



## Bases do curso

- **projeto de aeroporto** → **muitas especialidades**
  - projeções de demanda
  - demanda → requisitos de dimensionamento: passageiros, movimentos, aviões
  - requisitos → conceitos e plano de massa
  - planos gerais → projetos
- **poucas aulas (engenharia civil) → conceitos básicos (aeronáuticos)**
  - subsistemas de um aeroporto e fatores de dimensionamento
  - pesos de um avião e outros fatores que afetam o comprimento de pista
  - controle de tráfego aéreo e capacidade de pistas
  - plano diretor/localização, meteorologia aeronáutica, obstáculos
  - critérios de dimensionamento/geometria, pavimentos,
  - terminais de passageiros
- **avaliação (dois testes) - presença obrigatória - notas de aula**



- 1. Introdução**
- 2. Nomenclatura de pistas**
- 3. Subsistemas de um sistema aeroportuário**



**O que é um aeroporto,  
em sua **essência**?**

**local de transferência**  
**de passageiros e cargas**  
**entre modais de transporte,**  
**um deles normalmente sendo o aéreo**



**Quanto tempo dura uma viagem aérea,  
de São Paulo à Belo Horizonte?**



## **etapas e tempos a serem considerados**

- 1. Poli → Guarulhos (GRU)**
- 2. tempo em Guarulhos (GRU)**
- 3. vôo GRU – Confins (CFN)**
- 4. tempo em CFM**
- 5. CFN → Belo Horizonte (BHZ)**



1. Poli → Guarulhos – GRU **1,5 h**
2. tempo em Guarulhos – GRU **1,0 h**
3. voo GRU → Confins – CFM **0,7 h**
4. tempo em CFM **0,5 h**
5. CFM → Belo Horizonte – BHZ **1,0 h**

$$\text{tempo de voo/total } 0,7 / 4,7 = \mathbf{15\%}$$



Como engenheiros, como **melhorar** este deslocamento total porta-à-porta?

**melhores acessos/egressos**

**melhores aeroportos**

**melhores voos**

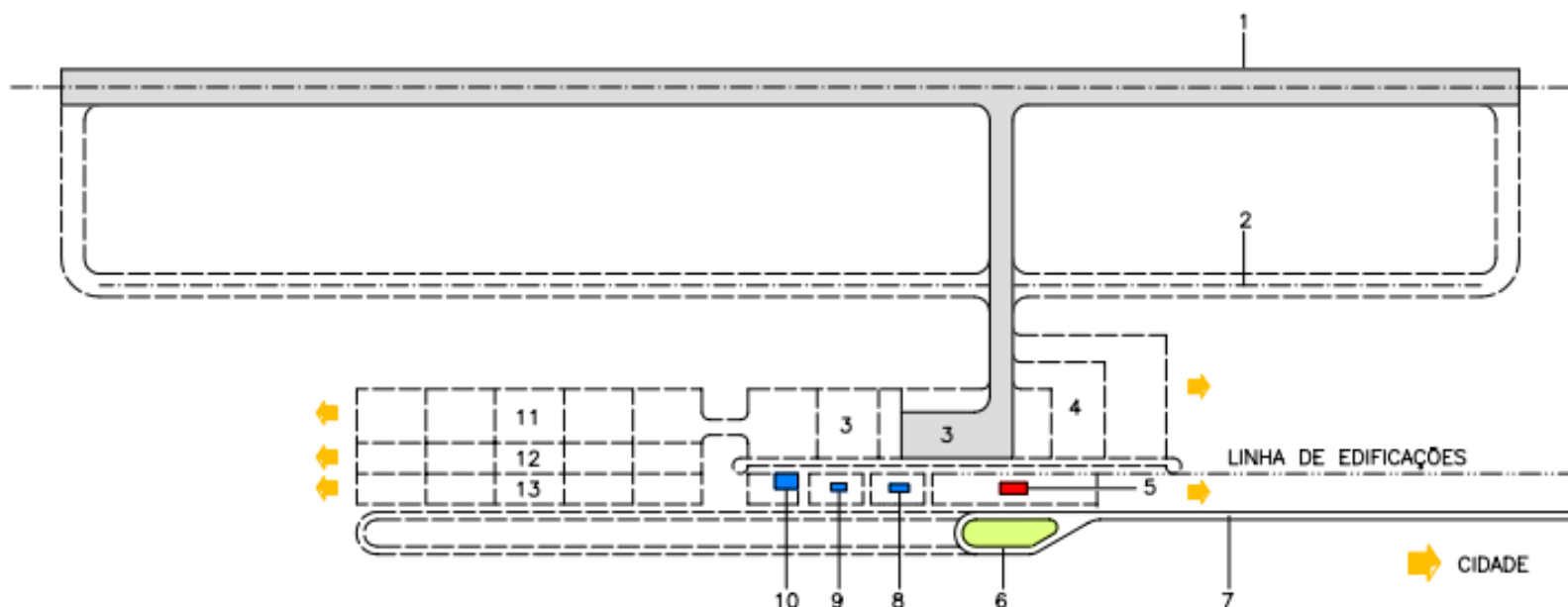
**tempo e conforto**

**processos e conforto**

**tempo e conforto**



# Partes de um aeroporto português



## LEGENDA

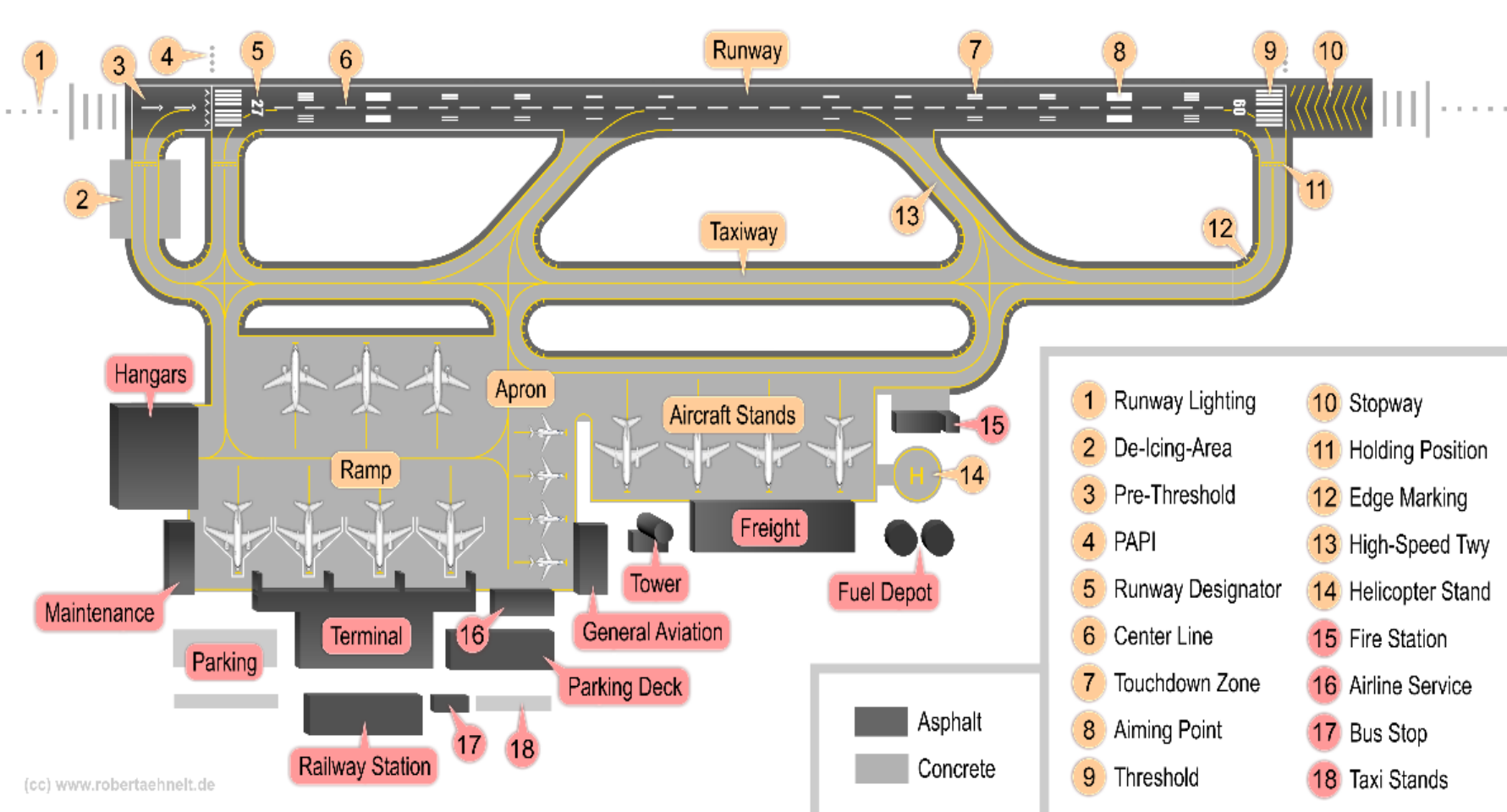
- 1—PISTA DE POUSO E DECOLAGEM
- 2—PISTA DE ROLAMENTO
- 3—PÁTIO DE MANOBRAS DA AVIAÇÃO GERAL
- 4—PÁTIO DE MANOBRAS DE AVIAÇÃO REGULAR
- 5—TEPAX
- 6—ESTACIONAMENTO DE VEÍCULOS
- 7—ACESSO VIÁRIO
- 8—NPV
- 9—SECINC
- 10—POSTO DE ABASTECIMENTO DE AERONAVES
- 11—ÁREA DE ESTADIA
- 12—PÁTIO DE HANGARES
- 13—LINHA DE HANGARES

Figura 6.1 - MODELO DE AEROPORTO BÁSICO





# Partes de um aeroporto ingles



(cc) www.robtaehnel.de



# Aeroporto de Congonhas





# Aeroporto Santos Dumont    parte aérea → aeródromo





# Aeroporto de Brasília





# Nomenclatura de pistas





# Nomenclatura de pistas





# Nomenclatura de pistas





# Nomenclatura de pistas

aeroporto Logan – Boston







# Nomenclatura de pistas

aeroporto de Congonhas



cabeceiras próximas da Rubem Berta – Washington Luis



# Nomenclatura de pistas

aeroporto Midway - Chicago





## Nomenclatura de pistas

**número na cabeceira de uma pista**

**visível para quem o piloto que nela aterra**

**→ orientação magnética da pista (\*10<sup>-1</sup>)**



# **Aeroporto como sistema**

**composto por vários subsistemas**

**transporte aéreo      multimodal na essência**



# Aeroporto como sistema





# Aeroporto como sistema





## Aeroporto como sistema



O que vemos?



## Subsistema de acesso e egresso



**ligação Dutra (BR-116) e Ayrton Senna (SP-70) com GRU**

**→ rodovia Helio Smidt (SP-19) ~ 7 km de extensão**

**2 faixas por sentido com capacidade de 22k veic/h**





## Subsistema de acesso e egresso & vias internas

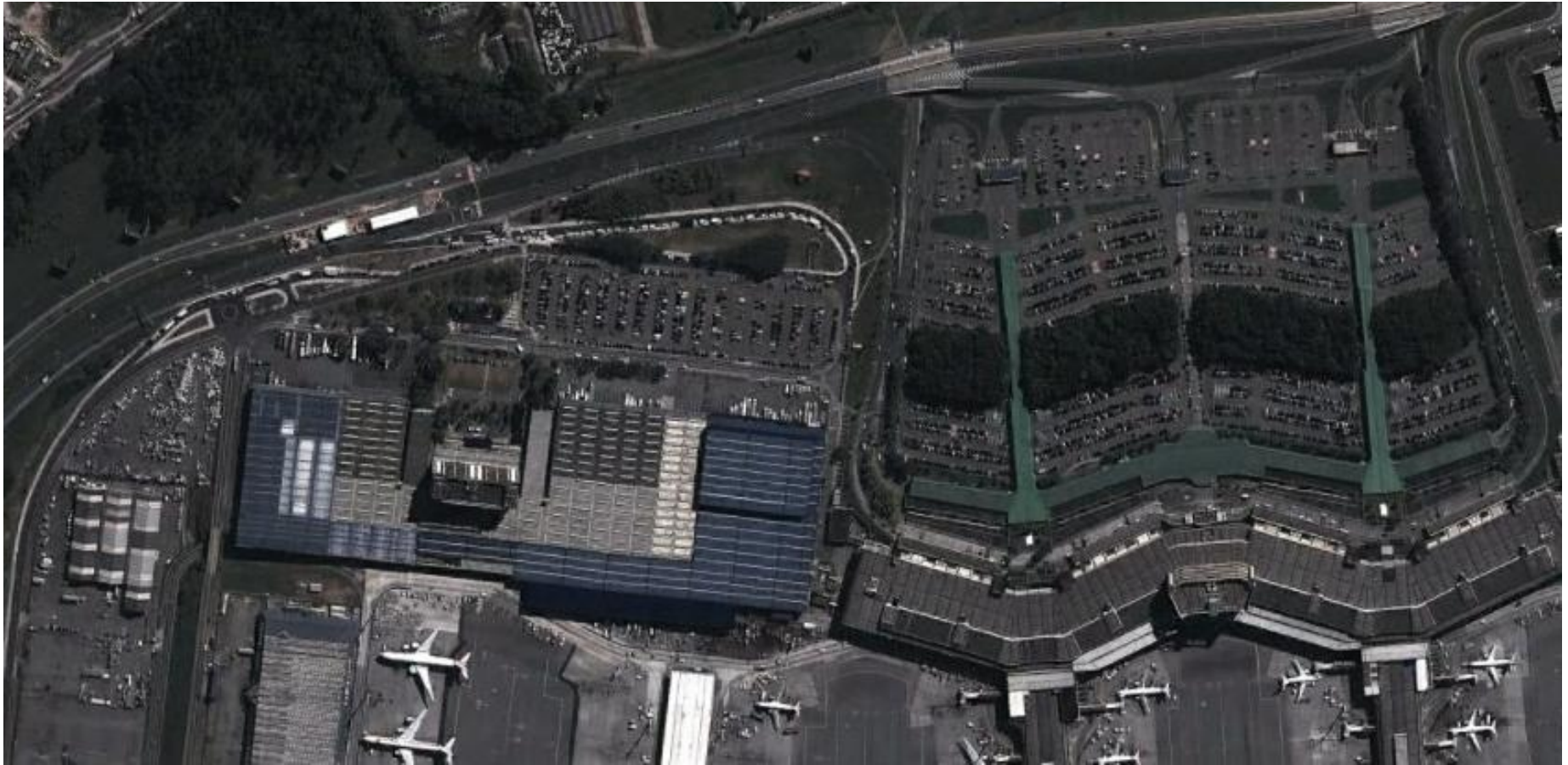


caracterizado por  
depende da

número de faixas de circulação (e comprimento)  
quantidade de veículos trafegando na hora pico



# Subsistema estacionamento veículos terrestres



caracterizado por  
depende da

área  
quantidade de veículos parados ao mesmo tempo



## Subsistema terminal de passageiros



caracterizado por  
depende da

área  
quantidade de pessoas na hora pico e do  
quantidade de pessoas/área (nível de conforto)



## Subsistema pátio estacionamento de aviões



caracterizado por  
depende da

área  
quantidade de aviões parados na hora pico e dos  
tamanhos dos aviões



## Subsistema pista(s)



caracterizado por

- quantidade de pistas (número) =  $f$  (movimentos/hora + ventos)
- comprimento (m) =  $f$  (tipo de avião + peso do avião + condições ambientais + requisitos de segurança)
- orientação ( $^{\circ}$  magnéticos) =  $f$  (ventos + topografia)
- espessura (cm) =  $f$  (frequência de uso, carga no solo, resistência do piso)



## Subsistema de pistas de taxi (*taxiways*) caminhos de circulação



caracterizado por quantidade de acessos/saídas de pista e comprimento  
depende da quantidade de pessoas na movimentos na hora pico



## Subsistemas de um sistema aeroporto **caracterização** - dimensionamento

- acesso/egresso **nº de faixas de circulação - (m)** **veículos na hora-pico**
- estacionamento de veículos **m<sup>2</sup>** **veículos parados simultaneamente**  
**(tarifas – alternativas de transporte – distância)**
- terminal de passageiros **m<sup>2</sup>** **pessoas (pax+acomp+func) na hora-pico – pessoas/m<sup>2</sup>**
- pátio de aeronaves **m<sup>2</sup>** **aviões parados simultaneamente**  
**tipos de aviões (dimensões dos vários aviões estacionados)**
- **Taxiways** **saídas e acessos da(s) pista(s)** **movimentos na hora-pico**
- pista(s) comprimento **m** **tipo de avião crítico – peso – meteorologia/ambiente – – segurança**
- espessura **m** **frequência de uso – carga no solo – resistência do solo**
- quantidade **u** **movimentos na hora-pico – ventos**
- orientação **º mag** **ventos – obstáculos à volta da pista (topografia)**



## Aeroporto de Guarulhos – GRU



→ aviões estacionados em posições próximas (com ponte de embarque)





## Atendimento Fokker F-100 em posição remota



- SEM ponte de embarque
- notar a quantidade de veículos e de equipamentos de apoio que permitem diminuir o tempo em solo para que o avião possa voar (e faturar) mais



## Atendimento Airbus A 320 em posição próxima



- **COM** ponte de embarque
- **muitos** veículos e de equipamentos de apoio para diminuir o tempo em solo



## Aeroporto de Congonhas – CGH



**totalmente cercado pela cidade, e em área residencial  
com duas pistas que não permitem operações independentes**



## Aeroporto de Viracopos – VCP



**com área para expansão no setor abaixo do terminal de passageiros**



## Aeroporto de Viracopos – VCP





## Aeroporto do Galeão – GIG (Rio de Janeiro) – Tom Jobim



com duas pistas não paralelas, com operações pouco dependentes



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo  
Aeroportos e Transporte Aéreo

## Aeroporto de Recife – REC (Guararapes)





## Aeroporto de Brasília – BSB (Tancredo Neves)

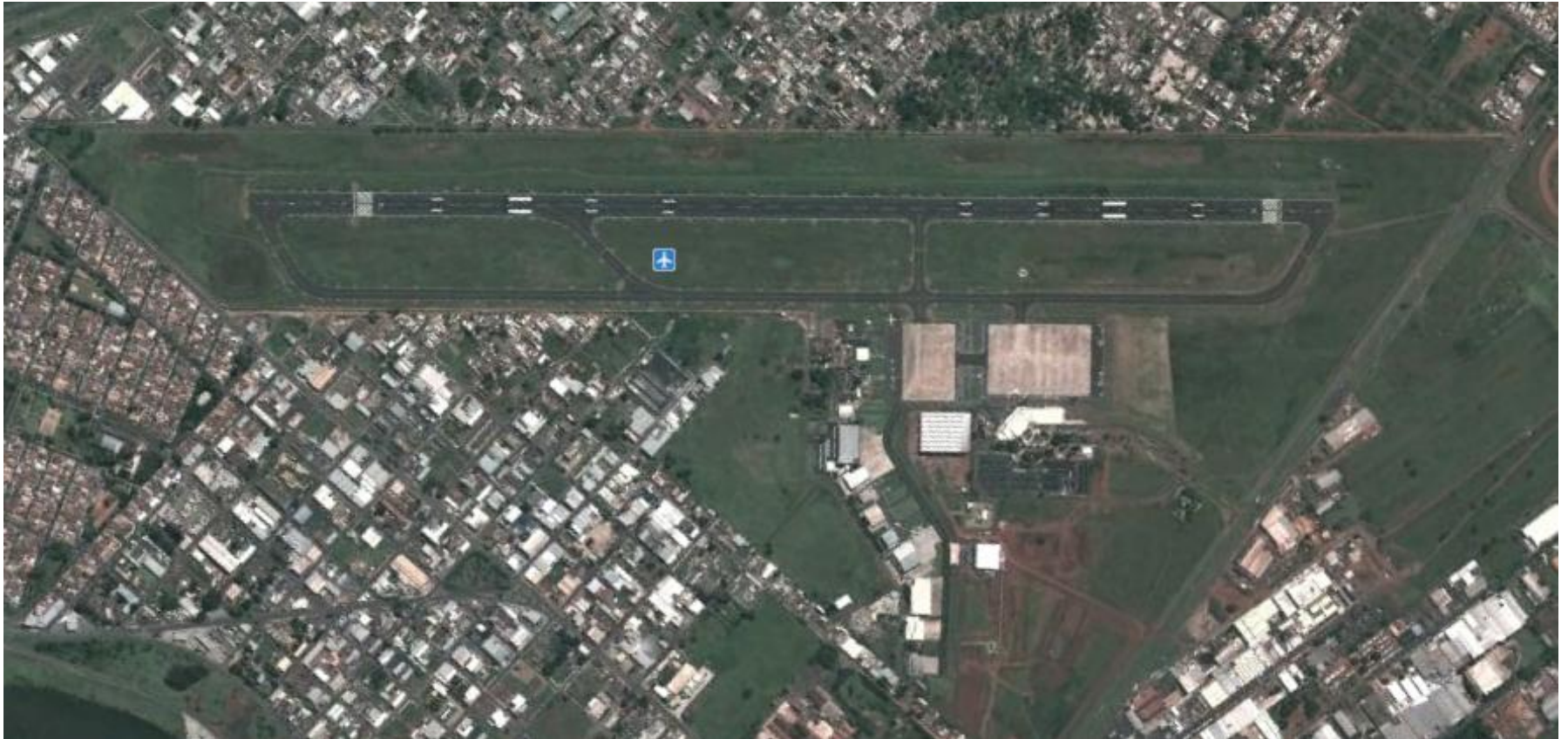


com duas pistas de operação independente, o que aumenta sua capacidade





## Aeroporto de Ribeirão Preto – RAO (Leite Lopes)



**cercado pela cidade, com muito pouca área para expansão**



## Aeroporto de Salvador – SSA (Dois de Julho)



**Com duas pistas dependentes**

**quando houver aterragens na pista maior (da esquerda para a direita), a pista menor não pode ser usada**



# Aeroporto de O'Hare – ORD (Chicago) Orchard Field (nome original)



**identifique as setes pistas: tres pares de pistas paralelas, e mais uma  
identifique-as e veja qual o sentido do vento predominante**



# Aeroporto de Midway – MDW Chicago



cinco pistas



## Aeroporto de La Guardia – LGA New York





## Aeroporto de Atlanta – ATL (Hartsfield – Jackson)



quantas pistas?



## Aeroporto de Roissy - Charles de Gaulle – CDG (Paris)



dois tipos de terminais de passageiros



## Aeroporto de Gatwick – LGW (Londres)



Formalmente com duas pistas, mas apenas uma é usada: a que fica abaixo é a pista principal, e a outra é um *taxiway* usado como pista quando a principal está inoperante





## Aeroporto de Araçatuba – ARU

Dario Guarita



**Áreas livres para quaisquer expansões → o importante é que a prefeitura proteja o entorno da área aeroportuária para evitar obstáculos e uso residencial**



## Os nossos aeroportos – visão anterior à Copa





## Os nossos aeroportos – visão posterior à Copa





## Os nossos “aeroportos” – uma visão de garimpo





## Padrões & procedimentos recomendados

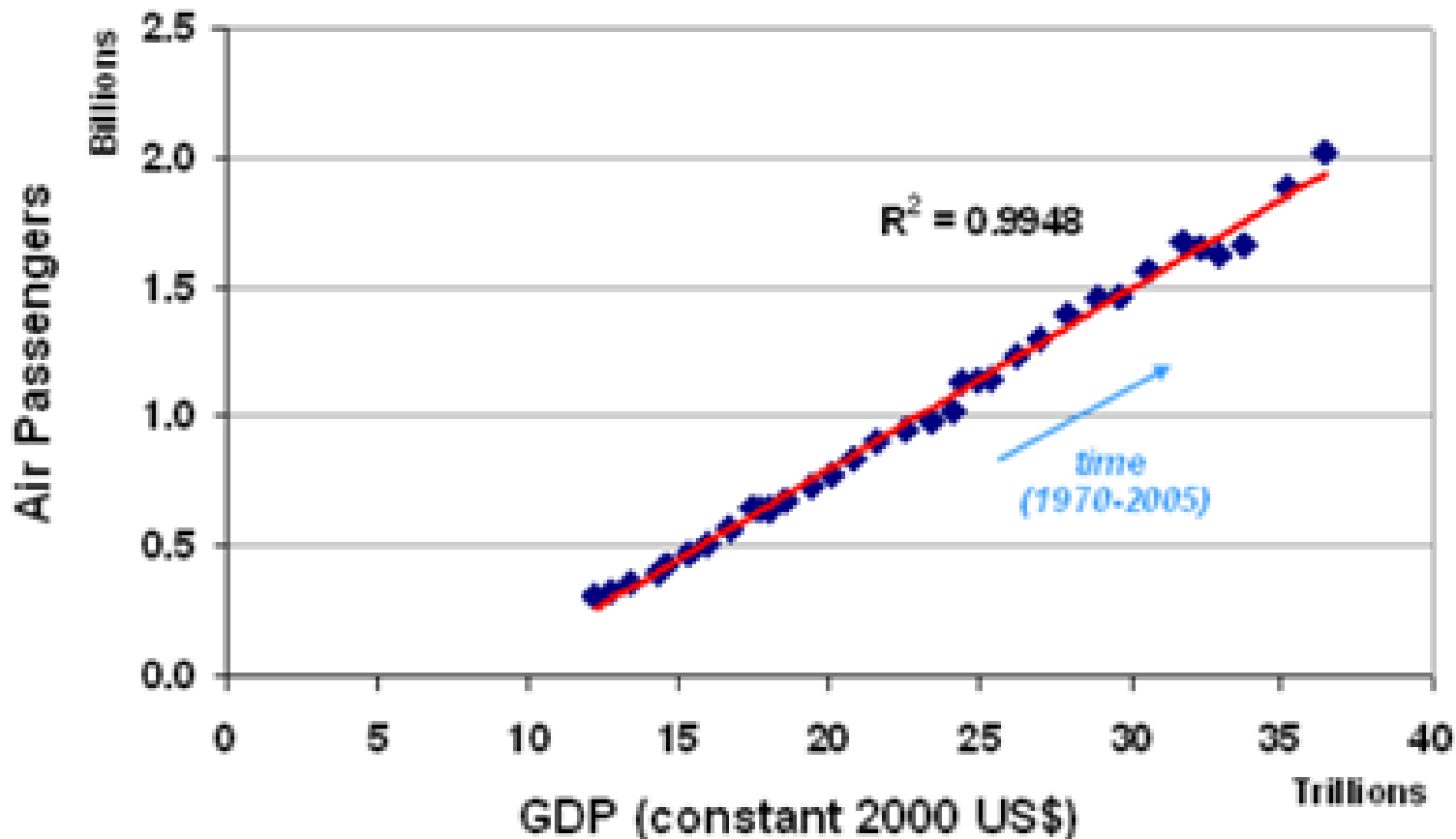




# **A padronização no transporte aéreo**



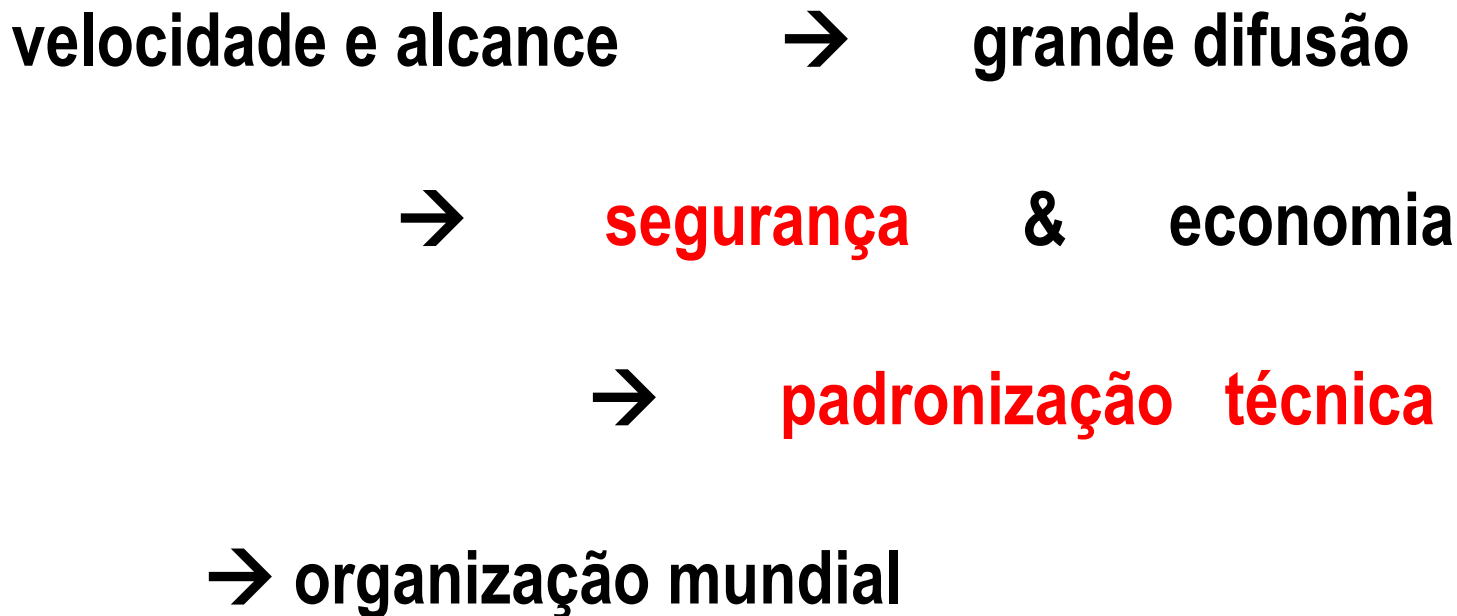
## Transporte aéreo e desenvolvimento econômico



Relação entre demanda de transporte aéreo e desenvolvimento econômico, (135 países, 1970 -2005)  
Fonte: Ishutkina, M. A. e Hansman, J. R. "Analysisi of the interaction between air transport and economic activity", MIT Mar09



## Transporte aéreo



1944: 56 países em Chicago → Convenção de Aviação Civil Int'l

**Organização de Aviação Civil Internacional – OACI – ICAO**





## Anexos à Carta da Convenção de Chicago → padronização técnica

- Anexo I - *Habilitação de pessoal – formação/habilitação de pessoal técnico*
- Anexo II - *Regras do ar – a serem seguidas no mundo inteiro*
- Anexo III - *Meteorologia – levantamento e disseminação de dados*
- Anexo IV - *Cartas aeronáuticas – elaboração de cartas*
- Anexo V - *Unidades de medida em telecomunicações –*
- Anexo VI - *Operação de aeronaves – procedimentos*
- Anexo VII - *Nacionalidade e marcas de registro de aeronaves*
- Anexo VIII - *Homologação de aeronaves (aeronavegabilidade)*
- Anexo IX - *Facilitação – requisitos que facilitem as operações*
- Anexo X - *Telecomunicações aeronáuticas – frequências e procedimentos*
- Anexo XI - *Serviços de tráfego aéreo – procedimentos*
- Anexo XII - *Busca e salvamento – procedimentos*
- Anexo XIII - *Inquérito de acidentes aeronáuticos – procedimentos*
- Anexo XIV** - ***Aeródromos – dimensões***
- Anexo XV - *Serviços de informações aeronáuticas – o que e como divulgar*
- Anexo XVI - *Ruído – atos de interferência ilegal (e.g. sequestros)*
- Anexo XVII - *Segurança – procedimentos*
- Anexo XVIII - *Materiais perigosos – o que e como transportar de forma segura*
- Anexo XIX - *Gestão de segurança*



## Padrões & procedimentos recomendados



### 3.4 Runway strips

#### *General*

3.4.1 A runway and any associated stopways shall be included in a strip.



Boeing 737-800

aeroporto de Trabzon – Turquia

13Jan18 23:30





Boeing 7237-800

aeroporto de Trabzon – Turquia

13Jan18 23:30





Boeing 737-800

aeroporto de Trabzon – Turquia

13Jan18 23:30





Boeing 737-800

aeroporto de Trabzon – Turquia

13Jan18 23:30





**Boeing 737-800**

**aeroporto de Trabzon – Turquia**

**13Jan18 23:30**





## Padronização no transporte aéreo internacional - ICAO

### objetivo

**segurança e economia**

### padronização técnica - exemplos

**certificação, homologação, medidas, cartas, unidades**

**→ anexos**

### entidade

**ICAO/OACI – Organização de Aviação Civil Internacional**

**formada por países -**

### anexos da ICAO (14 é o de aeroportos)

**anexos à carta da convenção de formação da ICAO**

### conteúdo dos anexos

**padrões (obrigatórios) e recomendações – SARPS (*standards and recommended procedures*)**





## Acidentes em Congonhas - CGH





## Acidentes em Congonhas - CGH





## Padrões & procedimentos recomendados – Anexo 14



### *Width of runway strips*

3.4.3 A strip including a precision approach runway shall, wherever practicable, extend laterally to a distance of at least:

- 150 m where the code number is 3 or 4; and
- 75 m where the code number is 1 or 2;



3.4.4 **Recommendation.**— *A strip including a non-precision approach runway should extend laterally to a distance of at least:*

- 150 m where the code number is 3 or 4; and
- 75 m where the code number is 1 or 2;





## Boeing 787 – 8

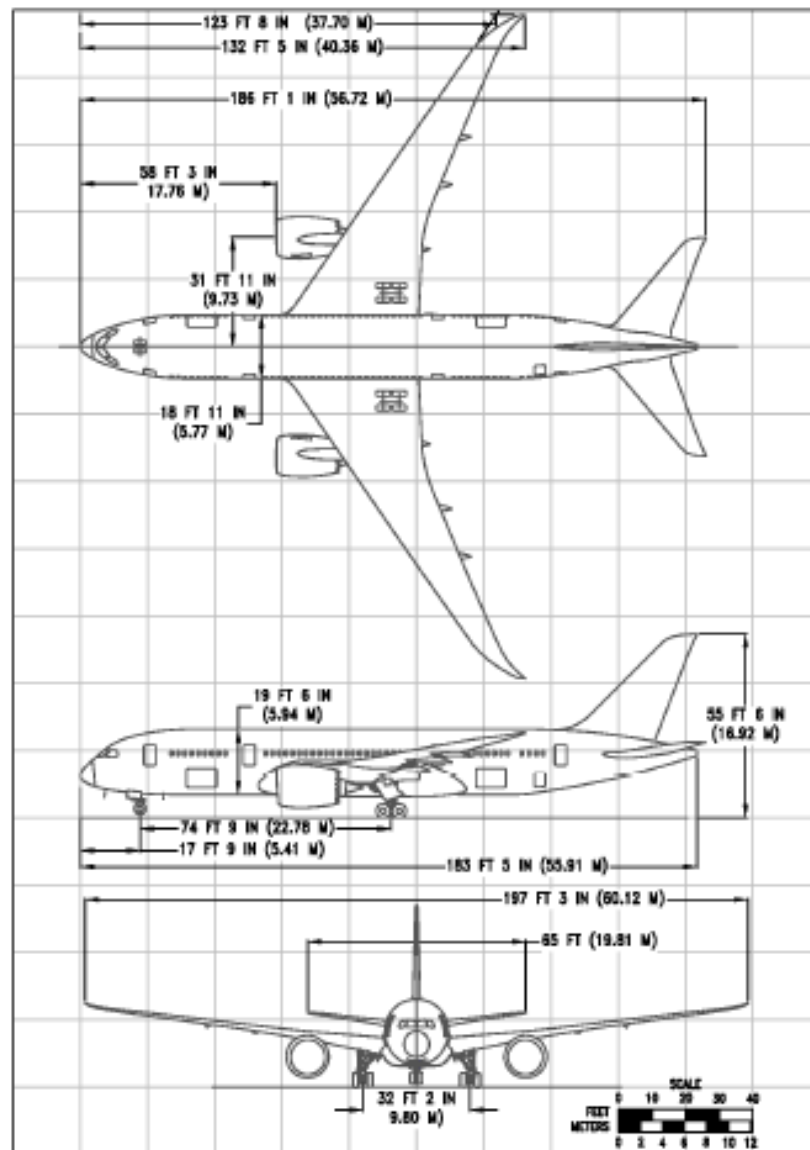
dimensões principais

→ planejamento

comprimento

envergadura

altura **variável**

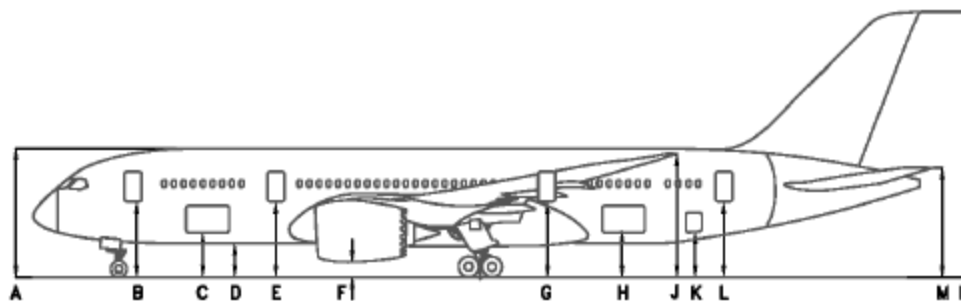




# Boeing 787 – 8

outras dimensões

→ operação



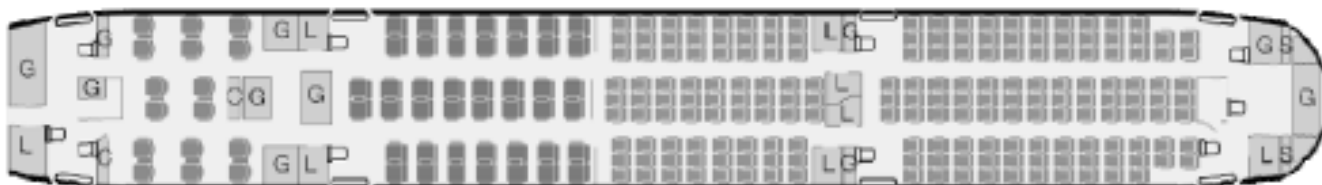
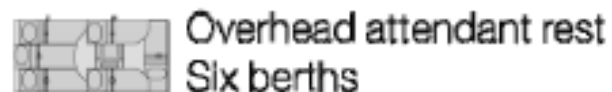
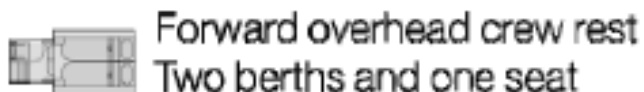
	MINIMUM		MAXIMUM	
	FEET - INCHES	METERS	FEET - INCHES	METERS
A	25 - 2	7.67	26 - 4	8.03
B	13 - 11	4.24	15 - 6	4.72
C	7 - 9	2.36	9 - 0	2.74
D	5 - 6	1.68	6 - 10	2.08
E	14 - 5	4.39	15 - 5	4.70
F (GE ENGINES)	2 - 5	.74	3 - 6	1.07
F (RR ENGINES)	2 - 4	.71	3 - 6	1.07
G	15 - 1	4.60	15 - 8	4.78
H	8 - 9	2.67	9 - 6	2.90
J	23 - 10	7.26	25 - 5	7.75
K	8 - 11	2.72	9 - 10	3.00
L	15 - 3	4.65	16 - 2	4.93
M	22 - 3	6.78	23 - 5	7.14
N	54 - 5	16.59	56 - 1	17.09



# Boeing 787 configurações internas – pax

## 787-8

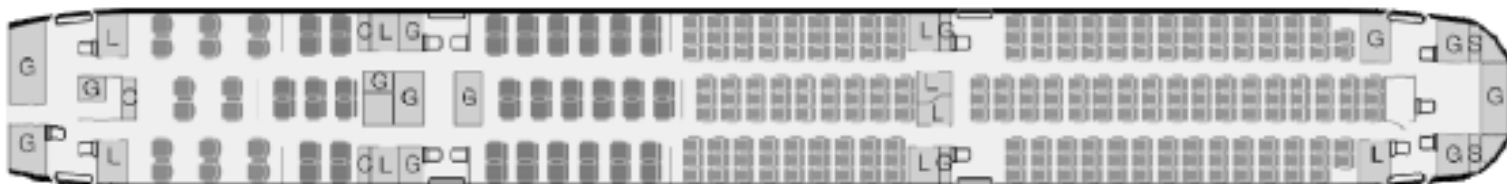
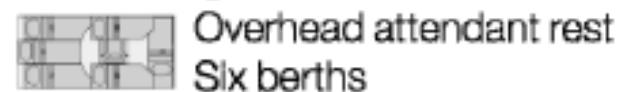
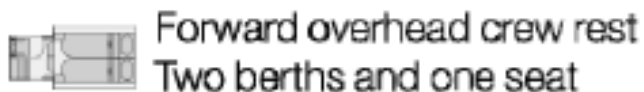
242 passengers



16 first    44 business    182 economy

## 787-9

280 passengers



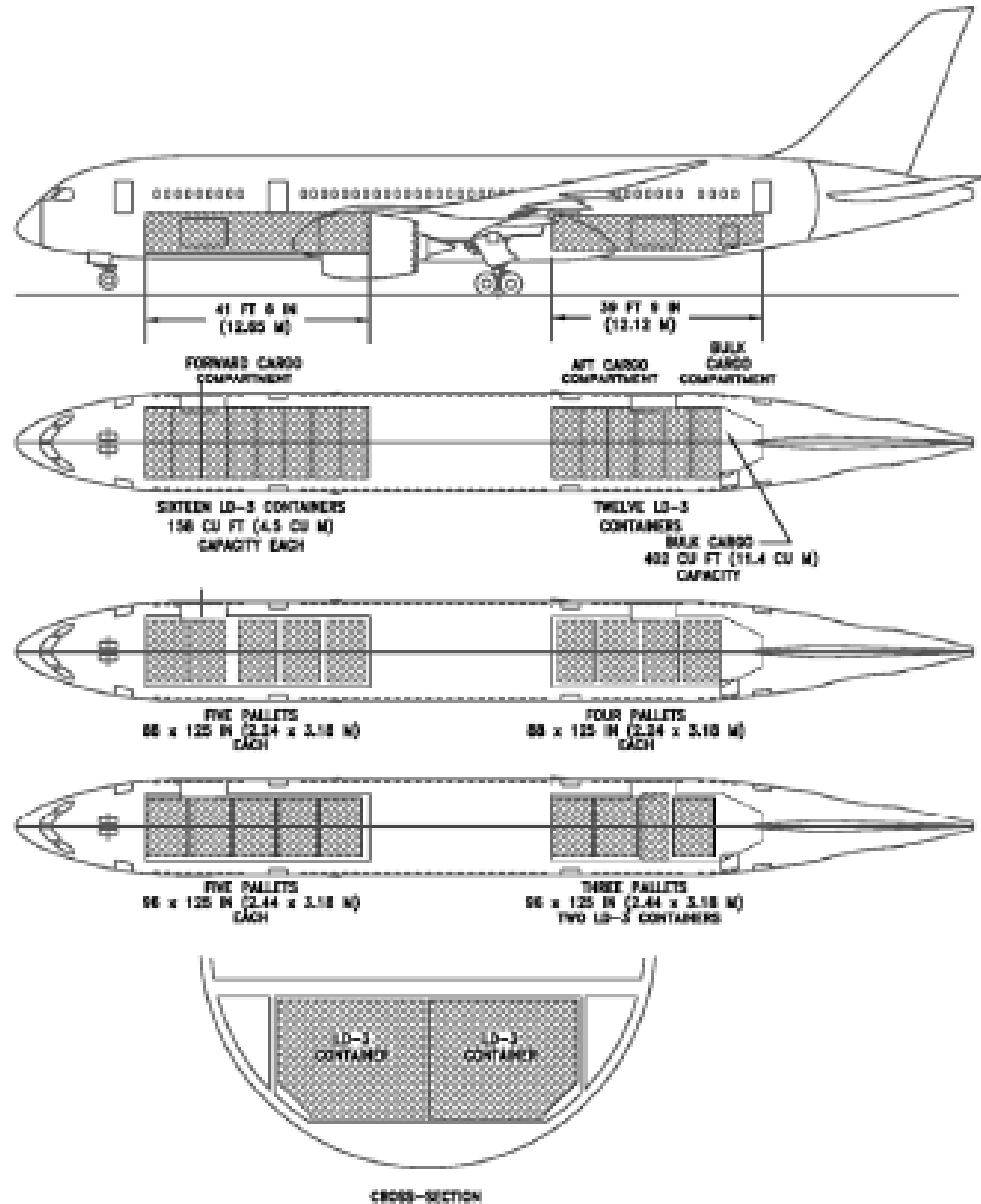
16 first    50 business    214 economy



# Boeing 787

configurações internas  
dos porões

volume disponível  
containeres  
granel (*bulk*)





## Boeing 787 –

pesos característicos  
comprimento  
envergadura  
altura **variável**

CHARACTERISTICS	UNITS	ENGINE MANUFACTURER	
		GENERAL ELECTRIC	ROLLS-ROYCE
MAX DESIGN TAXI WEIGHT	POUNDS	503,500	503,500
	KILOGRAMS	228,384	228,384
MAX DESIGN TAKEOFF WEIGHT	POUNDS	502,500	502,500
	KILOGRAMS	227,630	227,630
MAX DESIGN LANDING WEIGHT	POUNDS	380,000	380,000
	KILOGRAMS	172,385	172,385
MAX DESIGN ZERO FUEL WEIGHT	POUNDS	355,000	355,000
	KILOGRAMS	161,025	161,025
OPERATING EMPTY WEIGHT (1)	POUNDS	TBD	TBD
	KILOGRAMS	TBD	TBD
MAX STRUCTURAL PAYLOAD (1)	POUNDS	TBD	TBD
	KILOGRAMS	TBD	TBD
SEATING CAPACITY	ONE-CLASS	375 ALL-ECONOMY SEATS; FAA EXIT LIMIT = 361 SEATS	
	MIXED CLASS	242 THREE-CLASS; 16 FIRST CLASS, 44 BUSINESS CLASS, 182 ECONOMY CLASS (SEE SEC 2.4)	
MAX CARGO - LOWER DECK	CUBIC FEET	4,826 (2)	4,826 (2)
	CUBIC METERS	136.7 (2)	136.7 (2)
USABLE FUEL	US GALLONS	33,340	33,340
	LITERS	126,206	126,206
	POUNDS	223,378	223,378
	KILOGRAMS	101,323	101,323





# **Determinação do comprimento de pista**

**tipos de avião**

**pesos característicos**

**gráfico de carga paga x alcance**

**aspectos ambientais**

**aspectos de segurança**

**comprimentos característicos de pista – ICAO**



## Determinação do comprimento de pista



**Aumento do comprimento de pista com custo baixo**



## Determinação do comprimento de pista



**Aumento do comprimento de pista com custo médio**



## Determinação do comprimento de pista



**Aumento do comprimento de pista com custo alto**



## Determinação do comprimento de pista



**Aumento do comprimento de pista com custo muito alto**



## Subsistemas de um sistema aeroporto

**caracterização** - dimensionamento

- acesso/egresso **nº de vias - (m)** **veículos na hora-pico**
- estacionamento de veículos **m<sup>2</sup>** **veículos parados simultaneamente**  
**(tarifas – alternativas de transporte – distância)**
- terminal de passageiros **m<sup>2</sup>** **pessoas na hora-pico - pessoas/m<sup>2</sup>**
- pátio de aeronaves **m<sup>2</sup>** **aviões parados simultaneamente**  
**tipos de aviões (dimensões)**
- caminhos de circulação **m** **movimentos na hora-pico**
- pista(s) **comprimento** **m** **tipo de avião - peso - meteorologia/ambiente - segurança**  
**espessura** **m** **frequência de uso - carga no solo - resistência do solo**  
**quantidade** **u** **movimentos na hora-pico - ventos**  
**orientação** **ºmag** **ventos - topografia**



## Subsistema de **pista(s)** de um sistema aeroporto

comprimento	<b>m</b>	<b>tipo de avião</b>	-	<b>peso</b>	-	<b>meteorologia/ambiente</b>	-	<b>segurança</b>
espessura	m	frequência de uso	-	carga no solo	-	resistência do solo		
quantidade	u	movimentos na hora-pico	-	ventos				
orientação	° mag	ventos	-	topografia				

- **tipo de avião**    missão → projeto → asa
- **peso**            pesos característicos, gráfico de carga paga x alcance    → pista
- **meteorologia & ambiente**
- **segurança**      decolagem: normal + em pane + abortada  
  
   aterragem



## Subsistema de **pista(s)** de um sistema aeroporto

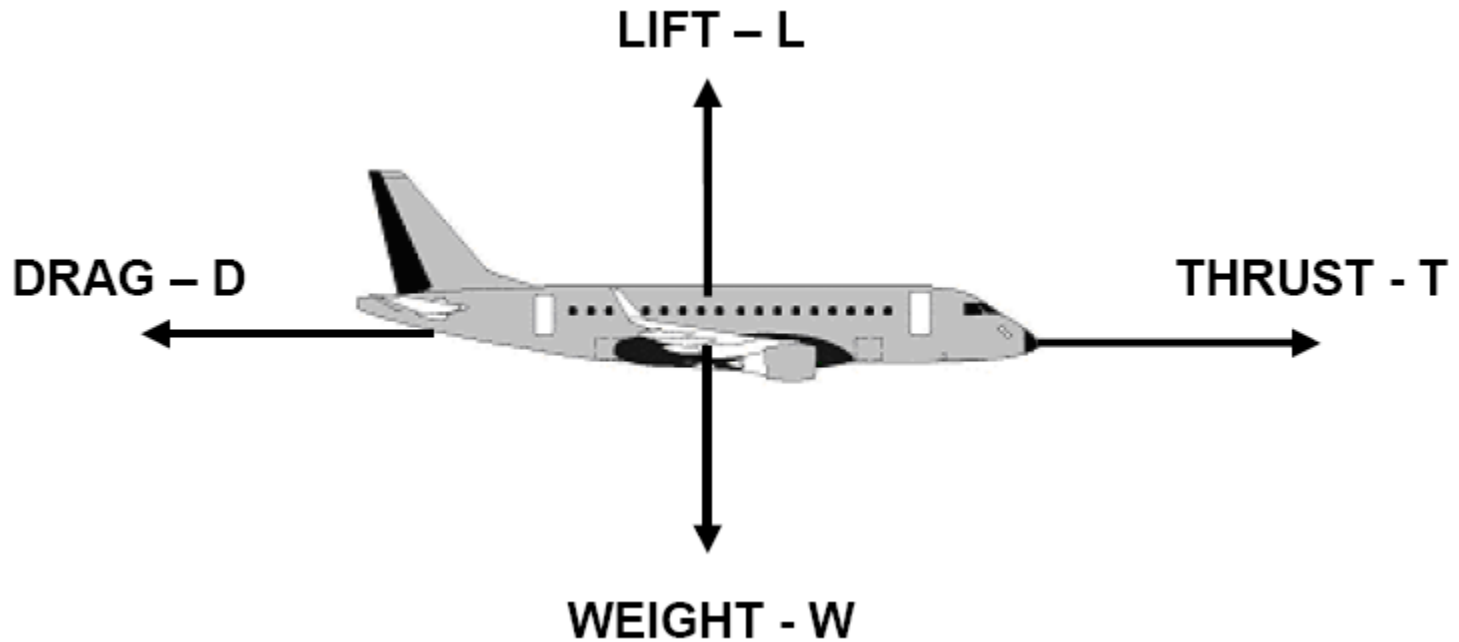
<b>comprimento</b>	<b>m</b>	<b>tipo de avião</b> – <b>peso</b> – <b>meteorologia/ambiente</b> – <b>segurança</b>
espessura	m	frequência de uso - carga no solo - resistência do solo
quantidade	u	movimentos na hora-pico - ventos
orientação	° mag	ventos - topografia

- **tipo de avião** missão → projeto → asa
- **peso** pesos característicos, gráfico de carga paga x alcance → pista
- **meteorologia & ambiente**
- **segurança** decolagem: normal + em pane + abortada  
aterragem





## Forças atuantes em um avião em voo





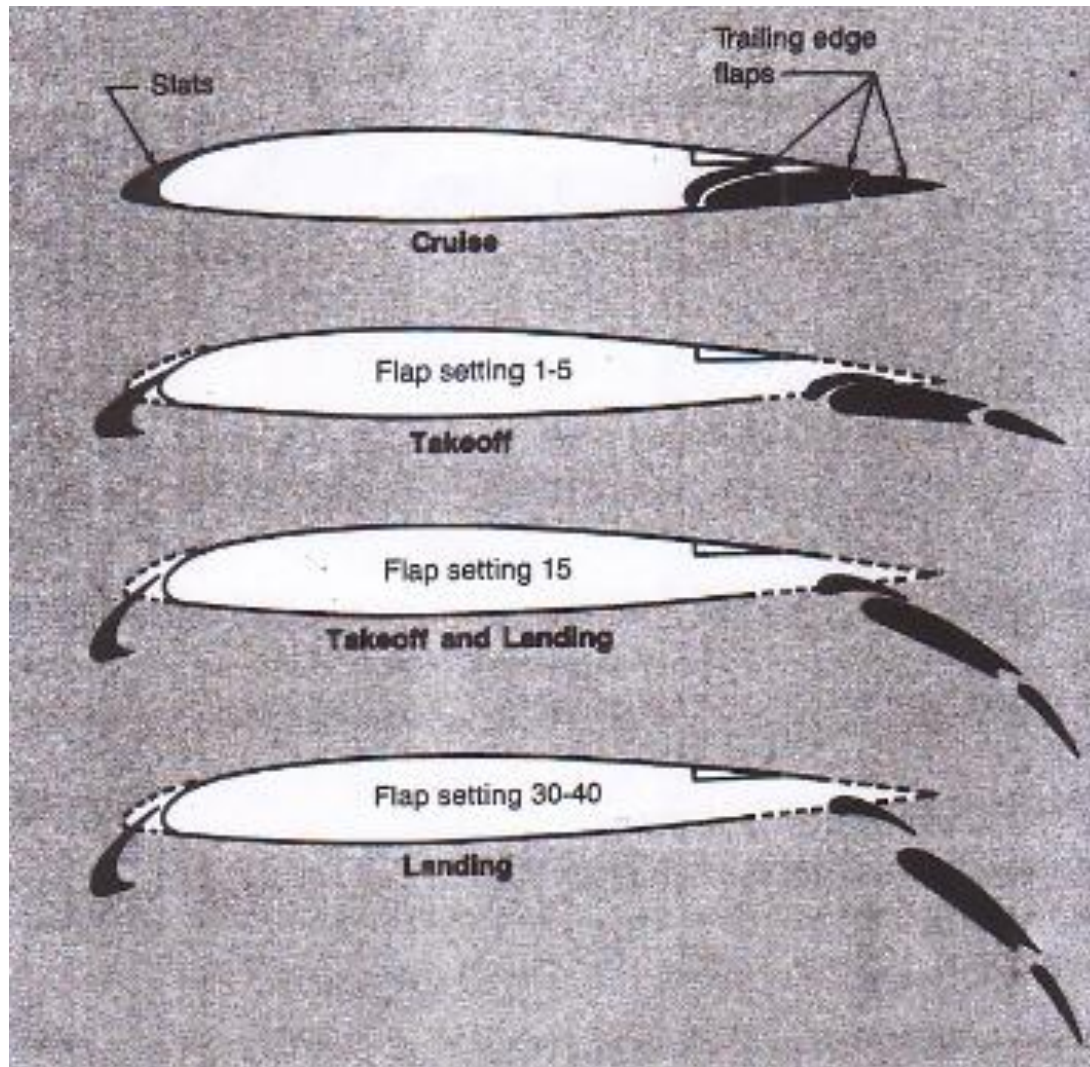
## Sustentação

- **L** sustentação
- **R<sub>o</sub>** densidade do ar
- **V** velocidade
- **S** superfície da asa
- **C<sub>l</sub>** coeficiente de sustentação

$$L = \frac{1}{2} \rho V^2 S * C_l$$



## Dispositivos de hiper-sustentação de uma asa – *flaps* e *slats*





**Escola Politécnica da Universidade de São Paulo**  
**Aeroportos e Transporte Aéreo**





## Subsistema de **pista(s)** de um sistema aeroporto

**comprimento**    **m**    **tipo de avião** – **peso** – **meteorologia/ambiente** – **segurança**

**espessura**    m    frequência de uso - carga no solo - resistência do solo

**quantidade**    u    movimentos na hora-pico - ventos

**orientação**    ° mag    ventos - topografia

- **tipo de avião**    missão → projeto → asa
- **peso**    pesos característicos, gráfico de carga paga x alcance    → pista
- **meteorologia & ambiente**
- **segurança**    decolagem: normal + em pane + abortada  
aterragem



## **Pesos característicos de um avião**

**Peso básico operacional = avião vazio + tripulantes + bagagens dos tripulantes + comissaria**

**Carga paga = passageiros + bagagens dos passageiros + carga propriamente dita**

**Peso zero combustível = peso básico operacional + carga paga**

**Combustível total = etapa + reservas (10% etapa + alternativa + espera sobre alternativa)**

**Peso de decolagem = peso zero combustível + combustível total**

**Peso de aterragem = peso de decolagem – combustível consumido**



## Pesos característicos de um avião

**Peso básico operacional = avião vazio + tripulantes + bagagens dos tripulantes + comissaria**

Carga paga = passageiros + bagagens dos passageiros + carga propriamente dita

Peso zero combustível = peso básico operacional + carga paga

Combustível total = etapa + reservas (10% etapa + alternativa + espera sobre alternativa)

Peso de decolagem = peso zero combustível + combustível total

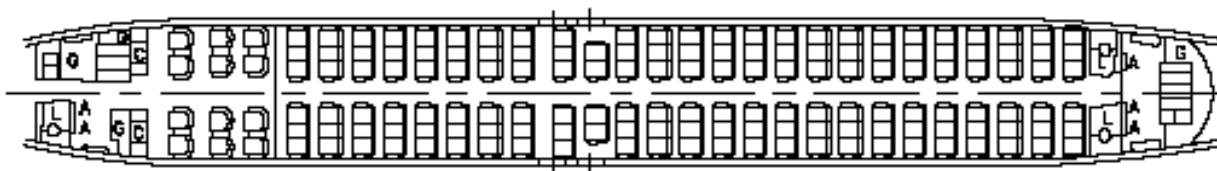
Peso de aterragem = peso de decolagem – combustível consumido



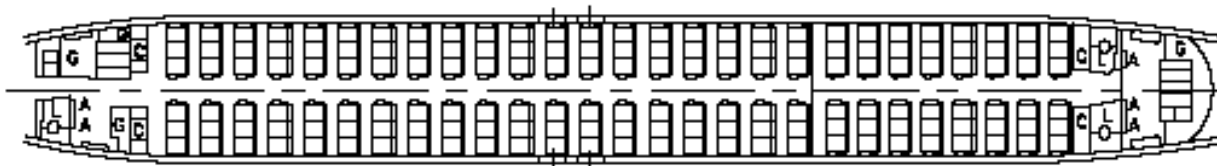
# Configurações internas

Boeing 737-800

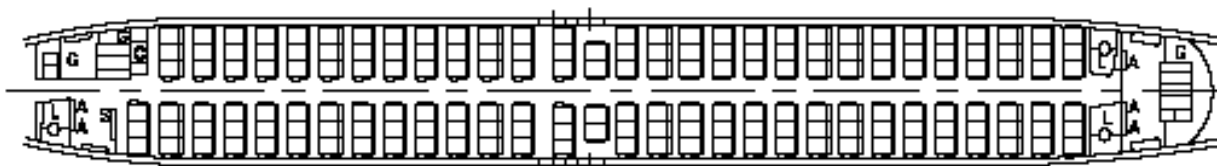
Fonte: Airplane Characteristics – Airport Planning D6-58325-3 Apr98



MIXED CLASS  
12 FIRST CLASS SEATS AT 38-IN PITCH  
148 ECONOMY CLASS SEATS AT 32-IN PITCH



MIXED CLASS  
108 BUSINESS CLASS SEATS AT 34-IN PITCH  
54 ECONOMY CLASS SEATS AT 32-IN PITCH



SINGLE CLASS  
175 ECONOMY CLASS SEATS AT 32-IN PITCH (SHOWN)  
OR 184 ECONOMY CLASS SEATS AT 30-IN PITCH

[A] ATTENDANT [C] CLOSET [G] GALLEY [L] LAVATORY [S] STOWAGE

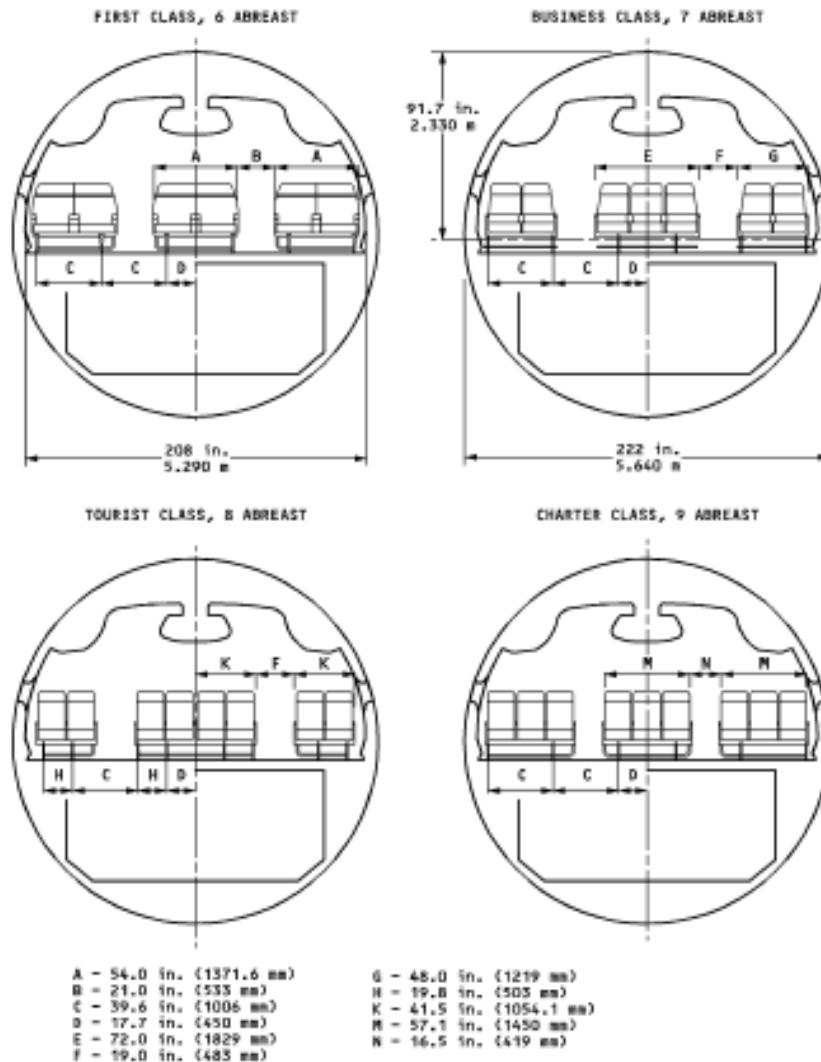




# Configurações internas

## Airbus A 330

Fonte: Airplane Characteristics for Airport Planning Jan01





# à procura do assento perfeito

o as expressões que vo-  
contrar no site). O Gu-  
r – ou apenas G-Factor  
c ainda mais a avaliação  
ções de cada voo para  
vega pelo SeatGuru, o  
oso mapa online de ae-  
com funções que per-  
ver as companhias aé-  
n mais ou menos espa-  
as pernas (o *seat pitch*),  
ades como tomadas pa-  
gar o laptop e o tipo de  
imento a bordo.

ator leva em conta ain-  
zição de cada empresa e  
s de satisfação de inter-  
ue escrevem resenhas e  
is no TripAdvisor, pro-  
do SeatGuru. Você po-  
nizar os resultados da  
não apenas por preço,  
xém pelo índice de satis-  
dido pelo G-Factor sim-  
te clicando em um bo-  
lto da página. A seguir,  
s opções para encontrar  
eriência de voo razoá-  
ço aceitável. / COM NYT



**Acomode-se.** Saída de emergência é um dos lugares disputados pelos passageiros altos

## Fator de agonia: com ou sem paradas

“Fator de agonia” (*agony fac-  
tor*) é o primeiro critério na  
lista de possibilidades para or-  
denar o resultado de uma pes-  
quisa de voos no Hipmunk  
com. Trata-se de uma combi-  
nação entre preço, número de  
paradas e duração do voo. Ao  
posicionar o cursor sobre ca-  
da resultado da busca você ain-  
da vê em qual modelo de aere-  
nave embarcará e os aeropor-  
tos de escala.

Pesquisados voos para o tre-  
cho São Paulo – Londres no  
fim de agosto pelo critério da  
agonia, a portuguesa TAP,  
com uma conexão, foi a me-  
lhor colocada – pelo critério  
preço, coincidentemente, a  
empresa portuguesa também  
foi eleita a melhor escolha.



**Avião antigo (motor à pistão): todos os assentos tinham o conforto do que hoje é uma classe executiva, e a cada fileira havia uma janela; os assentos eram fixos, não podendo ser deslocados no sentido longitudinal de forma a permitir ter-se mais assentos**



## Configurações internas

Novos “assentos” (espécie de selim) → visão de um futuro não muito distante?





## Configurações internas



**A capacidade máxima de assentos em um avião é o número de passageiros que consegue sair dele em 90 s usando as portas/janelas de apenas um lado do avião**



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo  
Aeroportos e Transporte Aéreo

## Boeing 757 Precision Conversions Combi





# Boeing 757 Precision Conversions Combi

10 posições de pallets de carga + 54 assentos





**Escola Politécnica da Universidade de São Paulo**  
**Aeroportos e Transporte Aéreo**

## **Boeing 757 Precision Conversions Combi**







## Pesos característicos de um avião

Peso básico operacional = avião vazio + tripulantes + bagagens dos tripulantes + comissaria

para um mesmo tipo de avião, variando-se a quantidade de

**assentos**                      **mais assentos**                      → **menos conforto**

**WC**                                      **mais banheiros**                      → **mais conforto**

**galleys**                                      **mais espaço para alimentos**                      → **mais conforto**

**tripulantes técnicos**                      **mais tripulantes**                      → **vôo mais longo**

**tripulantes comerciais**                      **mais comissários(as)**                      → **melhor serviço**

**comissaria**                                      **mais alimentos e produtos**                      → **melhor serviço**

um dado vôo                      →                      um dado PBO



## Pesos característicos de um avião

Peso básico operacional = avião vazio + tripulantes + bagagens dos tripulantes + comissaria

Carga paga = passageiros + bagagens dos passageiros + carga propriamente dita

**1 pax + bag = 75 + 20 kg = 95 kg ~ 200 lb**

**pax → fuselagem superior**

**bagagens + carga → porões (fuselagem inferior)**

**aviões de um só corredor (*narrow bodies*) x aviões de corredor duplo (*wide bodies*)**

Peso zero combustível = peso básico operacional + carga paga

Combustível total = etapa + reservas (10% etapa + alternativa + espera sobre alternativa)

Peso de decolagem = peso zero combustível + combustível total

Peso de aterragem = peso de decolagem – combustível consumido



## Pesos característicos de um avião

Peso básico operacional = avião vazio + tripulantes + bagagens dos tripulantes + comissaria

Carga paga = passageiros + bagagens dos passageiros + carga propriamente dita

**Peso zero combustível = peso básico operacional + peso de carga paga**

**PZC é limitado por projeto (limite estrutural) = PMZC**

**se PBO é constante → carga paga máx = PMZC – PBO**

Combustível total = etapa + reservas (10% etapa + alternativa + espera sobre alternativa)

Peso de decolagem = peso zero combustível + combustível total

Peso de aterragem = peso de decolagem – combustível consumido



## Pesos característicos de um avião

Peso básico operacional = avião vazio + tripulantes + bagagens dos tripulantes + comissaria

Carga paga = passageiros + bagagens dos passageiros + carga propriamente dita

Peso zero combustível = peso básico operacional + carga paga

Combustível total = **combustível para a etapa**

**limitado por volume** + **combustível de reserva** **10% etapa**

**+ voar para alternativa**

**+ voar sobre alternativa (espera)**

Peso de decolagem = peso zero combustível + combustível total

Peso de aterragem = peso de decolagem – combustível consumido



## Pesos característicos de um avião

Peso básico operacional = avião vazio + tripulantes + bagagens dos tripulantes + comissaria

Carga paga = passageiros + bagagens dos passageiros + carga propriamente dita

Peso zero combustível = peso básico operacional + carga paga

Combustível total = etapa + reservas (10% etapa + alternativa + espera sobre alternativa)

**Peso de decolagem = peso zero combustível + combustível total**

**limitado por projeto (limite estrutural) → peso max estrutural de decolagem – PMED**

**limitado por operação (p. ex., pista) → peso máximo de decolagem – PMD**

Peso de aterragem = peso de decolagem – combustível consumido



## Pesos característicos de um avião

Peso básico operacional = avião vazio + tripulantes + bagagens dos tripulantes + comissaria

Carga paga = passageiros + bagagens dos passageiros + carga propriamente dita

Peso zero combustível = peso básico operacional + carga paga

Combustível total = etapa + reservas (10% etapa + alternativa + espera sobre alternativa)

Peso de decolagem = peso zero combustível + combustível total

**Peso de aterragem = peso de decolagem – combustível consumido**      *pode não ser o da etapa*

**limitado por projeto (limite estrutural) → peso max estrutural de aterragem – PMEA**

**limitado por operação (p. ex., pista) → peso máximo de decolagem – PMA**



## Pesos característicos de um avião

$$\begin{aligned} &\text{peso básico operacional} && \text{fixo para uma dada configuração} \\ &+ \text{ carga paga} \\ &= \text{ peso zero combustível} \\ &\quad + \text{ combustível total} \\ &= \text{ peso de decolagem} \\ &\quad - \text{ combustível consumido} \\ &= \text{ peso de aterragem} \end{aligned}$$

**Limites operacionais** pista, etc

**estruturais** projeto

peso máximo zero combustível – PMZC

peso máximo de decolagem – PMD

peso máximo estrutural de decolagem – PMED

peso máximo de aterragem – PMD

peso máximo estrutural de aterragem – PMED



## Pesos característicos de um avião

### Limites de pesos

- estruturais ← projeto & homologação
- operacionais ← pista, vento, densidade do ar (temperatura e altitude) = ambiente

#### estruturais

peso máximo zero combustível	PMZC
peso máximo estrutural de decolagem	PMED
peso máximo estrutural de aterragem	PMEA

#### operacionais

peso máximo de decolagem	PMD
peso máximo de aterragem	PMA

$PZC < PMZC$

$PD < PMD < PMED$

$PA < PMA < PMEA$





## Pesos característicos

### Boeing 737 -300

etapas médias (~ 4 h)

#### % do peso total

aviões de menor alcance

PBO	~ 50%
carga paga	~ 25%
combustível	~ 50%

aviões de maior alcance

PBO	~ 45%
carga paga	~ 12%
combustível	~ 43%

pesos em toneladas métricas	737-300
peso básico operacional	32,90 52%
carga paga máxima	15,40 24%
peso máximo zero combustível	48,30 77%
peso máximo de combustível	18,75 30%
peso máximo estrutural de decolagem	63,05 100%
	6,3%
peso max zero comb + comb max	106,3%
número máximo de assentos	149
número usual de assentos	148
	148
volume de porão (m3)	23,8
peso de passageiros @ 75 kg/pax	11,10
peso de bagagens @ 20 kg/pax	2,96
<b>% carga paga máxima</b>	<b>91%</b>
volume de bagagens @ 160 kg/m3 - m3	18,50
volume residual para carga nos porões	5,30
peso de carga equivalente pd (@ 160 kg/m3)	0,85
<b>% carga paga máxima</b>	<b>6%</b>
peso máximo nos porões, limitado por volume	3,81
carga paga máxima, limitada por volume	14,91 97%
carga máxima nos porões	1,34
<b>densidade de carga de equilíbrio (kg/m3)</b>	<b>252,83</b>

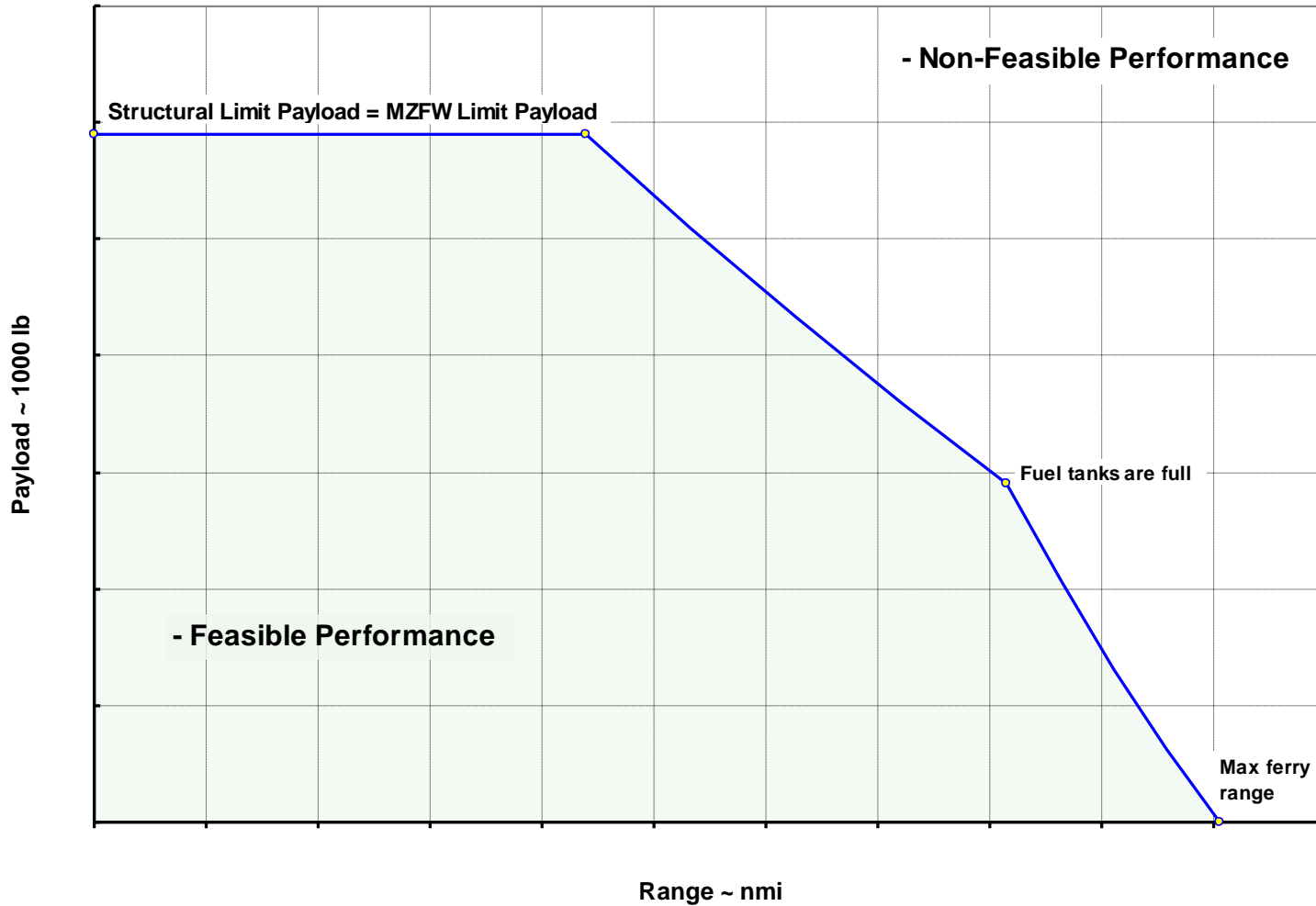


## Pesos característicos de um avião

pesos em toneladas métricas	737-300	737-800	777-200	747-400	A380-841	A380-843F	EMB 195
peso básico operacional	32,90 52%	41,43 52%	138,1 48%	178,75 45%	270,015 48%	250,56 42%	29,07 56%
carga paga máxima	15,40 24%	20,98 27%	54,64 19%	67,32 17%	90,985 16%	151,44 26%	13,53 26%
peso máximo zero combustível	48,30 77%	62,75 79%	192,74 67%	246,07 62%	361 64%	402 68%	42,60 81%
peso máximo de combustível	18,75 30%	20,91 26%	135,88 47%	173,39 44%	247,502 44%	247,502 42%	13,10 25%
peso máximo estrutural de decolagem	63,05 100%	79,04 100%	286,9 100%	396,89 100%	560 100%	590 100%	52,29 100%
peso max zero comb + comb max	6,3% 106,3%	5,8% 105,8%	14,5% 114,5%	5,7% 105,7%	8,7% 108,7%	10,1% 110,1%	6,5% 106,5%
número máximo de assentos	149	184	440	624			118
número usual de assentos	148	160	328	420	555	0	118
volume de porão (m3)	148 23,8	12+148 45,0	24+61+243 160,3	21+35+42+322 172,5	22+96+334+103 176,3	938,4	118 25,66
peso de passageiros @ 75 kg/pax	11,10	12,00	24,60	31,50	41,63		8,85
peso de bagagens @ 20 kg/pax	2,96	3,20	6,56	8,40	11,10		2,36
% carga paga máxima	91%	72%	57%	59%	58%		83%
volume de bagagens @ 160 kg/m3 - m3	18,50	20,00	41,00	52,50	69,38		14,75
volume residual para carga nos porões	5,30	25,00	119,30	120,00	106,93		10,91
peso de carga equivalente pd (@ 160 kg/m3)	0,85	4,00	19,09	19,20	17,11		1,75
% carga paga máxima	6%	19%	35%	29%	19%		13%
peso máximo nos porões, limitado por volume	3,81	7,20	25,65	27,60	28,21		4,11
carga paga máxima, limitada por volume	14,91 97%	19,20 92%	50,25 92%	59,10 88%	69,83 77%		12,96 96%
carga máxima nos porões	1,34	5,78	23,48	27,42	38,26		2,32
densidade de carga de equilíbrio (kg/m3)	252,83	231,20	196,81	228,50	357,82	161,38	212,65



## Gráfico de carga paga x alcance





## Gráfico de carga paga x alcance

- Clientes compram aviões porque desejam transportar carga paga de um local a outro
- Gráfico carga paga x alcance → o que pode ser transportado em uma dada distância
- A forma do gráfico de carga paga x alcance é estabelecida em função de :
  - Características de projeto de avião:
    - Peso Máximo Estrutural de Decolagem – PMED Maximum Takeoff Weight - MTOW
    - Peso Máximo Zero Combustível – PMZC Maximum Zero Fuel Weight (MZFW)
    - Combustível Máximo – CMax Maximum Fuel Capacity
  - Eficiência de projeto do avião:
    - Eficiência de peso → Peso Básico Operacional – PBO Operating Empty Weight (OEW)
    - Eficiência aerodinâmica → Rlação Sustentação/aArasto Lift-to-Drag ratio (L/D)
    - Eficiência propulsiva medida pelo consumo específico da combustivel Specific Fuel Consumption (SFC)
  - Regras de avaliação de desempenho
- Gráfico de carga paga x alcance → envoltória limites da operação de um aviao



## Gráfico de carga paga x alcance

- **Range**: the equivalent distance between Origin Airport and Destination Airport  
The effects of adverse winds are equivalent to a longer range.
- **Payload**: the weight of passengers and / or revenue cargo; the load airlines get paid to carry.
- **Operating Empty Weight**: airplane weight with no payload or fuel on board
- **Zero Fuel Weight**: airplane weight with no fuel on board
- **Max Zero Fuel Weight (MZFW)**: an Airplane Flight Manual limit weight. Airplane certification requires compliance with this limit.
- **Takeoff Weight**: total airplane weight at start of takeoff ground run.  
 $\text{Takeoff Weight} = \text{Operating Empty Weight} + \text{Payload Weight} + \text{Fuel Weight}$
- **Max Takeoff Weight (MTOW)**: an Airplane Flight Manual limit weight. Airplane certification requires compliance with this limit.



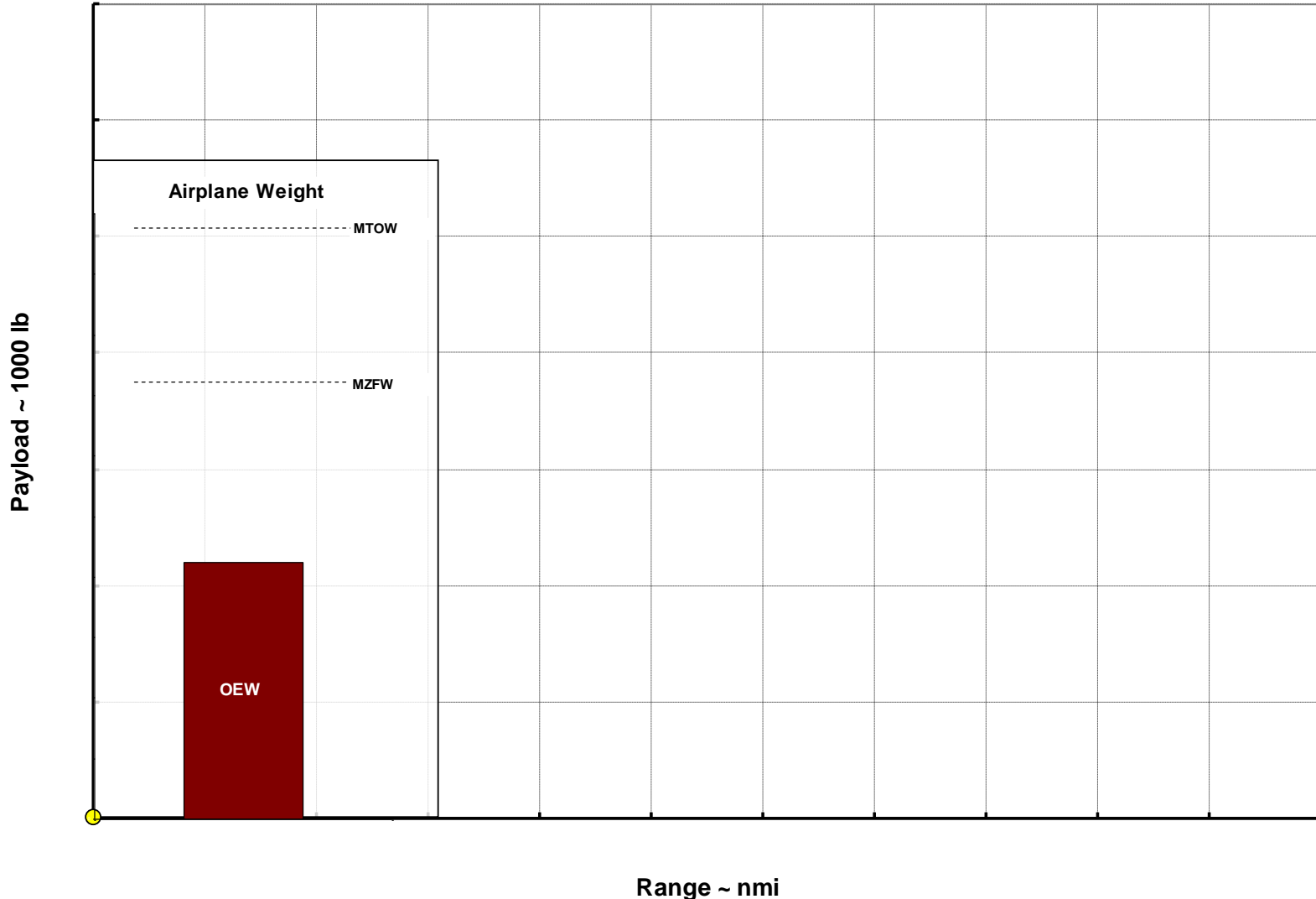
## Gráfico de carga paga x alcance

- The performance capability depends on:
  - Airplane characteristics, and
  - How the airplane is loaded: how much fuel and how much payload
- The starting point: zero payload & zero fuel
- First, load payload up to the limit: this is the MZFW limit payload
- Next, load fuel up to MTOW limit
- Next, continue loading fuel (and off-loading payload) to Fuel Capacity Limit
- Next, continue off-loading payload until it's all gone
- The curve of range vs. payload that results is the Payload-Range curve.
  - The area inside the payload-range curve is feasible performance
  - The area outside the payload-range curve is not feasible



# Gráfico de carga paga x alcance

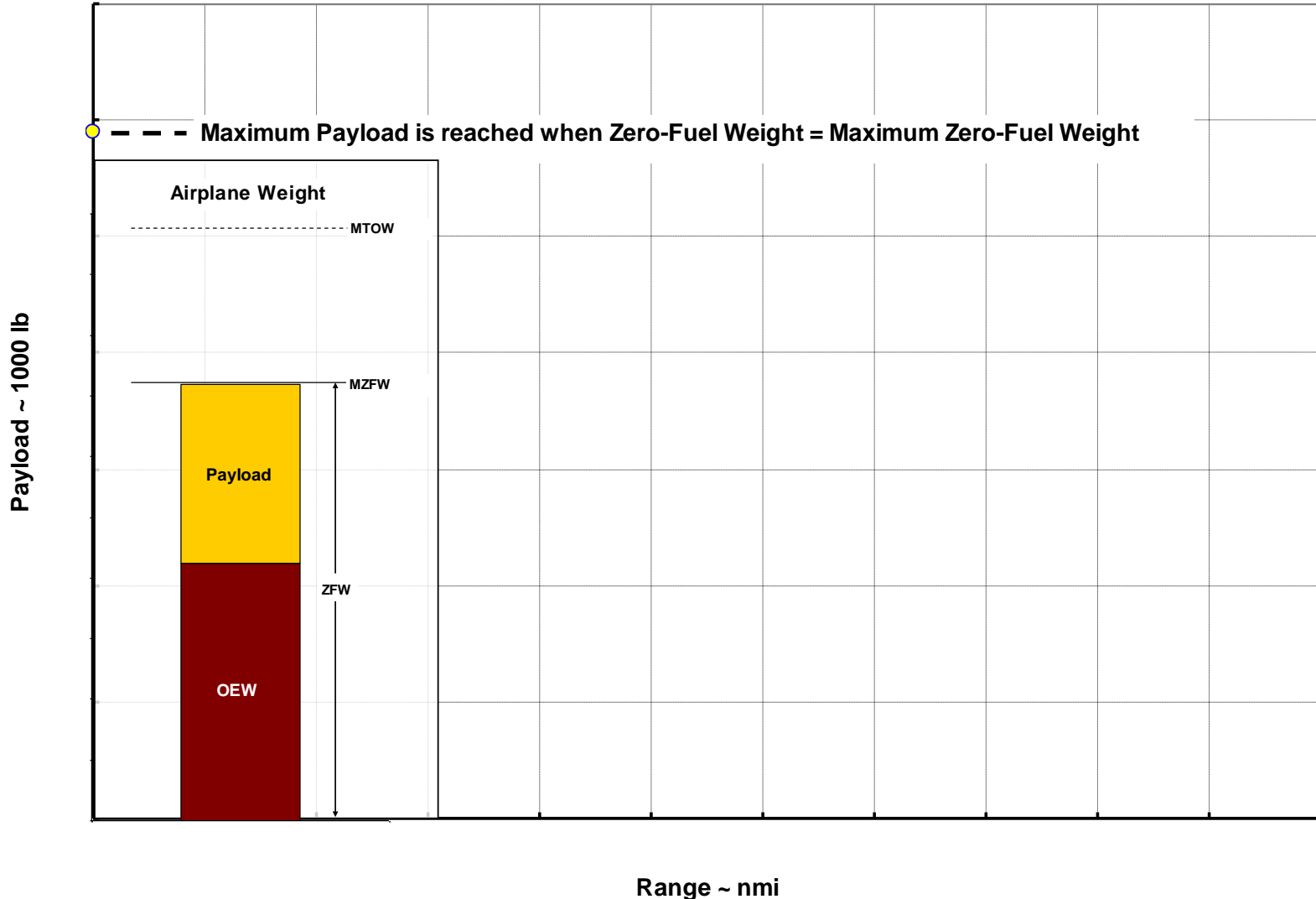
início: avião vazio





# Gráfico de carga paga x alcance

carga paga máxima

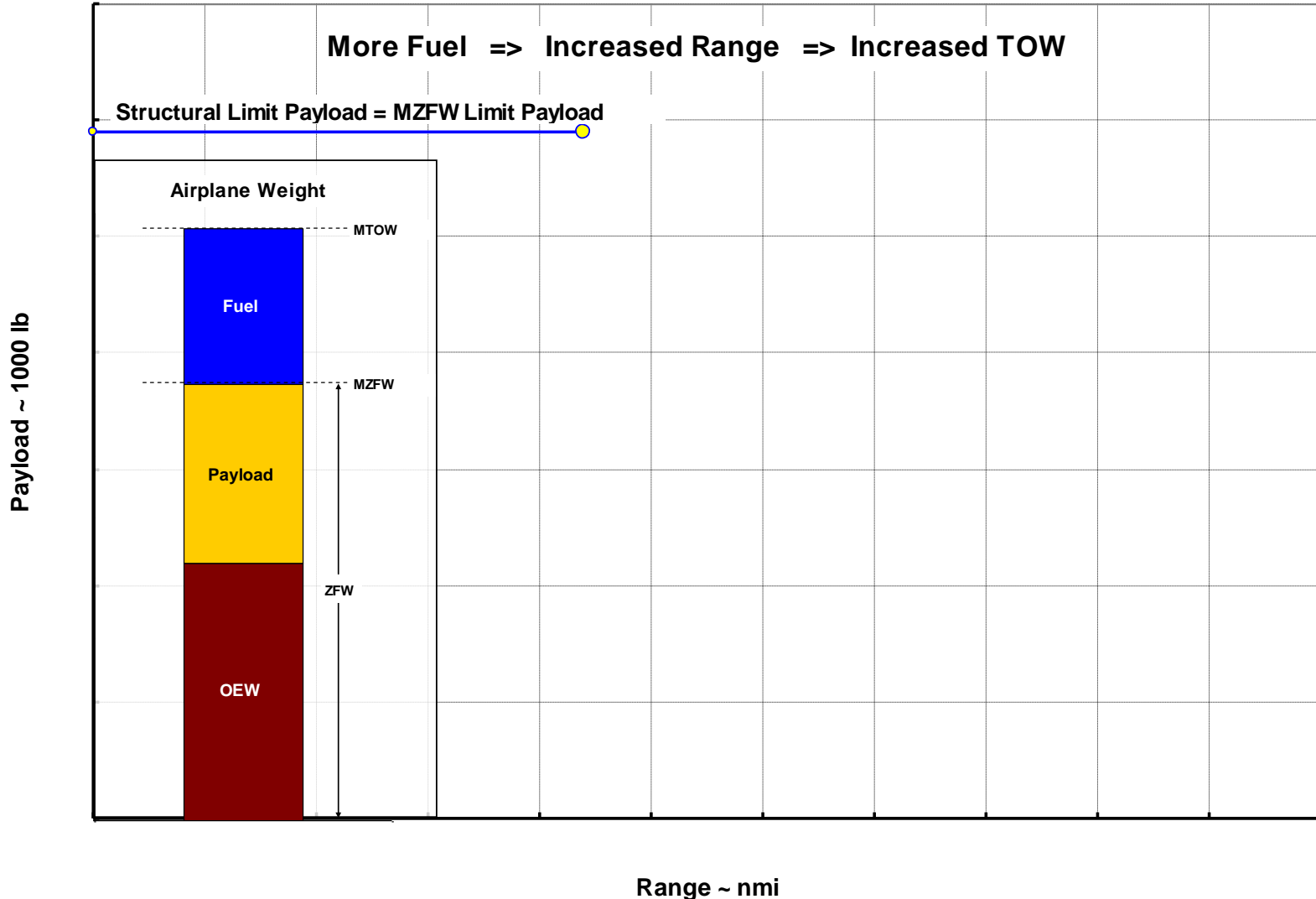






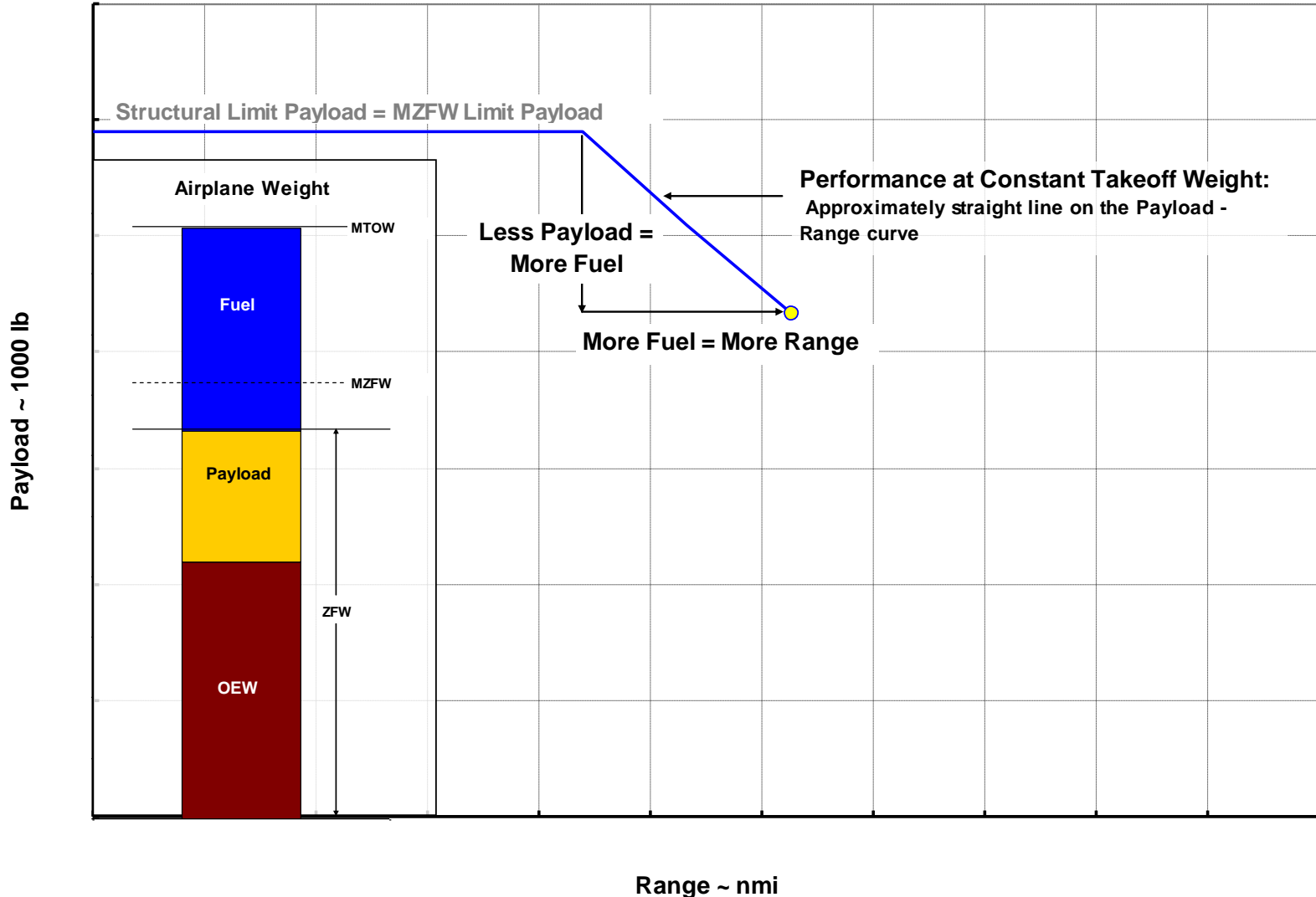
# Gráfico de carga paga x alcance

máximos alcance e carga paga





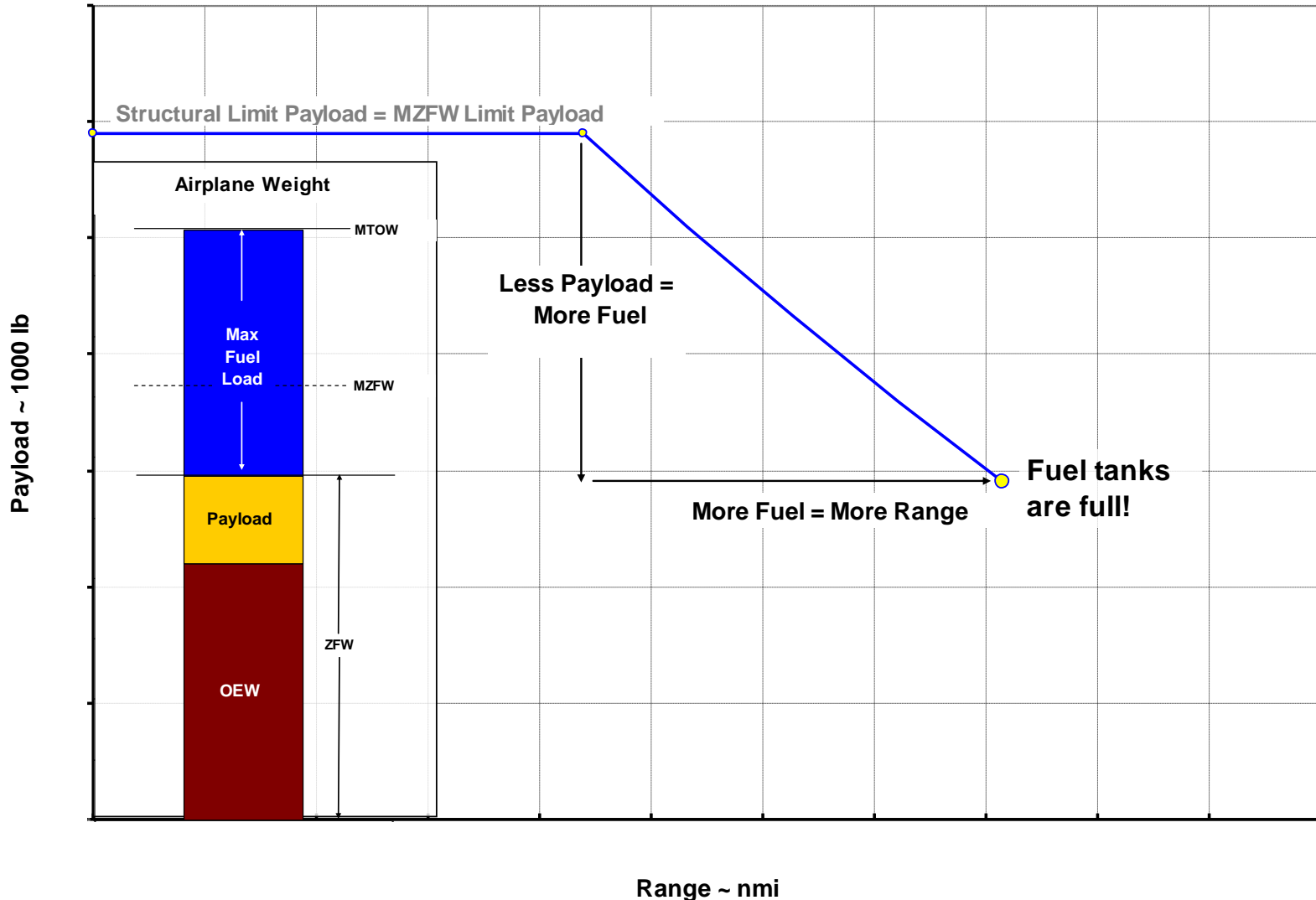
# Gráfico de carga paga x alcance peso de decolagem constante





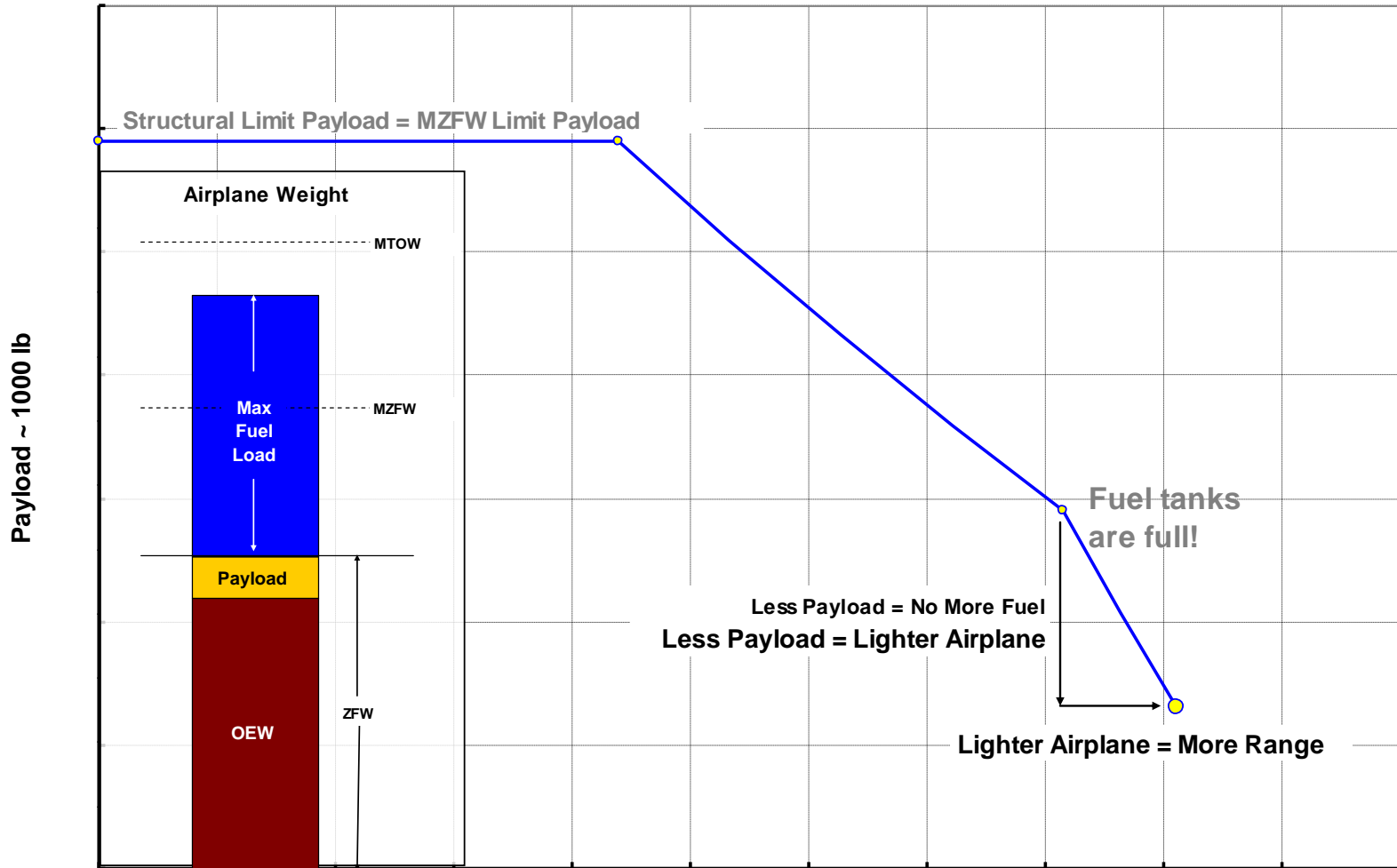
# Gráfico de carga paga x alcance

máximos alcance e peso de decolagem





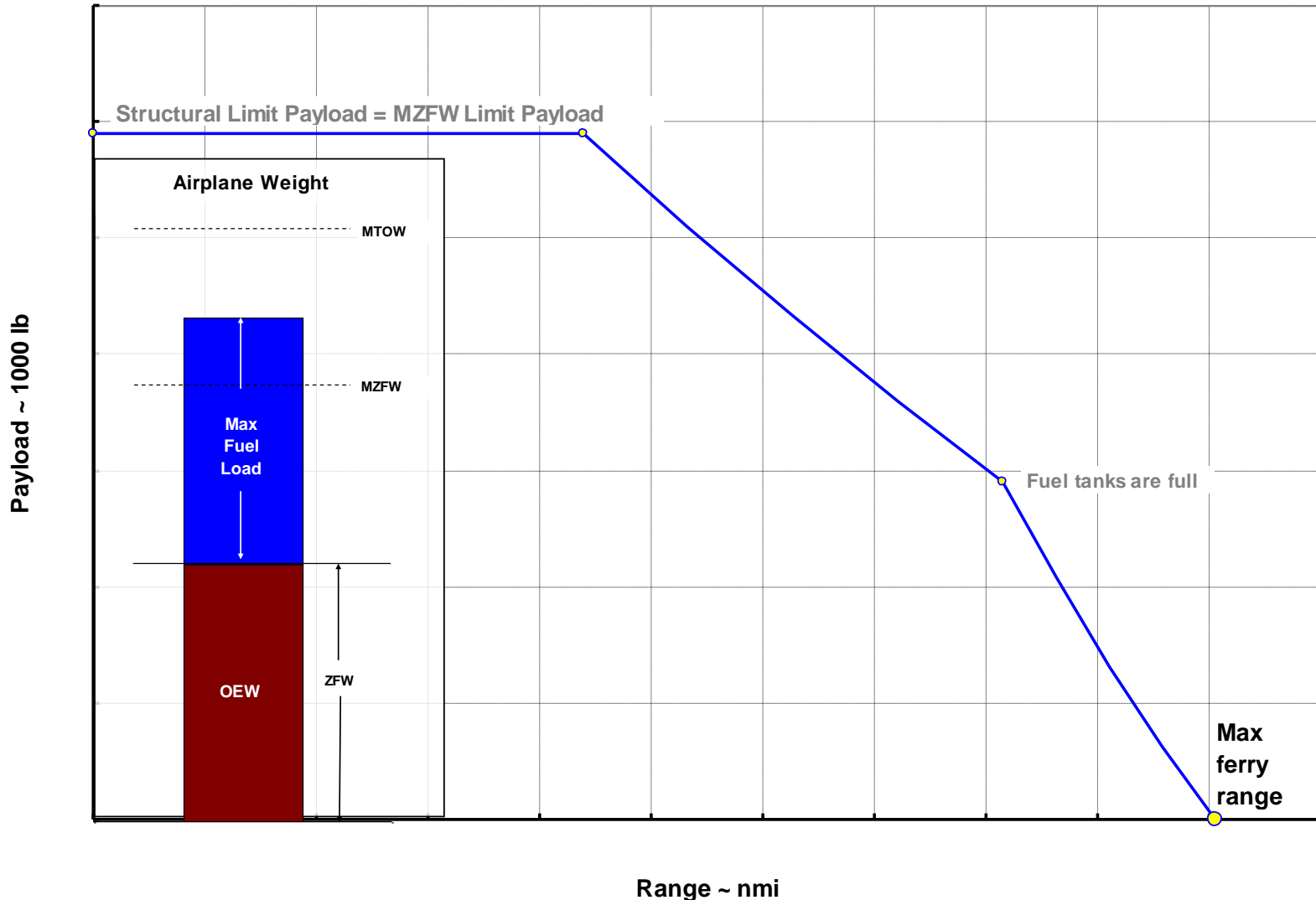
# Gráfico de carga paga x alcance combustível máximo





# Gráfico de carga paga x alcance

máximo alcance absoluto – *ferry range*





## Gráfico de carga paga x alcance – resumo

**-The Payload-Range Curve describes airplane performance at the most fundamental level:**

- How much it can carry how far

**-The shape of the Payload-Range Curve is defined by:**

- Airplane design characteristics: MTOW, MZFW, Max Fuel Capacity

- Airplane efficiencies: OEW, (L/D), SFC



## Subsistema de **pista(s)** de um sistema aeroporto

comprimento	<b>m</b>	<b>tipo de avião</b>	-	<b>peso</b>	-	<b>meteorologia/ambiente</b>	-	<b>segurança</b>
espessura	m	frequência de uso - carga no solo - resistência do solo						
quantidade	u	movimentos na hora-pico - ventos						
orientação	° mag	ventos - topografia						

- tipo de avião      missão → projeto → asa
- peso                      pesos característicos, gráfico de carga paga x alcance      → pista
- meteorologia & ambiente
- segurança              decolagem: normal + em pane + abortada  
  
   aterragem



## Gráfico de carga paga versus alcance

Forma

Limitantes            **Peso Max Zero Comb – Peso Máx Estrut Dec – peso comb maximo**

Características      **curvas de peso de decolagem constante**

Variáveis            **carga paga – alcance – peso de decolagem**

Objetivo (do gráfico no planejamento aeroportuário) → **determinar o comprimento de pista**

**gráfico de carga paga x alcance → peso de decolagem**

**peso de decolagem + gráfico Peso Dec x pista → comprimento de pista !**

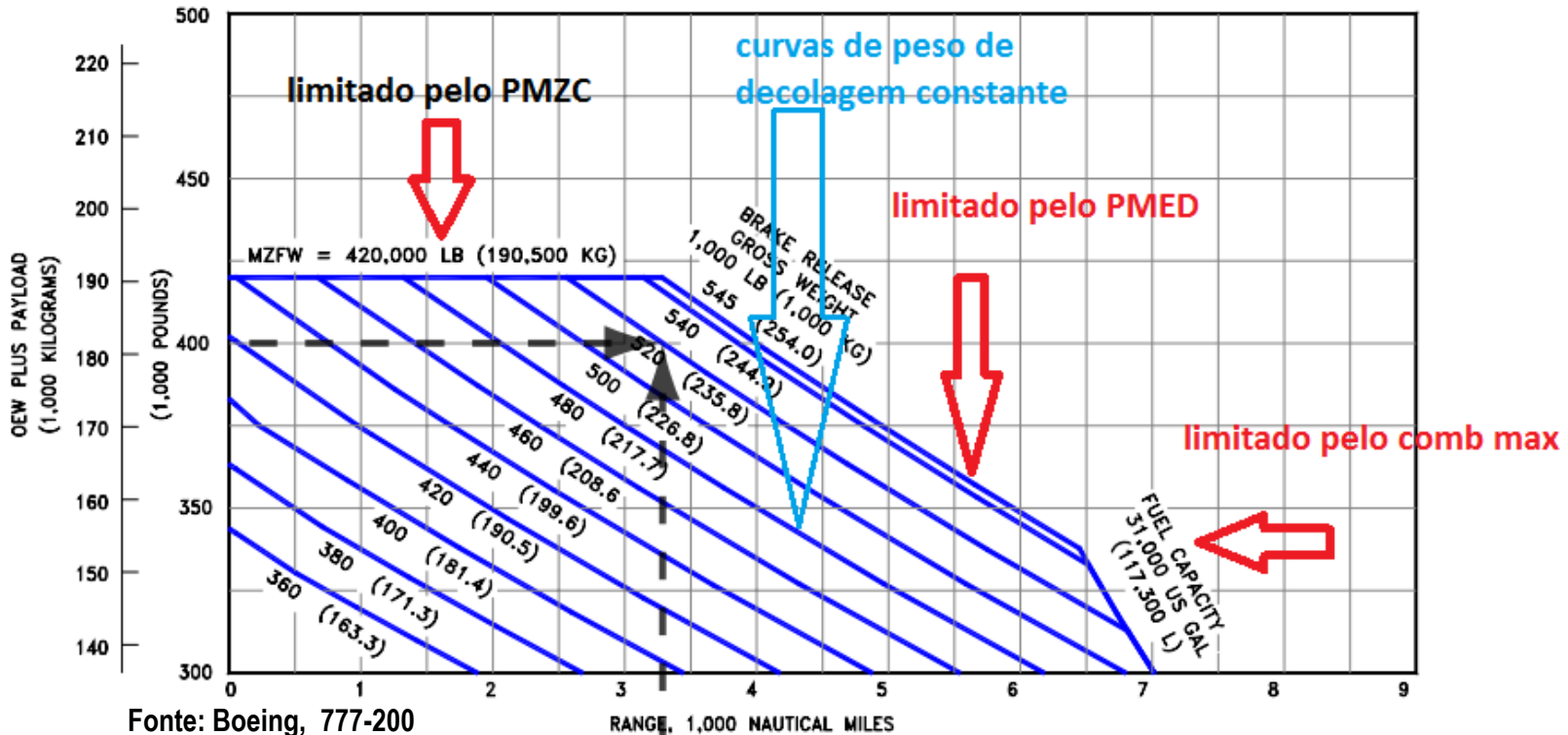




# Gráfico de carga paga x alcance

NOTES:

- \* STANDARD DAY, ZERO WIND
- \* 0.84 MACH STEP CRUISE
- \* TYPICAL MISSION RULES
- \* NORMAL POWER EXTRACTION AND AIR CONDITIONING BLEED
- \* CONSULT USING AIRLINE FOR SPECIFIC OPERATING PROCEDURE AND OEW PRIOR TO FACILITY DESIGN



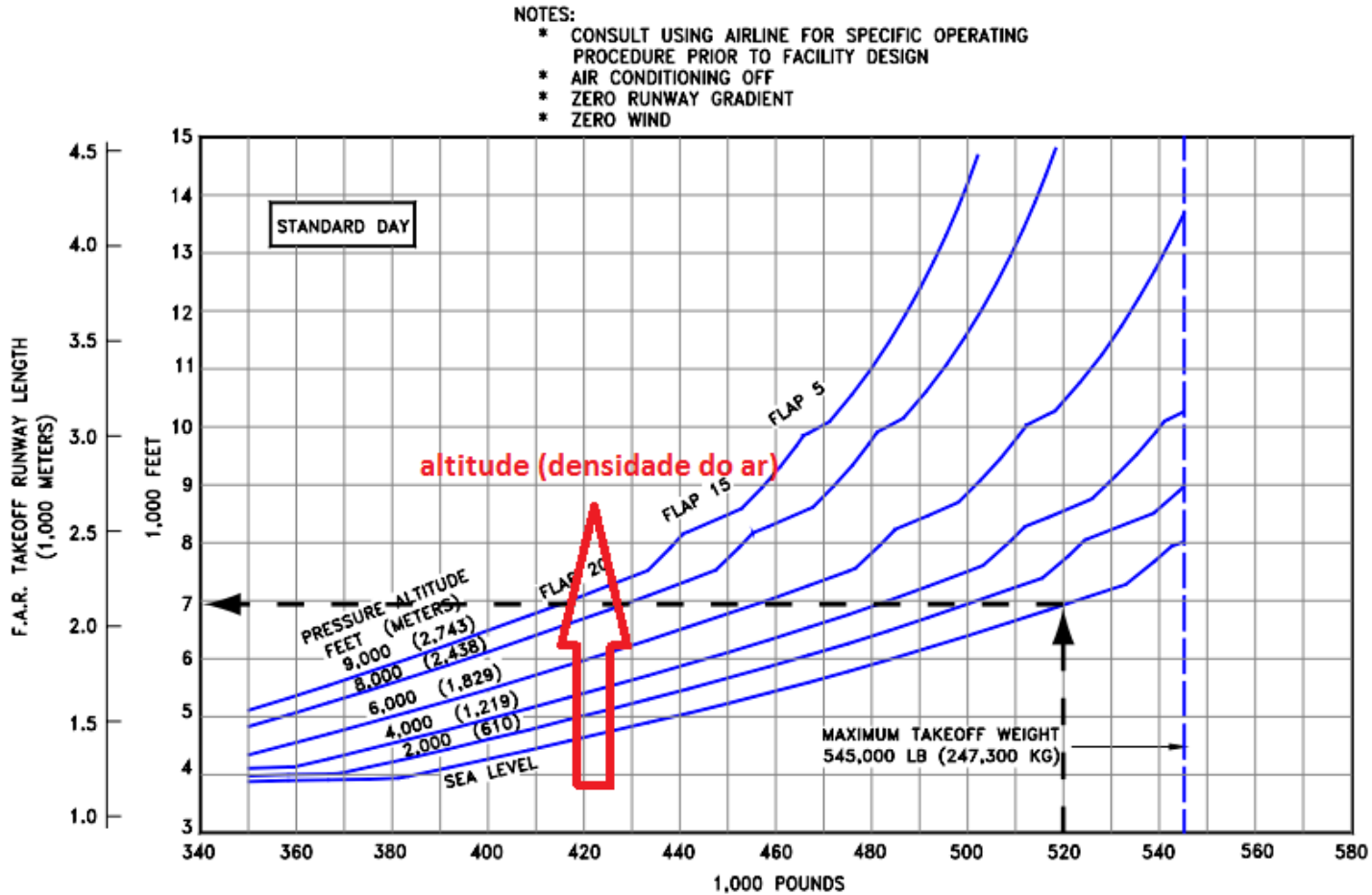
Fonte: Boeing, 777-200

RANGE, 1,000 NAUTICAL MILES

forma – limitantes (PMZC, PMED, comb max) – características (curvas iso-PD) – variáveis/dimensões (carga paga, alcance e peso de decolagem  
carga paga (ou PBO + carga paga) 400 k lb – alcance 3.300 mn → peso de decolagem 520 k lb



# Gráfico complementar – comprimento de pista x peso de decolagem



Fonte: Boeing, 777-200

PD (520 k lb) + gráfico de comprimento de pista x peso de decolagem → pista necessária = 7.000 ft = 2.150 m



## Subsistema de **pista(s)** de um sistema aeroporto

comprimento    **m**    **tipo de avião - peso - meteorologia/ambiente - segurança**

espessura    m    frequência de uso - carga no solo - resistência do solo

quantidade    u    movimentos na hora-pico - ventos

orientação    ° mag    ventos - topografia

- tipo de avião    missão → projeto → asa
- peso    pesos característicos, gráfico de carga paga x alcance (→ pista)
- **meteorologia - ambiente**
- segurança    decolagem (normal, em pane e abortada), aterragem



## Aspectos meteorológico – ambientais

- **Densidade do ar**

- altitude

maior → densidade menor → pista maior

para uma dada pista: altitude maior → peso menor

- temperatura

maior → menor densidade → maior pista

para uma dada pista: temperatura maior → peso menor

- **Greide da pista**

positivo → pista maior - negativo → pista menor

- **Ventos**

de proa → pista menor - de cauda → pista maior



# Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

## Aeroportos e Transporte Aéreo





## Subsistema de **pista(s)** de um sistema aeroporto

comprimento    **m**    **tipo de avião** – **peso** – **meteorologia/ambiente** – **segurança**

espessura    m    frequência de uso - carga no solo - resistência do solo

quantidade    u    movimentos na hora-pico - ventos

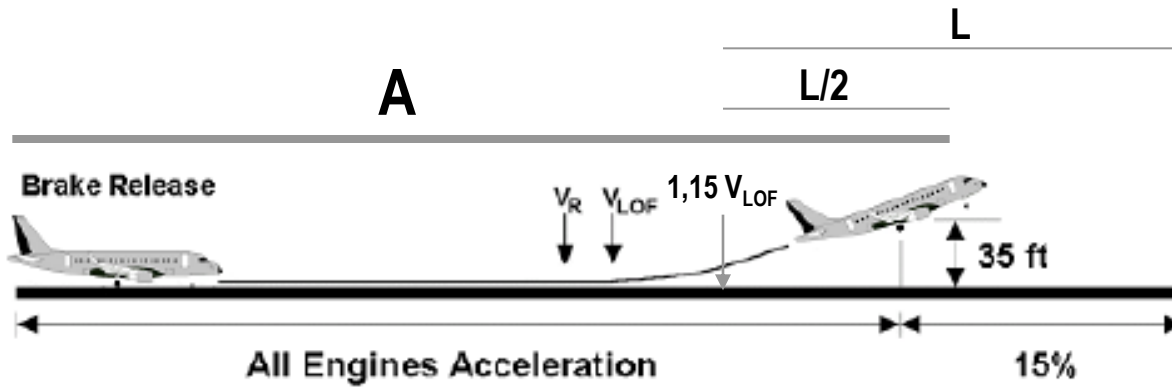
orientação    ° mag    ventos - topografia

- tipo de avião    missão → projeto → asa
- peso    pesos característicos, gráfico de carga paga x alcance    → pista
- meteorologia & ambiente
- **segurança**    **decolagem: normal + em pane + abortada**  
**aterragem**



# Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

## Aeroportos e Transporte Aéreo



Decolagem normal

Decolagem em pane

Decolagem abortada



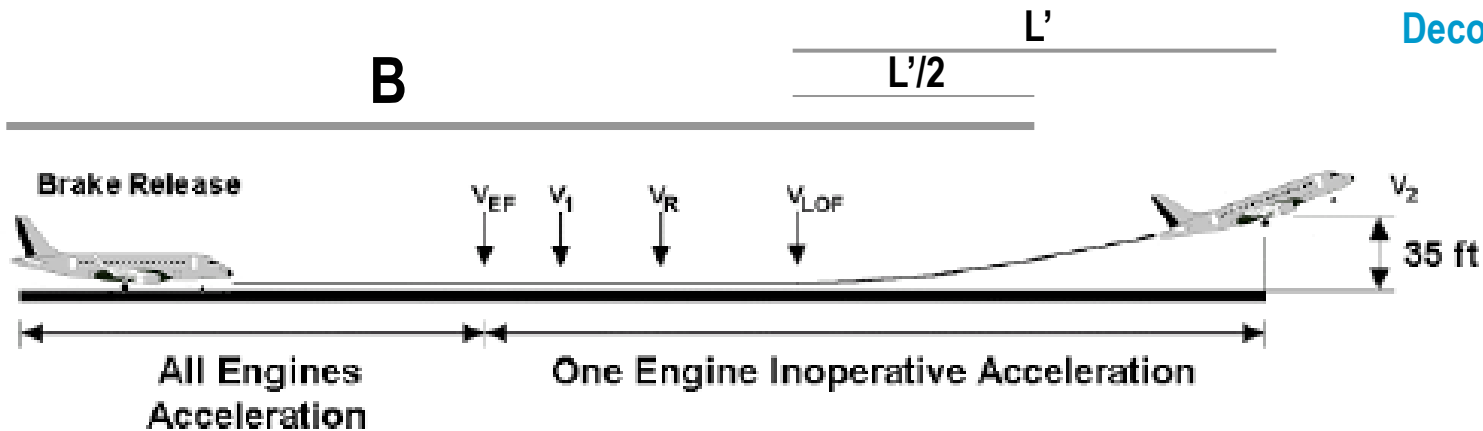
Decolagem normal

A



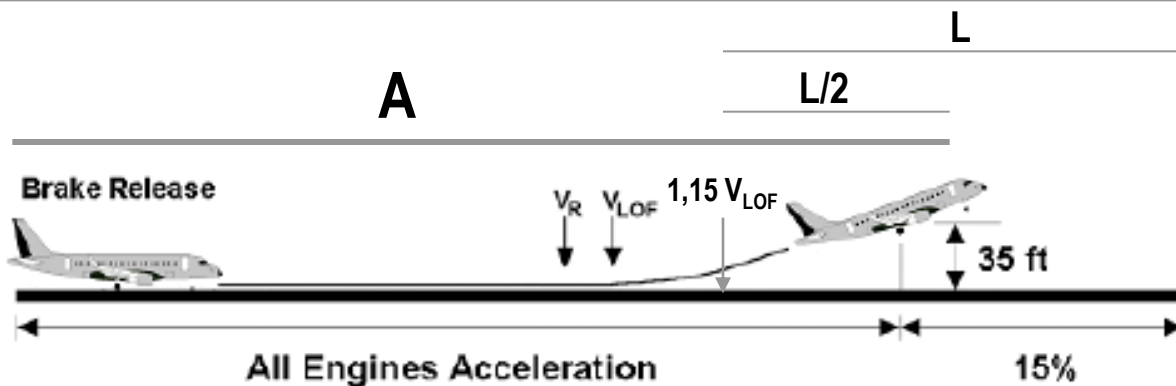
Decolagem em pane

B



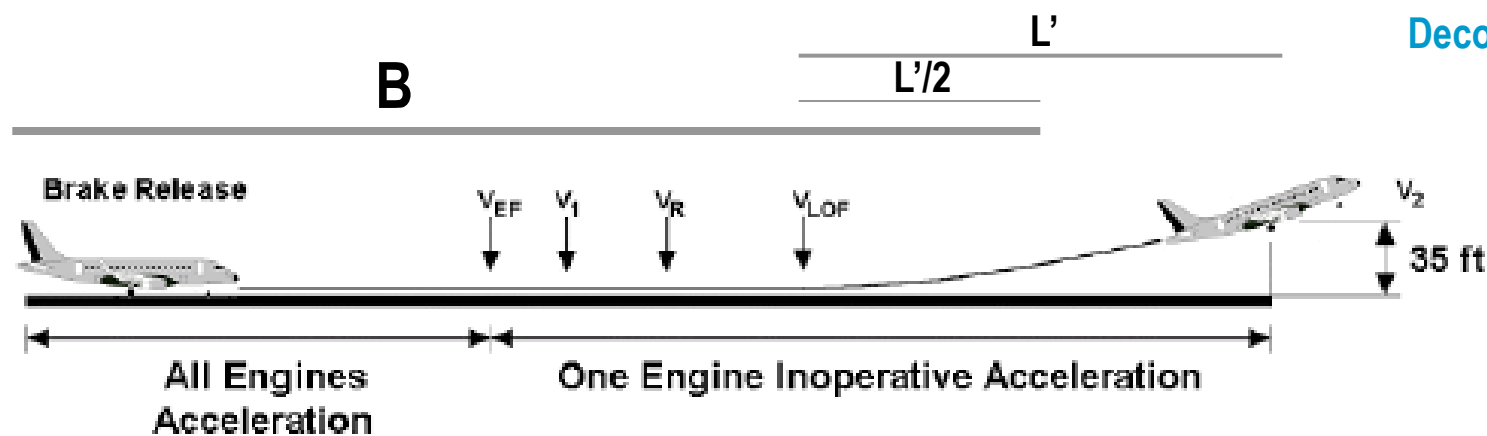
Decolagem abortada





Decolagem normal

pista = max (A,B)



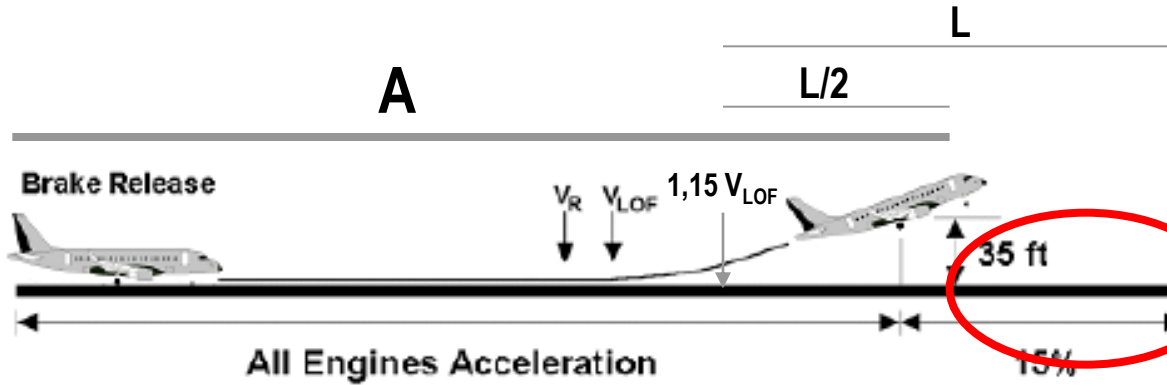
Decolagem em pane

Decolagem abortada



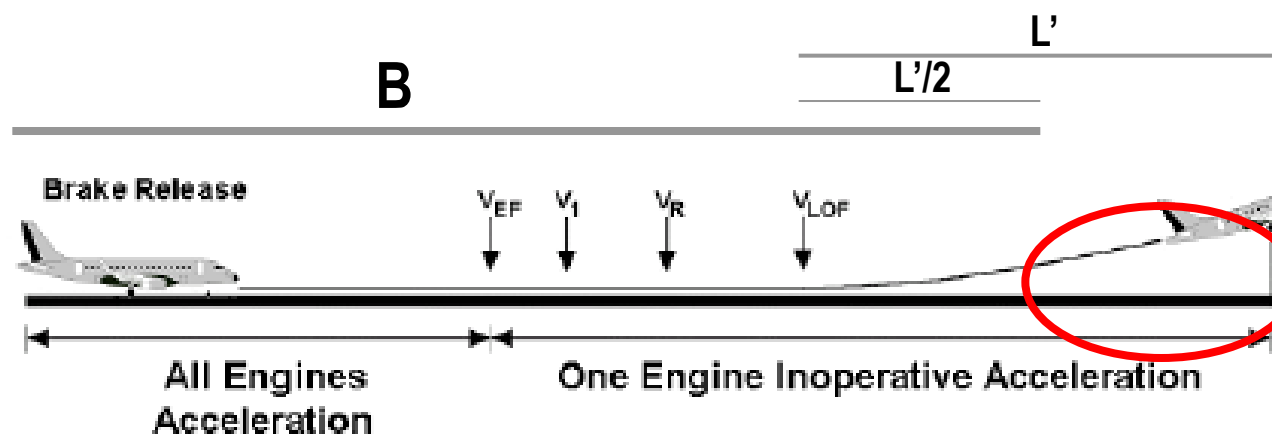
# Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

## Aeroportos e Transporte Aéreo



Decolagem normal

pista = max (A,B)



Decolagem em pane

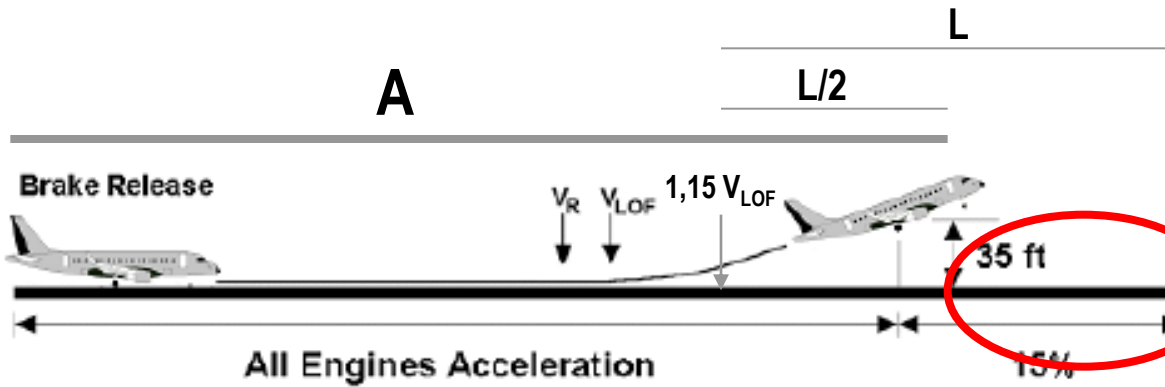
clearway

Decolagem abortada



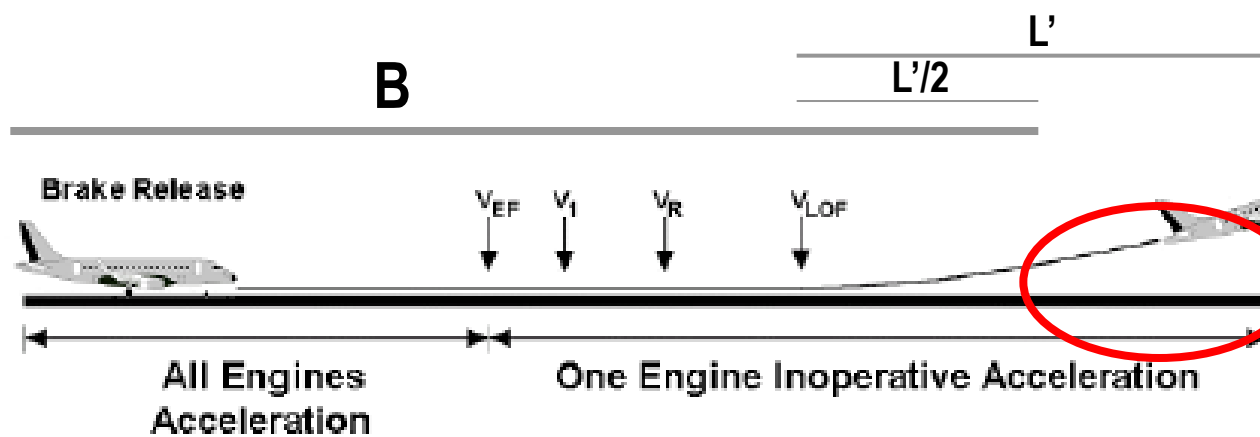
# Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

## Aeroportos e Transporte Aéreo



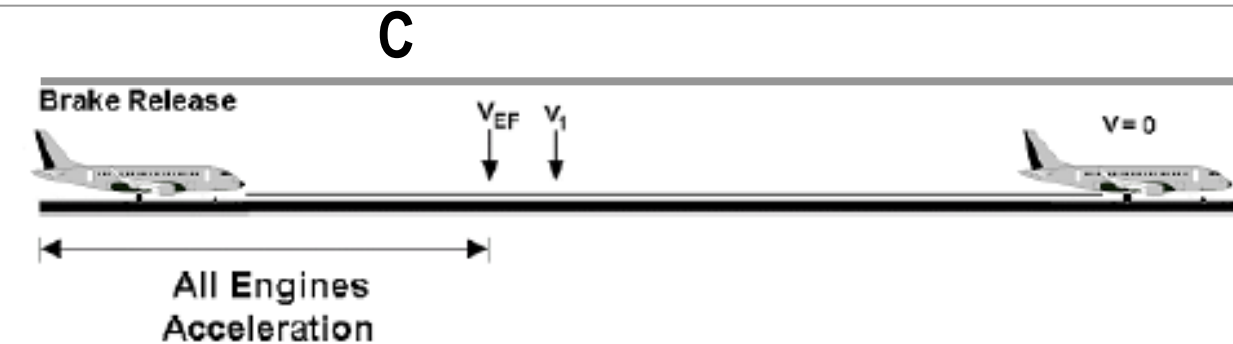
Decolagem normal

pista = max (A,B)



Decolagem em pane

clearway

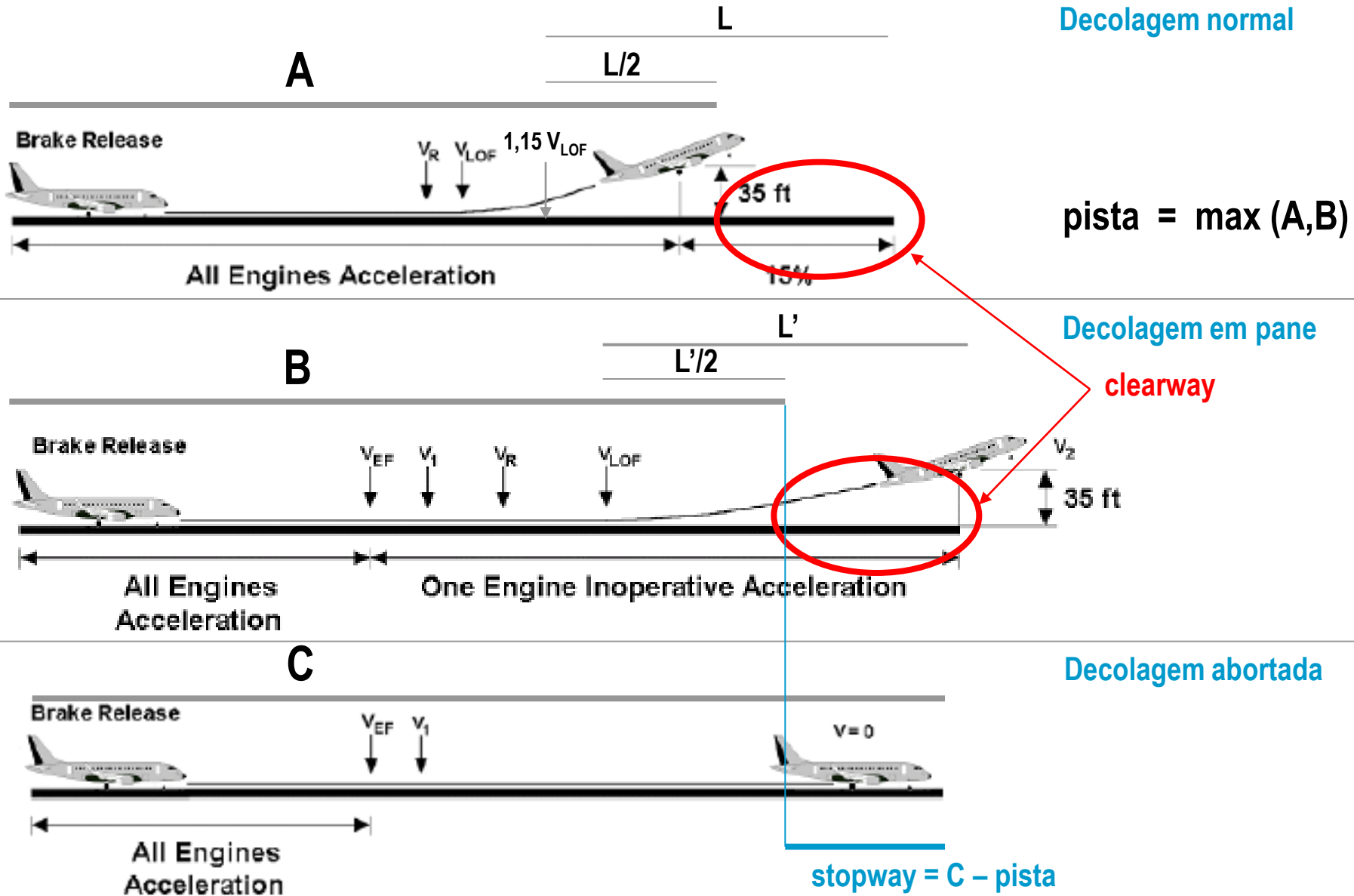


Decolagem abortada



# Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

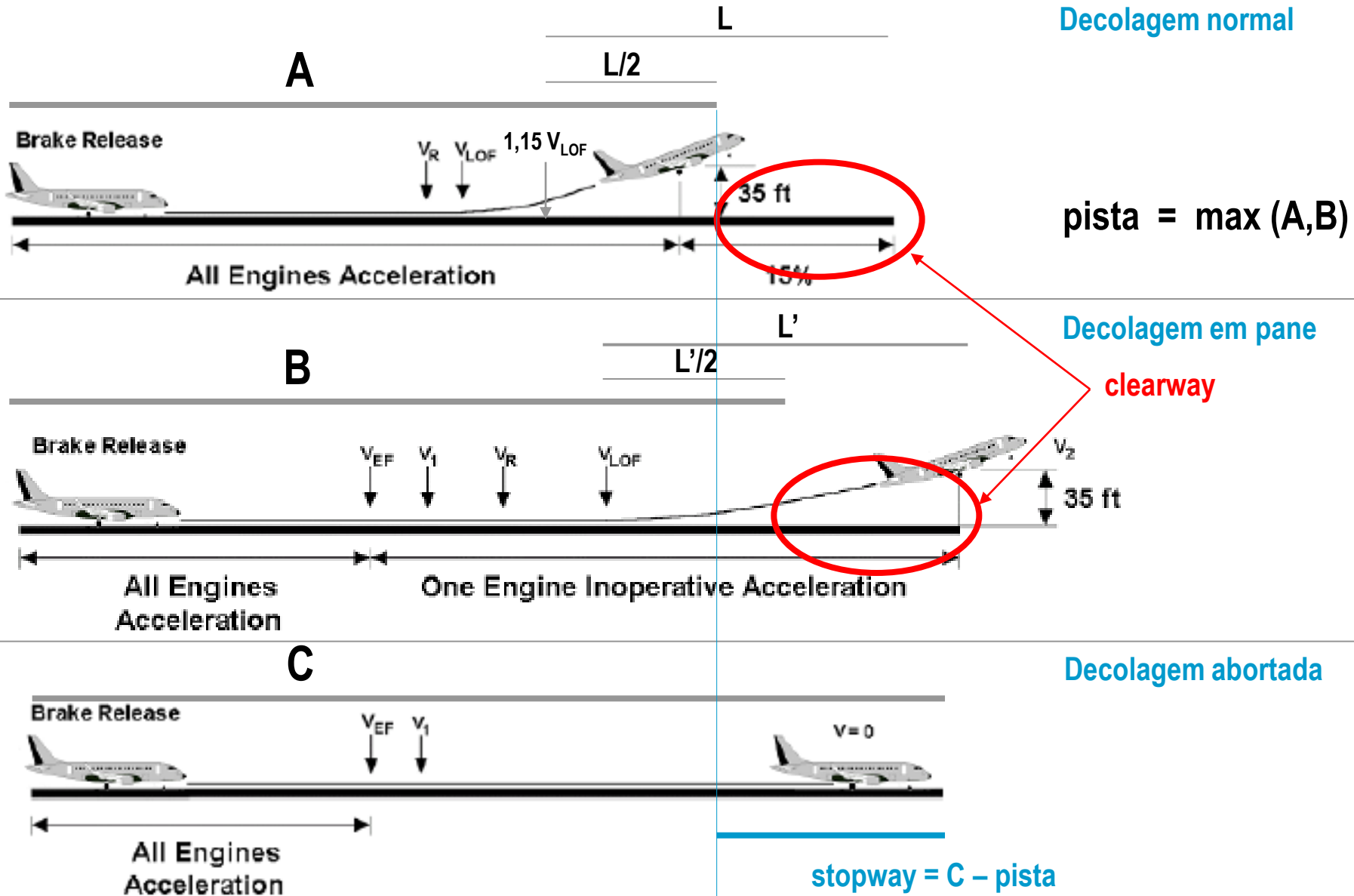
## Aeroportos e Transporte Aéreo





# Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

## Aeroportos e Transporte Aéreo



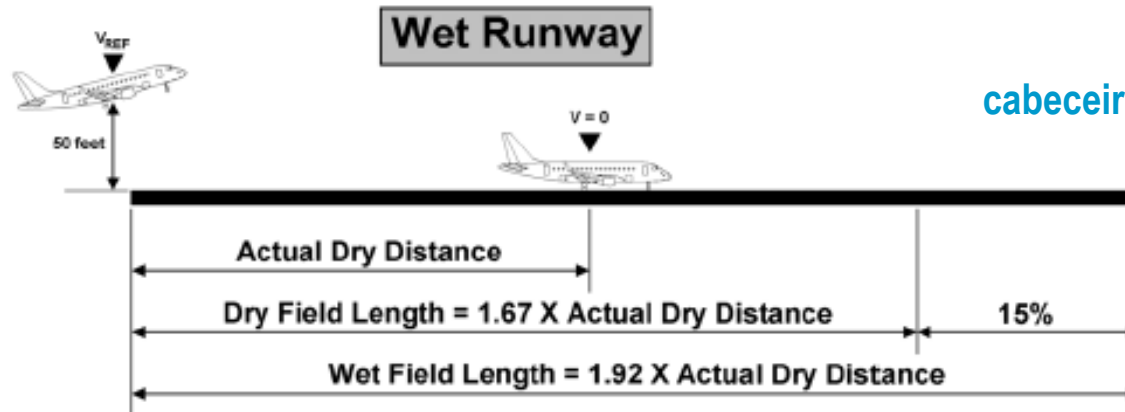
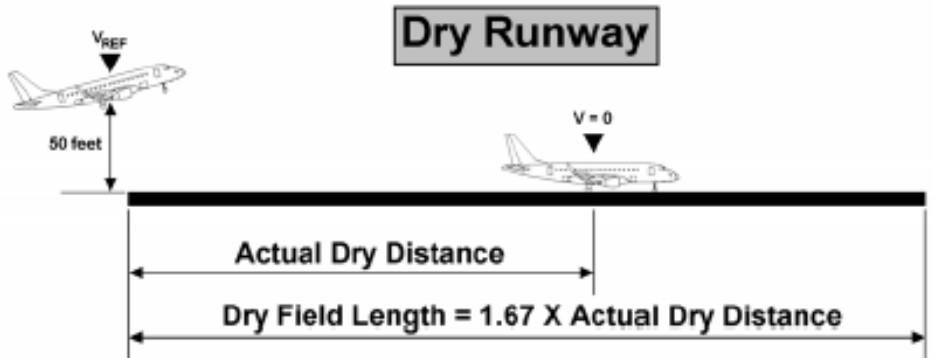


## Aterragem

$$\text{pista} = \max (A, B, D)$$

Normalmente, a pista necessária para aterragem é menor do que para decolagem

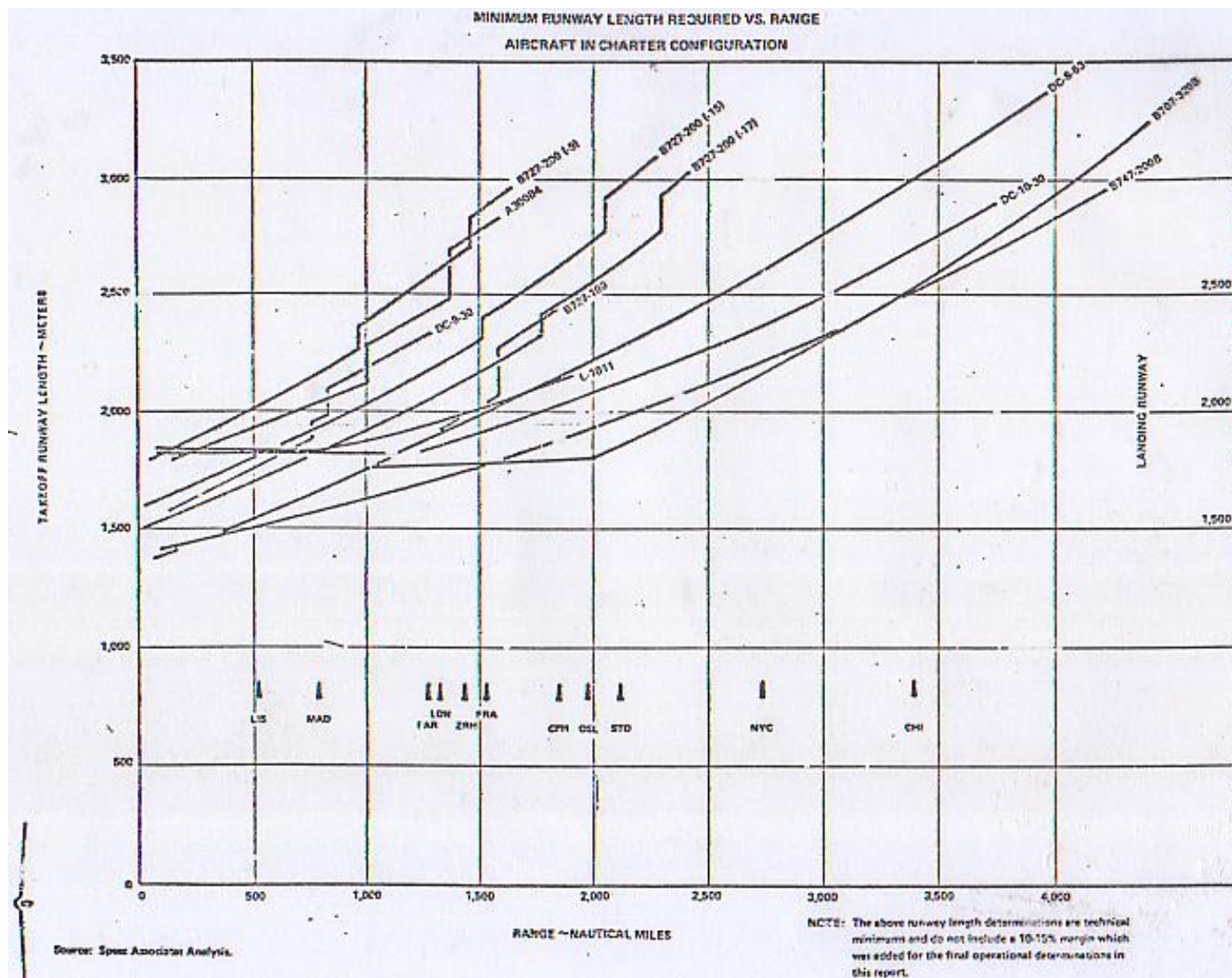
$$\text{cabeceira deslocada (máxima possível)} = \text{pista} - D$$



**D**

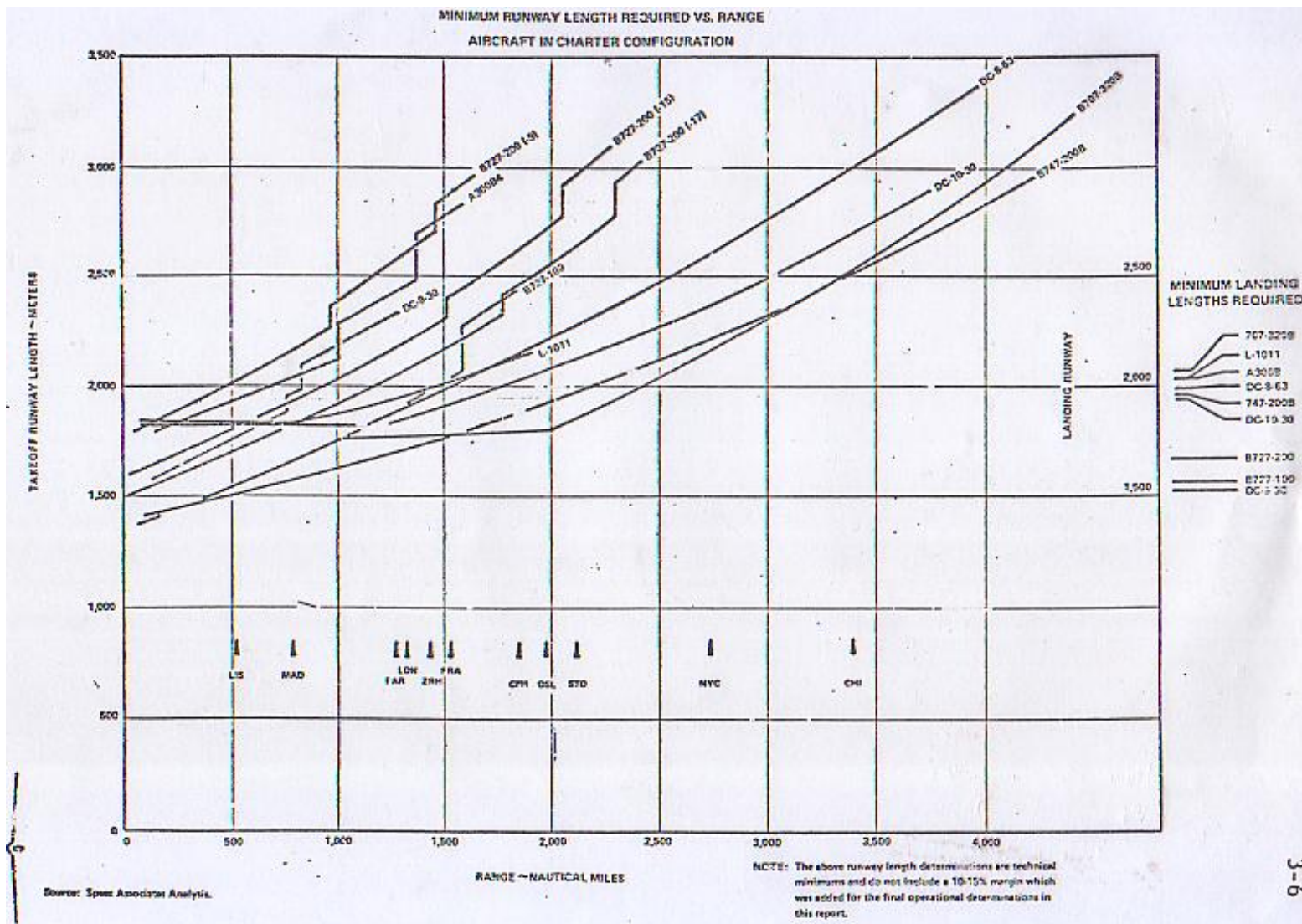


# Comprimentos de pista necessários para operação em Funchal - Madeira ca. 1980





# Comprimentos de pista necessários para operação em Funchal - Madeira ca. 1980







## Comprimentos de pista

as pistas necessárias para aterrar

são normalmente **menores**

do que as pistas necessárias para decolar

→ pode-se colocar o início da pista de aterragem

**depois** do início da pista de decolagem

→ este procedimento é chamado de **deslocamento de cabeceira**

é usado para aumentar a segurança das aterragens:

evitando obstáculos na aproximação

melhorando as condições em caso de taludes na cabeceira (CGH) e ventos



## Congonhas (CGH) – cabeceiras deslocadas e *clearways* das pistas 17L e 17R





## Cabeceiras deslocadas e *clearways* em St. Maarten





## Cabeceiras deslocadas e *clearways*





## Comprimentos característicos de pista – ICAO

### planejamento & projeto

aeronave crítica + etapa crítica → peso de decolagem  
peso de decolagem + condições ambientais → comprimento de pista

**operação** de um aeroporto → certificação pela autoridade aeronáutica (ANAC)

→ definição dos **comprimentos característicos** de suas pistas

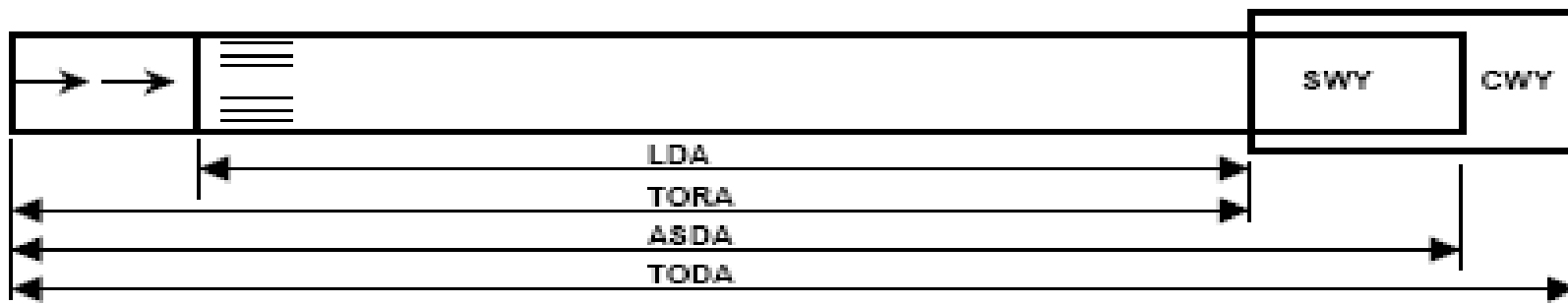
Em uma pista    um engenheiro civil → uma pista  
                         um engenheiro aeronáutico → duas pistas  
                         um piloto                    → oito “pistas”    comprimentos característicos



## Comprimentos característicos de pista – ICAO

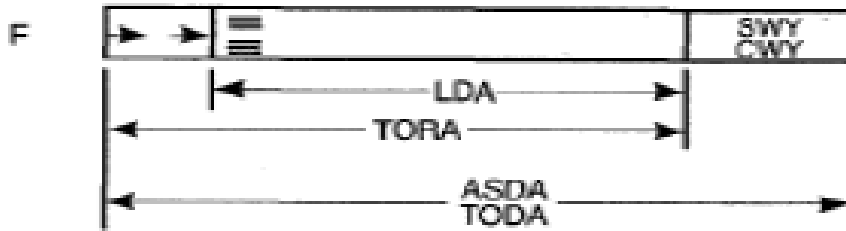
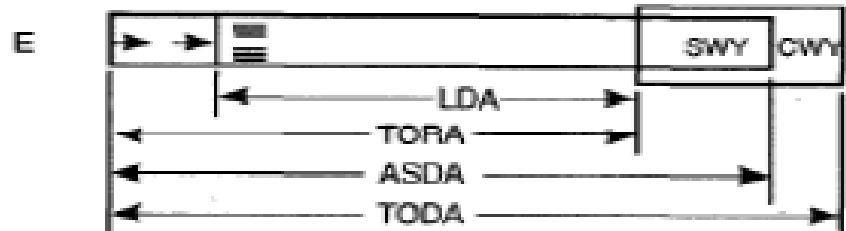
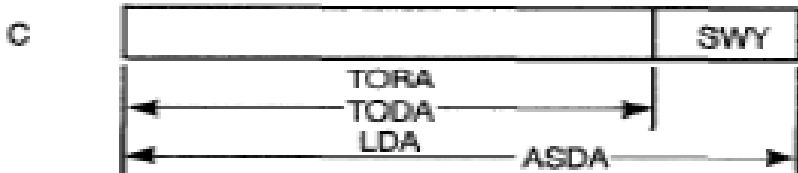
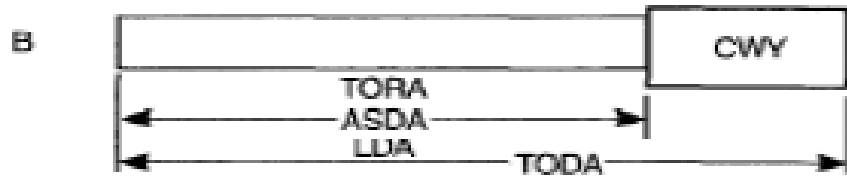
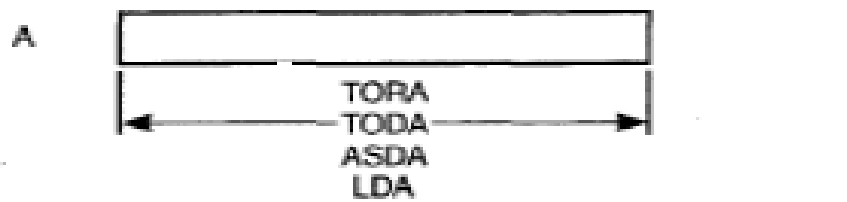
- TORA – take off run available = pista propriamente dita  
TODA – take off distance available = TORA + clearway  
ASDA – accelerate-stop distance available = TORA + stopway  
LDA – landing distance available = TORA – cabeceira deslocada

clearway                    área livre de obstáculos para ganho de altura  
stopway                    área para parada em caso de decolagem abortada  
cabeceira deslocada      área de sobrevôo antes de aterrizar  
(turbulência menor – evita obstáculos)





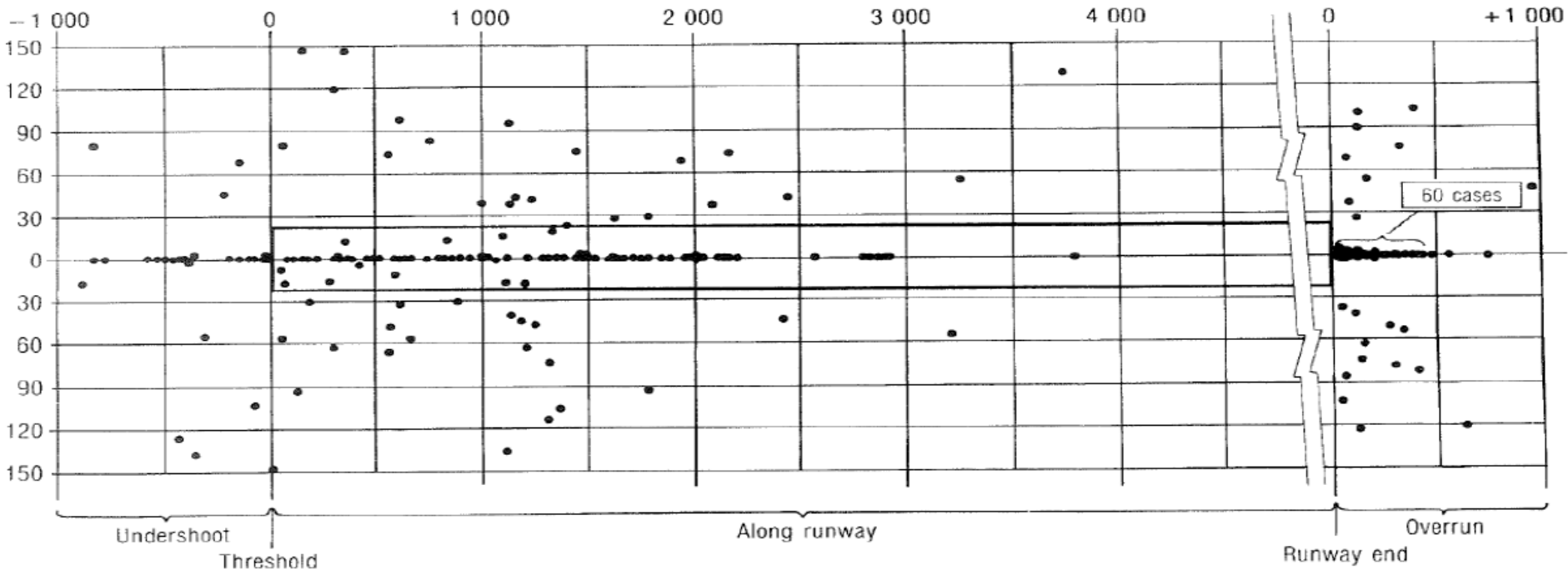
## Comprimentos característicos de pista – ICAO



(All above declared distances are illustrated for operations from left to right)



## Local onde aviões pararam depois de acidentes



aviões com pesos acima de 5,7 ton

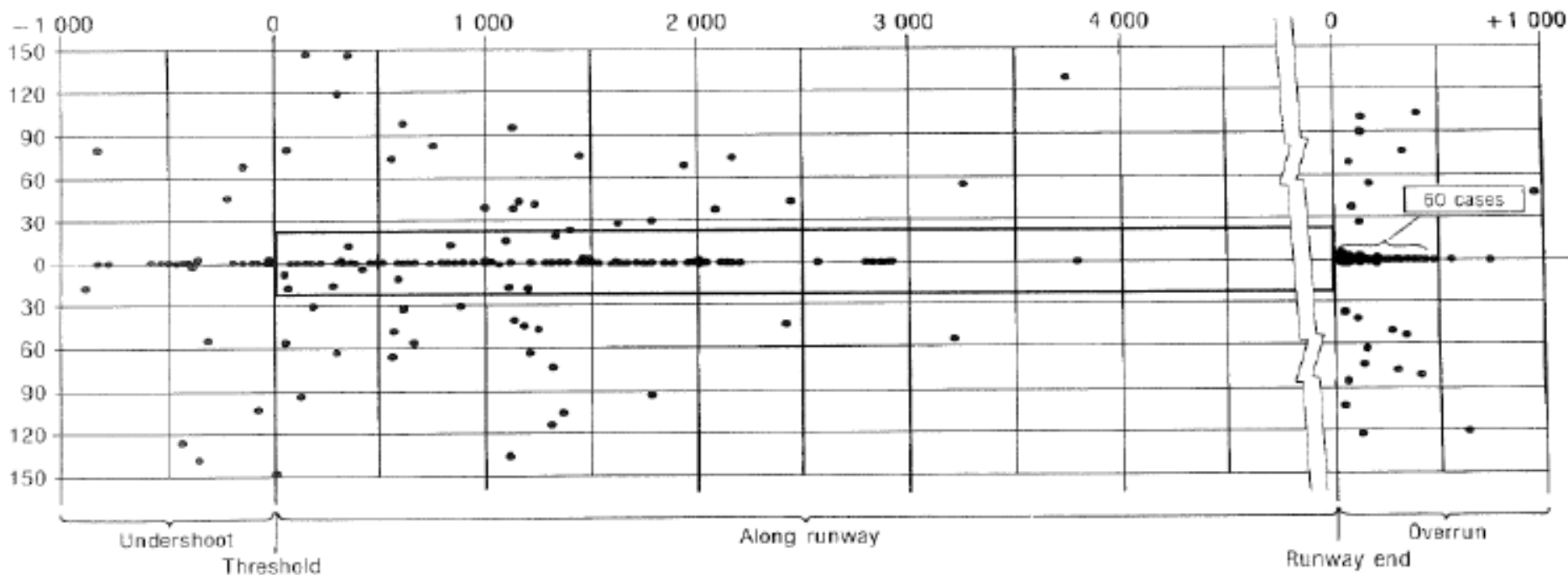
233 acidentes registrados junto à ICAO  
sentido das operações →  
distâncias em metros

→ importância das áreas de segurança à volta das pistas "áreas de escape"





## Local onde aviões pararam depois de acidentes



576 acidentes registrados junto à ICAO  
sentido das operações →  
distâncias em metros

→ importância das áreas de segurança à volta das pistas "áreas de escape"



# Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

## Aeroportos e Transporte Aéreo





# Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

## Aeroportos e Transporte Aéreo

