem?

32

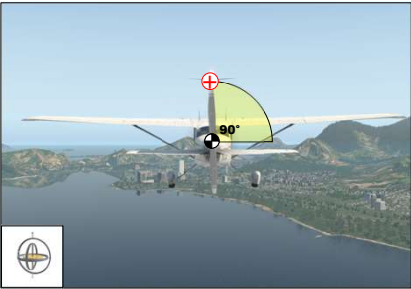
7 – EFEITO DE PRECESSÃO GIROSCÓPICA
GRUPO MOTOPROPULSOR Cap. VII

9) O que acontece se eu realizar uma arfagem?

A força é sentida a 90° no sentido de rotação da hélice.


33

7 – EFEITO DE PRECESSÃO GIROSCÓPICA
GRUPO MOTOPROPULSOR Cap. VII



9) O que acontece se eu realizar uma **arfagem**?

A força é sentida a **90°** no sentido de rotação da hélice.



Transmissão e Teoria de Voo de Baixa Velocidade – Prof. Renato – 2011 a 2012

34

7 – EFEITO DE PRECESSÃO GIROSCÓPICA
GRUPO MOTOPROPULSOR Cap. VII



9) O que acontece se eu realizar uma **arfagem**?

A força é sentida a **90°** no sentido de rotação da hélice.







Transmissão e Teoria de Voo de Baixa Velocidade – Prof. Renato – 2011 a 2012

35

7 – EFEITO DE PRECESSÃO GIROSCÓPICA
GRUPO MOTOPROPULSOR Cap. VII

→ Hélices contra rotativas

- ✓ Efeito giroscópico
- ✓ Carga assimétrica
- ✓ Efeito esteira



Transmissão e Teoria de Voo de Baixa Velocidade – Prof. Renato – 2011 a 2012

36

8 – TIPOS DE HÉLICES
GRUPO MOTOPROPULSOR Cap. VII

9) Quais são os **tipos de hélices** que existem?

- PASSO FIXO
- PASSO AJUSTÁVEL
- PASSO CONTROLÁVEL





Universidade de São Paulo - Escola de Engenharia - Av. Penteado, 124 - São Carlos, SP - 13566-590

37

8 – TIPOS DE HÉLICES
GRUPO MOTOPROPULSOR Cap. VII

8.1 - Hélice de passo fixo



RPM varia com potência e velocidade

Universidade de São Paulo - Escola de Engenharia - Av. Penteado, 124 - São Carlos, SP - 13566-590

38

8 – TIPOS DE HÉLICES
GRUPO MOTOPROPULSOR Cap. VII

8.2 - Hélice de passo ajustável



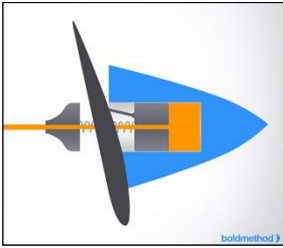
Ajuste no solo

Universidade de São Paulo - Escola de Engenharia - Av. Penteado, 124 - São Carlos, SP - 13566-590


39

8 - TIPOS DE HÉLICES
GRUPO MOTOPROPULSOR Cap. VII

8.3 - Hélice de passo controlável



Que pode ser de forma **manual**, por **contrapesos** ou por **governador**.



boldmethod


Instrumentos e Técnicas de Voo de Baixa Velocidade - Prof. Renato pag. 206

40

8 - TIPOS DE HÉLICES
GRUPO MOTOPROPULSOR Cap. VII

8.3 - Hélice de passo controlável

→ Manual



Instrumentos e Técnicas de Voo de Baixa Velocidade - Prof. Renato pag. 206

41

8 - TIPOS DE HÉLICES
GRUPO MOTOPROPULSOR Cap. VII



ARRASTO

Vento Relativo



Instrumentos e Técnicas de Voo de Baixa Velocidade - Prof. Renato pag. 206

42

8 - TIPOS DE HÉLICES
GRUPO MOTOPROPULSOR Cap. VII

ARRASTO

Vento Relativo

Diagram illustrating the RPM gauge and control levers. The RPM gauge shows a needle pointing to approximately 20. The control levers are shown in a central position. A diagram of a propeller blade shows a red arrow labeled 'ARRASTO' (Drag) pointing upwards and a blue arrow labeled 'Vento Relativo' (Relative Wind) pointing upwards.

43

8 - TIPOS DE HÉLICES
GRUPO MOTOPROPULSOR Cap. VII

ARRASTO

Vento Relativo

Diagram illustrating the RPM gauge and control levers. The RPM gauge shows a needle pointing to approximately 20. The control levers are shown in a central position. A diagram of a propeller blade shows a red arrow labeled 'ARRASTO' (Drag) pointing upwards and a blue arrow labeled 'Vento Relativo' (Relative Wind) pointing upwards.

44

8 - TIPOS DE HÉLICES
GRUPO MOTOPROPULSOR Cap. VII

8.3 - Hélice de passo controlável

Manual

ROTAÇÃO ELEVADA
AUMENTAR O PASSO

Diagram illustrating the manual pitch control levers. The levers are shown in a position that increases the pitch. A diagram of an aircraft shows the propeller in a high-pitch position.

45

8 - TIPOS DE HÉLICES

GRUPO MOTOPROPULSOR

8.3 - Hélice de passo controlável

→ Manual



ROTAÇÃO REDUZIDA
DIMINUIR O PASSO

Cap. VII

1.º Seminário de Engenharia e Técnica de Voo de Baixa Velocidade - Prof. Renato - 14.06.2018

46

8 - TIPOS DE HÉLICES

GRUPO MOTOPROPULSOR

8.3 - Hélice de passo controlável

→ Contrapesos

HÉLICE DE VELOCIDADE CONSTANTE



Utiliza a **força centrífuga** para ajustar o **ângulo** da hélice e manter a **velocidade de giro constante**.



Cap. VII

1.º Seminário de Engenharia e Técnica de Voo de Baixa Velocidade - Prof. Renato - 14.06.2018

47

8 - TIPOS DE HÉLICES

GRUPO MOTOPROPULSOR

8.3 - Hélice de passo controlável

→ Governador

HÉLICE DE VELOCIDADE CONSTANTE

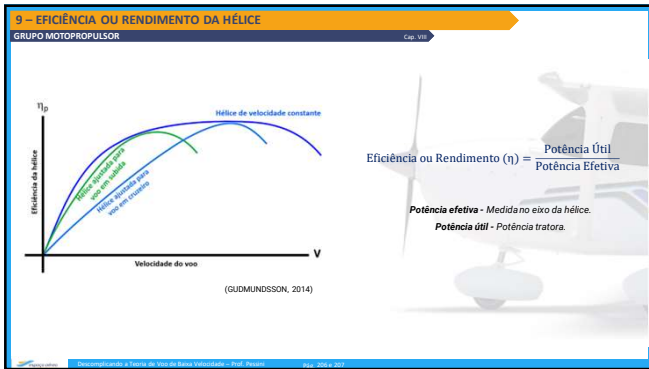


Elétrico ou hidráulico

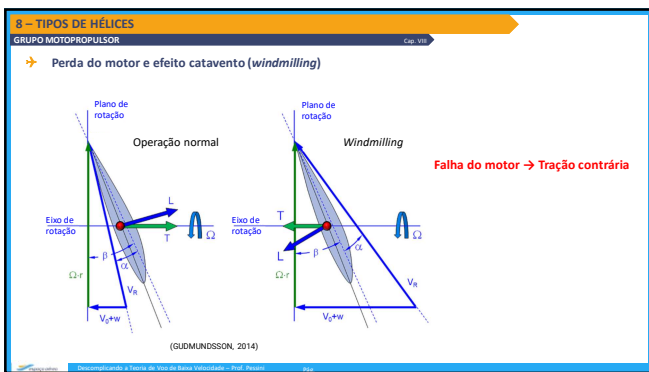
Cap. VII

1.º Seminário de Engenharia e Técnica de Voo de Baixa Velocidade - Prof. Renato - 14.06.2018

48



49



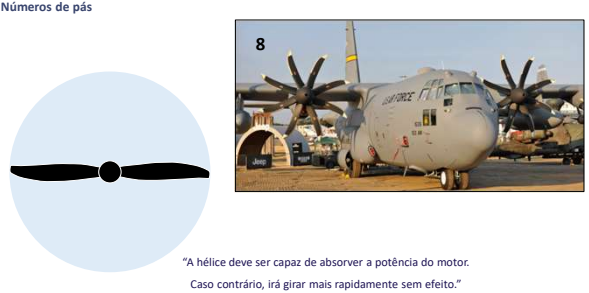
50



51

8 – TIPOS DE HÉLICES
GRUPO MOTOPROPULSOR Cap. VII

→ Números de pás



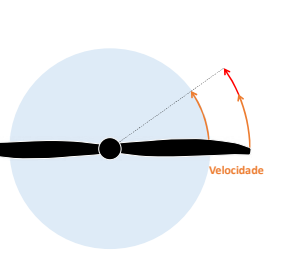
8

“A hélice deve ser capaz de absorver a potência do motor.
Caso contrário, irá girar mais rapidamente sem efeito.”

52

8 – TIPOS DE HÉLICES
GRUPO MOTOPROPULSOR Cap. VII

→ Números de pás



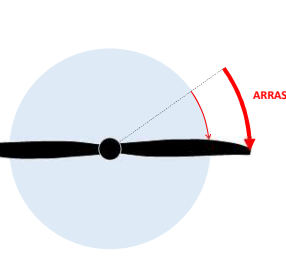
Velocidade

- ✎ Aumentando o diâmetro
- ✎ Maior razão de aspecto (Aalongamento)
- ✎ Maior velocidade linear na ponta

53

8 – TIPOS DE HÉLICES
GRUPO MOTOPROPULSOR Cap. VII

→ Números de pás



ARRASTO

- ✎ Aumentando o diâmetro
- ✎ **Maior** razão de aspecto (Aalongamento)
- ✎ **Maior** velocidade linear na ponta
- ✎ **Problemas de compressibilidade**
- ✎ **Maior arrasto na ponta**

54

8 - TIPOS DE HÉLICES

GRUPO MOTOPROPULSOR Cap. VII

→ Números de pás

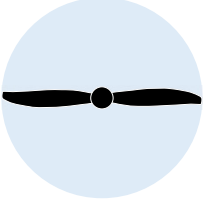


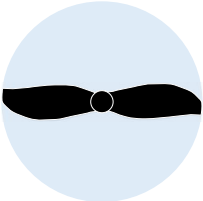
Diagram showing a propeller with two blades (two-pas) inside a light blue circle. The propeller is centered on a horizontal axis.

55

8 - TIPOS DE HÉLICES

GRUPO MOTOPROPULSOR Cap. VII

→ Números de pás



- ↘ Aumentando a corda
- ↘ **Menor** razão de aspecto
- ↘ **Menor** eficiência

Ruim

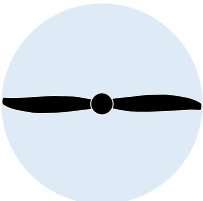
Diagram showing a propeller with four blades (four-pas) inside a light blue circle. The propeller is centered on a horizontal axis.

56

8 - TIPOS DE HÉLICES

GRUPO MOTOPROPULSOR Cap. VII

→ Números de pás



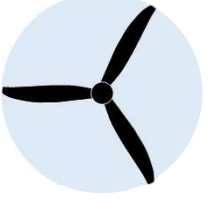
Então...

Diagram showing a propeller with two blades (two-pas) inside a light blue circle. The propeller is centered on a horizontal axis.

57

8 – TIPOS DE HÉLICES
GRUPO MOTOPROPULSOR Cap. VII

→ Números de pás

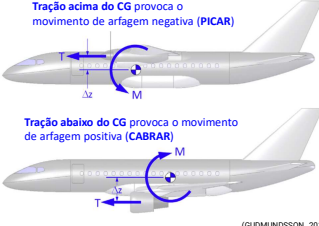


Mais pás

Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro – Prof. Renato – 2024

58

10 – POSICIONAMENTO DO MOTOR
GRUPO MOTOPROPULSOR Cap. VII



Tração acima do CG provoca o movimento de arfagem negativa (**PICAR**)



Tração abaixo do CG provoca o movimento de arfagem positiva (**CABRAR**)

(GUDMUNDSSON, 2014)

Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro – Prof. Renato – 2024

59

ATENÇÃO
GRUPO MOTOPROPULSOR Cap. VII

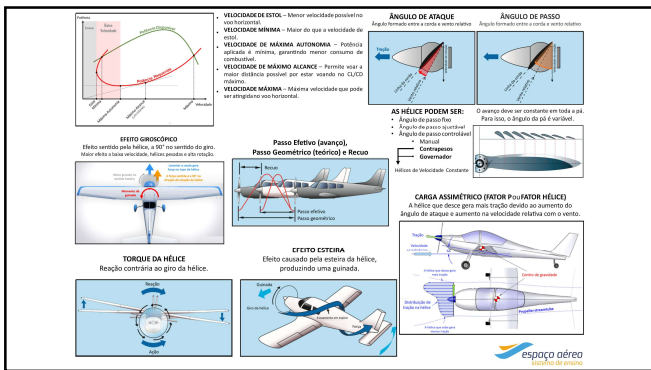


Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro – Prof. Renato – 2024

60




61



62



63

 **Exercício**

Clique no botão **Exercício** para editar este objeto

O Grupo Motopropulsor, responsável pela tração da aeronave, está submetido a perdas que são inerentes à geração de potência, principalmente pelo atrito das peças internas e perdas energéticas. Por isso, quando se analisa a potência efetiva do grupo motopropulsor, está sendo analisado a potência:

- medida no eixo da hélice
- máxima fornecida pelo motor
- desenvolvida durante o voo
- da queima de combustível

64



Vamos Jogar?



espaço aéreo

65

 **Objeto WEB**

Selecione este objeto e clique no botão **Botão Objeto da Web** para editar



66



Feedback

Acesse a plataforma e responda o feedback

- Seja honesto
- Não precisa se identificar
- Fique a vontade para sugestões e críticas.

67

 Objeto WEB

Selecione este objeto e clique no botão **Botão Objeto da Web** para editar



68
