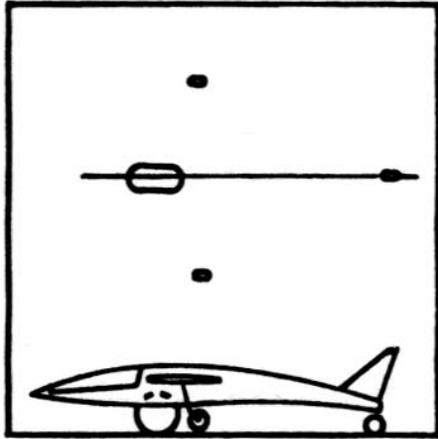


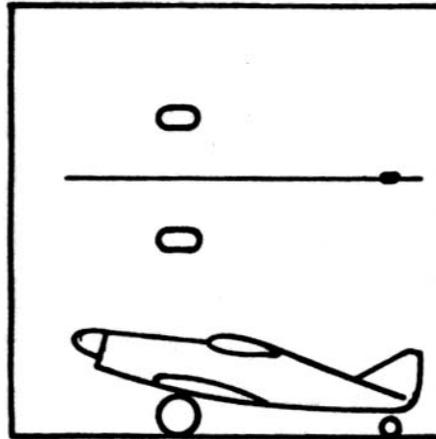
Trem de Aterragem

- O trem de aterragem é um sistema de extrema importância, uma vez que permite a operação da aeronave no solo;
- O trem tem que ser colocado numa posição adequada para que proporcione estabilidade e controlo no solo;
- A integração do trem na aeronave tem que ser cuidada, especialmente quando aquele é retráctil.

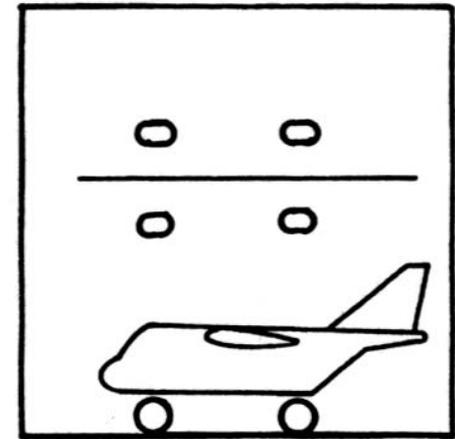
Configuração do trem de aterrager (1)



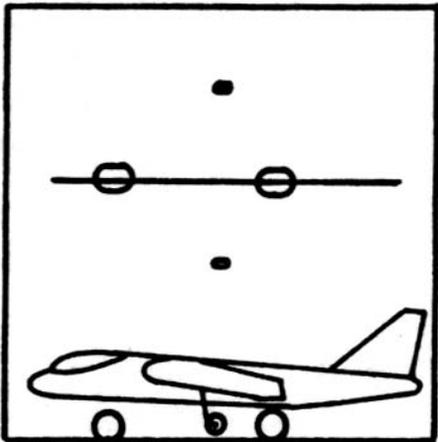
Single main



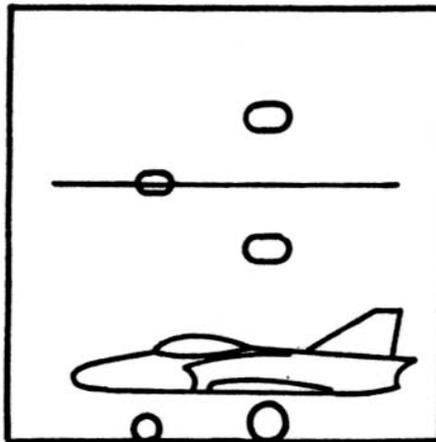
Taildragger



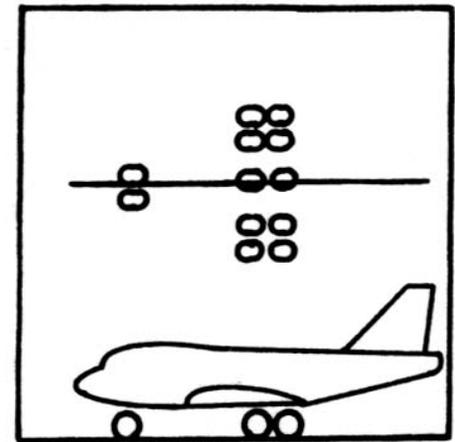
Quadricycle



Bicycle



Tricycle



Multi-bogey

Configuração do trem de aterragem (2)

- Trem de cauda

Vantagens	Desvantagens
Barato Baixa resistência aerodinâmica Fixação simples na asa ou fuselagem Ângulo de ataque elevado na aterragem (grande resistência aerodinâmica) Melhor para pistas não preparadas Peso baixo da roda de bequilha Mecanismo de direcção simples	Controlo no solo difícil Direccionalmente instável Visão reduzida no solo Controlo direccional difícil com vento cruzado O hélice pode tocar no solo em travagens bruscas Aceleração baixa na descolagem devido a ângulo de ataque elevado

Configuração do trem de aterragem (3)

- Trem triciclo

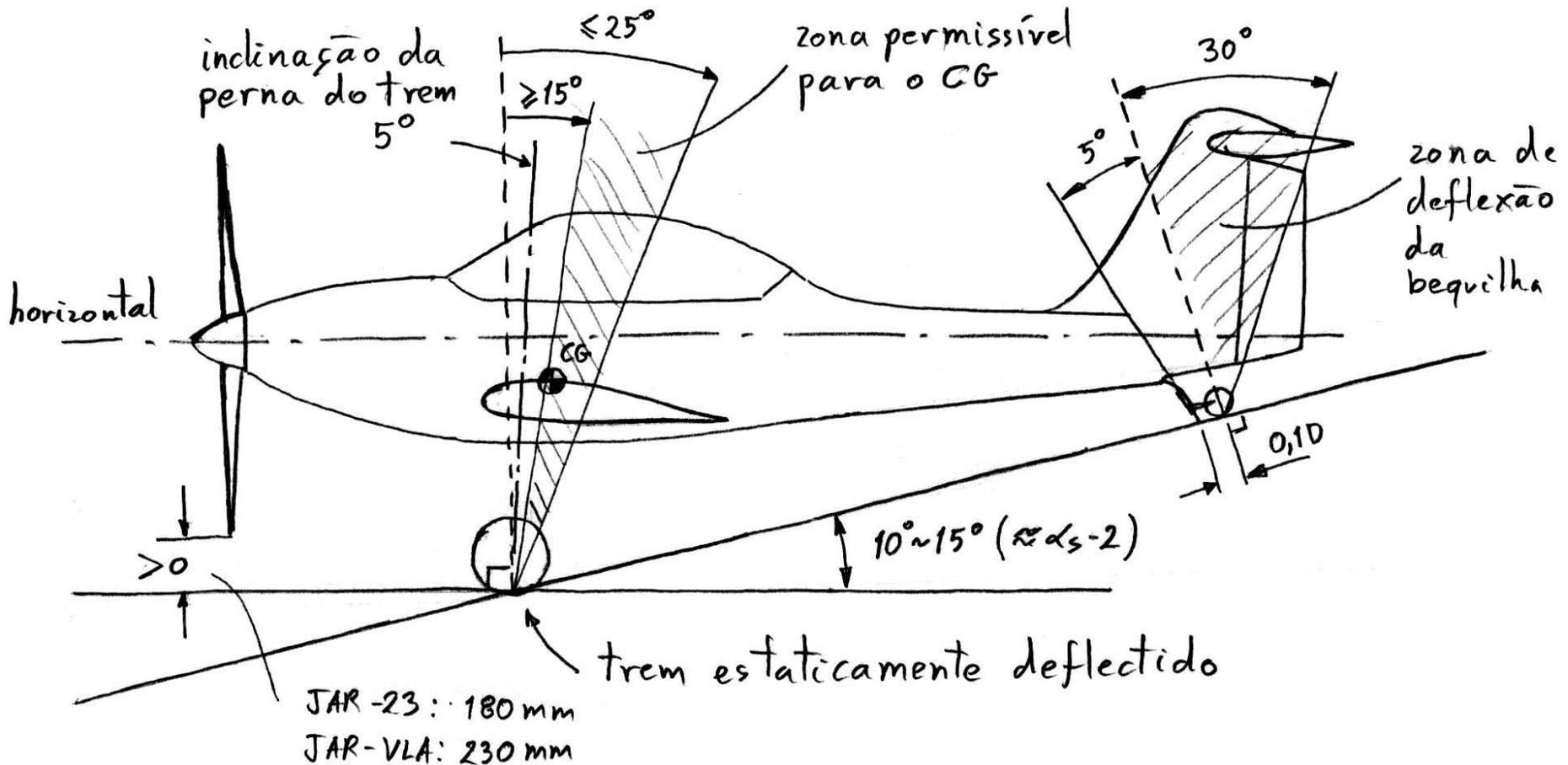
Vantagens	Desvantagens
<p>Direccionalmente estável</p> <p>Boa visibilidade no solo</p> <p>Bom controlo com vento cruzado</p> <p>Hélice não toca no solo (o nariz não baixa muito na travagem)</p> <p>Boa aceleração na descolagem (baixo ângulo de ataque)</p> <p>Distância entre eixos pequena permite raio de viragem pequeno</p>	<p>Perna dianteira pesada devido a cargas dinâmicas elevadas</p> <p>Resistência aerodinâmica elevada com trem fixo (esteira do hélice)</p> <p>Mecanismo de direcção mais complexo</p> <p>Mias caro</p> <p>Retracção da roda do nariz mais complexa devido ao espaço</p> <p>Travagem brusca alivia a carga nas rodas principais podendo provocar derrapagem</p>

Configuração do trem de aterragem (4)

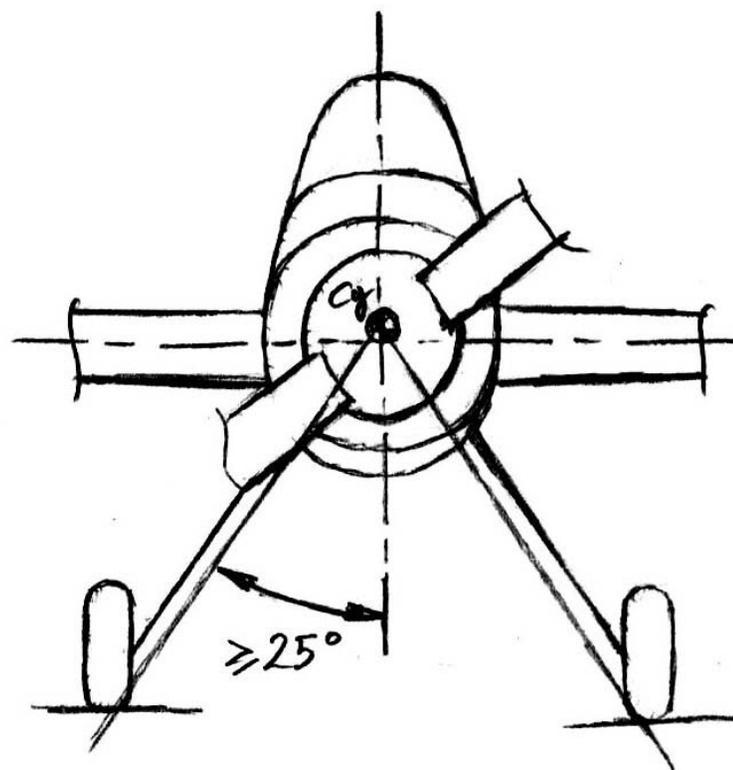
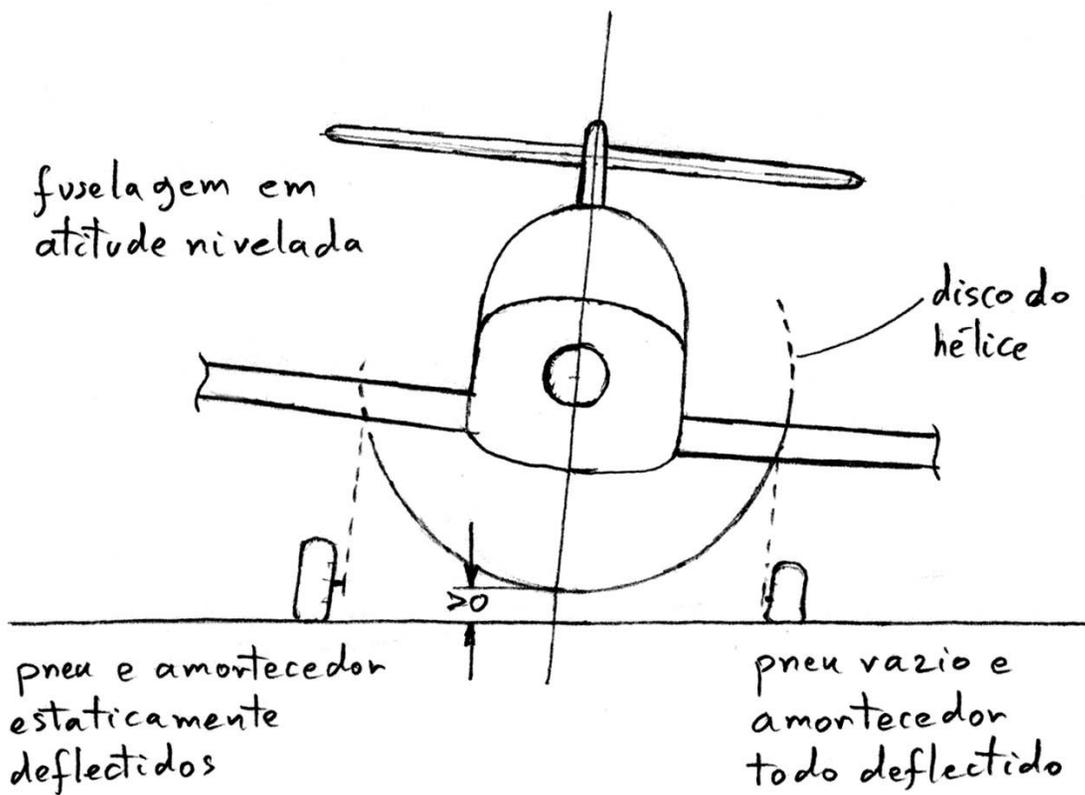
- Trem mono-roda

Vantagens	Desvantagens
Eliminação de rodas e pernas das asas Médio a baixo peso Barato e simples Resistência aerodinâmica baixa Cargas transmitidas directamente para a fuselagem	Necessidade de rodas nas pontas das asas Controlo no solo difícil especialmente com vento cruzado Redução da distância do hélice ao solo Espaço reduzido para retrain a roda “Taxiways” mais largos Velocidade de descolagem mais elevada devido a dificuldade de rotação

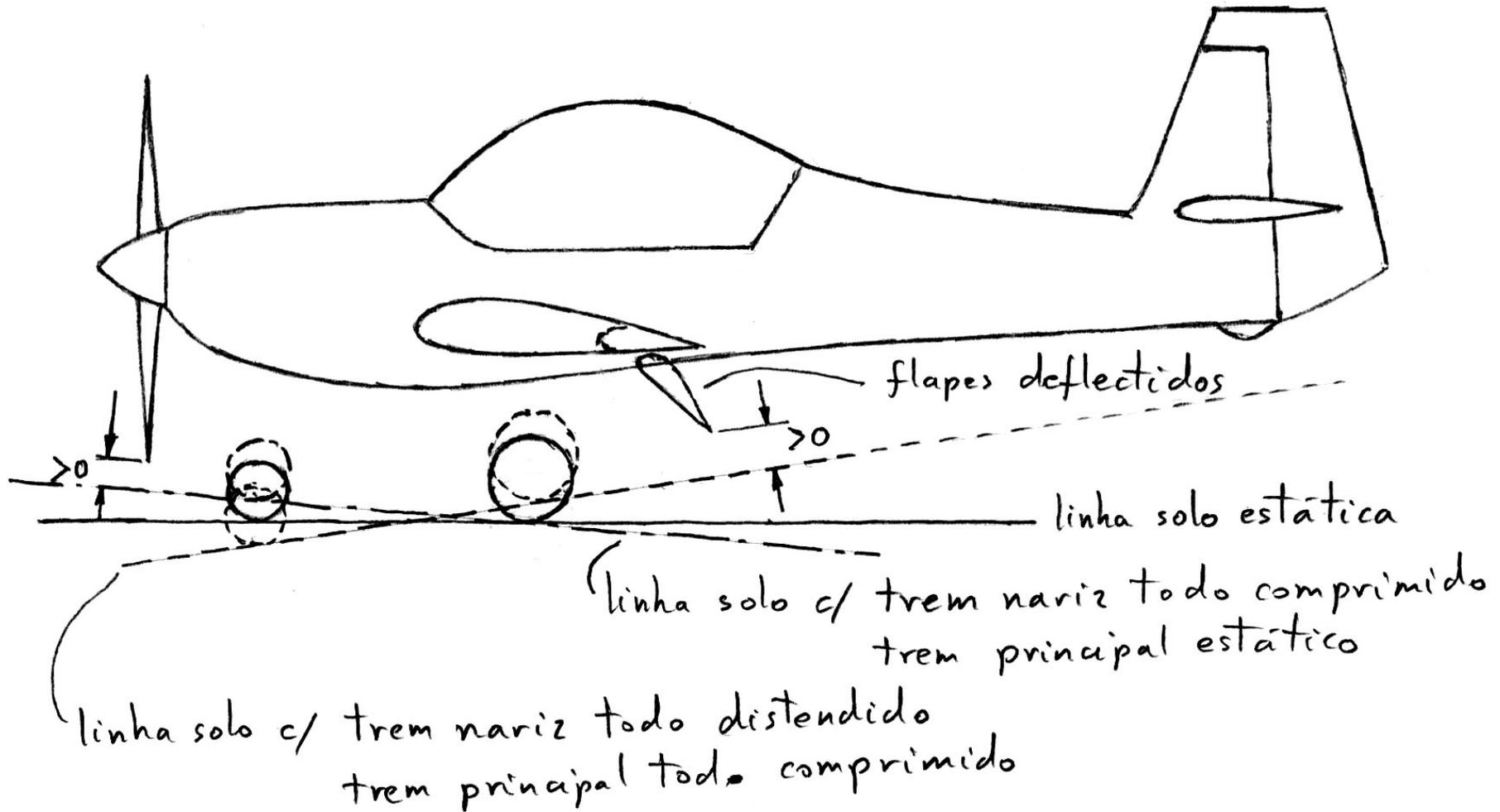
Geometria do trem de cauda (1)



Geometria do trem de cauda (2)

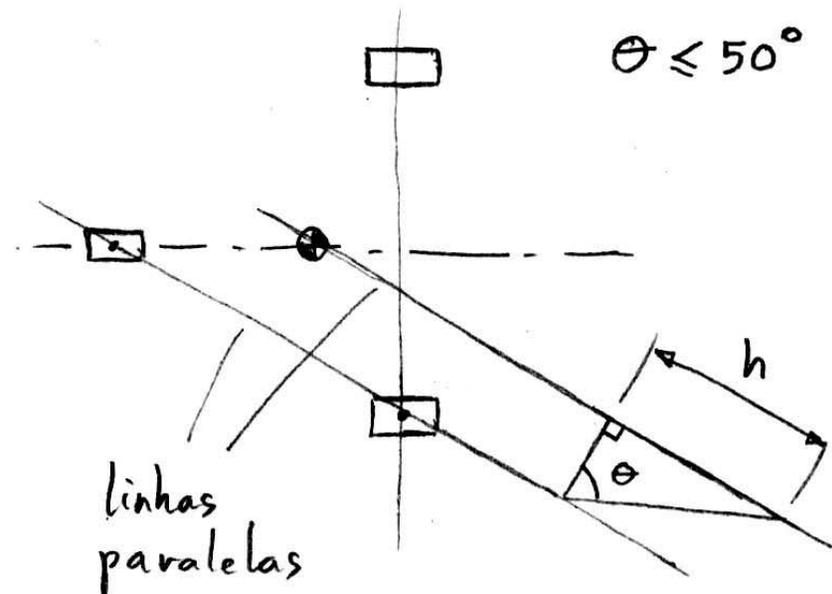
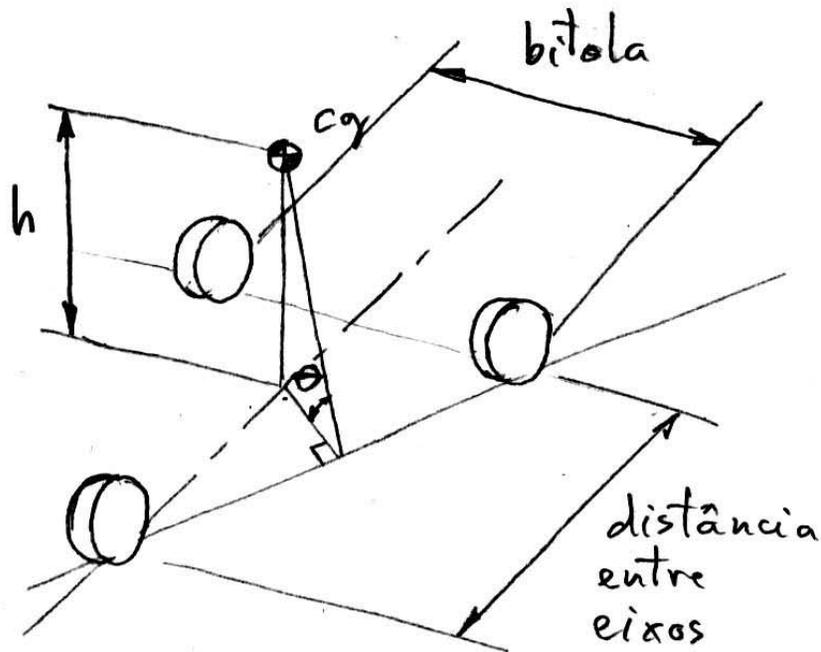


Geometria do trem tricíclo (2)



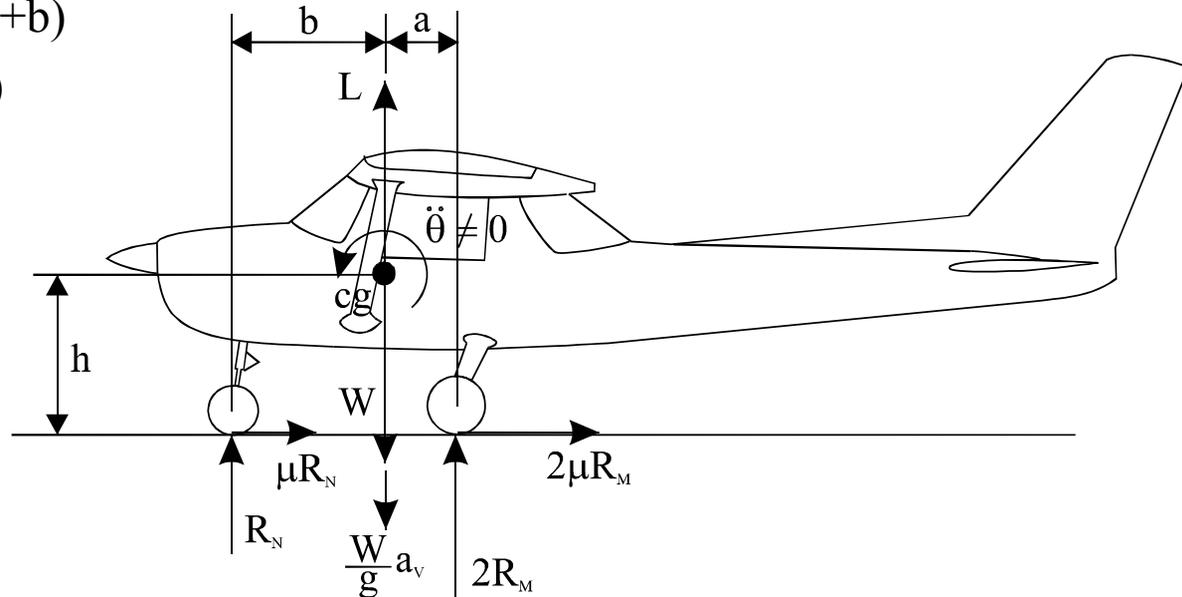
Geometria do trem triciclo (3)

- “Overturn angle” $< 63^\circ$ - pistas lisas e duras;
- “Overturn angle” $< 55^\circ$ - aviação geral;
- “Overturn angle” $< 50^\circ$ - pistas não preparadas;
- O CG mais avançado é o mais crítico.



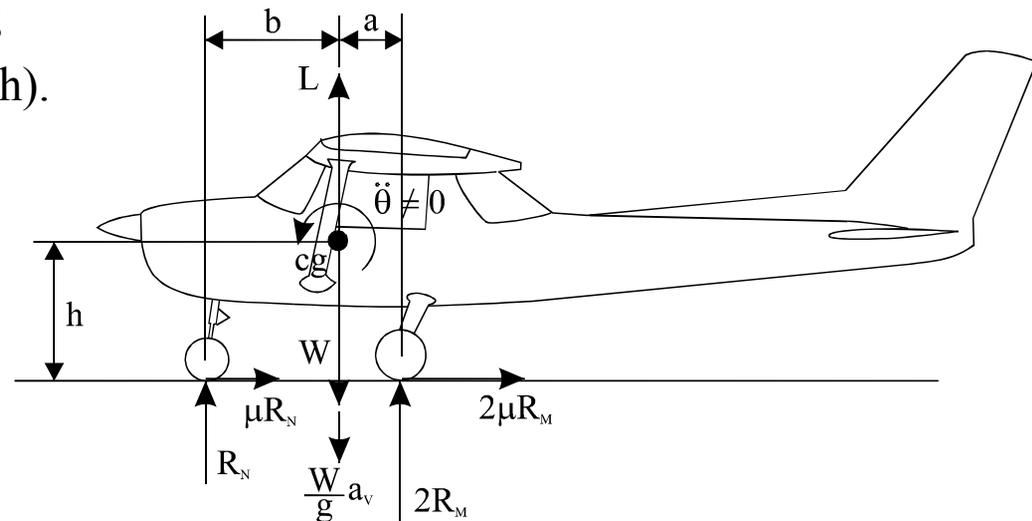
Cargas no trem de aterragem (1)

- Cargas estáticas:
 - R_M – carga estática numa perna principal (o CG mais recuado é o mais crítico);
 - R_N – carga estática na perna do nariz (o CG mais adiantado é o mais crítico). Esta carga é 8% a 15% da carga total W ;
 - Do equilíbrio de forças e momentos tem-se:
 - $R_M = 0,5aW/(a+b)$
 - $R_N = bW/(a+b)$



Cargas no trem de aterragem (2)

- Cargas de travagem:
 - Assume-se que existem travões apenas nas rodas principais (coeficiente de fricção $\mu = 0,3$ a $0,4$);
 - R_M – carga de travagem numa roda principal;
 - R_N – carga de travagem na perna do nariz (o CG mais adiantado é o mais crítico);
 - Do equilíbrio de forças e momentos tem-se:
 - $R_M = 0,5aW/(a+b+\mu h)$;
 - $R_N = (b+\mu h)W/(a+b+\mu h)$.



Cargas no trem de aterragem (3)

- Cargas de aterragem:
 - Factor de carga no solo:

Tipo de avião	n_g
Bombardeiro grande	2,0-3,0
Comercial	2,7-3,0
Aviação geral	3,0
Caça da força aérea	3,0-4,0
Caça da marinha	5,0-6,0

Cargas no trem de aterragem (4)

- Cargas de aterragem:

- Peso equivalente:

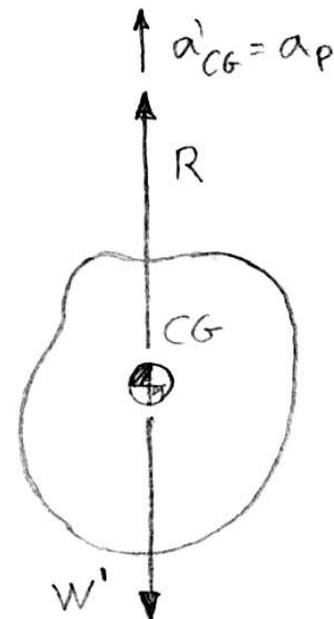
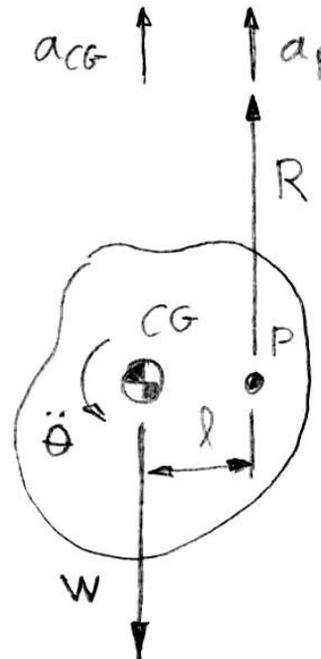
- $a_{CG} = R/(W/g)$;

- $a_p = a_{CG} + \dot{\theta}^2 r = a_{CG} + Rl/I = R/(W/g) + Rl^2/[(W/g)k^2] = (1 + l^2/k^2)R/(W/g)$;

- Qual é a massa W'/g que sofre a aceleração a_p sob a força R aplicada no seu CG ($a'_{CG} = a_p$)?

- $R/(W'/g) = (1 + l^2/k^2)R/(W/g)$;

- $W' = W/(1 + l^2/k^2)$.

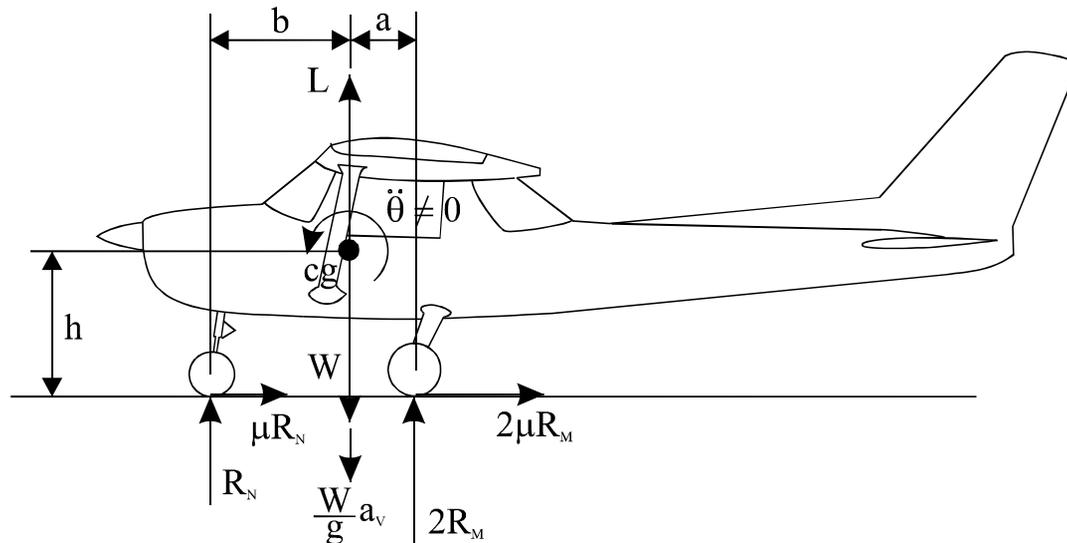


Cargas no trem de aterragem (5)

- Cargas de aterragem (cont.):
 - Peso equivalente (cont.):
 - Parte da energia do impacto é absorvida pela aceleração angular da aeronave.
 - $W' = W/(1+l^2/k_y^2+t^2/k_x^2)$;
 - $k_y = (I_{yy}/m)^{0,5}$ é o raio de giração em torno do eixo y;
 - $k_x = (I_{xx}/m)^{0,5}$ é o raio de giração em torno do eixo x.

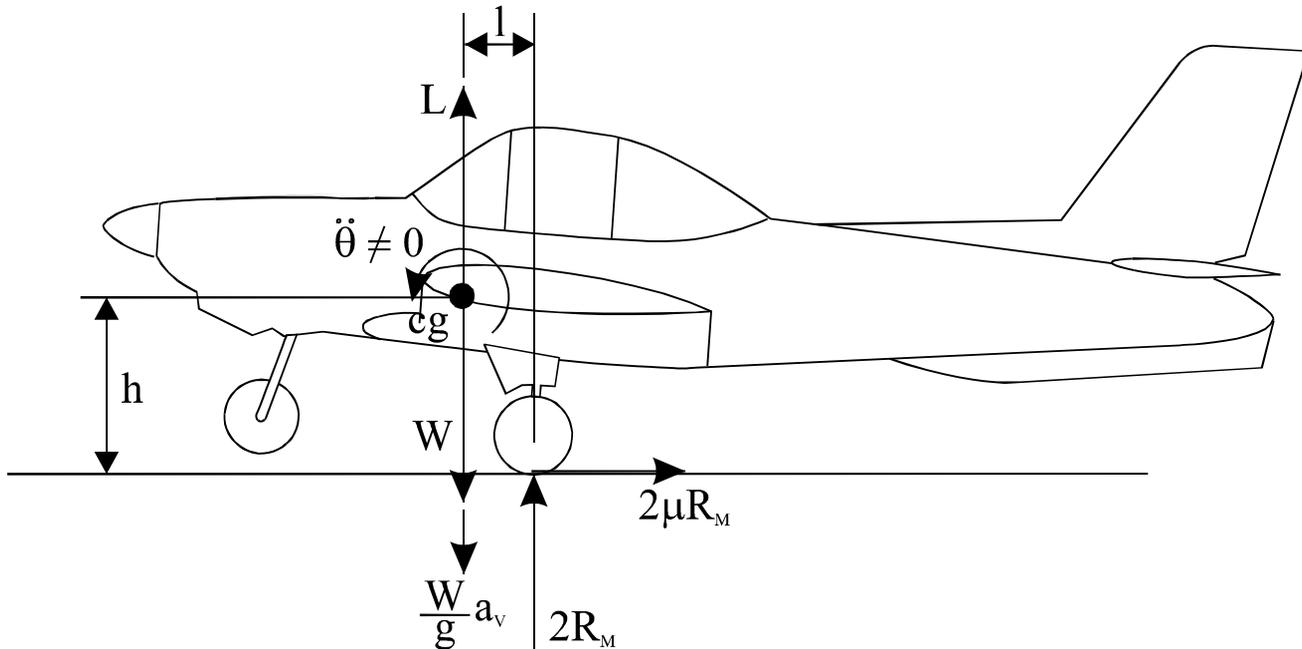
Cargas no trem de aterragem (6)

- Cargas de aterragem (cont.):
 - Aterragem nivelada (todas as rodas tocam no solo ao mesmo tempo):
 - $W' = W$;
 - $R_M = 0,5(a - \mu h)n_g W / (a + b)$;
 - $R_N = (b + \mu h)n_g W / (a + b)$;
 - O coeficiente de fricção no impacto pode tomar o valor de 0,25.



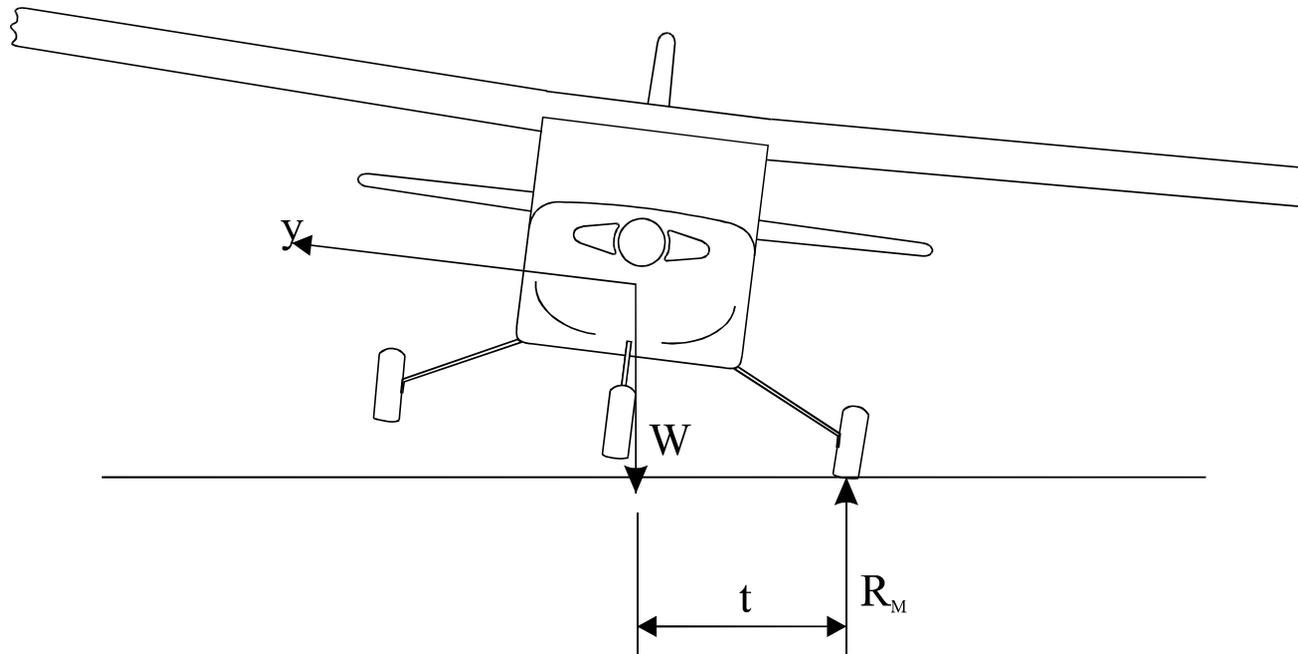
Cargas no trem de aterragem (7)

- Cargas de aterragem (cont.):
 - Aterragem nas rodas principais:
 - $W' = W/(1+l^2/k_y^2)$;
 - $R_M = 0,5n_g W'$;
 - $R_N = 0$.



Cargas no trem de aterragem (8)

- Cargas de aterragem (cont.):
 - Aterragem numa perna principal:
 - $W' = W/(1+l^2/k_y^2+t^2/k_x^2)$;
 - $R_M = n_g W'$;
 - $R_N = 0$.



Dimensionamento do pneu (1)

- Dimensionamento estatístico:

Diâmetro ou largura das rodas principais = $A \cdot W_w^B$				
	Diâmetro		Largura	
	A	B	A	B
Aviação geral	5,1	0,349	2,3	0,312
Bimotor executivo	8,3	0,251	3,5	0,216
Transporte/bombardeiro	5,3	0,315	3,9	0,480
Jacto de caça/treino	5,1	0,302	3,6	0,467

Dimensionamento do pneu (2)

- Dimensionamento baseado nas cargas:
 - Carga nominal do pneu $>$ carga estática máxima;
 - Carga nominal do pneu $>$ carga de travagem máxima/1,5;
 - Carga nominal do pneu $>$ carga de aterragem máxima/2,7;
 - Velocidade nominal do pneu $>$ velocidade máxima na pista.

Dimensionamento do pneu (3)

- Pneus de baixa pressão (tipo III):

Dimensão	Diâmetro externo [mm] D_p	Largura [mm] b_p	Carga nominal [kgf]	Velocidad e nominal [km/h]	Diâmetro carregado [mm]	Peso [kgf]	Pressão nominal [psi]
3.00-3.5	216	76	186	-	91	0,8	50
4.00-3.5	273	102	322	257	113	1,4	40
4.00-4.0	279	102	427	257	121	1,8	70
5.00-4.5	330	127	-	257	99	3,4	78
5.00-5.0	356	127	363-1407	193-257	145	2,2-3,2	31-130
5.50-4.0	337	140	556	257	147	3,6	50
6.00-4.0	394	152	658	257	169	3,4	35
6.00-6.0	432	152	522-1067	193-257	175	3,5-4,0	29-55
6.00-6.5	438	152	795	257	178	3,8	45

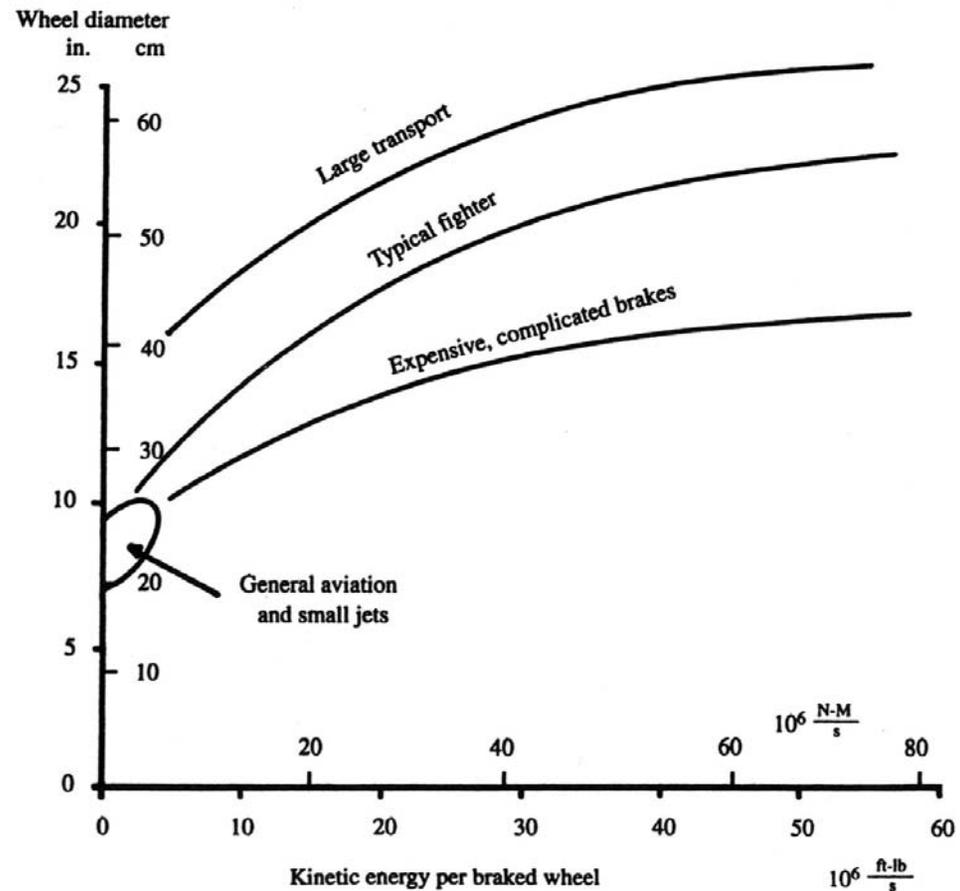
Dimensionamento do pneu (4)

- Pressão dos pneus:
 - A pressão dos pneus tem que ser inferior à pressão admissível pela pista;
 - Caso seja necessário reduzir a pressão exercida no piso pode-se usar mais do que uma roda na perna do trem em questão.

Superfície	Pressão máxima	
	psi	KPa
Convés de porta-aviões	200+	1380+
Pista militar	200	1380
Pista civil	120	828
Pista de alcatrão, boa fundação	70-90	480-620
Pista de alcatrão, má fundação	50-70	345-480
Pista de metal temporária	50-70	345-480
Erva seca em solo duro	45-60	310-415
Erva molhada em solo mole	30-45	210-310
Terra batida	40-60	275-415
Terra mole	25-35	170-240

Dimensionamento do pneu (5)

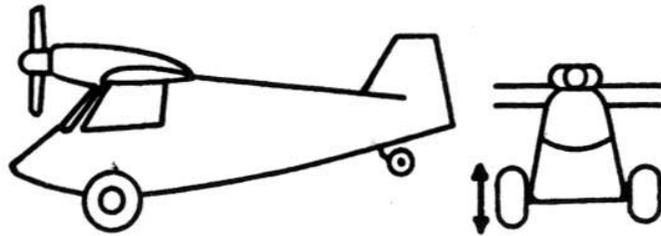
- Travagem:
 - A energia de travagem é dada por:
 - $E = 0,5WV_s^2/g$;
 - A energia absorvida por travão é:
 - E/n_{brake} .



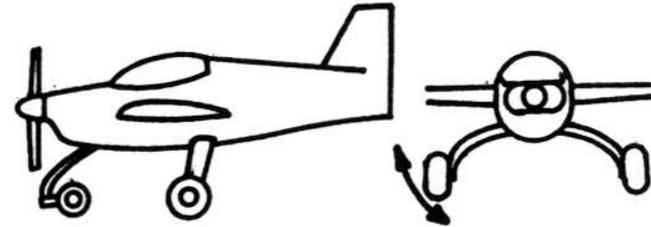
Dimensionamento do pneu (6)

- Envelhecimento:
 - Aquando da determinação do espaço necessário para recolher o trem ou para fazer uma carenagem para a roda é necessário deixar uma margem de 2% a 3% na dimensão do pneu para ter em conta o aumento de tamanho do pneu com o uso;
- Deflexão do pneu:
 - $\delta_p = 0,5n_g R / [p(D_p b_p)^{0,5}]$;
 - p – pressão do pneu [Pa];
 - R – carga estática aplicada no pneu [N].

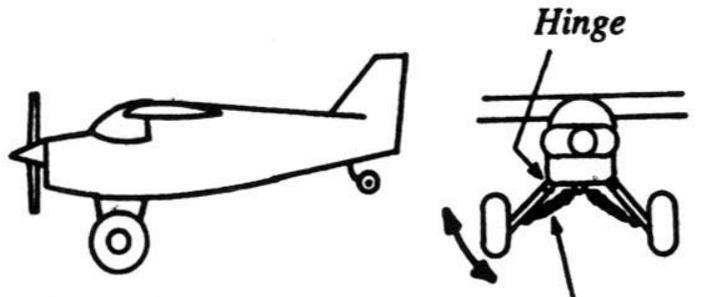
Molas e amortecedores (1)



Rigid axle

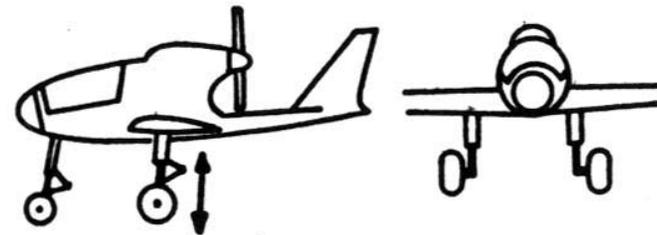


Solid spring



Levered bungee

Rubber bungee

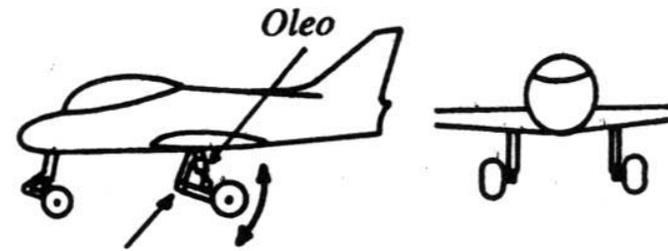


Oleo shock-strut



Triangulated

Hinge



Hinge

Trailing link (or levered)

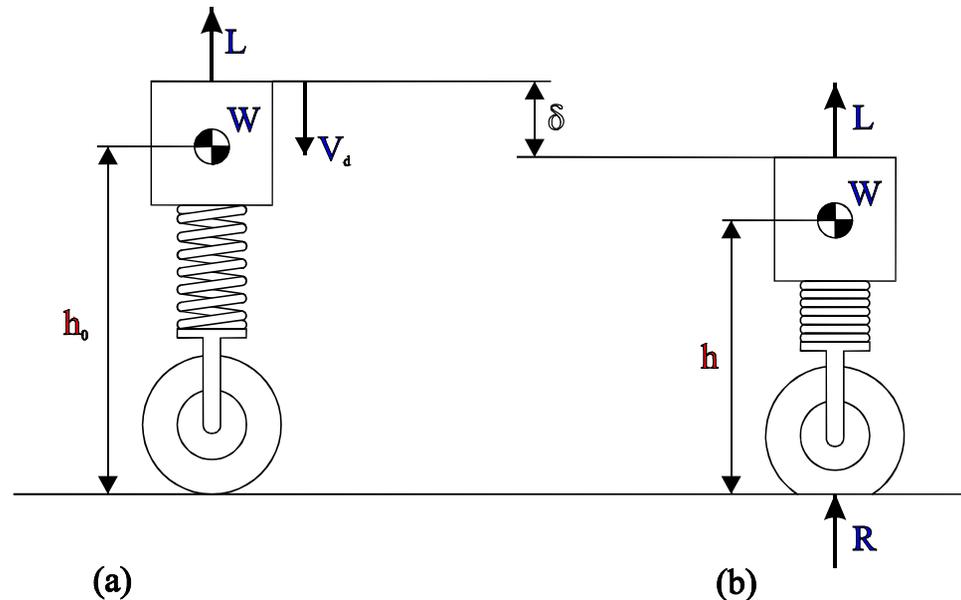
Molas e amortecedores (2)

- Deflexão (curso da mola):
 - Energia cinética vertical:
 - $E = 0,5Wv^2/g$;
 - $v = 1\sim 1,5\text{m/s}$ – aviões de passageiros;
 - $v = 5\text{m/s}$ – aviões de treino militar;
 - $v = 4,6\text{m/s}$ – aviões STOL;
 - $v = 6\text{ m/s}$ – aviões embarcados;
 - $v = 3\text{m/s}$ – outros aviões.

Molas e amortecedores (3)

- Deflexão (curso da mola):
 - Energia absorvida pelo trem:
 - $E = \eta R \delta$;
 - η – eficiência da mola;
 - R – carga total média durante a deflexão;
 - δ – deflexão total ou curso da mola.

Tipo	η
Lâmina de aço	0,50
Mola helicoidal de aço	0,62
Mola de ar	0,45
Bloco de borracha	0,60
Elástico de borracha	0,58
Oleo-pneumático	
- orifício fixo	0,65-0,80
- orifício variável	0,75-0,90
Pneu	0,47

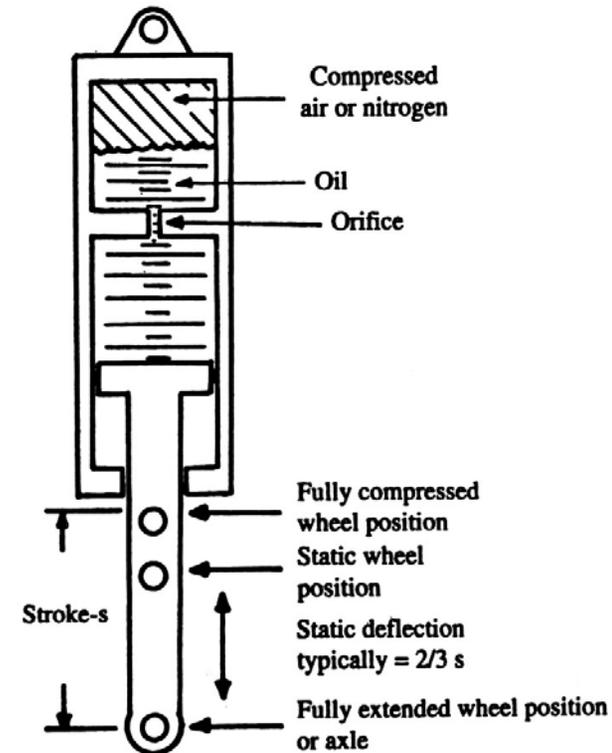


Molas e amortecedores (4)

- Deflexão (curso da mola):
 - A energia absorvida pelo trem pode escrever-se:
 - $E = \eta \delta R = (\eta_a \delta_a + \eta_p \delta_p) R;$
 - As energias têm que ser iguais para a velocidade vertical reduzir para zero:
 - $0,5 W v^2 / g = (\eta_a \delta_a + \eta_p \delta_p) R;$
 - $R / W = n_g;$
 - Deflexão da mola/amortecedor:
 - $\delta_a = (0,5 v^2 / (n_g g) - \eta_p \delta_p) / \eta_a.$

Molas e amortecedores (5)

- Dimensionamento da mola:
 - Óleo-pneumático:
 - $D = 1,3(4R/p\pi)^{0,5}$;
 - P – pressão interna [Pa] (1800psi = 12,42MPa);
 - R – carga [N].

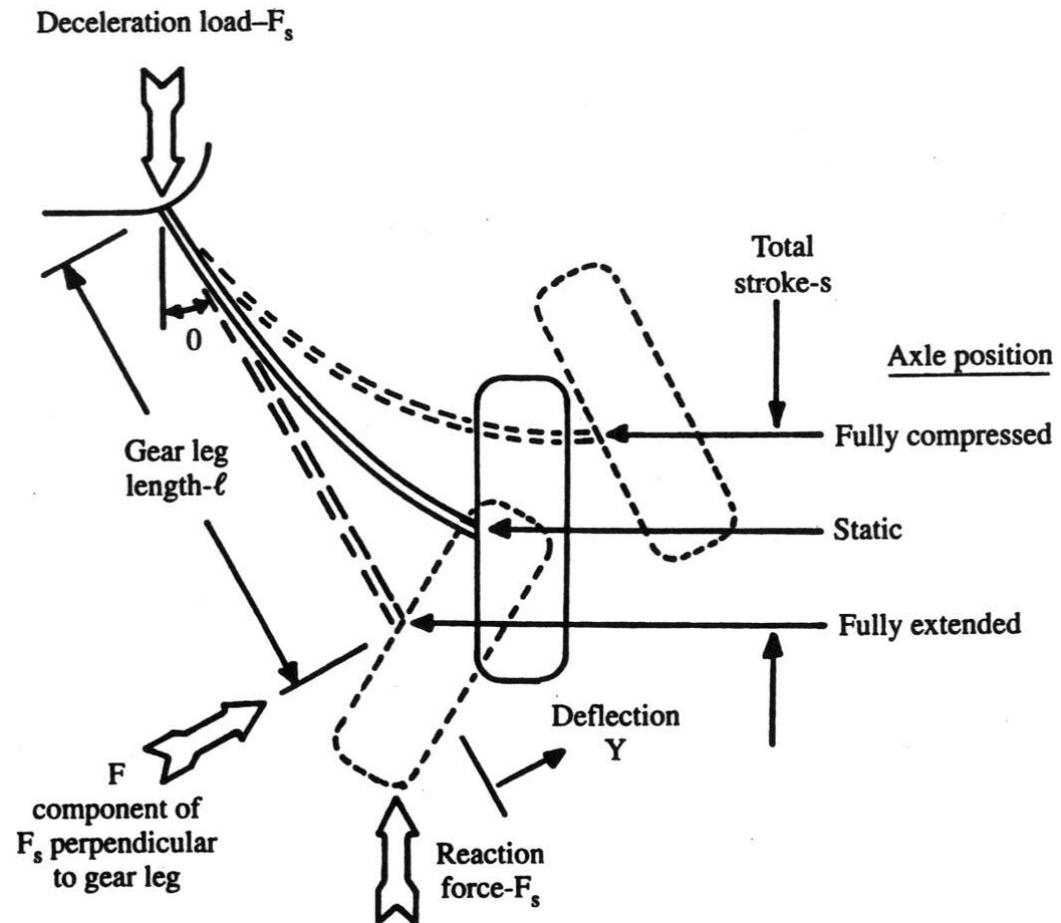
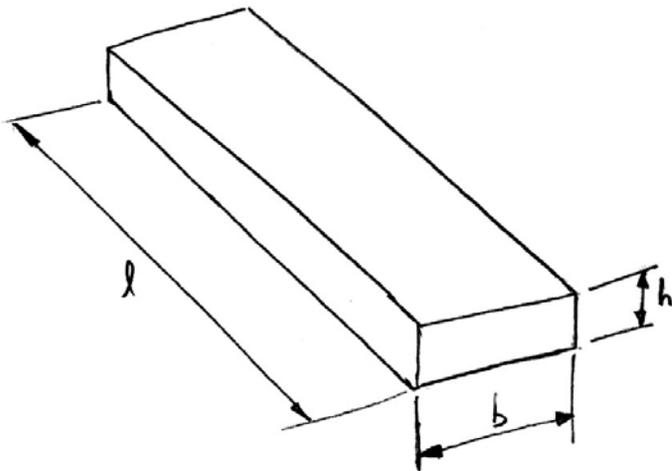


Molas e amortecedores (6)

- Dimensionamento da mola:

- Lâmina:

- $F_S = R_M$;
 - $F = F_S \text{sen} \theta$;
 - $\delta_a = Y \text{sen} \theta$;
 - $Y = Fl^3 / (3EI)$;
 - $\delta_a = F_S \text{sen}^2 \theta \cdot l^2 / (3EI)$;
 - $I = bh^3 / 12$.

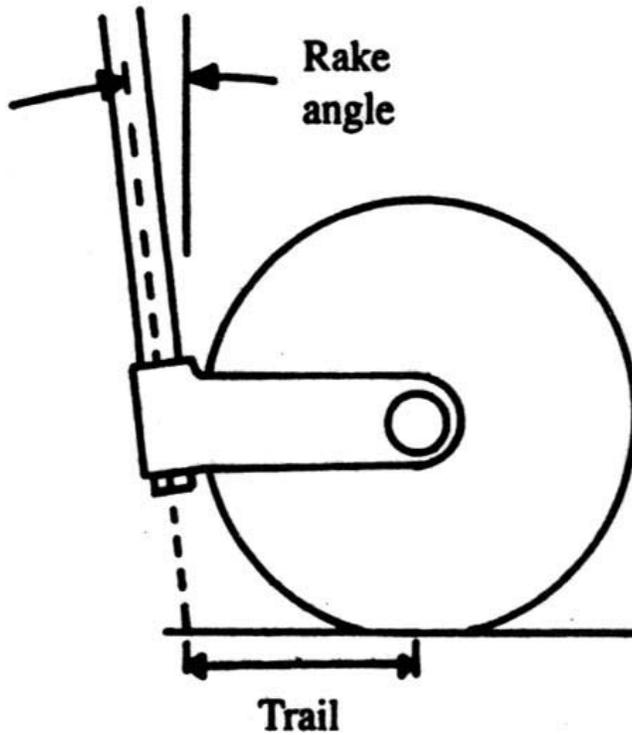


Direcção (1)

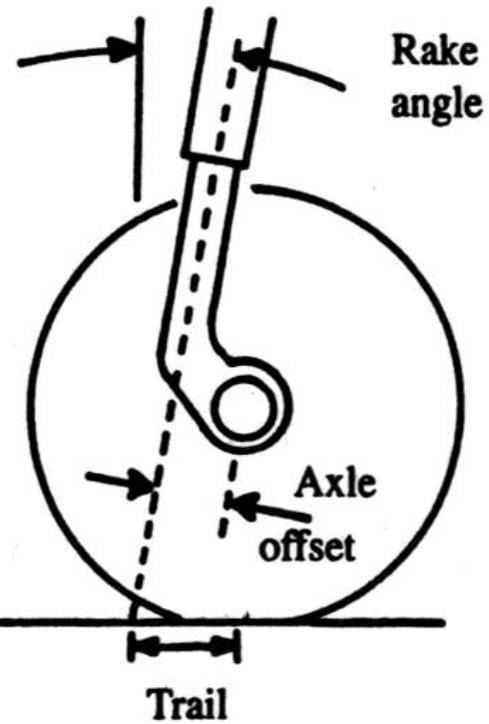
Forward



Free-swivel
negative rake



Steerable
positive rake

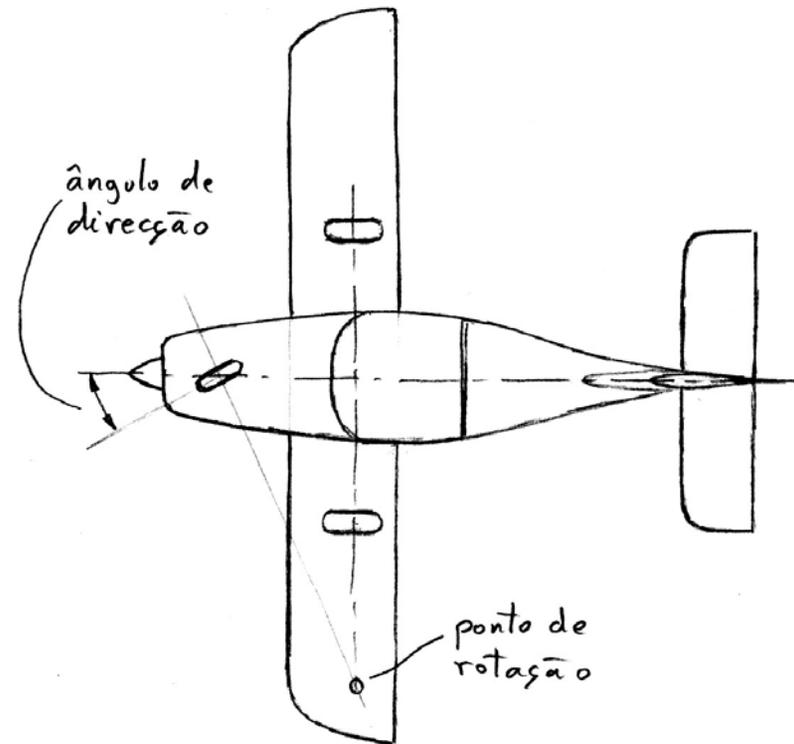


Direcção (2)

- Roda-louca ou roda-livre:
 - A direcção é controlada com travagem assimétrica nas rodas principais;
 - “Rake angle” = -4° a -6° ;
 - “Trail” = $0,2R_p$ a $1,2R_p$;
 - Para “trail” $< R_p$ pode ser necessário amortecer a vibração lateral (“shimming”);
 - A roda é sempre estável.

Direcção (3)

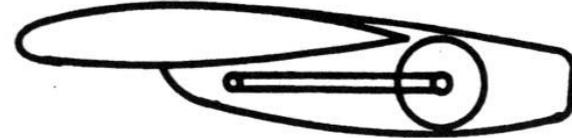
- Roda direccionável:
 - “Rake angle” = 7° a 15° ;
 - “Trail” = $0,16R_p$ a $0,2R_p$;
 - A roda é instável estaticamente;
 - A roda é estável em movimento ou com comandos de direcção;
 - O ângulo de direcção da roda direccionável deve ser tal que o ponto de rotação da aeronave esteja para dentro da ponta da asa;
 - O ângulo de direcção não deve ser muito pequeno para permitir manobras de reboque.



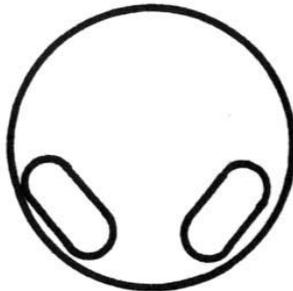
Geometria de retracção (1)



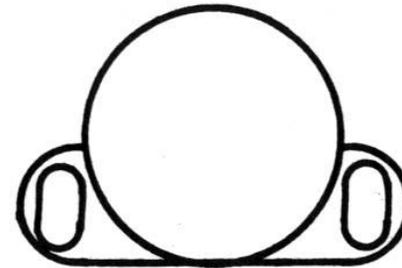
In the wing



Wing-podded



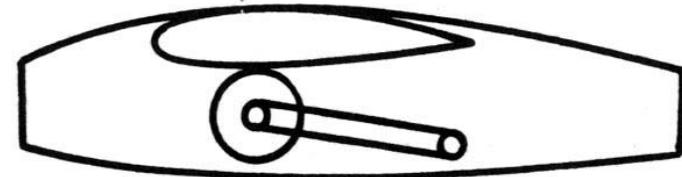
In the fuselage



Fuselage-podded

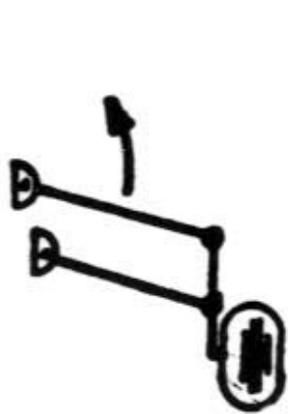


Wing/fuselage junction



In the nacelle

Geometria de retracção (2)



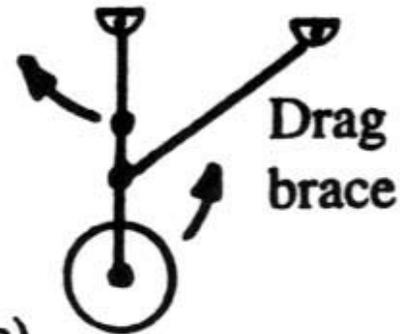
a)

Front view



b)

Side view



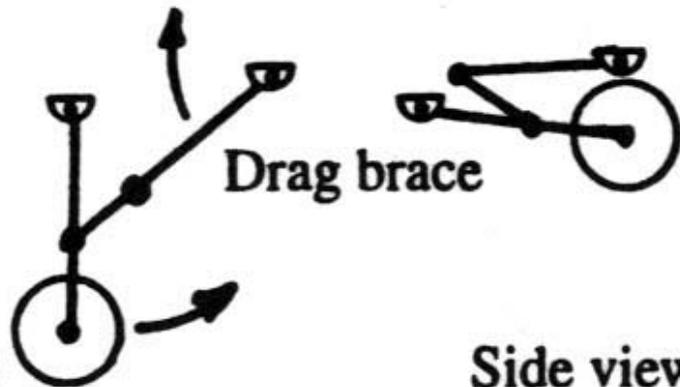
c)

Side view



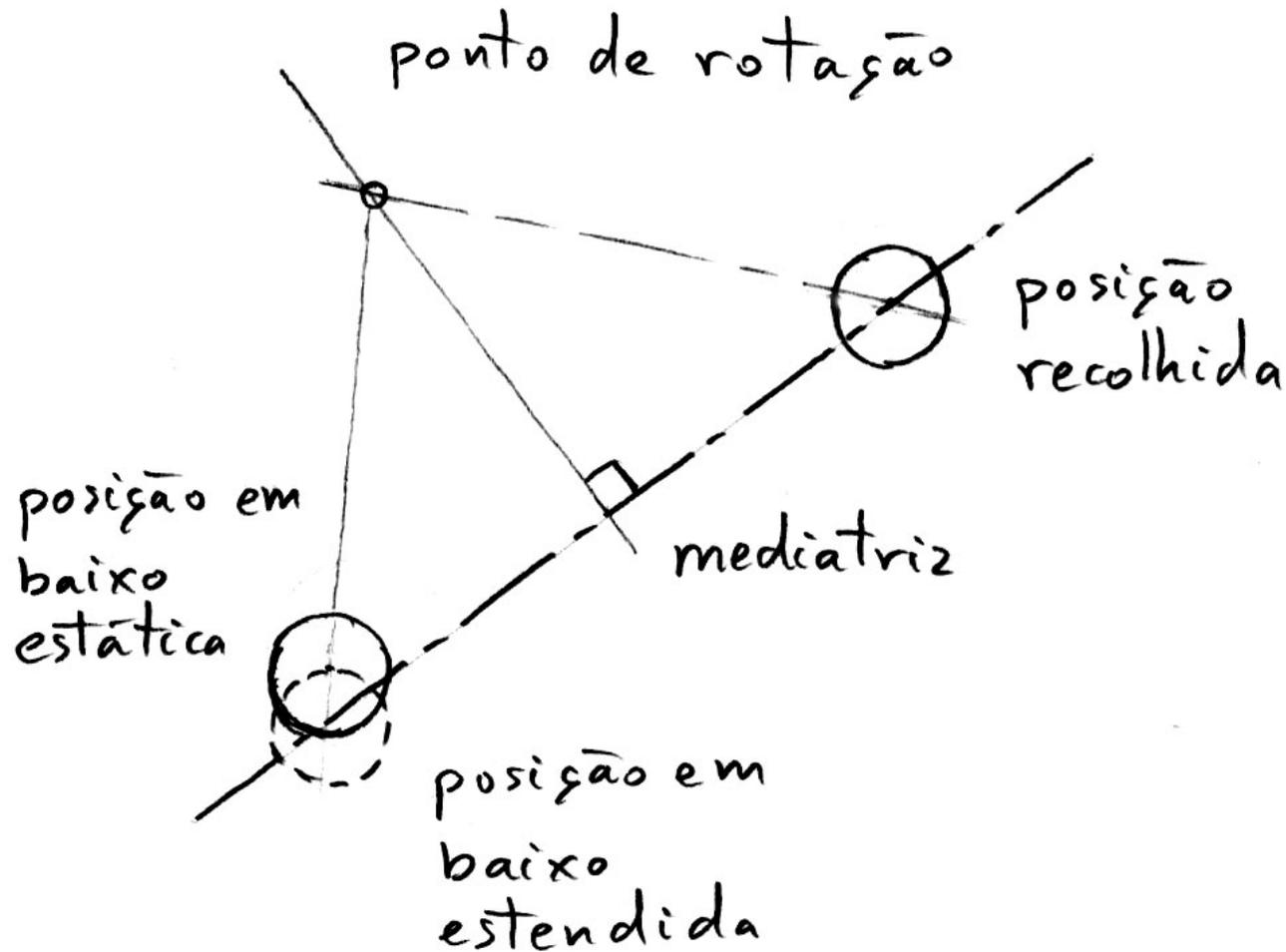
d)

Side view



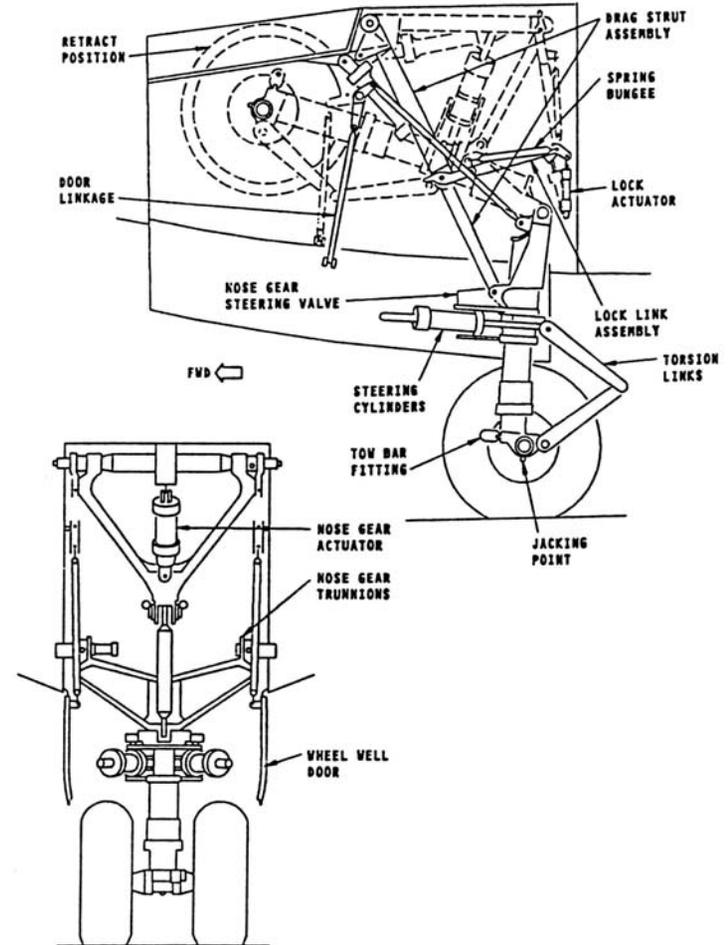
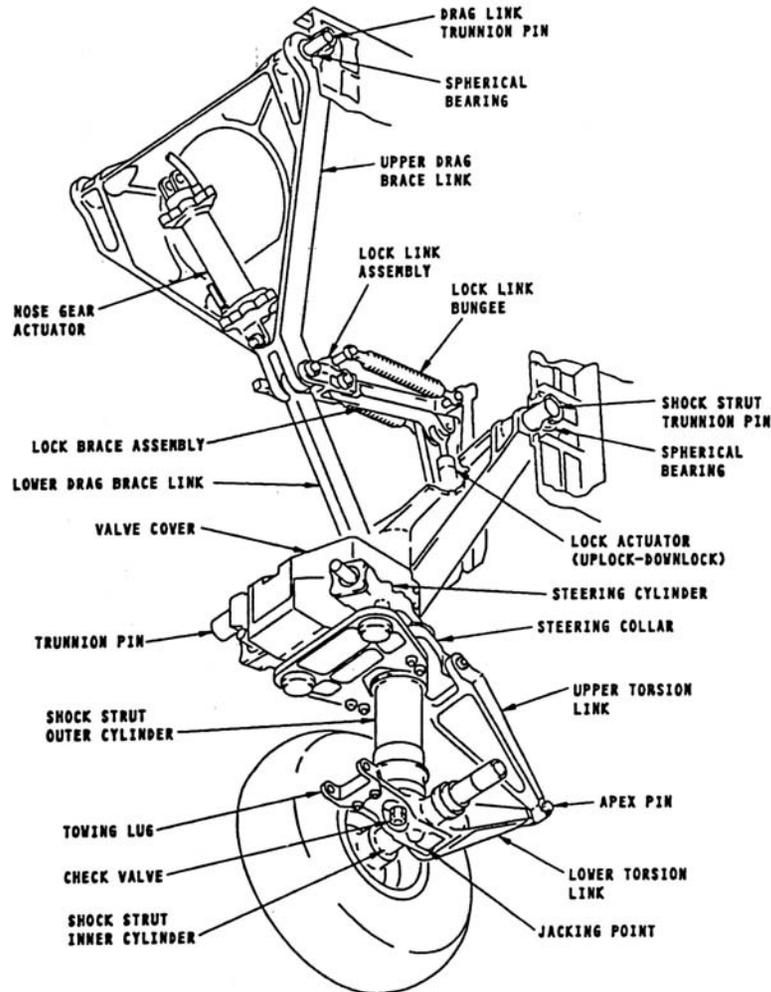
Geometria de retracção (3)

- Determinação do ponto de articulação:



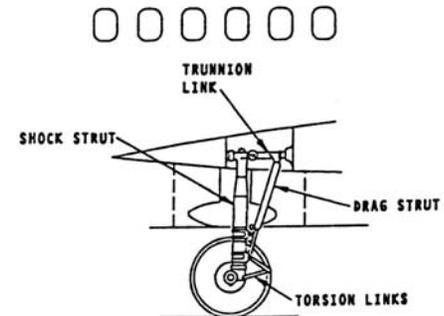
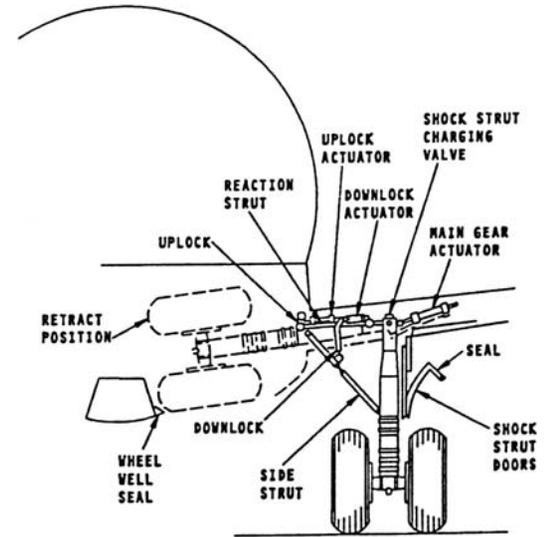
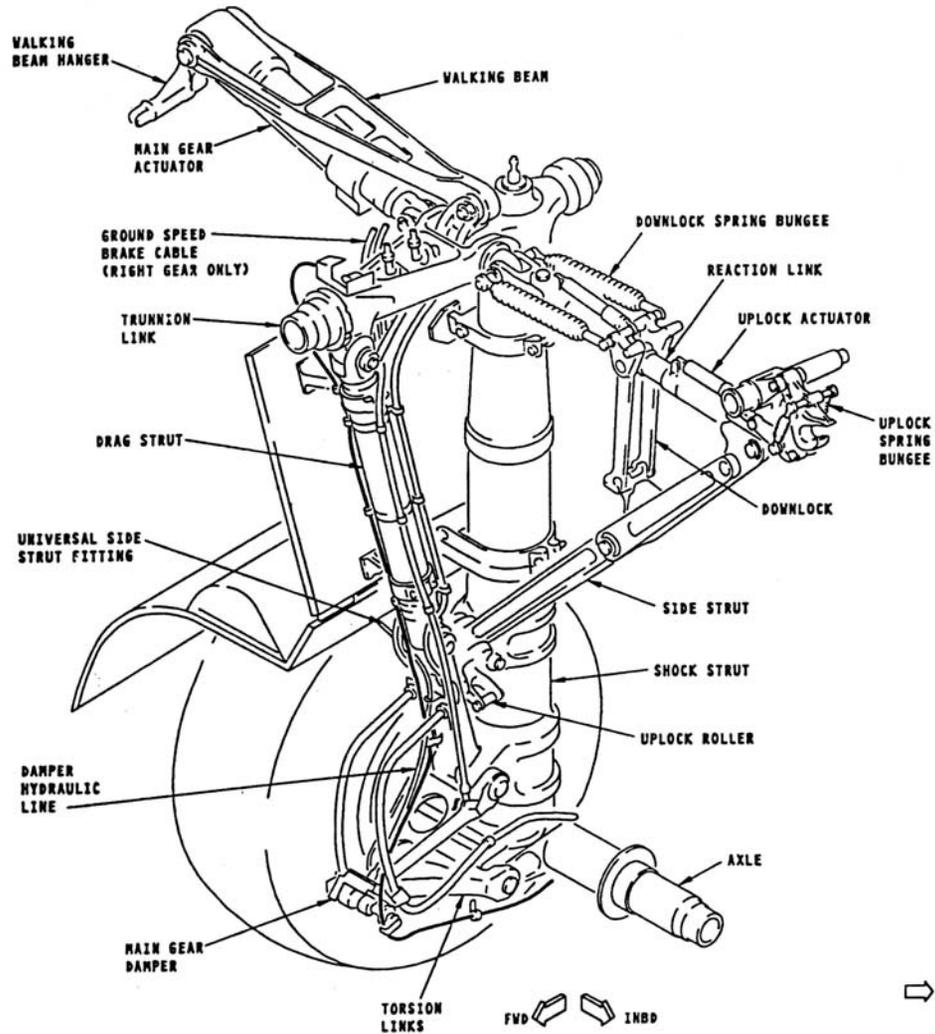
Exemplo de trem (1)

Nose Gear



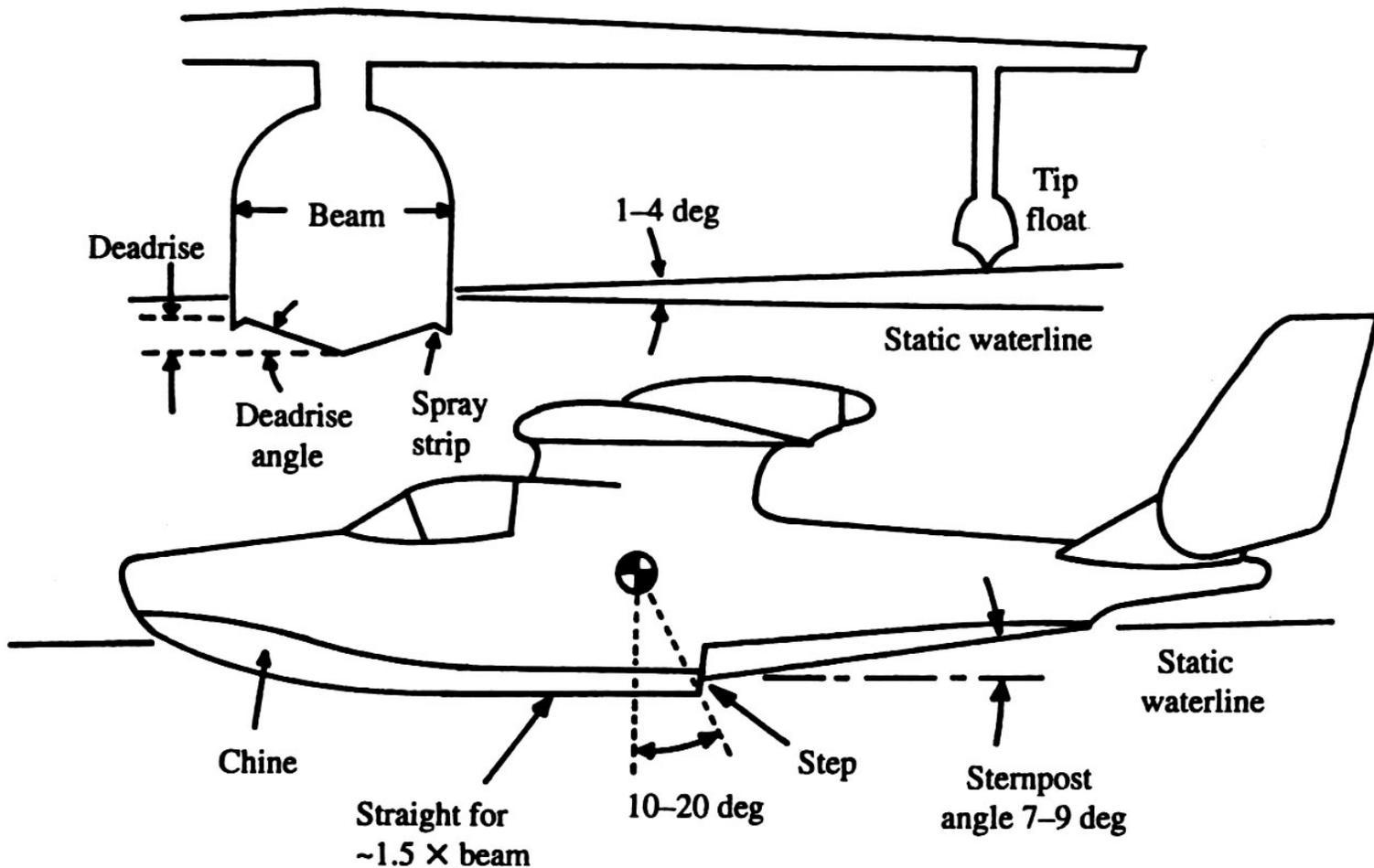
Exemplo de trem (2)

Wing Main Gear



Hidroaviões e anfíbios (1)

- Geometria do casco:



Hidroaviões e anfíbios (2)

- O casco de um hidroavião ou flutuador tem o intradorso quase plano, visto de lado, para permitir um deslizamento a grandes velocidades;
- Um degrau, que pode ser recto ou elíptico, em planta, destrói a sucção na traseira do flutuador;
- A secção do intradorso tem a forma de “V” para reduzir as cargas do impacto na água;
- Quanto maior for a velocidade de aterragem maior é o ângulo do “V”:
 - $\alpha_{\text{deadrise}} = V_S/3,218-10$ [graus];
 - V_S é a velocidade de perda [km/h];
- Por forma a cortar as ondas este ângulo aumenta para 30–40° junto ao nariz;
- Para reduzir o “spray” de água existem tiras laterais com uma inclinação de 30°.

Hidroaviões e anfíbios (3)

- A relação entre o comprimento da linha de água e a largura do casco varia entre 6 para aviões pequenos e 15 para aviões grandes;
- Quanto mais largo for o casco menor é a resistência hidrodinâmica, mas maior é a carga de impacto;
- A altura do degrau é cerca de 5 % da largura do casco e está localizado 10-20 ° atrás do CG;
- A distância plana à frente do degrau deve ser cerca de 1,5 vezes a largura do casco;
- A inclinação da fuselagem atrás do degrau tem cerca de 8°;
- Quando a fuselagem é o próprio casco devem existir flutuadores auxiliares nas asas que devem tocar na água quando o avião se inclina 1°;

Hidroaviões e anfíbios (4)

- Linha de água:
 - Para determinar a linha de água é necessário determinar o volume da fuselagem que fica submerso;
 - Desenha-se uma estimativa da linha de água;
 - Determina-se o volume submerso;
 - Multiplica-se esse volume pela densidade da água (1000 kg/m^3) para saber qual é a massa suportada por esse volume de água deslocada;
 - O centróide deste volume deve coincidir com o CG da aeronave;
 - Repetir o processo até o volume submerso suportar o peso da aeronave e o centro de flutuação coincidir com o CG;
- O coeficiente de fricção para efeitos de cálculo da descolagem e aterragem pode considerar-se como sendo 0,10-0,15.