

Aerodinâmica da Asa Projeto



Definições preliminares

- Definição do alongamento

- Alterações na envergadura – com corda fixa

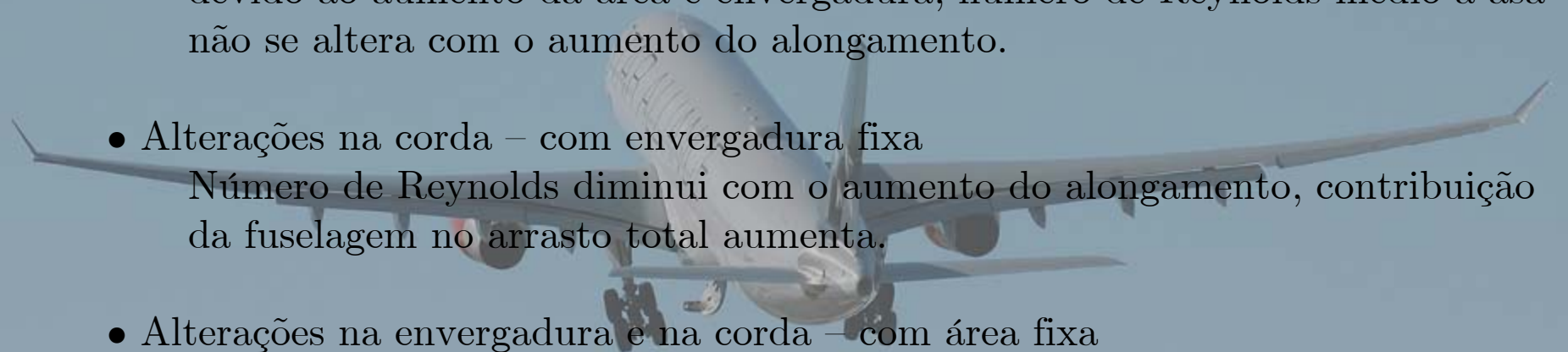
Aumento de área alar, aumentando o tamanho da aeronave, influência da fuselagem no arrasto total é reduzida, necessidade de empenagens maiores devido ao aumento da área e envergadura, número de Reynolds médio a asa não se altera com o aumento do alongamento.

- Alterações na corda – com envergadura fixa

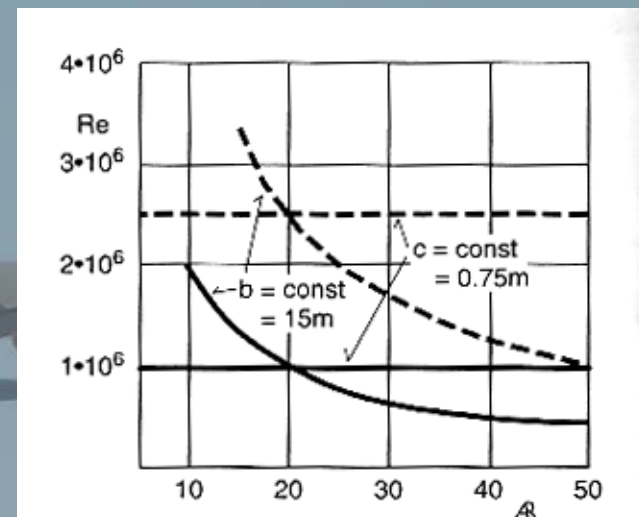
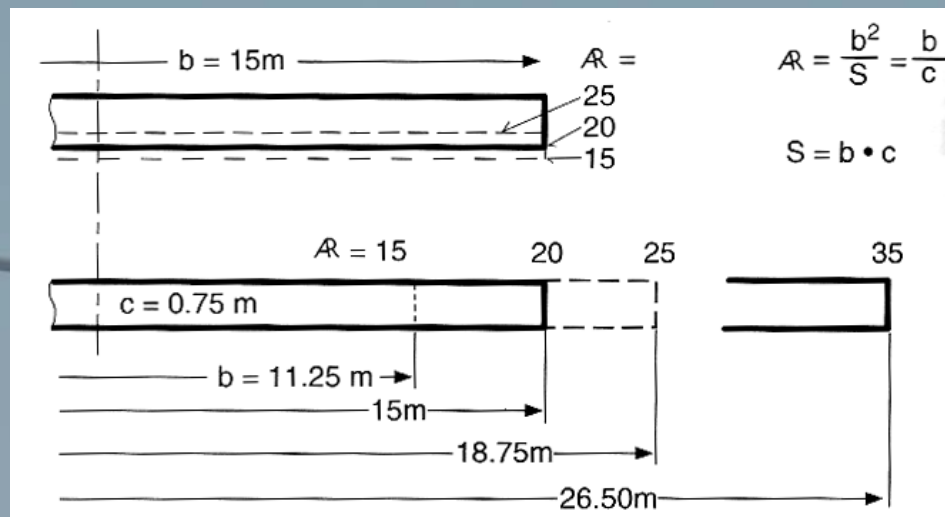
Número de Reynolds diminui com o aumento do alongamento, contribuição da fuselagem no arrasto total aumenta.

- Alterações na envergadura e na corda – com área fixa

Relação entre o arrasto da fuselagem e o arrasto total fica inalterada, pequenos efeitos de alteração de número de Reynolds.



Definições preliminares



Definições preliminares

- Definição do alongamento
 - Exemplo – planador classe 15 metros.

Table 5: (a) Wing geometric parameters with span held fixed.

AR	b [m]	c [m]	S [m ²]	Re _c	Re _G
10	15	1.50	22.50	$2.00 \cdot 10^6$	$5.00 \cdot 10^5$
15	15	1.00	15.00	$1.33 \cdot 10^6$	$3.33 \cdot 10^5$
20	15	0.75	11.25	$1.00 \cdot 10^6$	$2.50 \cdot 10^5$
22.5	15	0.67	10.00	$0.89 \cdot 10^6$	$2.23 \cdot 10^5$
25	15	0.60	9.00	$0.80 \cdot 10^6$	$2.00 \cdot 10^5$
30	15	0.50	7.50	$0.67 \cdot 10^6$	$1.67 \cdot 10^5$
35	15	0.43	6.45	$0.57 \cdot 10^6$	$1.43 \cdot 10^5$
40	15	0.38	5.70	$0.51 \cdot 10^6$	$1.27 \cdot 10^5$

Climb Reynolds number Re_c based on V=72 km/h = 20 m/s.

Glide Reynolds number Re_G based on V=180 km/h = 50 m/s.

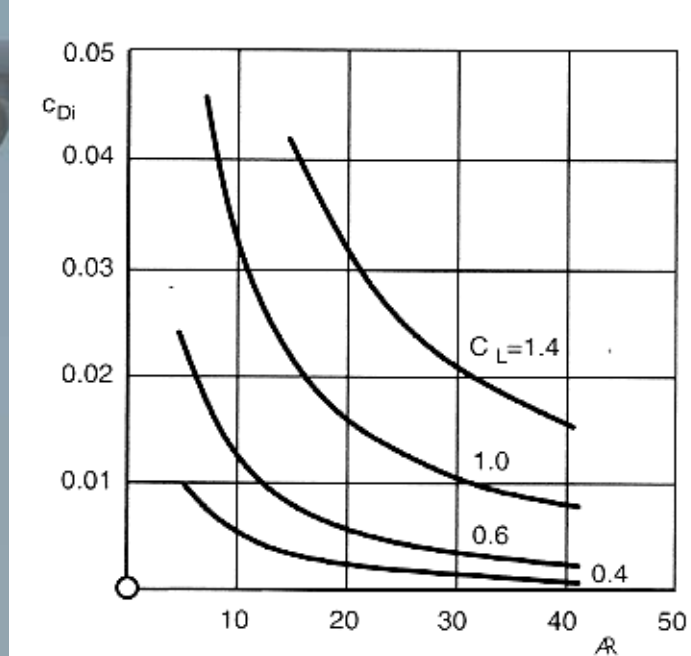
(b) Wing geometric parameters for constant chord, c=0.75m, Re_c = $1 \cdot 10^6$ and Re_G = $2.5 \cdot 10^5$.

AR	10	15	20	25	30	35	40
b [m]	7.50	11.25	15.00	18.75	22.75	26.50	30.00
S [m ²]	5.63	8.44	11.25	14.06	17.06	19.88	22.50

Definições preliminares

- Definição do alongamento
 - Exemplo – planador classe 15 metros.
 - Arrasto induzido da asa

$$C_{Di} = k \frac{C_L^2}{\pi AR}$$



Definições preliminares

- Definição do alongamento

- Exemplo – planador classe 15 metros.

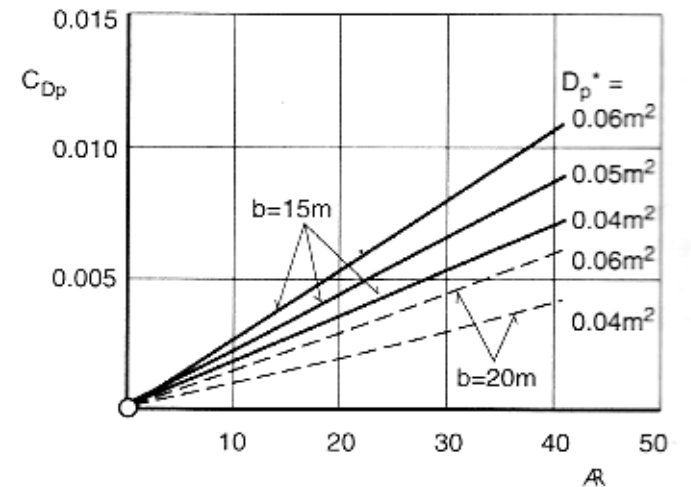
- Arrasto parasita : assumindo que o arrasto parasita da fuselagem, empenagens, e equipamentos não se altera com as alterações de área.

$$D_p = C_{Dp} qS$$

$$C_{Dp} = \frac{D_p}{qS} = \frac{D_p}{qS} \frac{b^2}{b^2} = \frac{D_p}{qb^2} AR$$

$$D_p^* = \frac{D_p}{q}$$

$$C_{Dp} = \frac{D_p^*}{b^2} AR$$

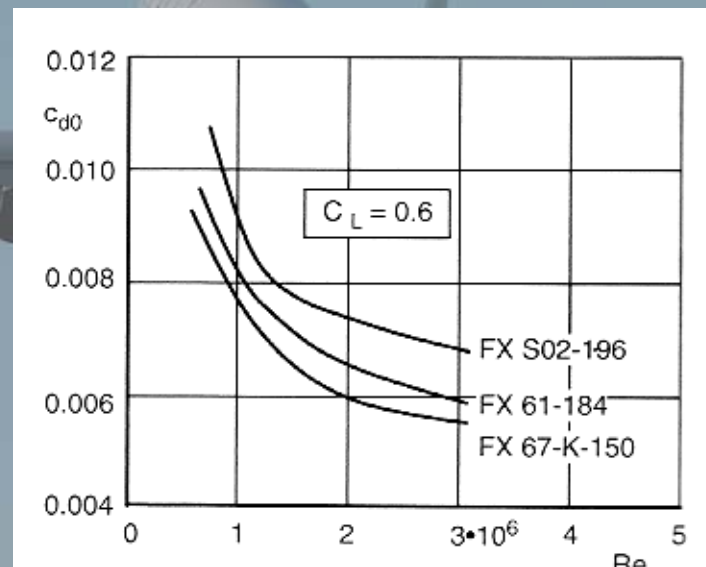


Definições preliminares

- Definição do alongamento

- Exemplo – planador classe 15 metros.

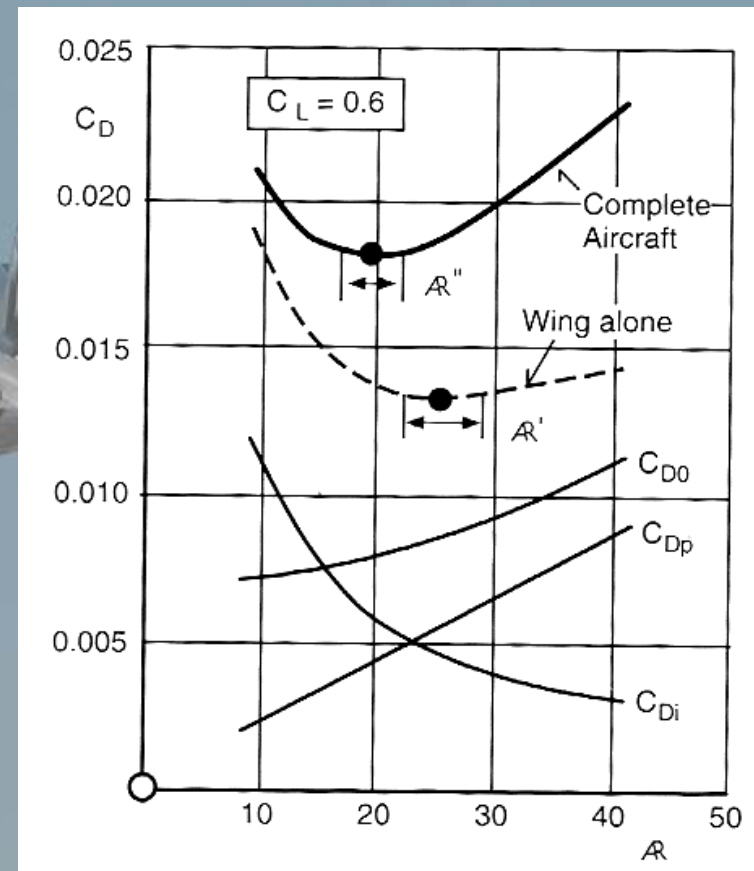
- Arrasto parasita da asa: Efeito da diminuição do número de Reynolds.



Definições preliminares

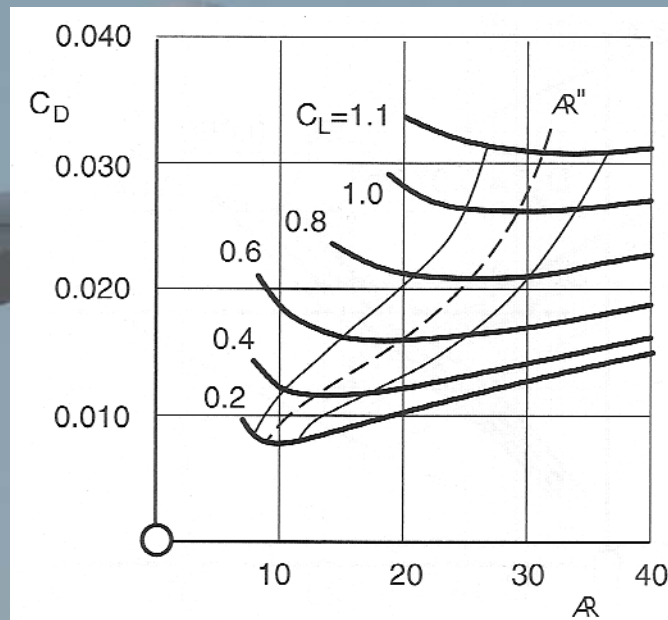
- Definição do alongamento
 - Exemplo – planador classe 15 metros.
 - Arrasto total

$C_{D_i} + C_{D_{ij}}$ wing only
 $C_{D_i} + C_{D_0} + C_{D_p}$ complete aircraft
Example:
 $C_L = 0.6$
 $b = 15\text{m}$
 $D_p^* = 0.050\text{m}^2$
FX S 02-196 Airfoil
 R' , R'' = aspect ratios for minimum overall drag.



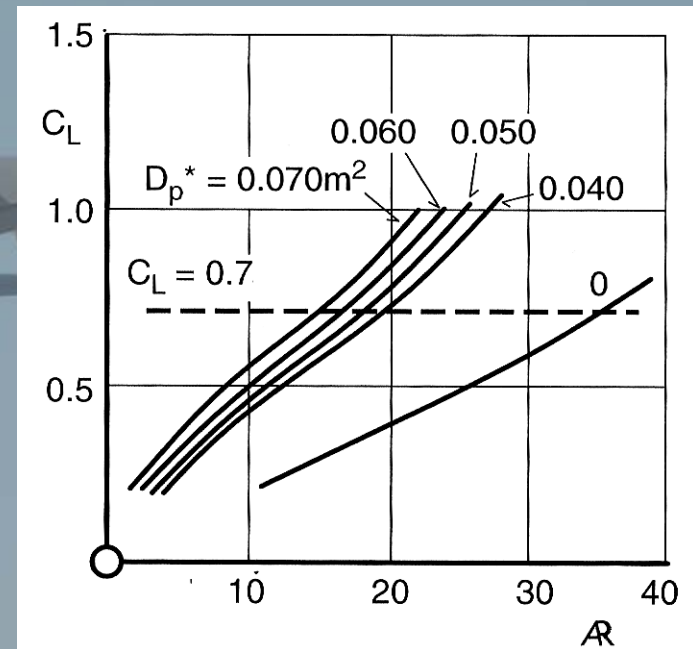
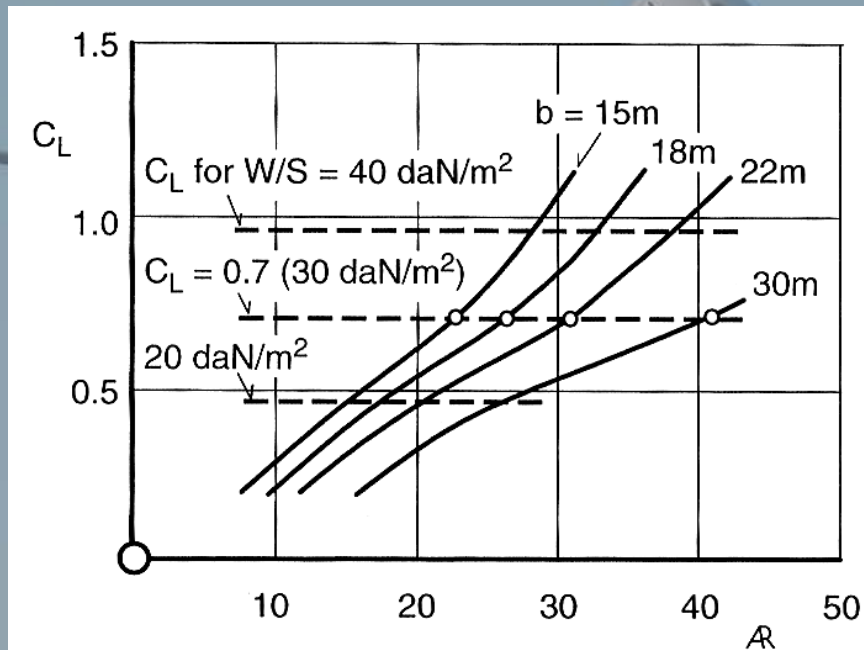
Definições preliminares

- Definição do alongamento
 - Exemplo – planador classe 15 metros.
 - Arrasto total



Definições preliminares

- Definição do alongamento
 - Exemplo – planador classe 15 metros.
 - Influência dos parâmetros de projeto

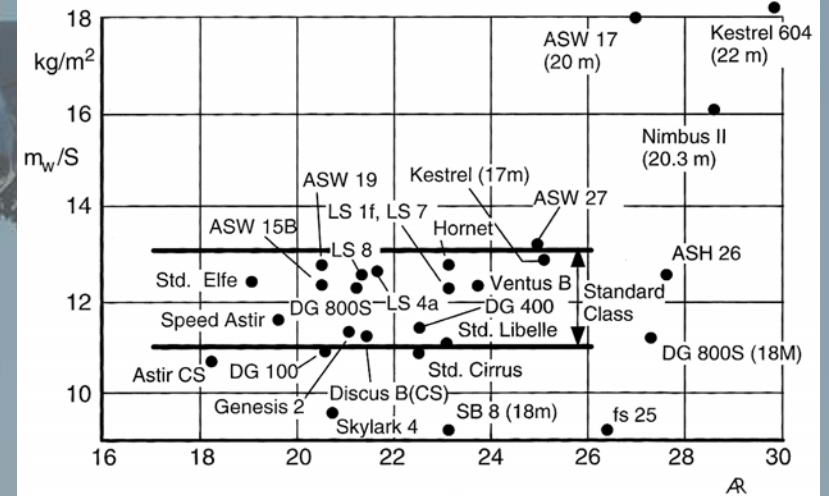
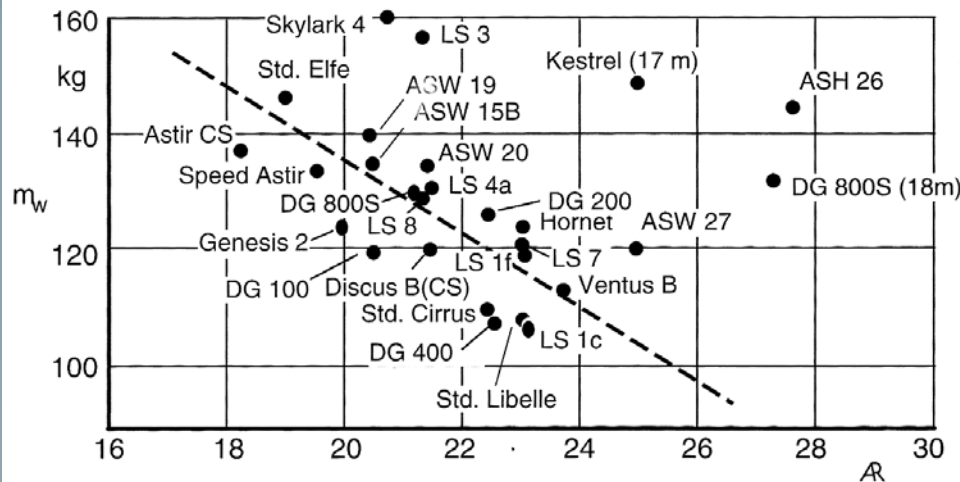


Definições preliminares

- Definição do alongamento

- Exemplo – planador classe 15 metros.

- Peso estrutural: aparentemente não depende do alongamento para uma classe de aeronaves. Tem dependência com a área, os materiais de fabricação e com a espessura relativa.



Definições preliminares

- Definição do alongamento

- Exemplo – planador classe 15 metros.

- Peso estrutural: aparentemente não depende do alongamento para uma classe de aeronaves. Tem dependência com a área, os materiais de fabricação e com a espessura relativa.

Caça:

$$W_{\text{wing}} = 0.0103 K_{\text{dw}} K_{\text{vs}} (W_{\text{dg}} N_z)^{0.5} S_w^{0.622} A^{0.785} (t/c)_{\text{root}}^{-0.4} \\ \times (1 + \lambda)^{0.05} (\cos \Lambda)^{-1.0} S_{\text{CSW}}^{0.04}$$

Transporte:

$$W_{\text{wing}} = 0.0051 (W_{\text{dg}} N_z)^{0.557} S_w^{0.649} A^{0.5} (t/c)_{\text{root}}^{-0.4} (1 + \lambda)^{0.1} \\ \times (\cos \Lambda)^{-1.0} S_{\text{CSW}}^{0.1}$$

Aviação Geral:

$$W_{\text{wing}} = 0.036 S_w^{0.758} W_{\text{fw}}^{0.0035} \left(\frac{A}{\cos^2 \Lambda} \right)^{0.6} q^{0.006} \lambda^{0.04} \left(\frac{100 t/c}{\cos \Lambda} \right)^{-0.3} (N_z W_{\text{dg}})^{0.49}$$

Definições preliminares

- Definição da carga alar

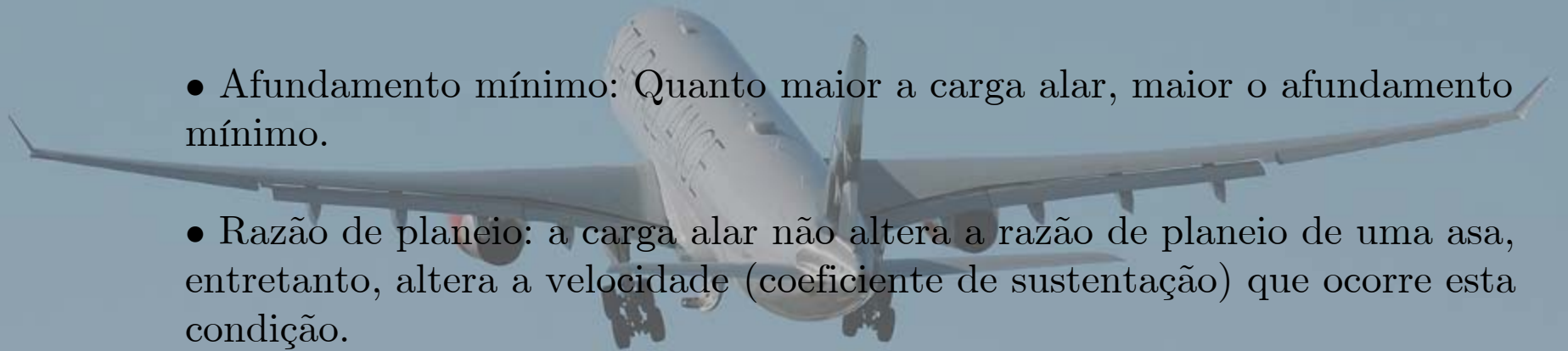
- Influências:

- Velocidade de Estol: Quanto maior a carga alar, menor a velocidade de estol.

- Afundamento mínimo: Quanto maior a carga alar, maior o afundamento mínimo.

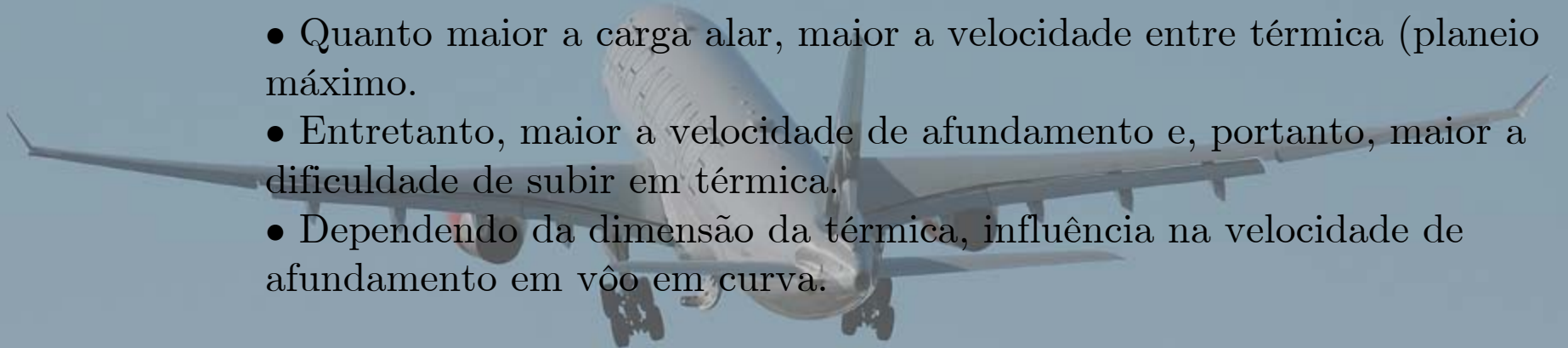
- Razão de planeio: a carga alar não altera a razão de planeio de uma asa, entretanto, altera a velocidade (coeficiente de sustentação) que ocorre esta condição.

- Efeitos secundários em manobrabilidade, estabilidade, dentre outros.



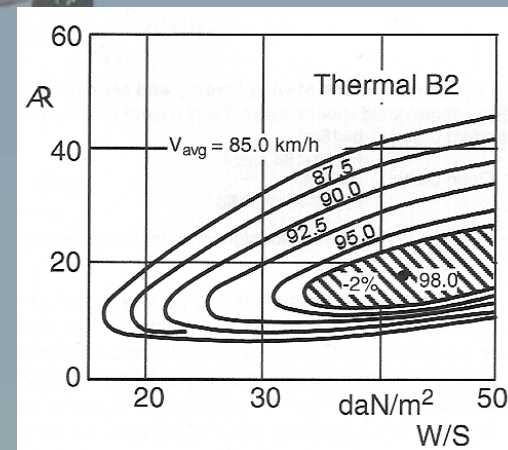
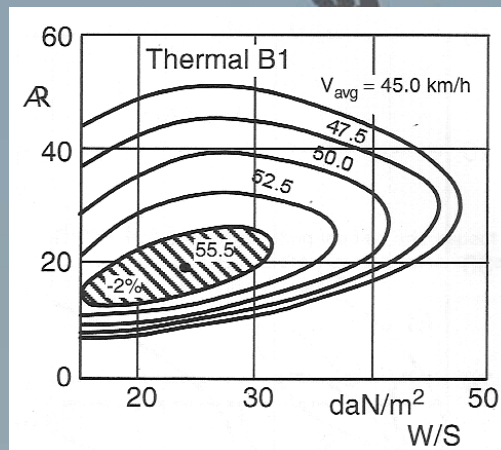
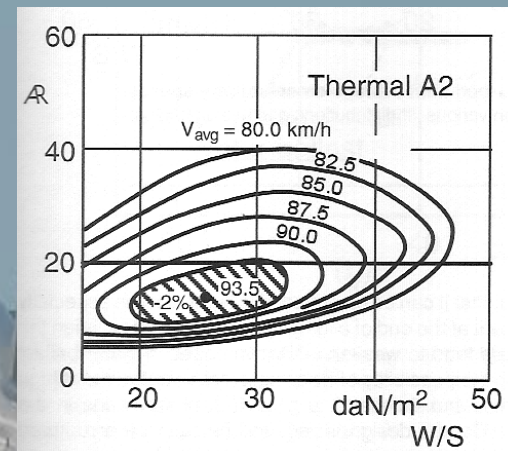
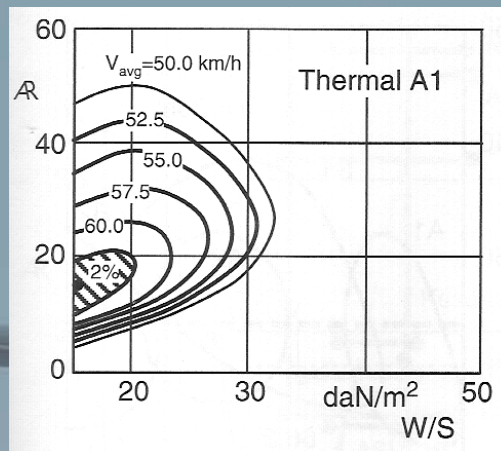
Definições preliminares

- Definição da carga alar
 - Exemplo, planadores:
 - Dependência da condição climática – tipo de térmica.
 - Quanto maior a carga alar, maior a velocidade entre térmica (planeio máximo).
 - Entretanto, maior a velocidade de afundamento e, portanto, maior a dificuldade de subir em térmica.
 - Dependendo da dimensão da térmica, influência na velocidade de afundamento em voo em curva.
 - Térmicas padrões de Horstmann:
 - A1 – estreita/fraca
 - A2 – estreita/forte
 - B1 – larga/fraca
 - B2 – larga/forte




Definições preliminares

- Definição da carga alar
- Exemplo, planadores:



Definições preliminares

- Perfilagem:
 - exibir baixo arrasto em condições de alta velocidade (ou seja baixo coeficiente de sustentação).
 - exibir baixo arrasto em condições de baixa velocidade (alto coeficiente de sustentação).
 - apresentar alto máximo de coeficiente de sustentação.
 - apresentar estol suave.
 - ter baixa influência com acabamento superficial e contaminações.
 - ter o grande espessura relativa
- 

Definições preliminares

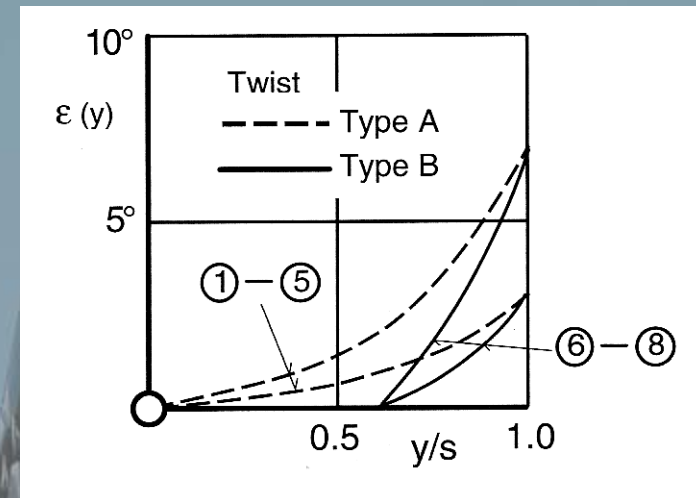
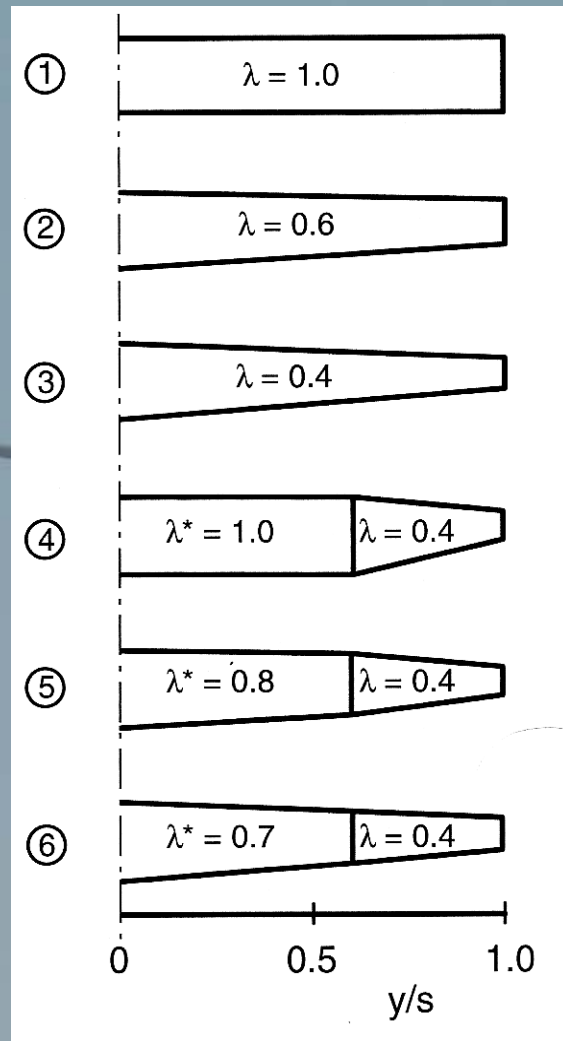
- Forma em planta:
 - asa elíptica (sem torça e enflechamento):
 - distribuição de sustentação elíptica.
 - coeficiente de sustentação constante.
 - mínimo arrasto induzido.
 - estol simultâneo ao longo de toda a envergadura.
 - baixa qualidade de voo.
 - difícil fabricação

É possível obter formas em planta tão eficientes como um elíptica a partir de composições trapezoidais e torções



Definições preliminares

- Forma em planta:

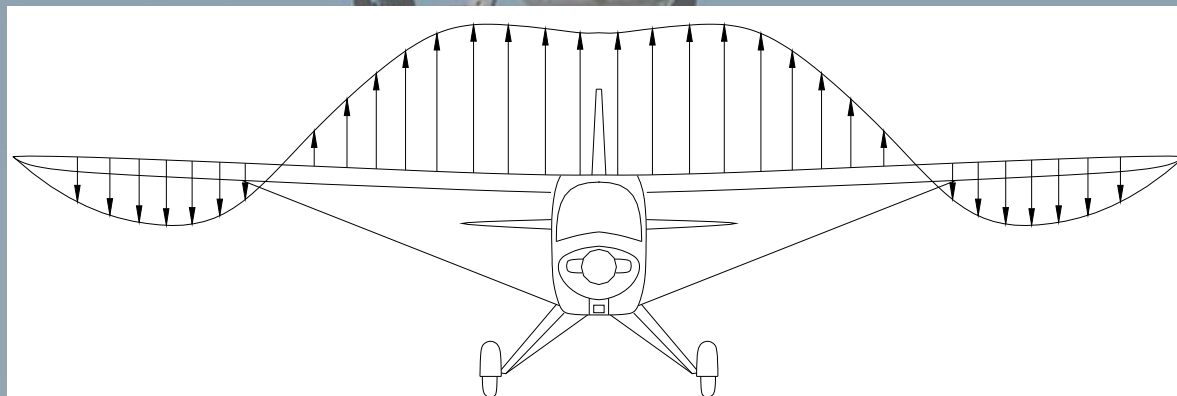
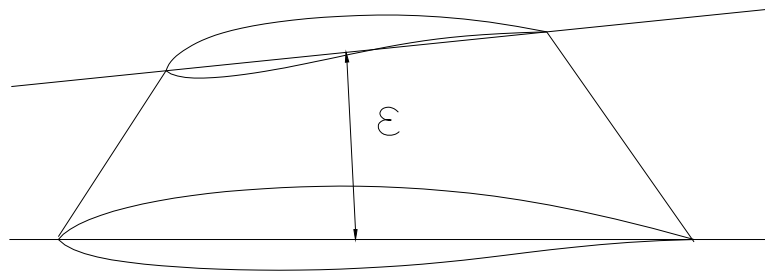


Utilizando o programa CEA-VLM determinar qual das combinações de forma em planta e torção apresenta menor arrasto mínimo e melhor razão de planeio. Manter área e alongamento constantes.

Definições preliminares

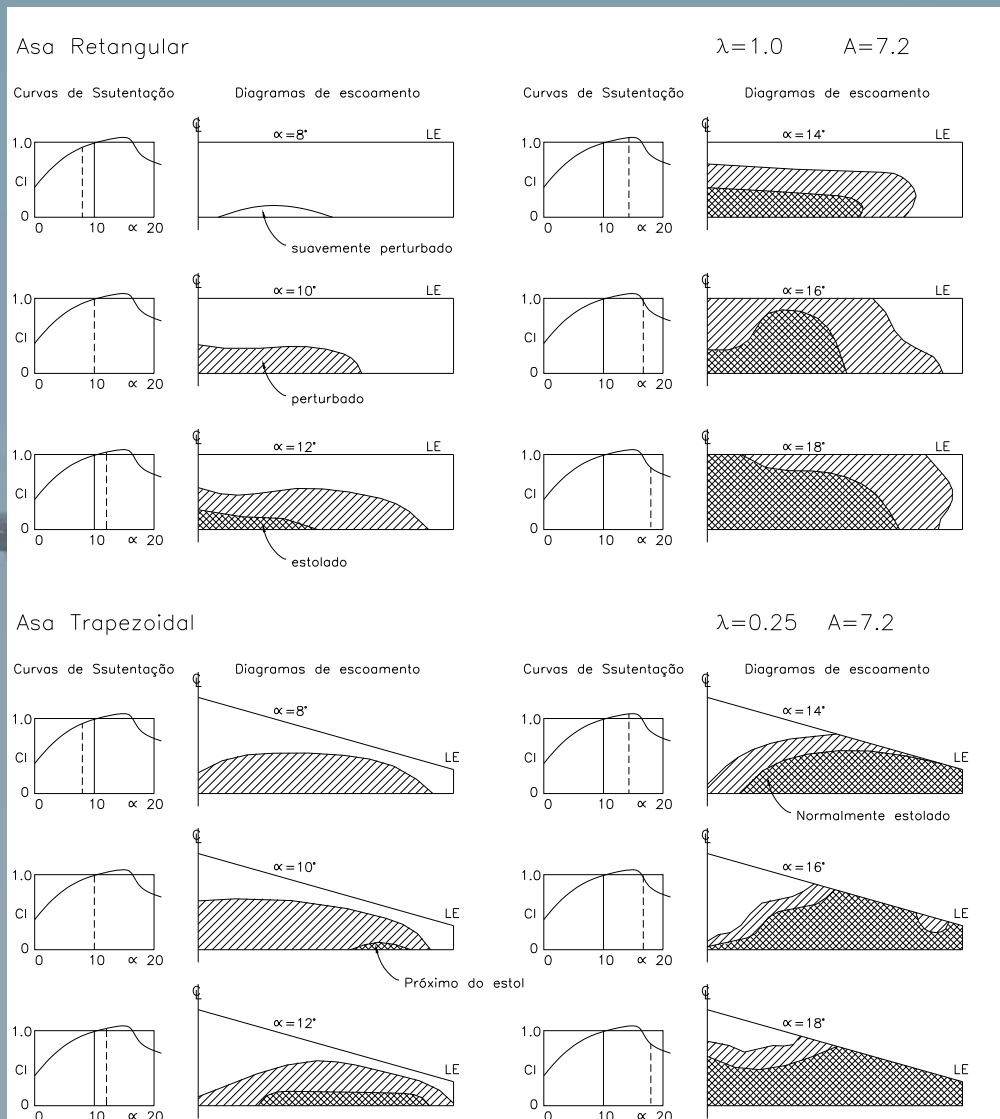
- Forma em planta:

ϵ = Angulo de Torção



Definições preliminares

- Estol



Definições preliminares

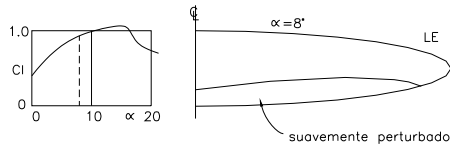
- Estol

Asa Elíptica

A=7.2

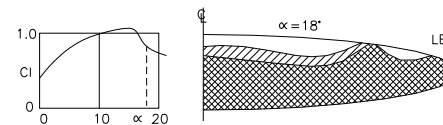
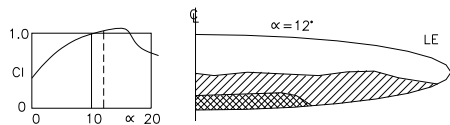
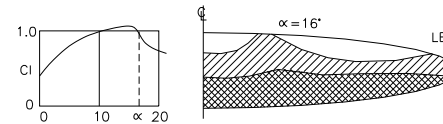
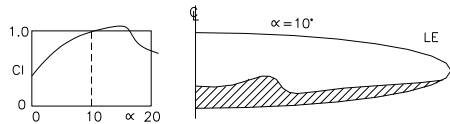
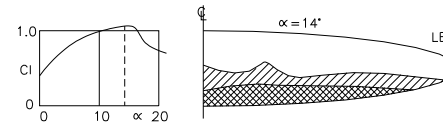
Curvas de Ssuturação

Diagramas de escoamento



Curvas de Ssuturação

Diagramas de escoamento

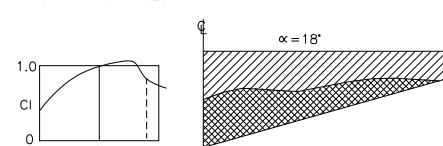
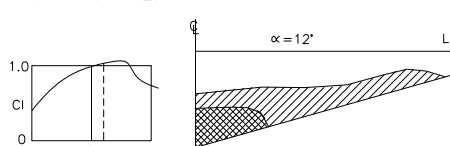
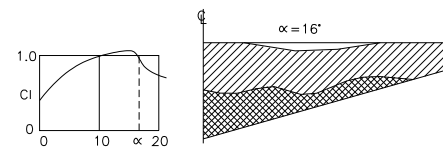
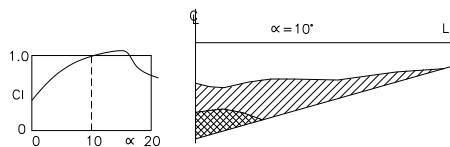
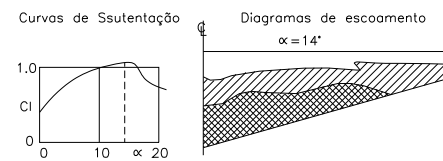
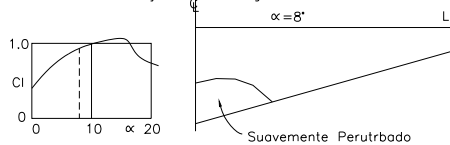


Asa Trapezoidal

$\lambda=0.25$ A=7.2

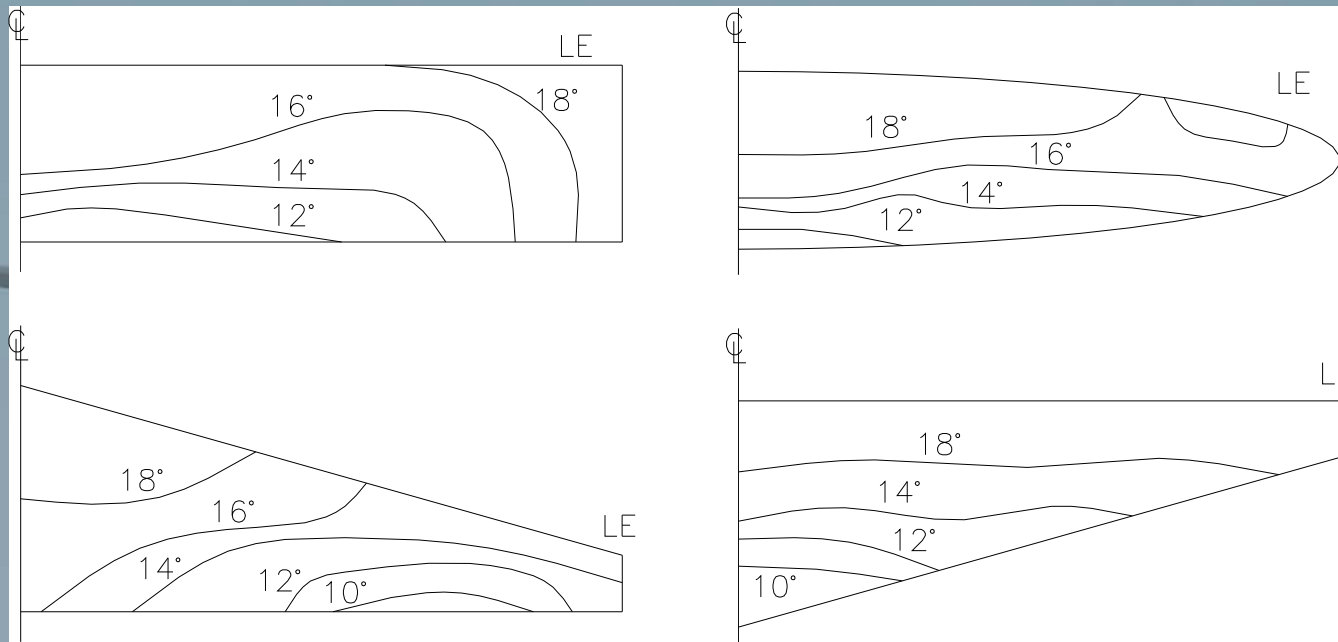
Curvas de Ssuturação

Diagramas de escoamento



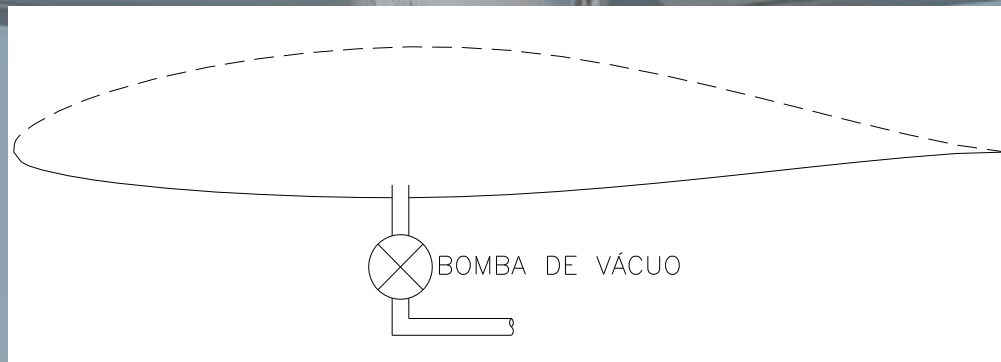
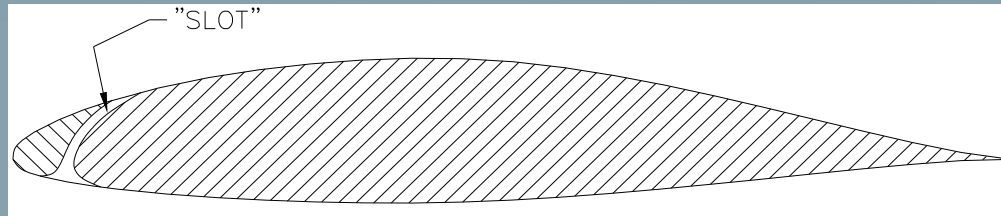
Definições preliminares

- Estol



Definições preliminares

- Estol



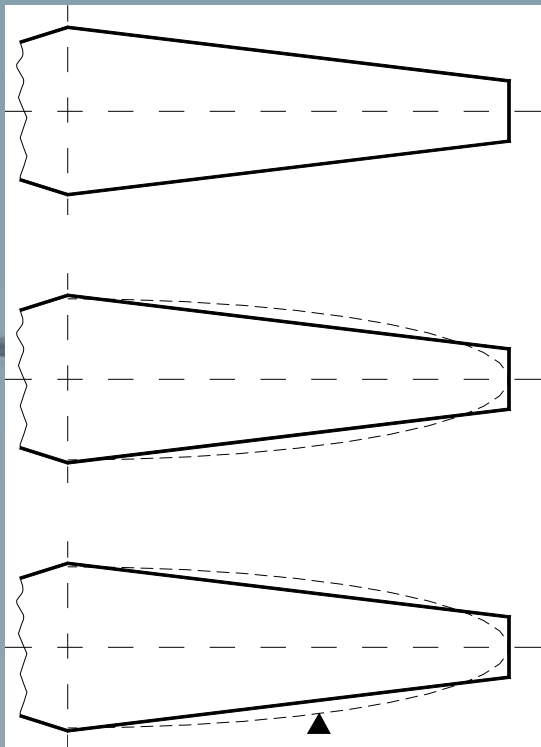
Definições preliminares

- Estol

Aeronave	Perfil na raiz	Perfil na ponta	Afilamento	Torção geométrica	Torção aerodinâmica
K-51	64A _{1.5} -313.5	64A-212	0.47	1°	-
MooneyRanger	63 ₂ -215	64 ₁ -412	0.5	1°30'	-
SF – 260	64 ₁ -212	64 ₁ -210	0.5	2°45'	-
Falco F8L	64-212	64-210	0.5	3°	-
Bonanza V35B	23016.5	23012	0.5	3°	-
GP-4	63 ₁ -212	63 ₁ -212	0.63	0°	0°
KR-2	4418	4415	0.67	3°	-
Cessna Centurion	64 ₂ A215	64 ₁ A412	0.73	3°	-
Europa	Dykin "E"	Dykin "E"	0.75	0°	0°
Cessna Cardinal	NACA série 2400	NACA série 2400	0.75	3°	-
CB-2 Minuano	FX 61-163	FX 60-126	1.0 / 0.5	0°	2°
CB-9 Curumim	HQ 17	HQ 17	0.8 / 0.5	0°	0°
Piper Arrow	65 ₂ -415	65 ₂ -415	1.0	0°	0°

Definições preliminares

- Estol



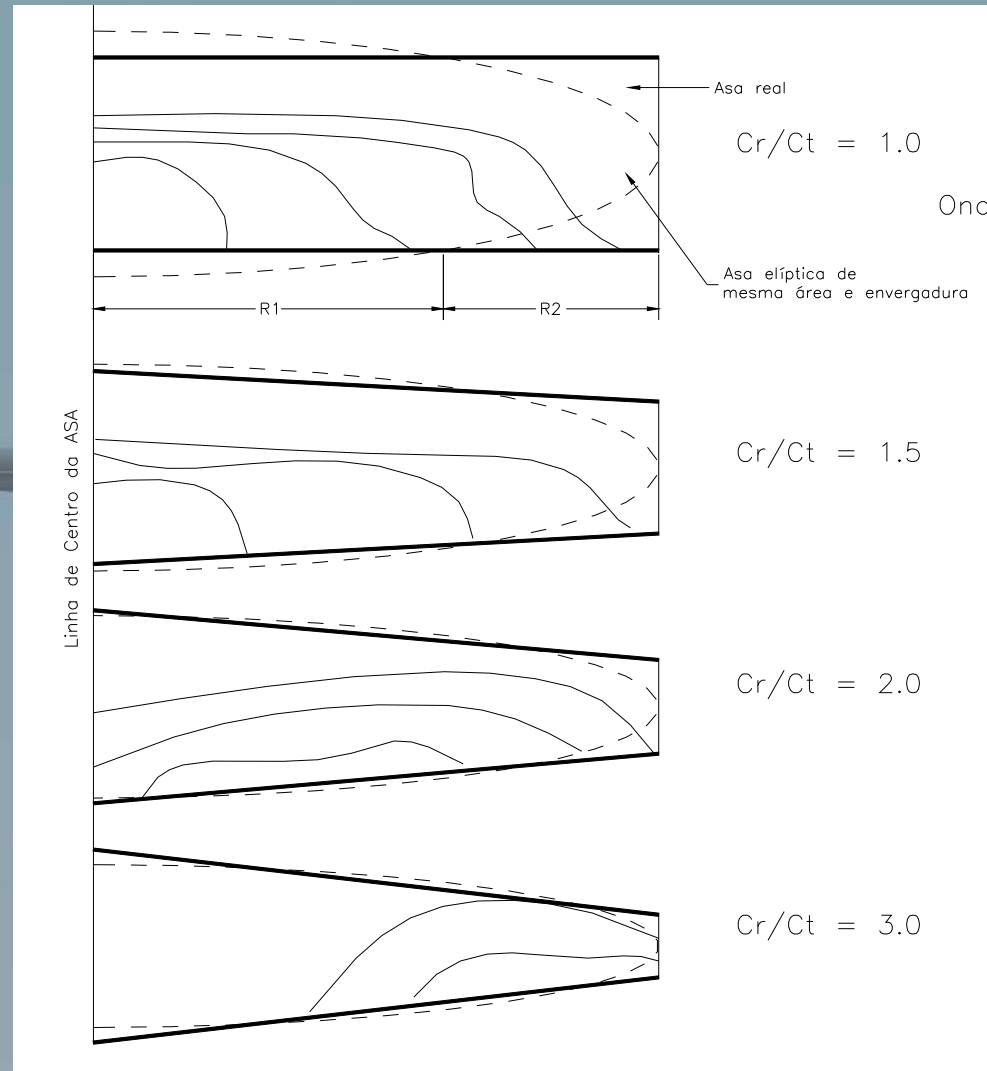
1) Desenha-se a asa sem enflechamento

2) Desenha-se sobre a asa uma elipse com mesma área e mesma envergadura

3) O ponto da elipse mais afastado da asa, externamente, será a posição do início do estol.

Definições preliminares

- Estol



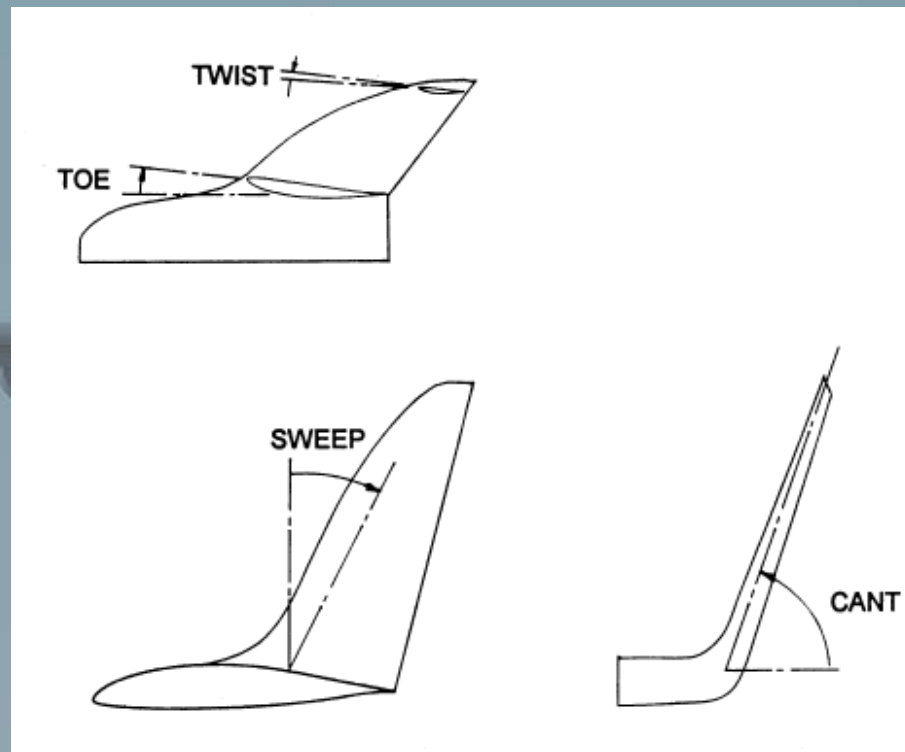
Definições preliminares

- Asas não planares e enflechamentos
 - Poli – diedros
 - Enflechamento



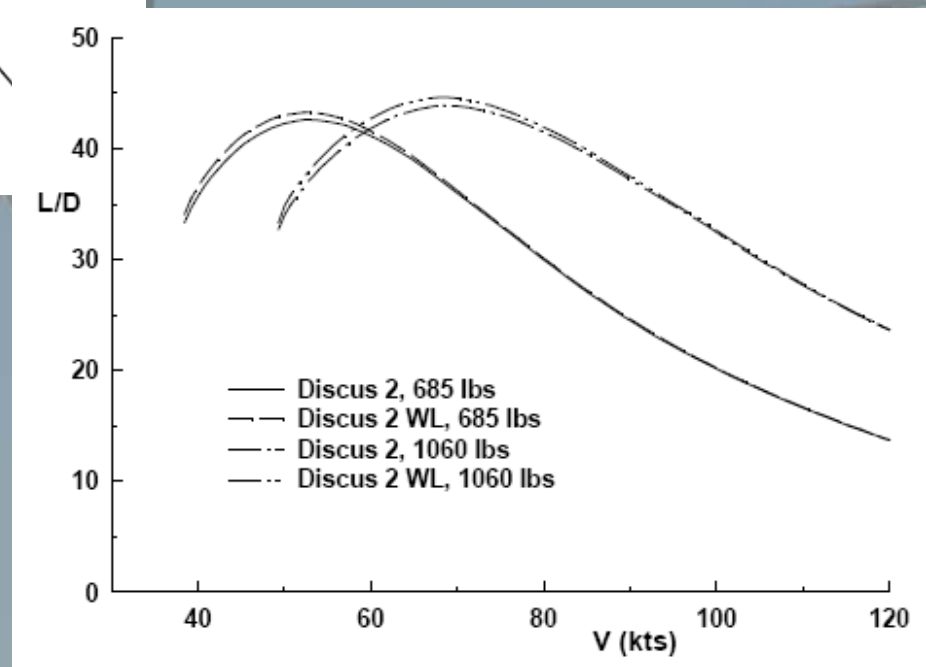
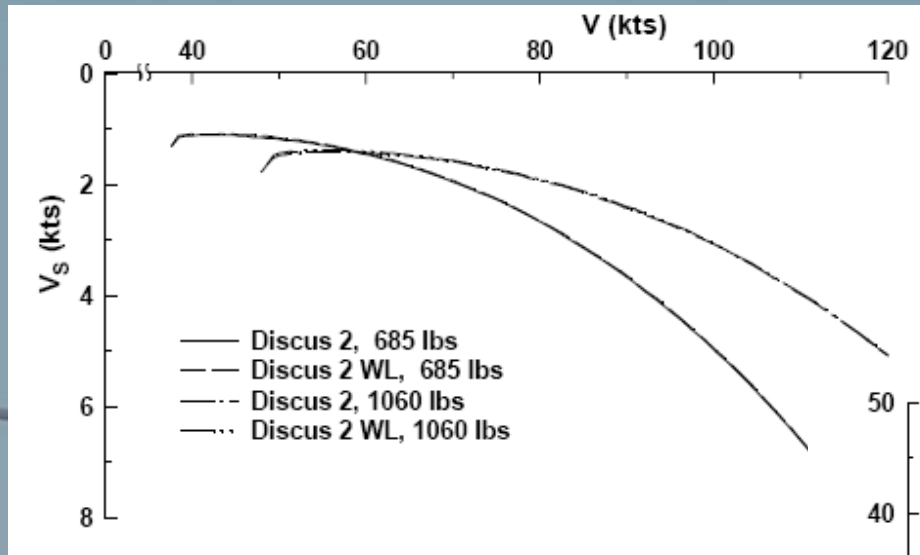
Definições preliminares

- Winglets



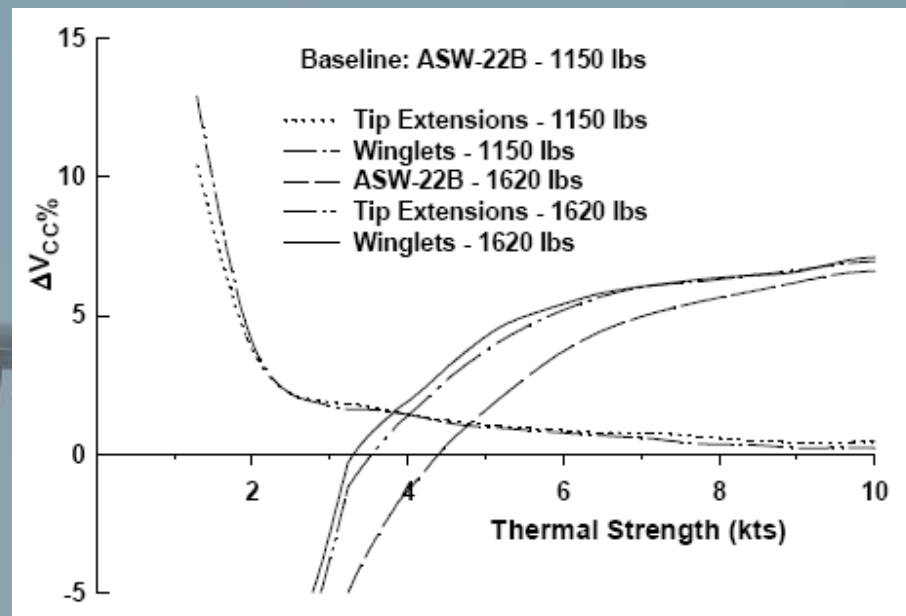
Definições preliminares

- Winglets



Definições preliminares

- Winglets

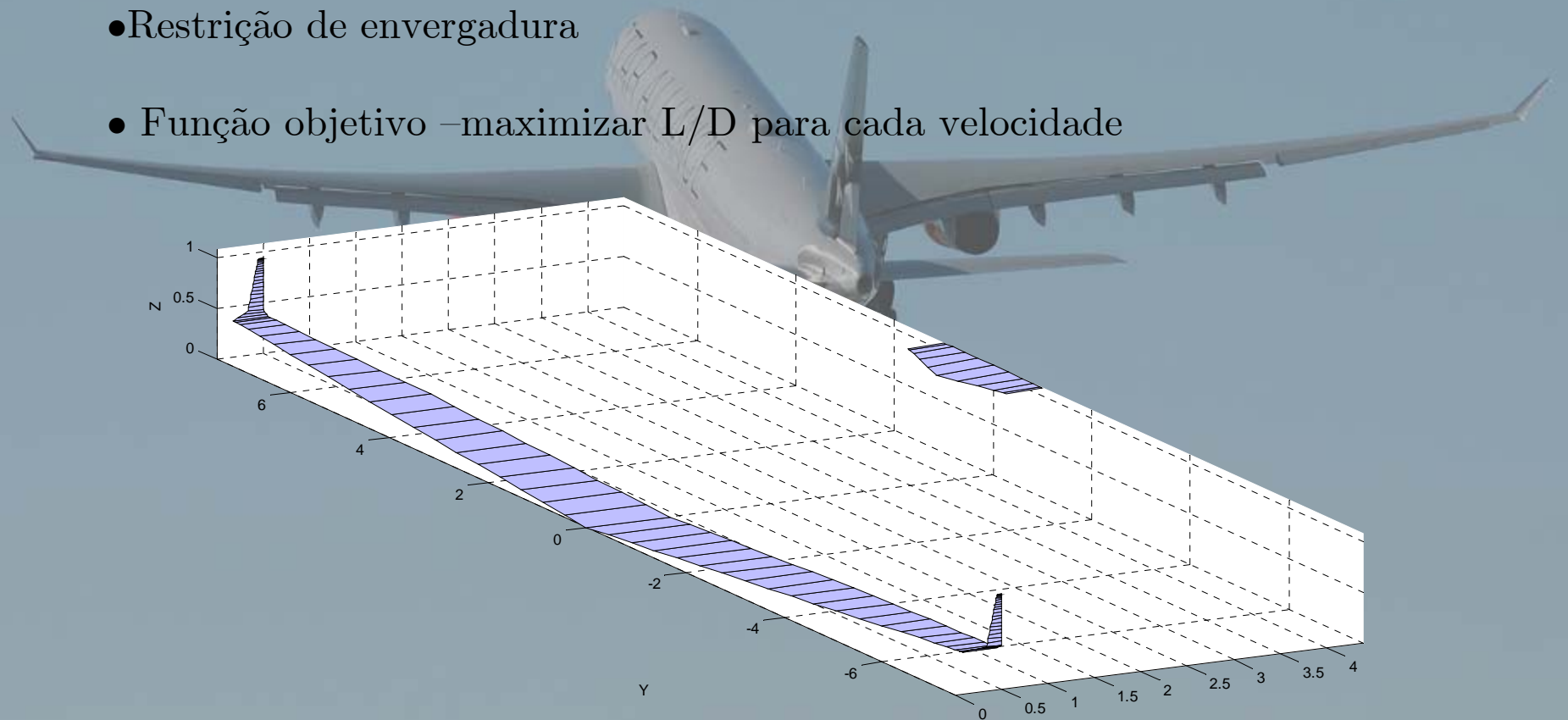


Definições preliminares

- Winglets – otimização

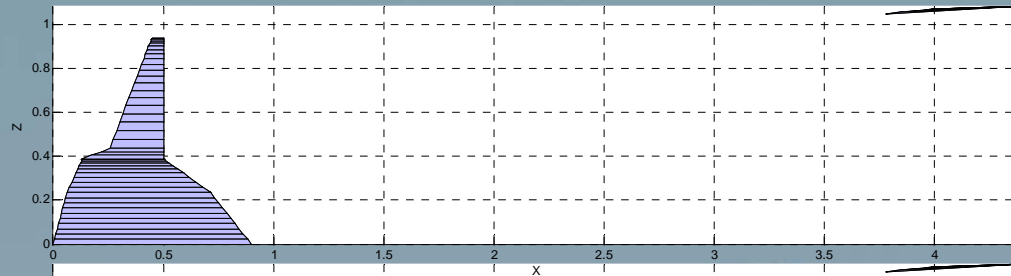
- corda na raiz
- corda na ponta
- diedro
- enflechamento
- Restrição de envergadura

- Função objetivo – maximizar L/D para cada velocidade

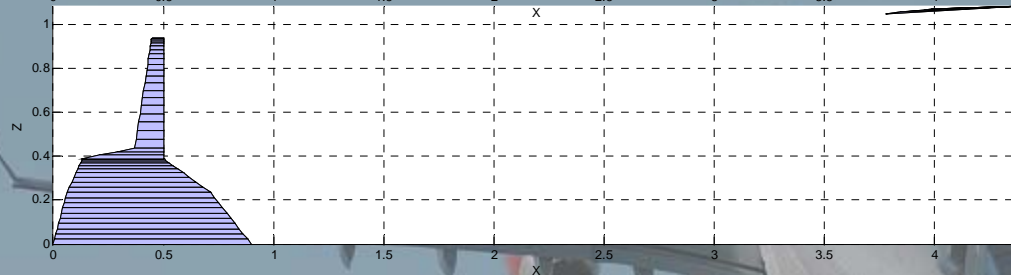


Definições preliminares

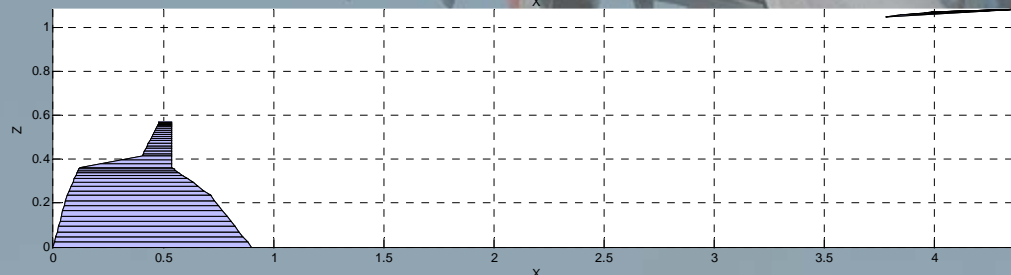
- Winglets - otimização



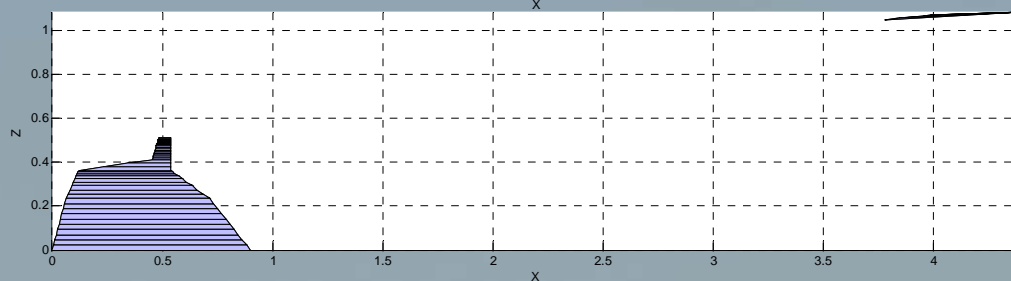
85km/h



105km/h



125km/h



155km/h

