



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**



Disponível no moodle

- | | |
|--|--|
|   Avisos  | Editar   |
|   Sumário de aulas  | Editar  |
|   Aeroportos - textos complementares  | Editar  |
|   Erros de portugues  | Editar  |
|   ICAO - Carta da convenção  | Editar  |
|   ICAO Anexo 14 - volume 1  | Editar  |

 [Adicionar uma atividade ou recurso](#)

[Tópico 1](#) [Editar](#)

- | | |
|---|--|
|   Aulas 1  | Editar  |
| Introdução - subsistemas - padronização - comprimento de pista | |
|   Aulas 2  | Editar  |
| Controle de tráfego aéreo (CTA) - Estudos de capacidade - Capacidade de pistas | |
|   Aulas 3  | Editar  |
| Planejamento aeroportuário, meteorologia aeroportuárias, obstáculos - Dimensionamento geral de aeroportos - Critérios dimensionais - Helicópteros e helipontos heli/portos | |
|   Aulas 4  | Editar  |
| Terminais de passageiros (TPS): tipos, dimensionamento, estacionamento de aviões | |



- 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. voo 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

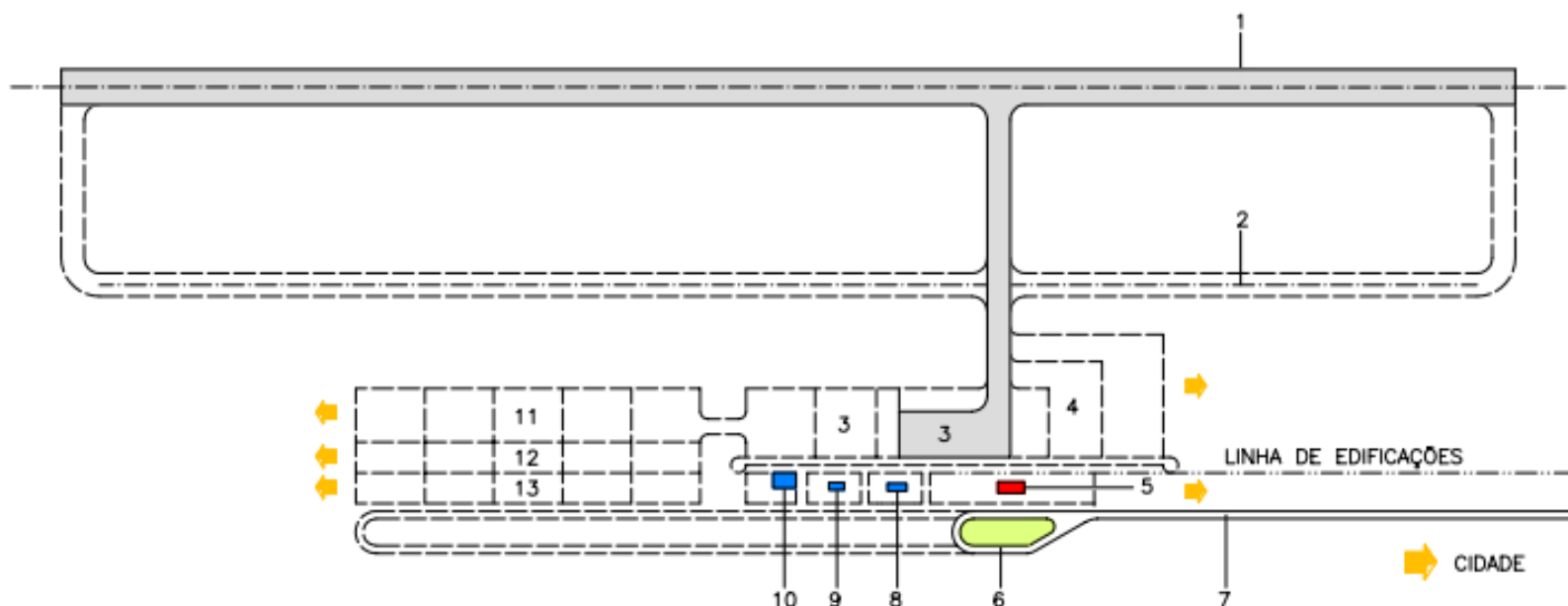
processos e conforto

tempo CTA



Partes de um aeroporto

portugues



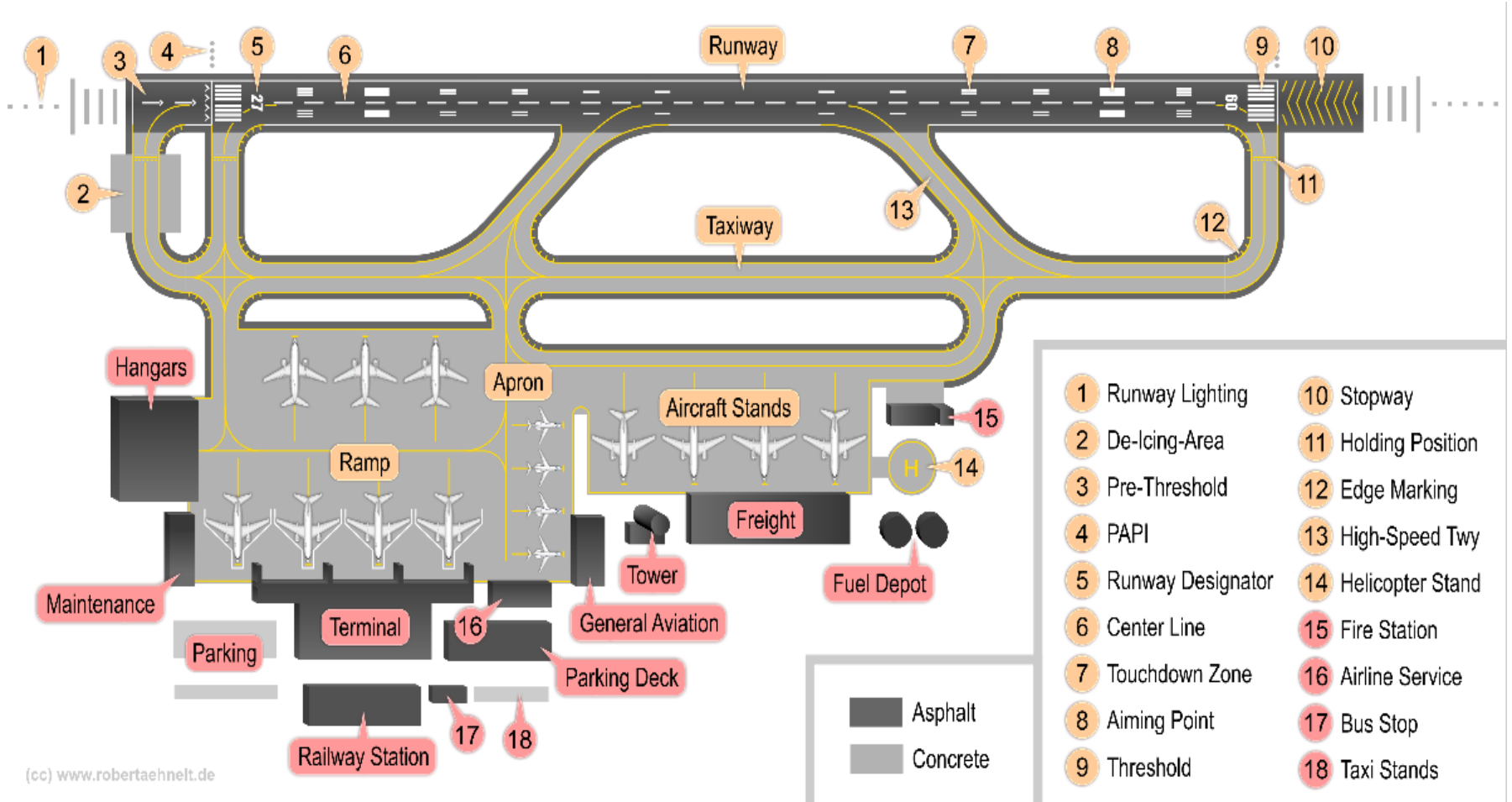
LEGENDA

- 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.robtaehneit.de



Aeroporto de Congonhas





Aeroporto Santos Dumont parte aérea → aeródromo





Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Aeroportos e Transporte Aéreo

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 ($\times 10^{-1}$)



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

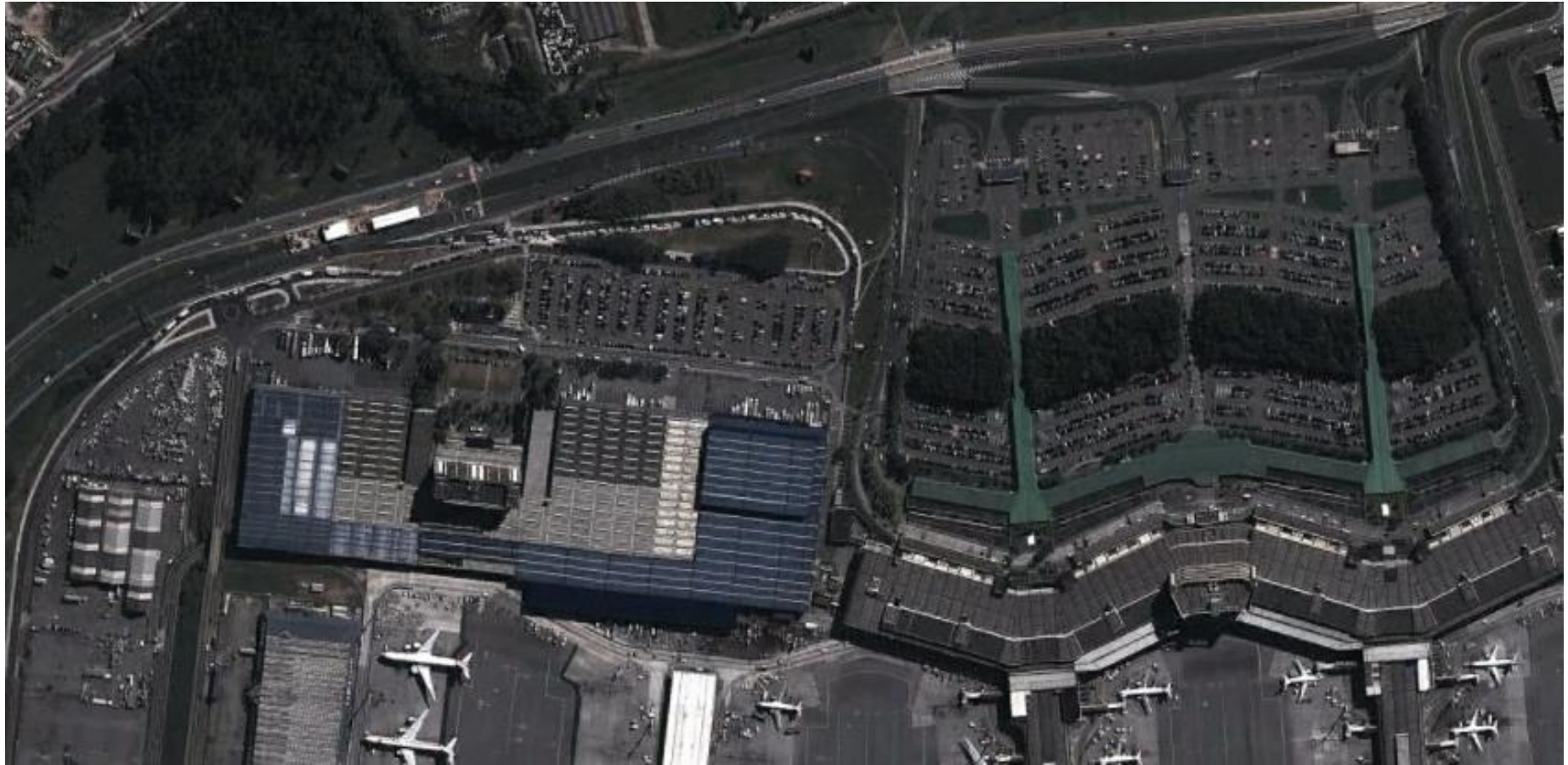


caracterizado por
depende da

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



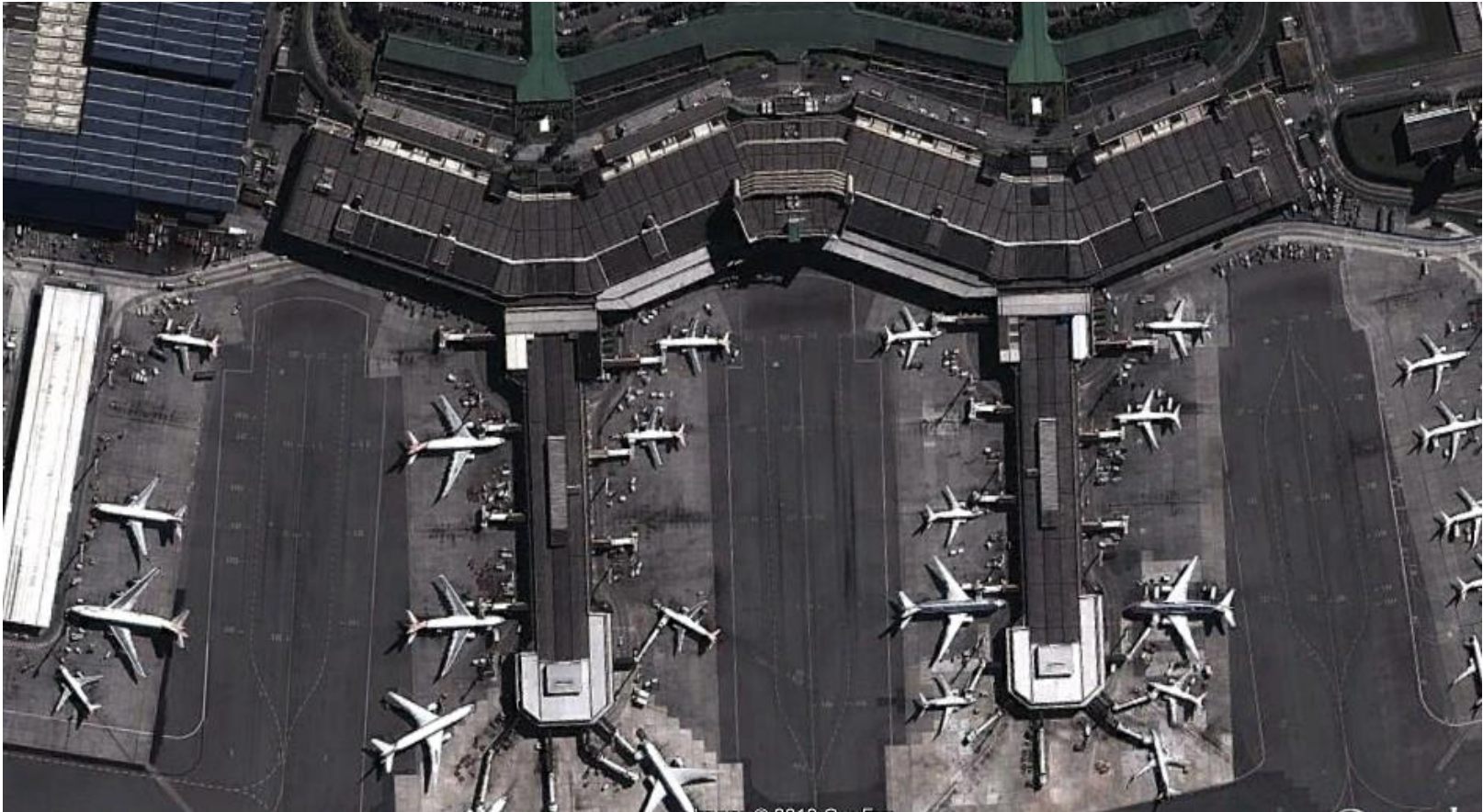
Subsistema estacionamento veículos terrestres



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



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 movimentação 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 **m²** **veículos parados simultaneamente**
(tarifas – alternativas de transporte – distância)
- terminal de passageiros **m²** **pessoas (pax+acomp+func) na hora-pico – pessoas/m²**
- pátio de aeronaves **m²** **aviões parados simultaneamente**
tipos de aviões (dimensões dos vários aviões estacionados)
- *Taxiways* **saídas e acessos** **movimentos na hora-pico**
da(s) pista(s)
- 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



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Aeroportos e Transporte Aéreo

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



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Aeroportos e Transporte Aéreo

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





Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Aeroportos e Transporte Aéreo

A padronização no transporte aéreo



Transporte aéreo no mundo

Traffic Statistics for Revenue Scheduled Services

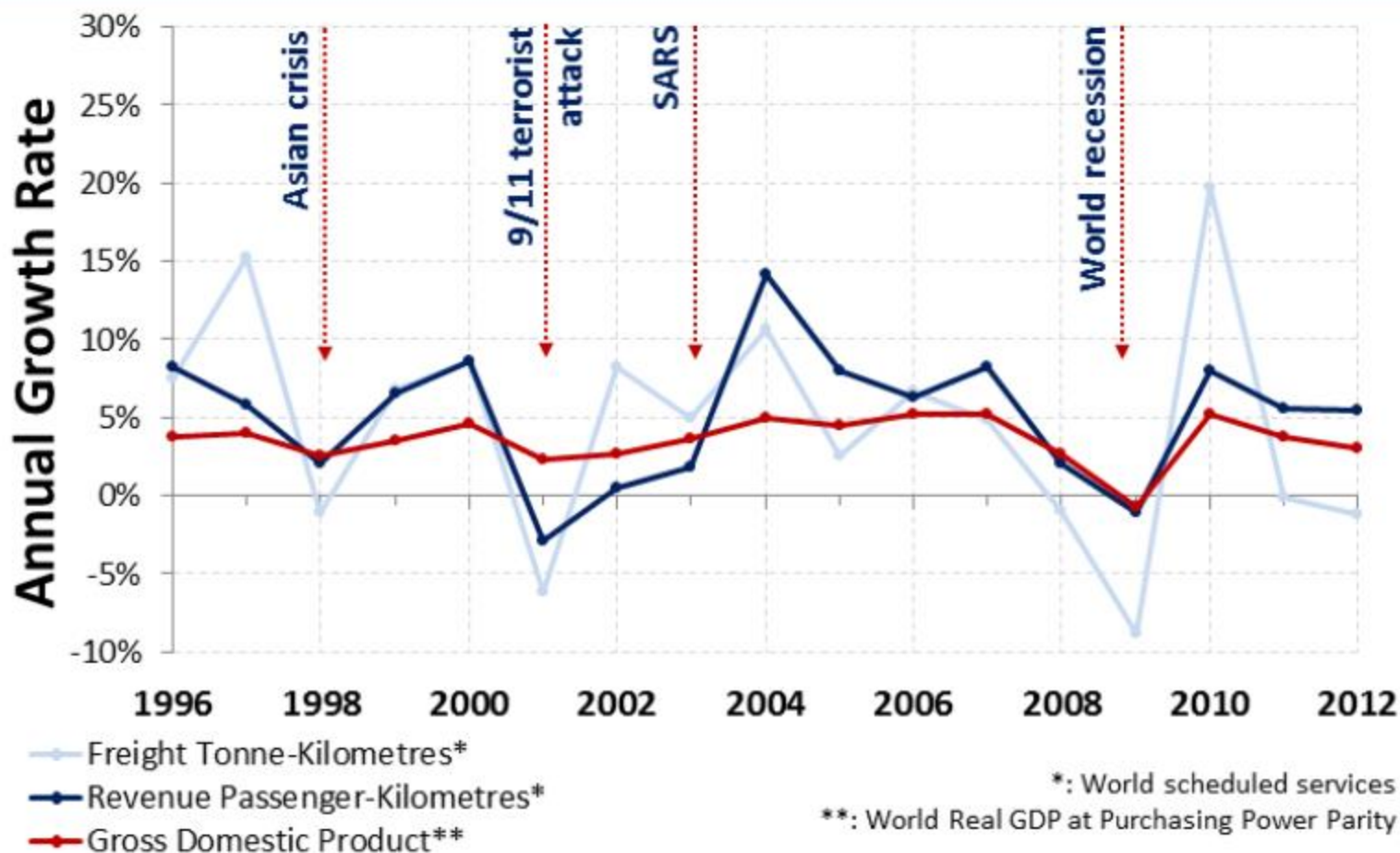
	Period	Year	Revenue Passenger-Kilometres		Departures	Passengers carried	
			World* (billion)	International (billion)	World (million)	World (billion)	International (billion)
History		2000	3038	1790	21	1.7	0.5
	2000-2012		+4.8%	+5.4%	+3.3%	+4.5%	+6.3%
		2012	5349	3359	31	2.9	1.2
Forecasts	2012-2020		+4.5%	+4.8%	+3.9%	+4.5%	+5.2%
		2020	7631	4884	42	4.1	1.7
	2020-2030		+4.5%	+4.6%	+3.5%	+4.4%	+4.9%
		2030	11805	7672	59	6.3	2.8
	2012-2030		+4.5%	+4.7%	+3.6%	+4.5%	+5.1%

**international and domestic*



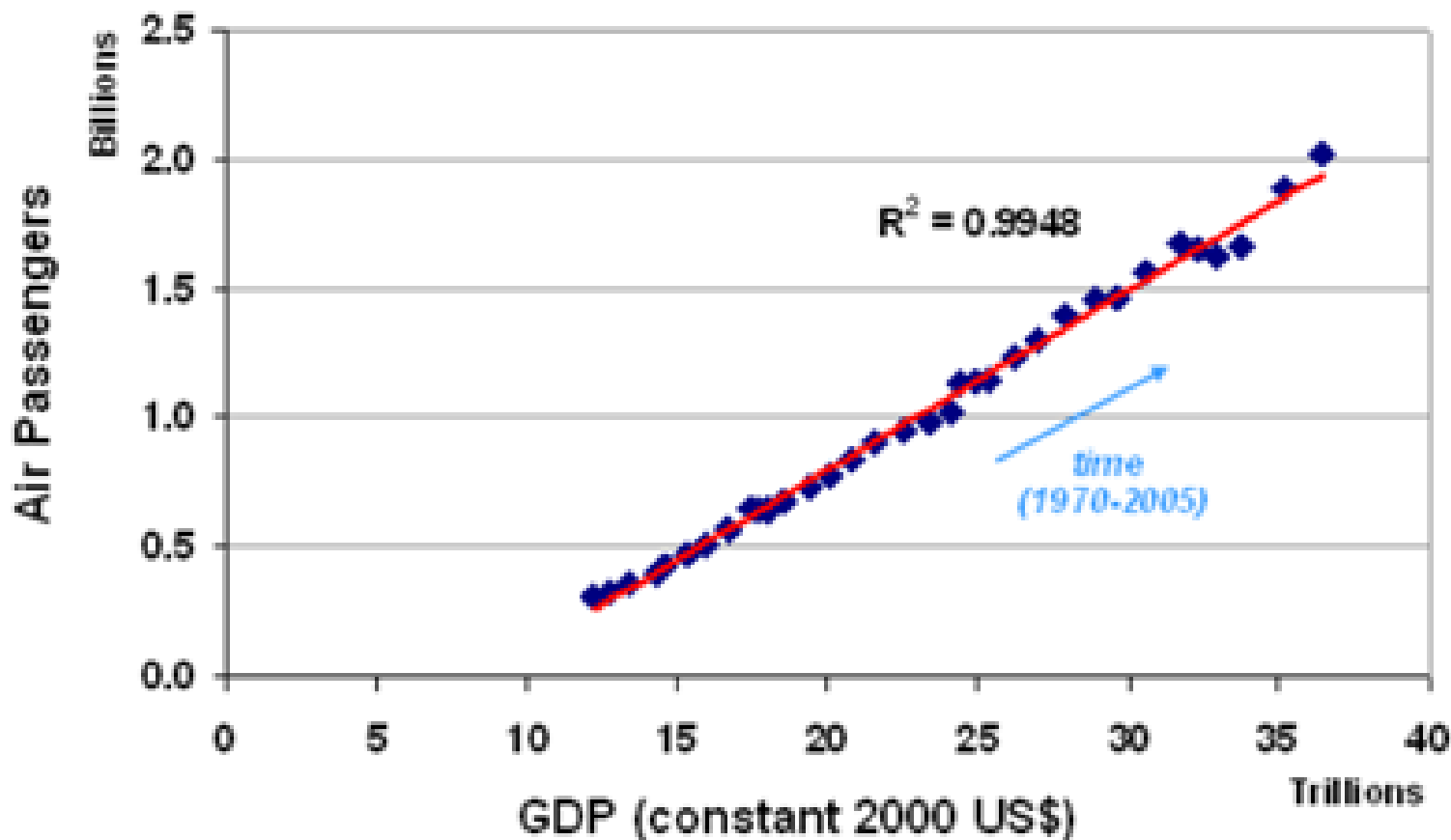
Transporte aéreo e desenvolvimento econômico

World economic growth vs. air traffic growth (passenger and freight)





Transporte aéreo e desenvolvimento econômico

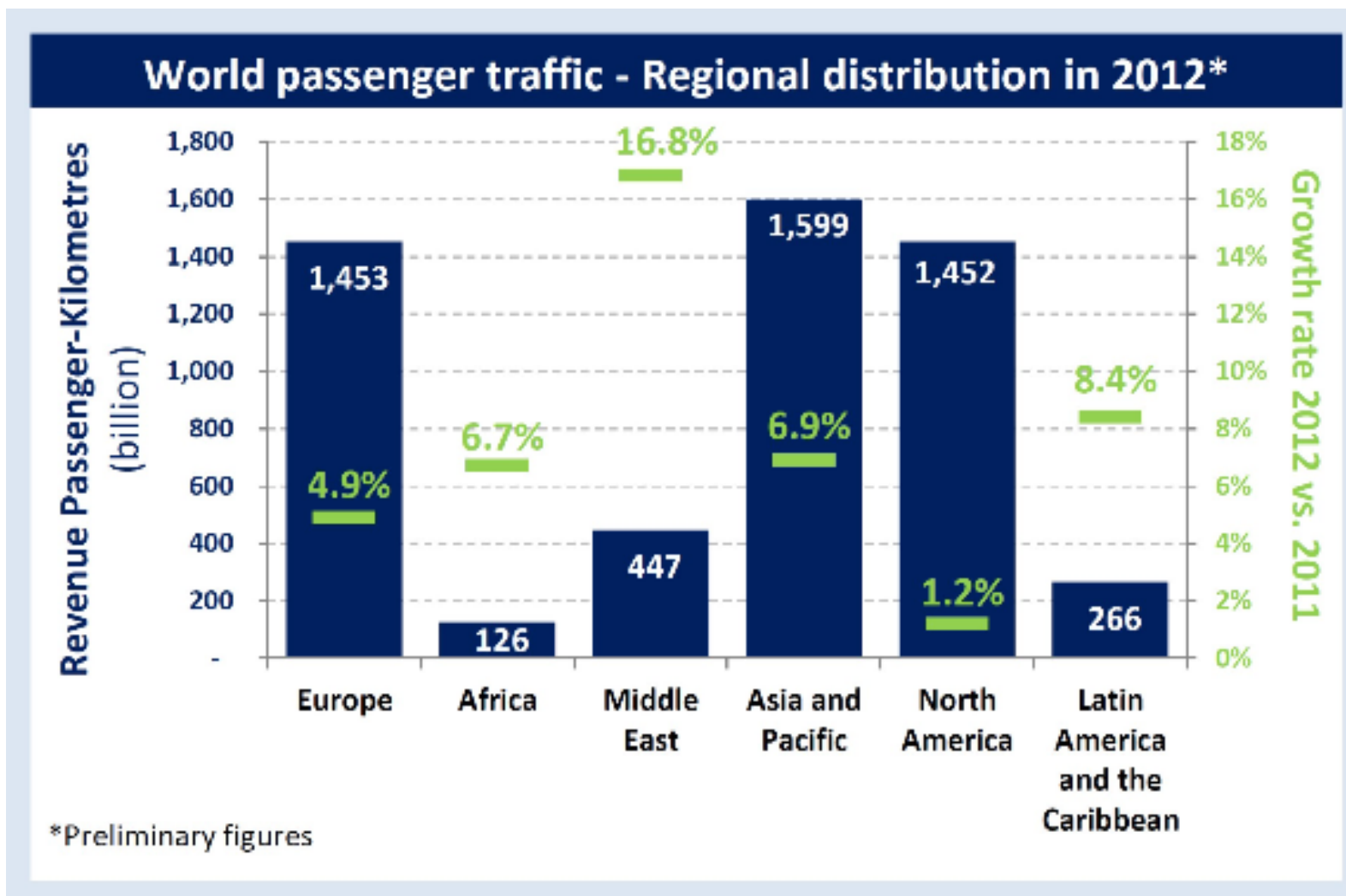


Relação entre demanda de transporte aéreo e desenvolvimento econômico, (135 países, 1970 -2005)

Fonte: Ishutkina, M. A. e Hansman, J. R. "Analysis of the interaction between air transport and economic activity", MIT Mar09

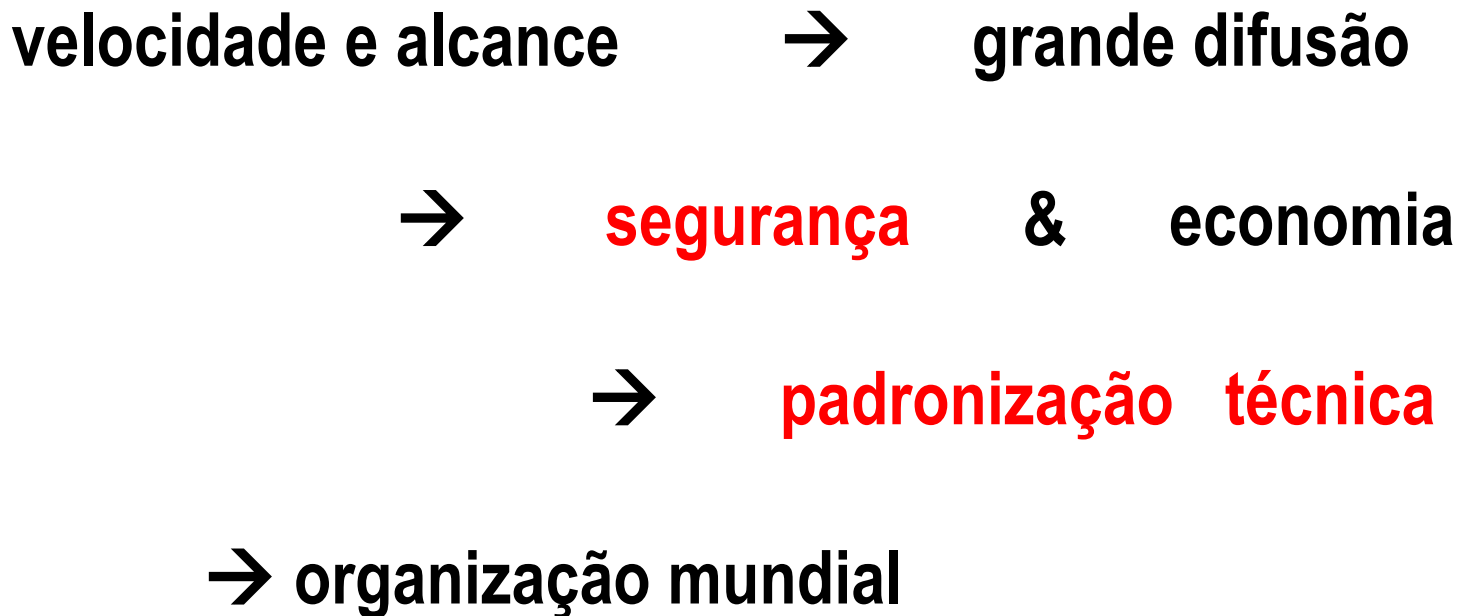


Transporte aéreo – distribuição mundial





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

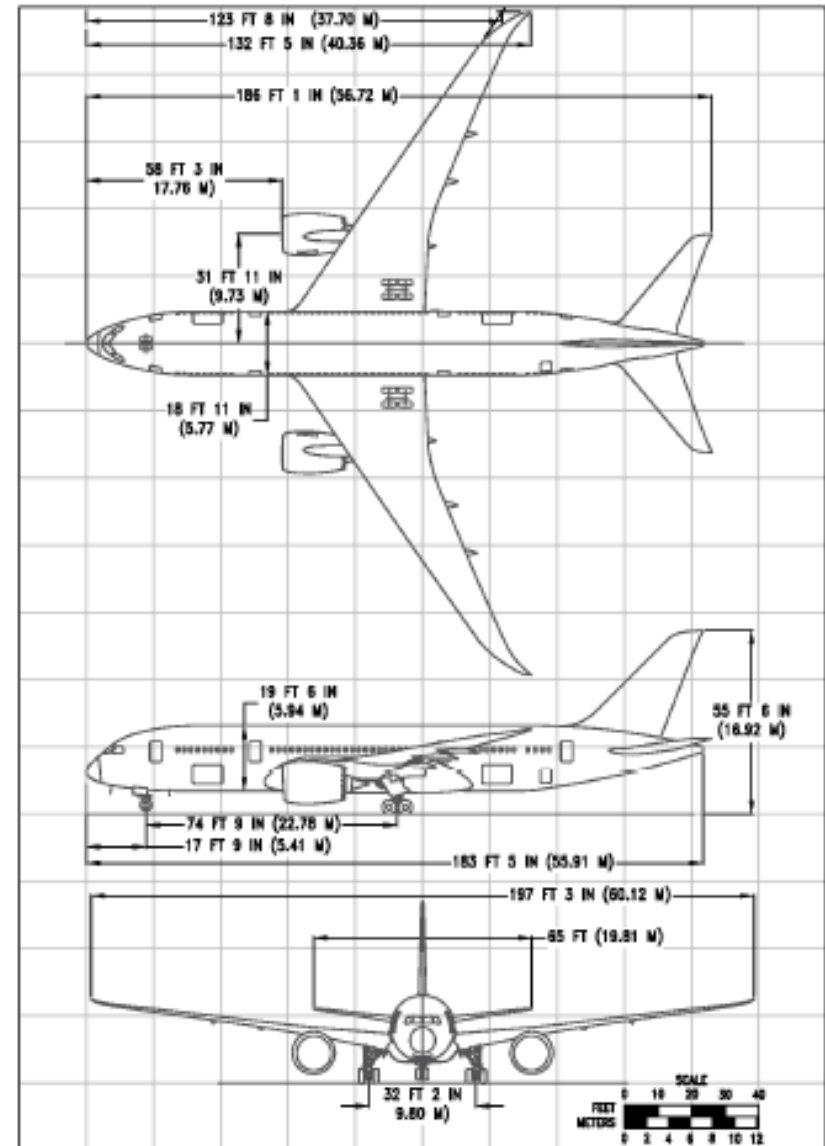
dimensões principais

→ planejamento

comprimento

envergadura

altura **variável**

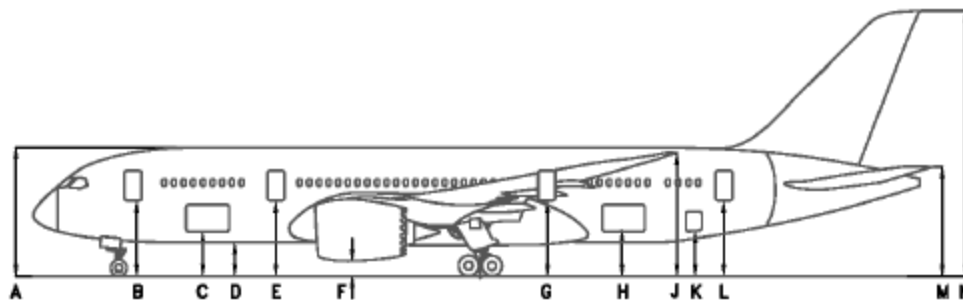




Boeing 787 – 8

outras dimensões

→ operação

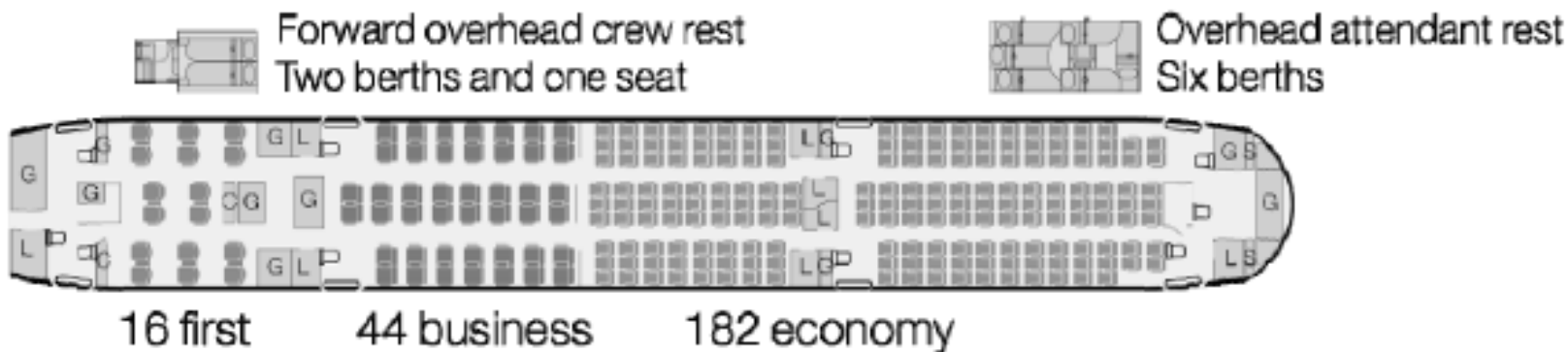


	MINIMUM		MAXIMUM	
	FEET - INCHES	METERS	FEET - INCHES	METERS
A	25 – 2	7.67	26 – 4	8.03
B	13 – 11	4.24	15 – 6	4.72
C	7 – 9	2.36	9 – 0	2.74
D	5 – 6	1.68	6 – 10	2.08
E	14 – 5	4.39	15 – 5	4.70
F (GE ENGINES)	2 – 5	.74	3 – 6	1.07
F (RR ENGINES)	2 – 4	.71	3 – 6	1.07
G	15 – 1	4.60	15 – 8	4.78
H	8 – 9	2.67	9 – 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

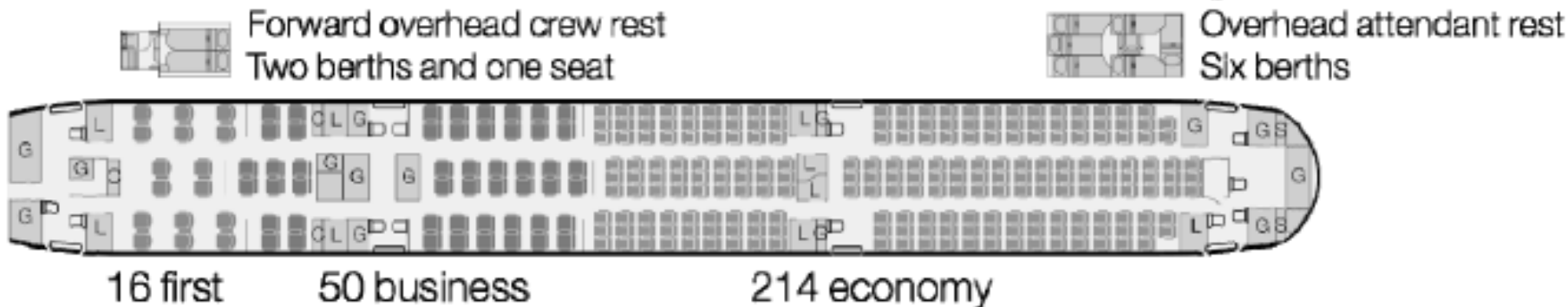


Boeing 787

242 passengers



280 passengers

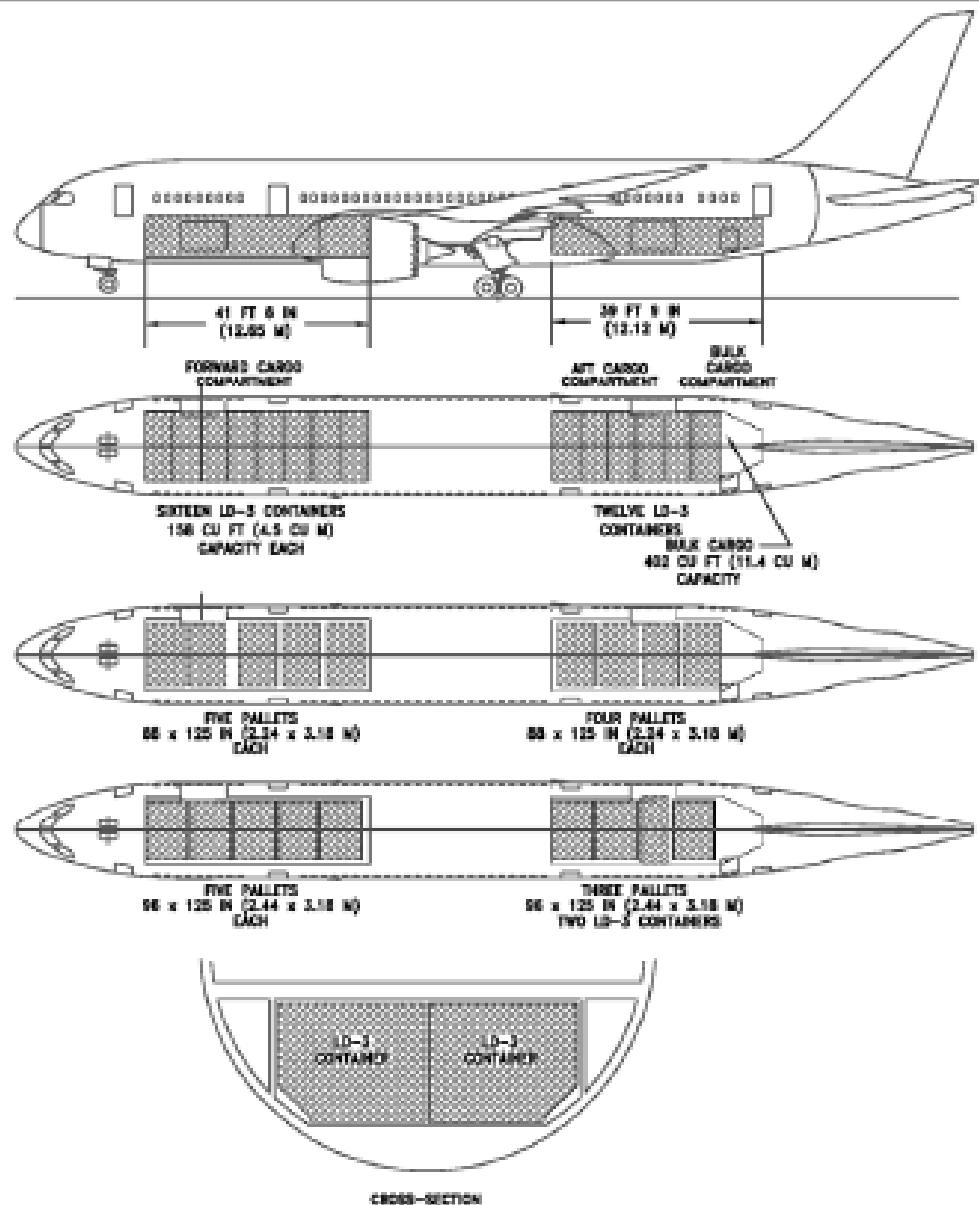




Boeing 787

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	POUNDS	503,500	503,500
TAXI WEIGHT	KILOGRAMS	228,384	228,384
MAX DESIGN	POUNDS	502,500	502,500
TAKEOFF WEIGHT	KILOGRAMS	227,930	227,930
MAX DESIGN	POUNDS	380,000	380,000
LANDING WEIGHT	KILOGRAMS	172,365	172,365
MAX DESIGN ZERO	POUNDS	355,000	355,000
FUEL WEIGHT	KILOGRAMS	161,025	161,025
OPERATING	POUNDS	TBD	TBD
EMPTY WEIGHT (1)	KILOGRAMS	TBD	TBD
MAX STRUCTURAL	POUNDS	TBD	TBD
PAYLOAD (1)	KILOGRAMS	TBD	TBD
SEATING	ONE-CLASS	375 ALL-ECONOMY SEATS; FAA EXIT LIMIT = 381 SEATS	
CAPACITY	MIXED CLASS	242 THREE-CLASS; 16 FIRST CLASS, 44 BUSINESS CLASS, 182 ECONOMY CLASS (SEE SEC 2.4)	
MAX CARGO	CUBIC FEET	4,826 (2)	4,826 (2)
- LOWER DECK	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



Próxima aula – 22Mar17

Teste – conteúdo

- duas primeiras aulas
- Anexo 14 da OACI: itens 1.7, 2.1, 2.2, 2.3, 2.4 e 2.5

Analisar as características do avião atribuído:

- dimensões, pesos, capacidades/configurações
 - gráficos de desempenho
- trazer cópias

http://www.boeing.com/commercial/airports/plan_manuals.page



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 **m²** **veículos parados simultaneamente**
(tarifas – alternativas de transporte – distância)
- terminal de passageiros **m²** **pessoas na hora-pico - pessoas/m²**
- pátio de aeronaves **m²** **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 **m** **tipo de avião** – **peso** – **meteorologia/ambiente** – **segurança**

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

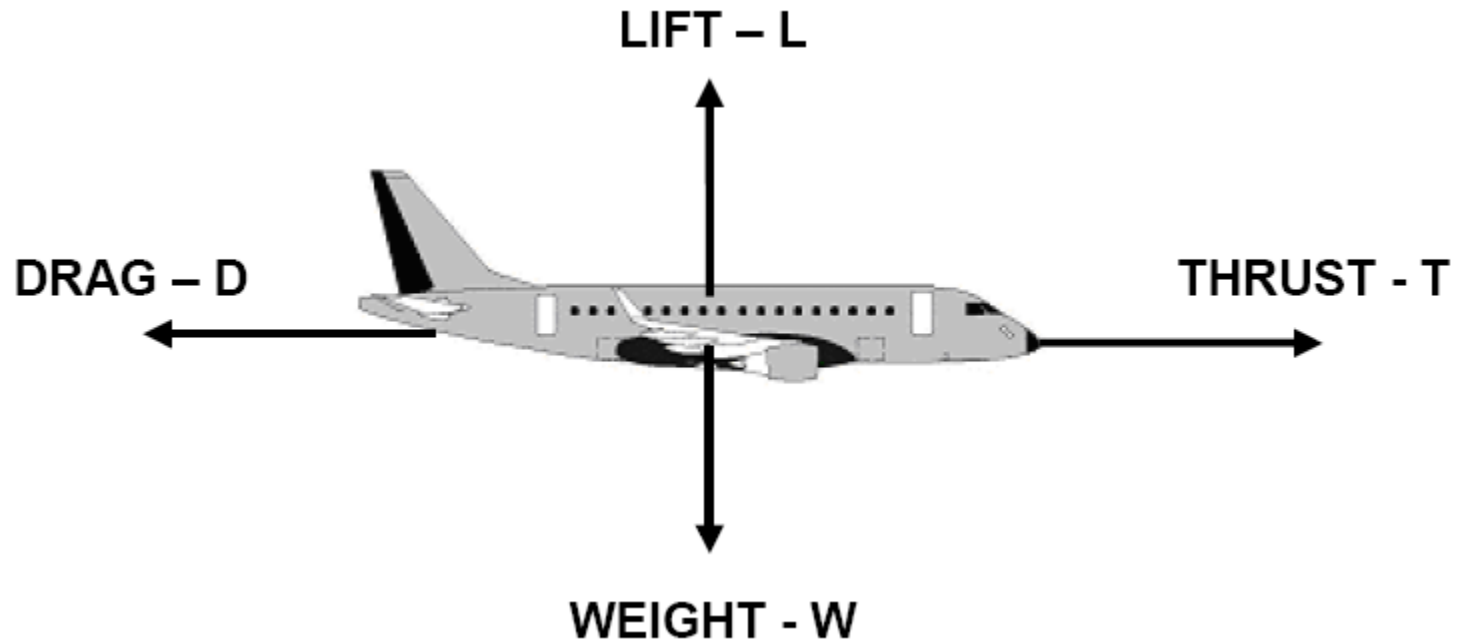
comprimento **m** **tipo de avião** – **peso** – **meteorologia/ambiente** – **segurança**

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





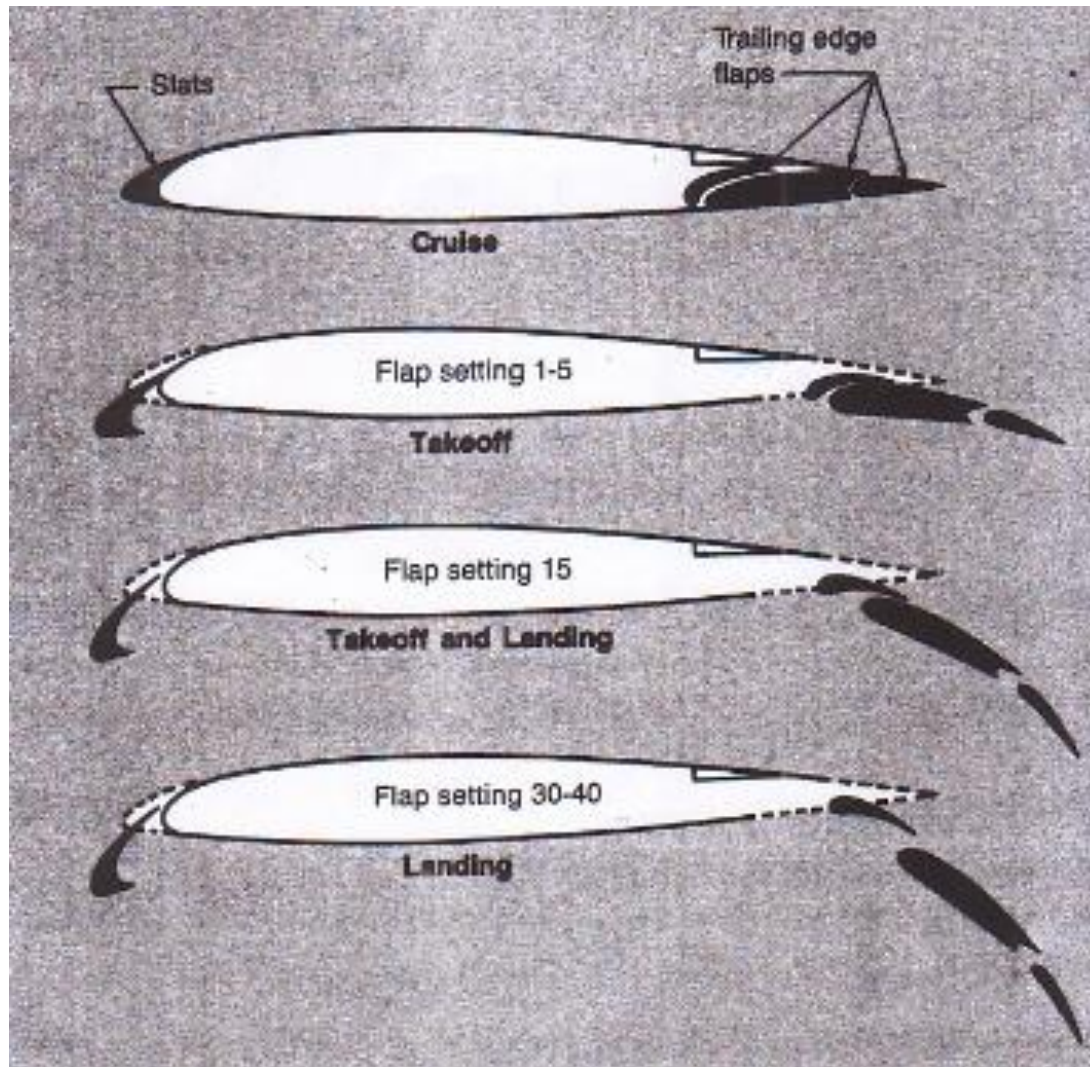
Sustentação

- **L** sustentação
- **R_o** densidade do ar
- **V** velocidade
- **S** superfície da asa
- **C_l** 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

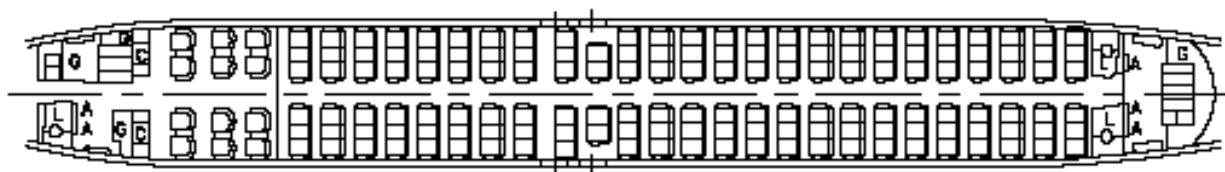
Peso de aterragem = peso de decolagem – combustível consumido



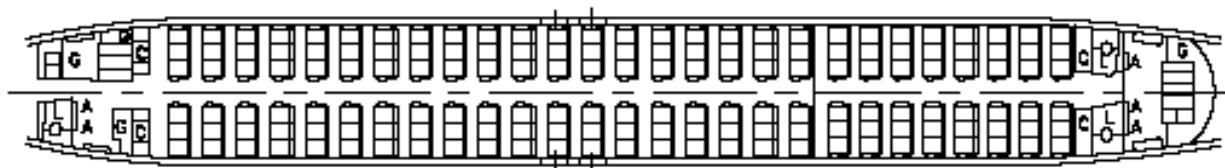
Configurações internas

Boeing 737-800

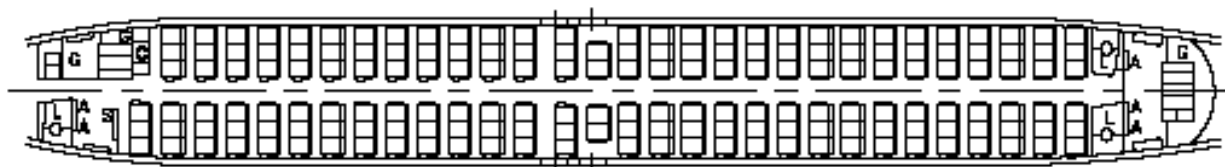
Fonte: Airplane Characteristics – Airport Planning D6-58325-3 Apr98



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

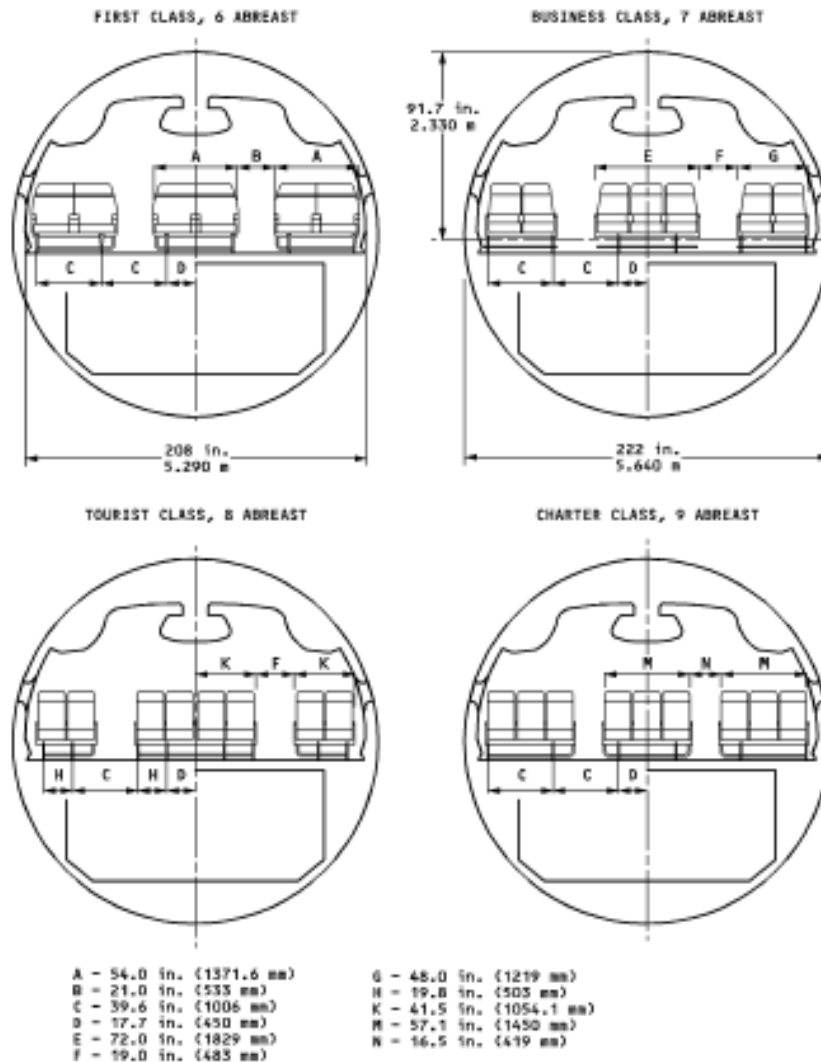
[A] ATTENDANT [C] CLOSET [G] GALLEY [L] LAVATORY [S] STOWAGE



Configurações internas

Airbus A 330

Fonte: Airplane Characteristics for Airport Planning Jan01





à procura do assento perfeito

nas 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.

actor leva em conta ain-
ção de cada empresa e
es 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,
opções para encontrar
eriência de voo razoá-
ço aceitável. / COM NVT



DANIEL TEIXEIRA/ESTADÃO

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 Hiphunk
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 aéro-
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.

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



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo Aeroportos e Transporte Aéreo



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





Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Aeroportos e Transporte Aéreo

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	~ 25%

aviões de maior alcance

PBO	~ 45%
carga paga	~ 15%
combustível	~ 40%

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
% carga paga máxima	91%
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
% carga paga máxima	6%
peso máximo nos porões, limitado por volume	3,81
carga paga máxima, limitada por volume	14,91
	97%
carga máxima nos porões	1,34
densidade de carga de equilíbrio (kg/m3)	252,83



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	41,43	138,1	178,75	270,015	250,56	29,07
	52%	52%	48%	45%	48%	42%	56%
carga paga máxima	15,40	20,98	54,64	67,32	90,985	151,44	13,53
	24%	27%	19%	17%	16%	26%	26%
peso máximo zero combustível	48,30	62,75	192,74	246,07	361	402	42,60
	77%	79%	67%	62%	64%	68%	81%
peso máximo de combustível	18,75	20,91	135,88	173,39	247,502	247,502	13,10
	30%	26%	47%	44%	44%	42%	25%
peso máximo estrutural de decolagem	63,05	79,04	286,9	396,89	560	590	52,29
	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
	6,3%	5,8%	14,5%	5,7%	8,7%	10,1%	6,5%
peso max zero comb + comb max	106,3%	105,8%	114,5%	105,7%	108,7%	110,1%	106,5%
número máximo de assentos	149	184	440	624			118
número usual de assentos	148	160	328	420	555	0	118
	148	12+148	24+61+243	21+35+42+322	22+96+334+103		118
volume de porão (m3)	23,8	45,0	160,3	172,5	176,3	938,4	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	19,20	50,25	59,10	69,83		12,96
	97%	92%	92%	88%	77%		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

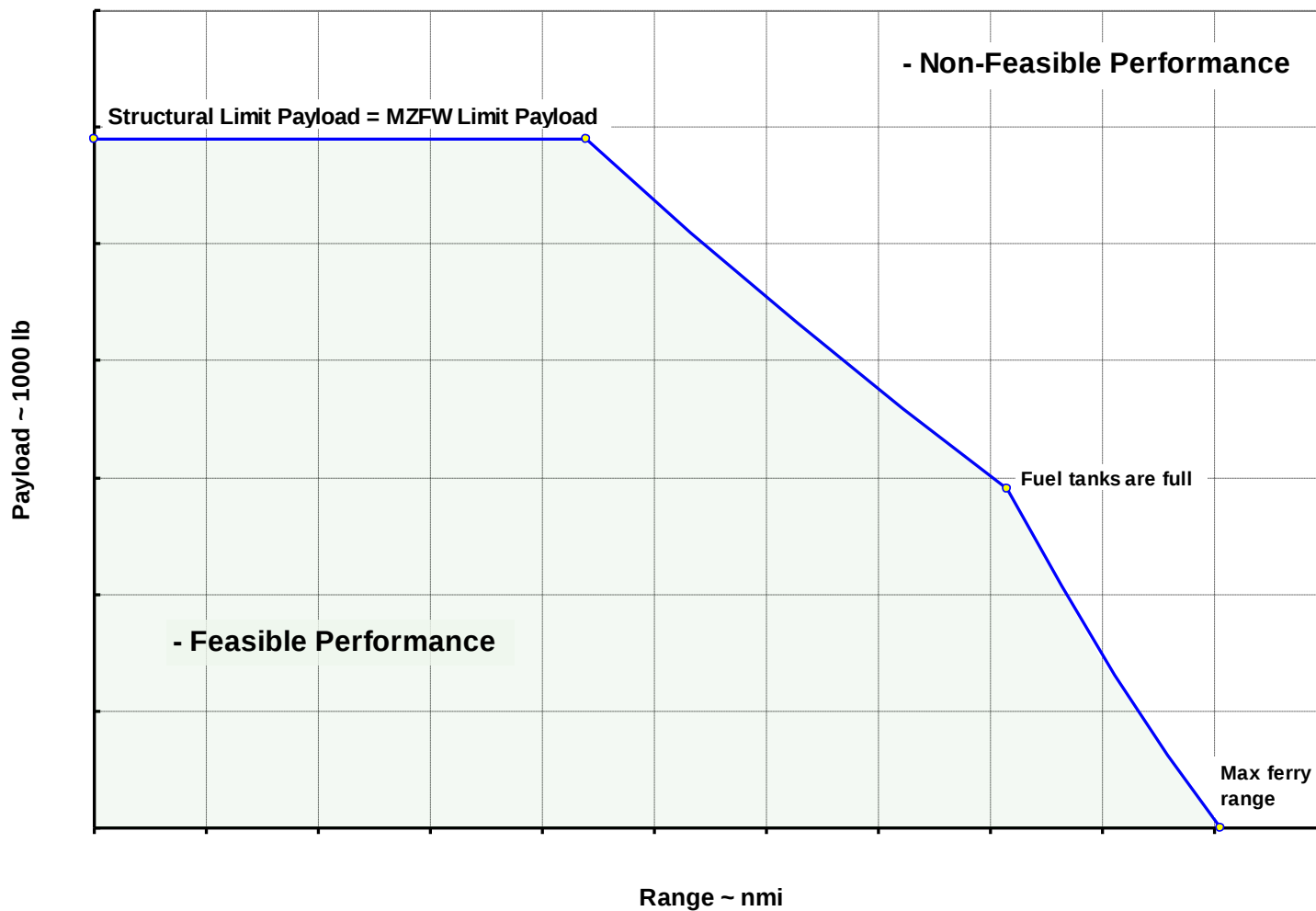




Gráfico de carga paga x alcance

- **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

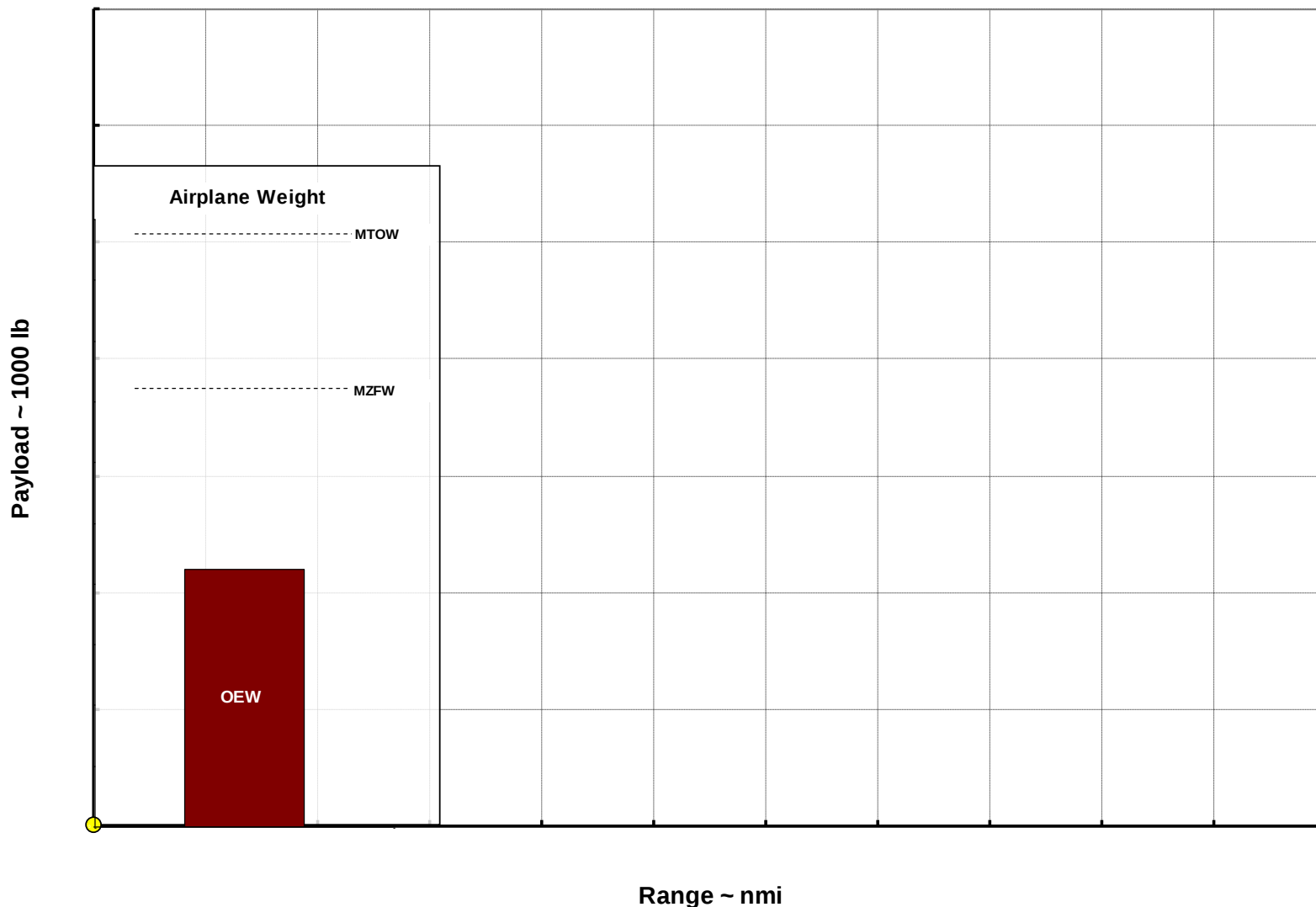




Gráfico de carga paga x alcance

carga paga máxima

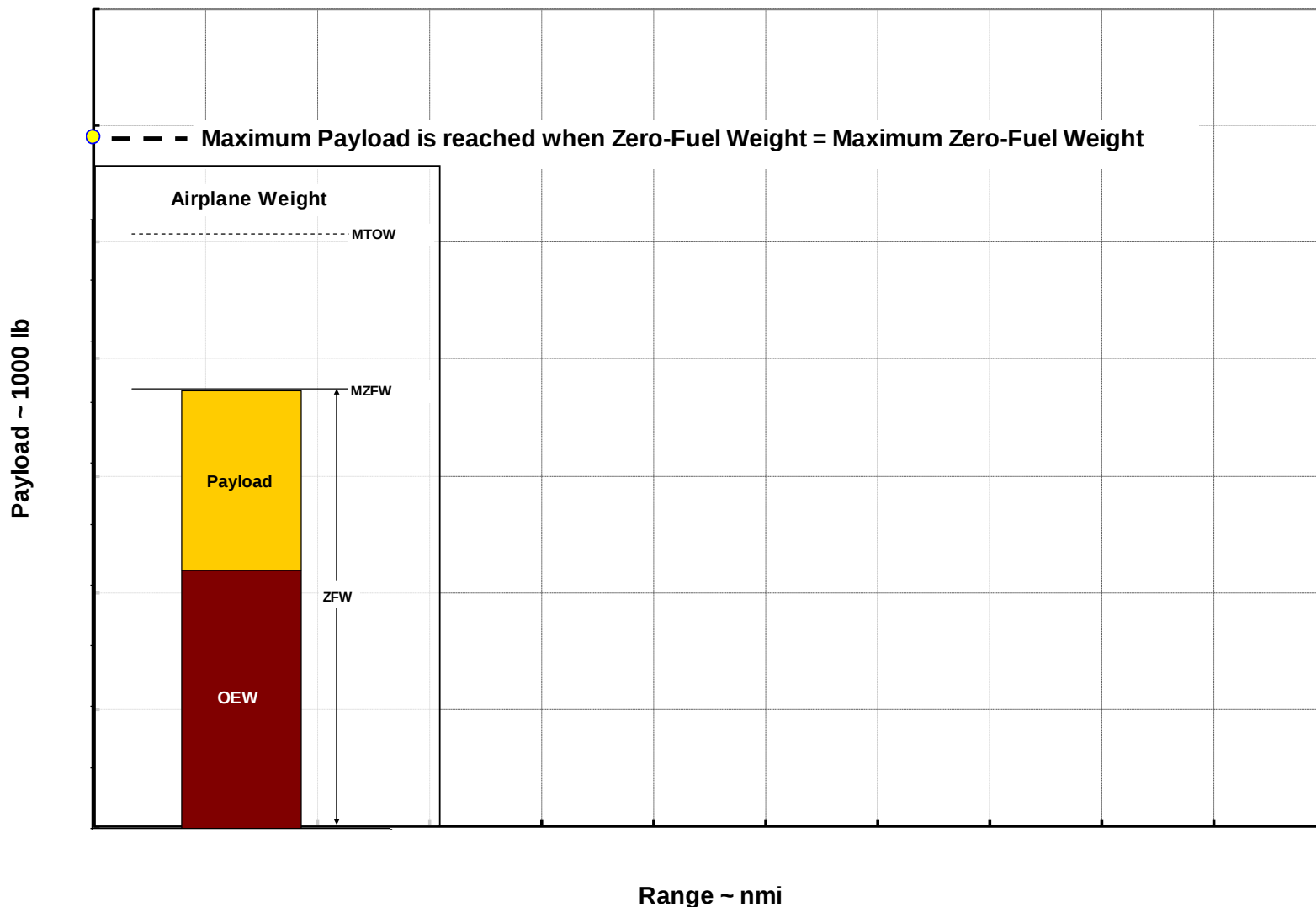




Gráfico de carga paga x alcance

máximos alcance e carga paga

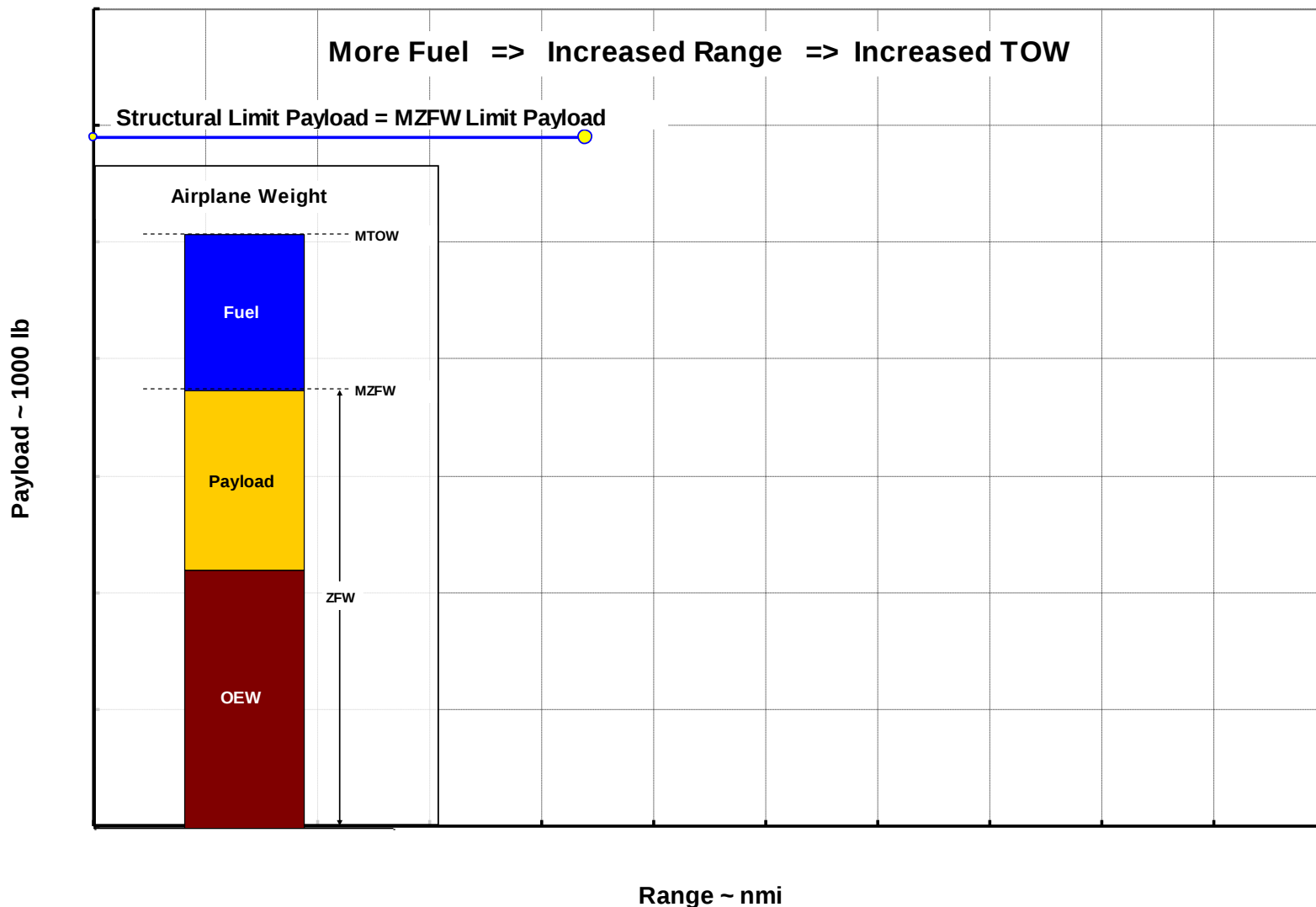




Gráfico de carga paga x alcance

peso de decolagem constante

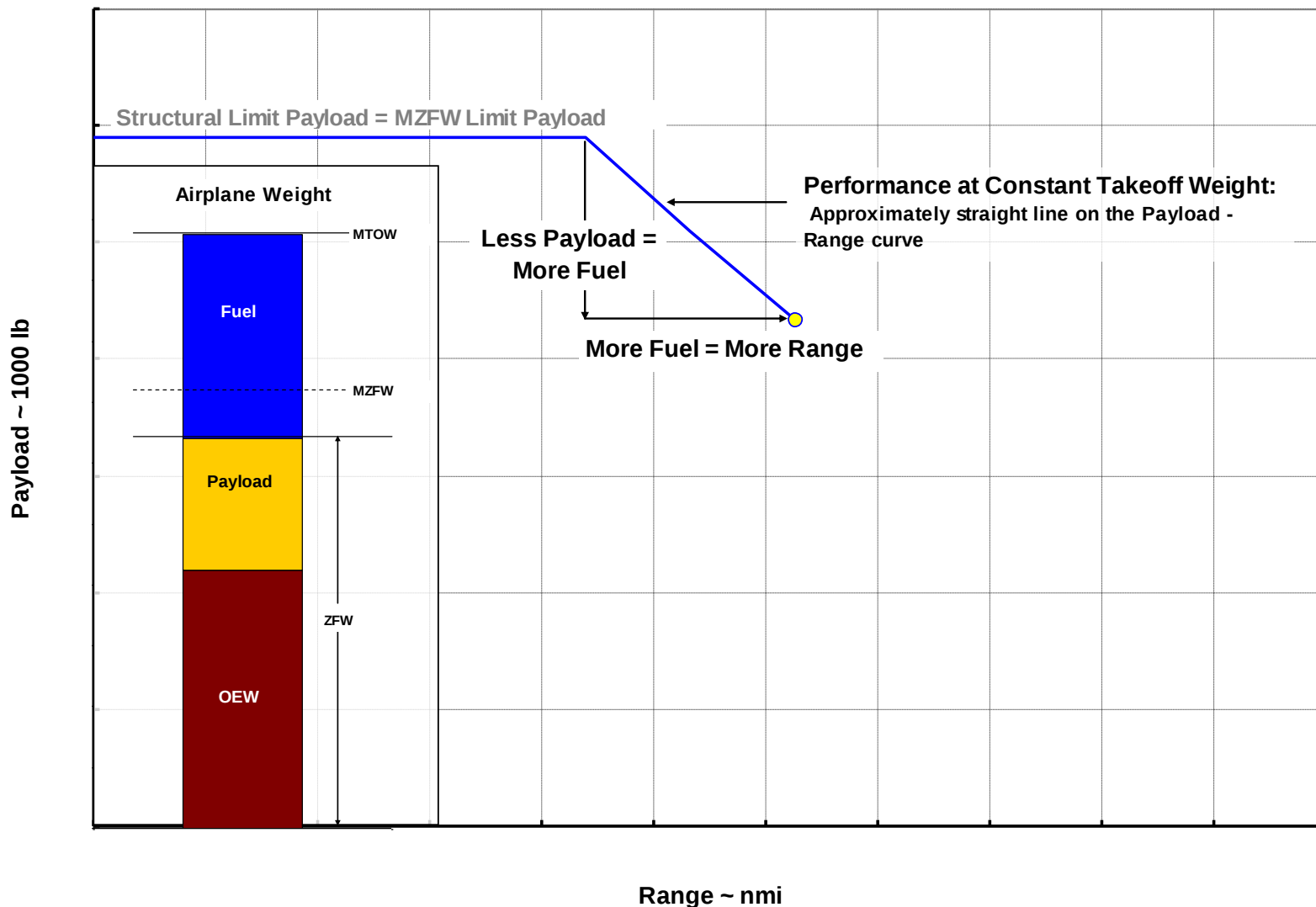




Gráfico de carga paga x alcance

máximos alcance e peso de decolagem

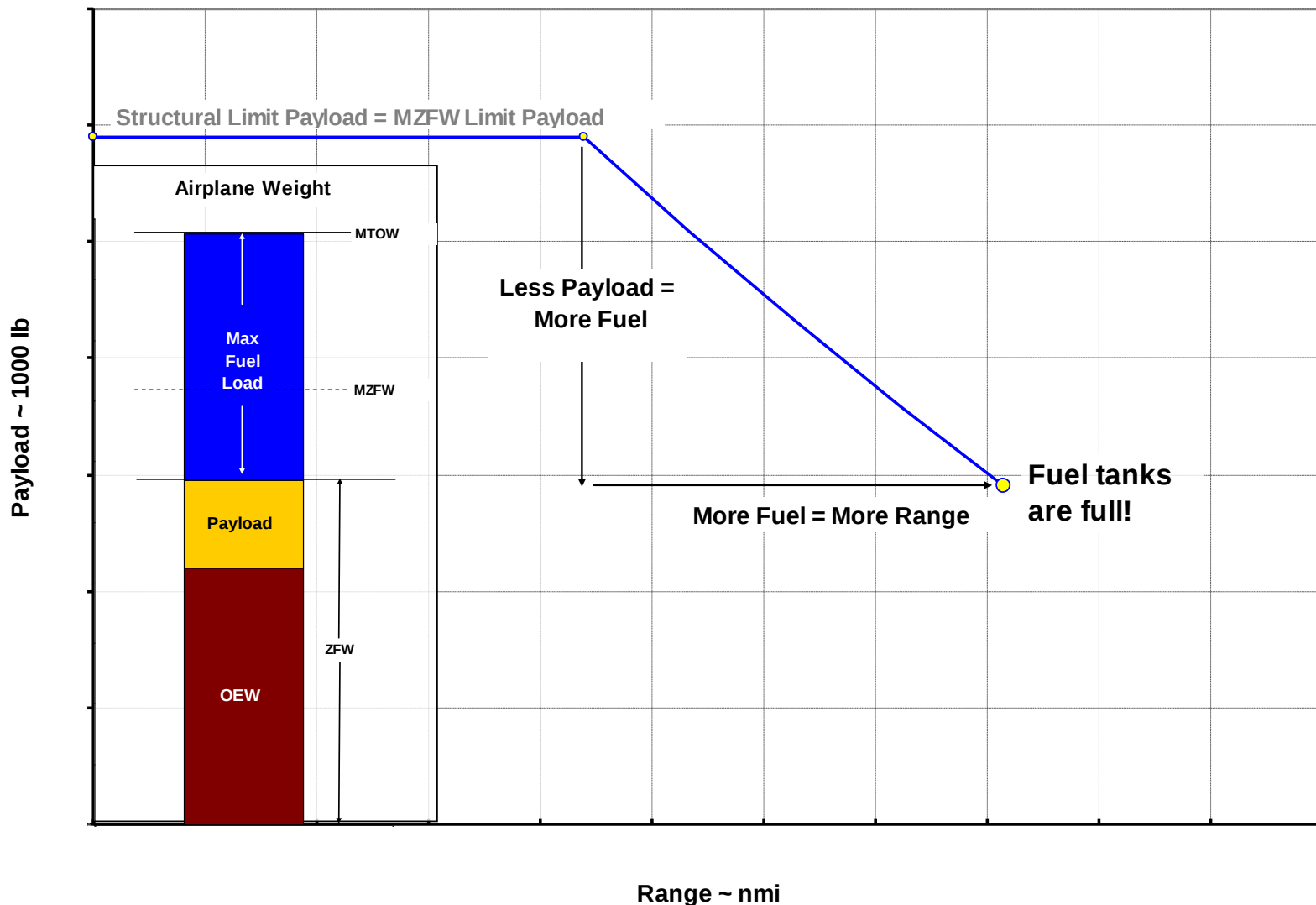




Gráfico de carga paga x alcance

combustível máximo

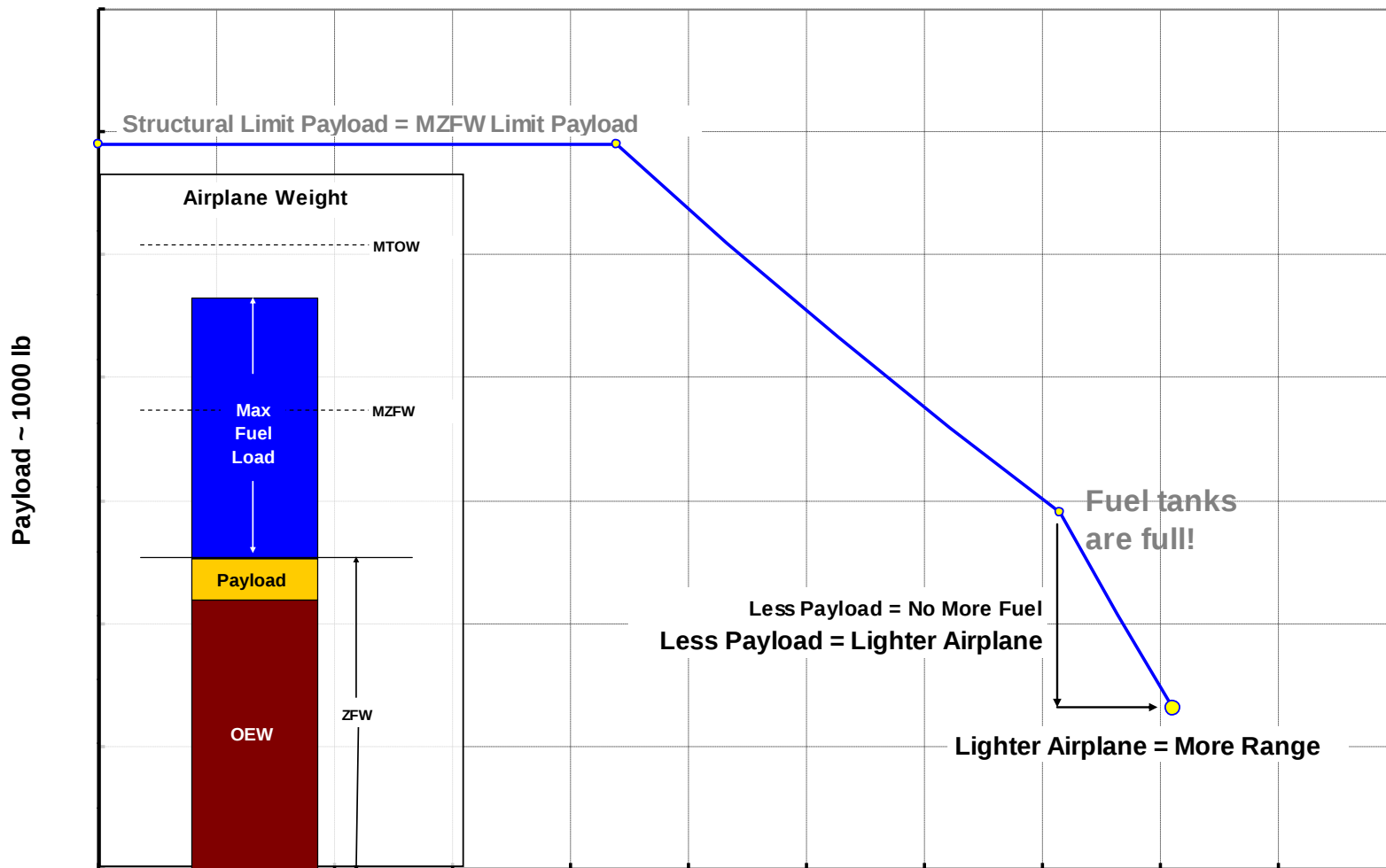




Gráfico de carga paga x alcance

máximo alcance absoluto – *ferry range*

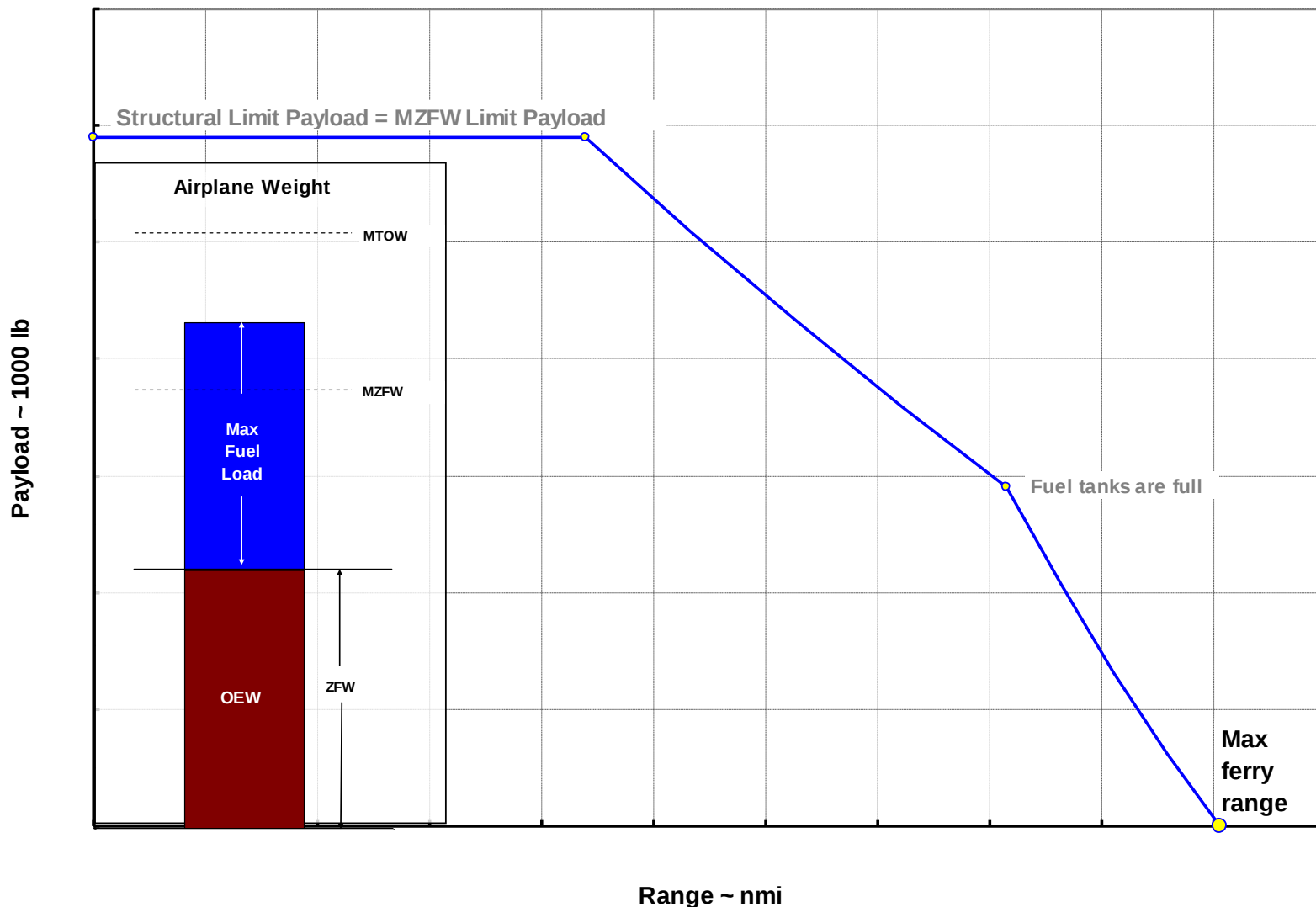




Gráfico de carga paga x alcance – resumo

-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 **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



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

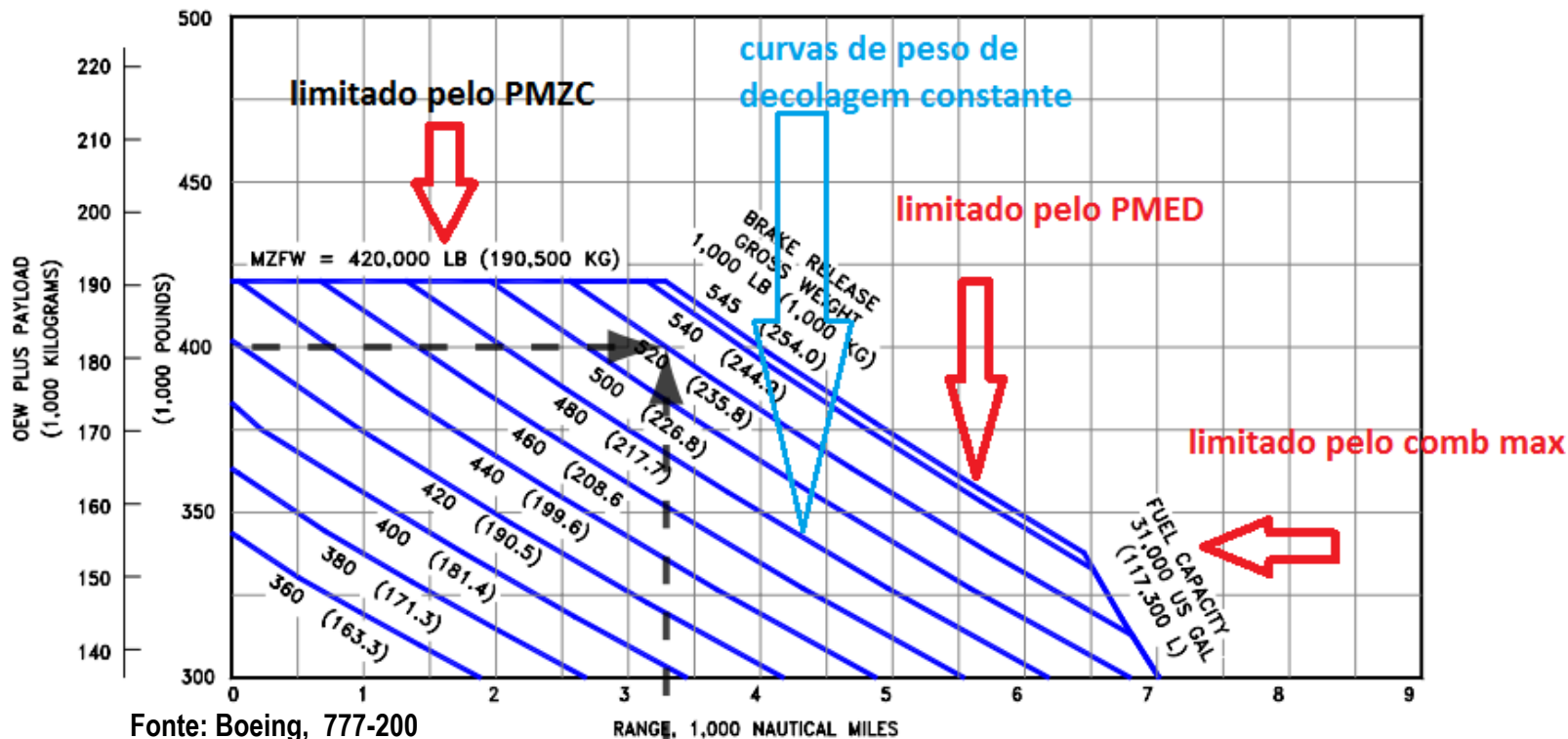
peso de decolagem + gráfico Peso Dec x pista → comprimento de pista !



Gráfico de carga paga x alcance

NOTES:

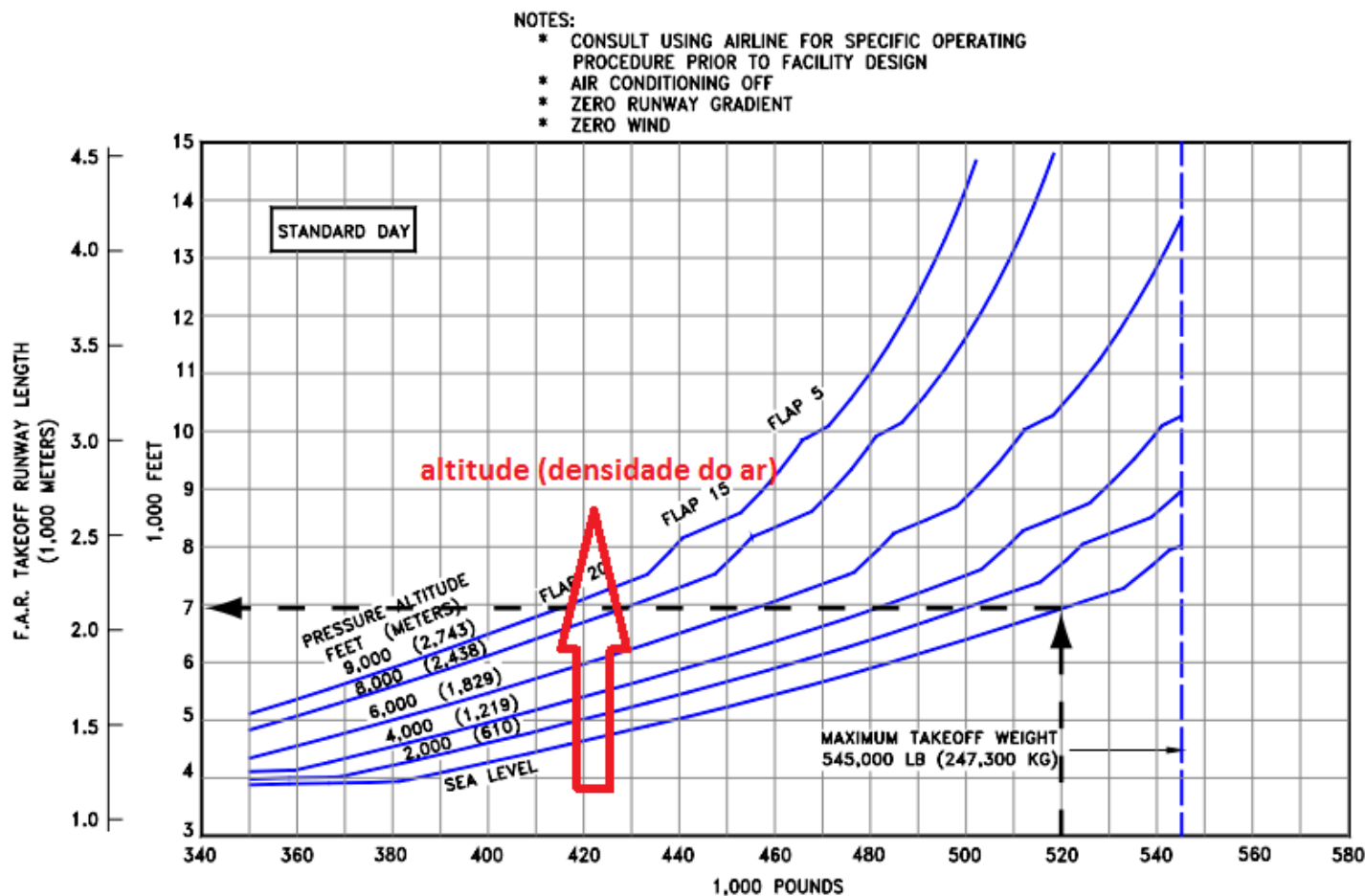
- * STANDARD DAY, ZERO WIND
- * 0.84 MACH STEP CRUISE
- * TYPICAL MISSION RULES
- * NORMAL POWER EXTRACTION AND AIR CONDITIONING BLEED
- * CONSULT USING AIRLINE FOR SPECIFIC OPERATING PROCEDURE AND OEW PRIOR TO FACILITY DESIGN



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



Photo Copyright PixAir

AIRLINERS.NET



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

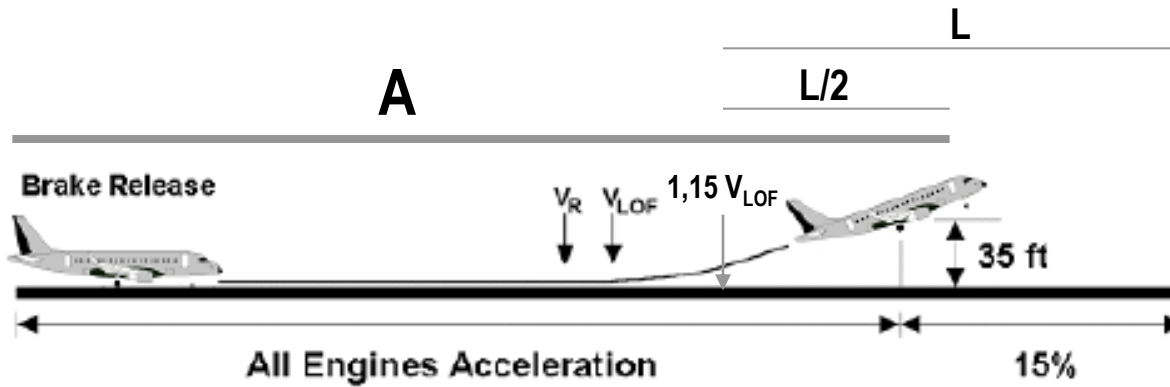
orientação ° mag ventos - topografia

- **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



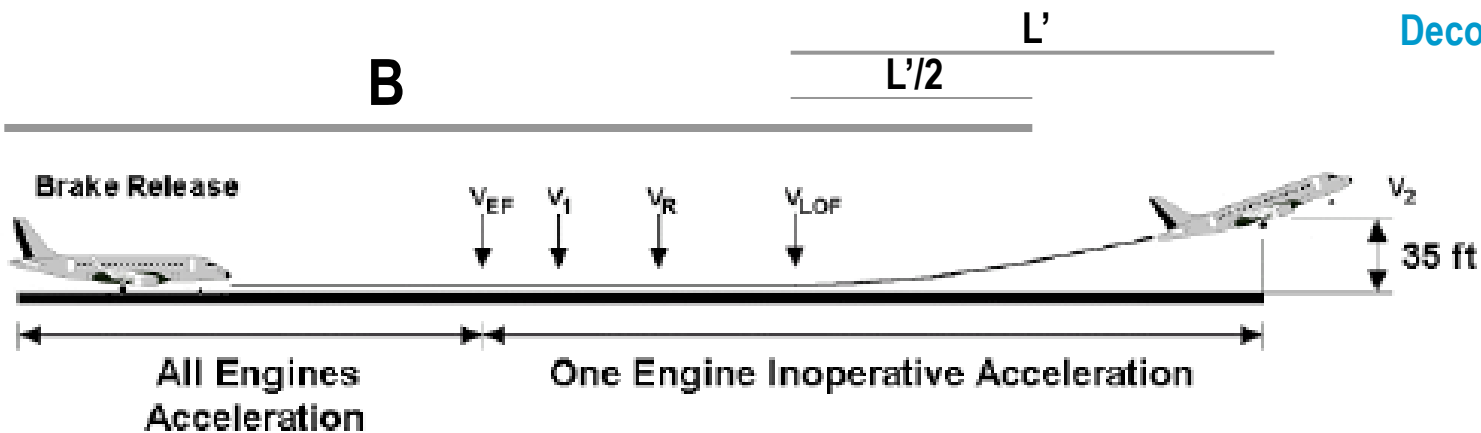
Decolagem normal

A



Decolagem em pane

B

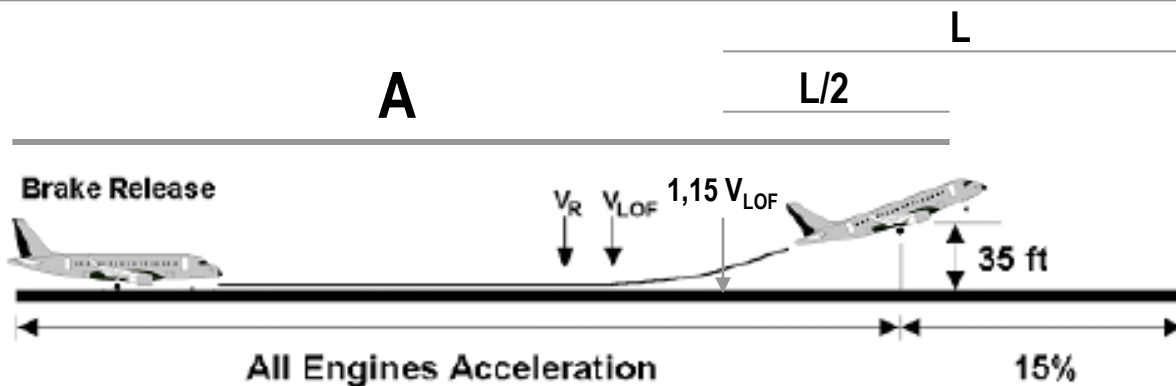


Decolagem abortada



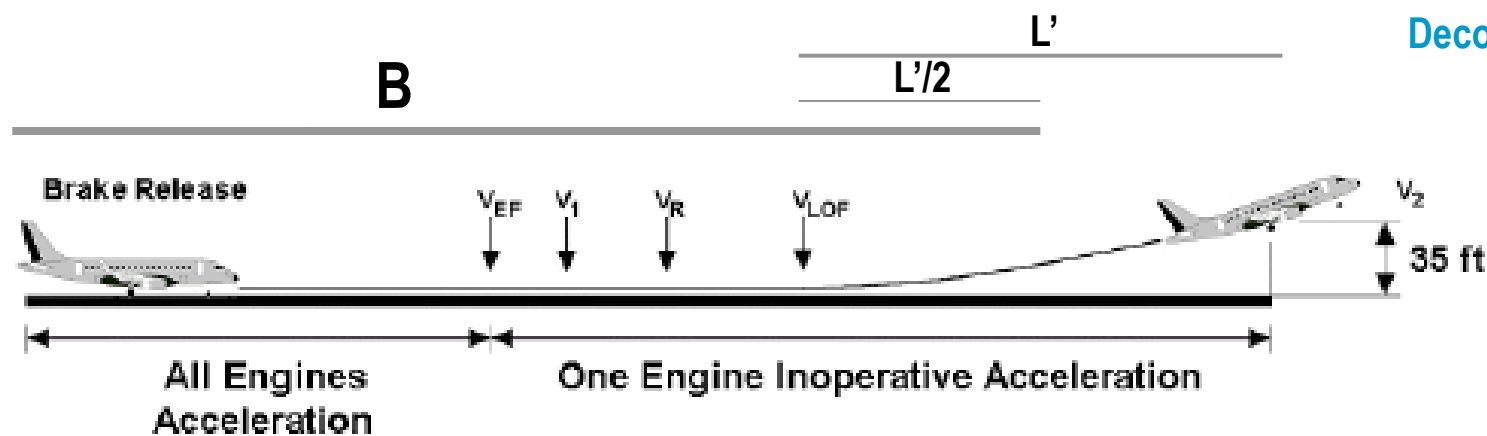
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

Aeroportos e Transporte Aéreo



Decolagem normal

pista = max (A,B)



Decolagem em pane

Decolagem abortada



pista = max (A,B)



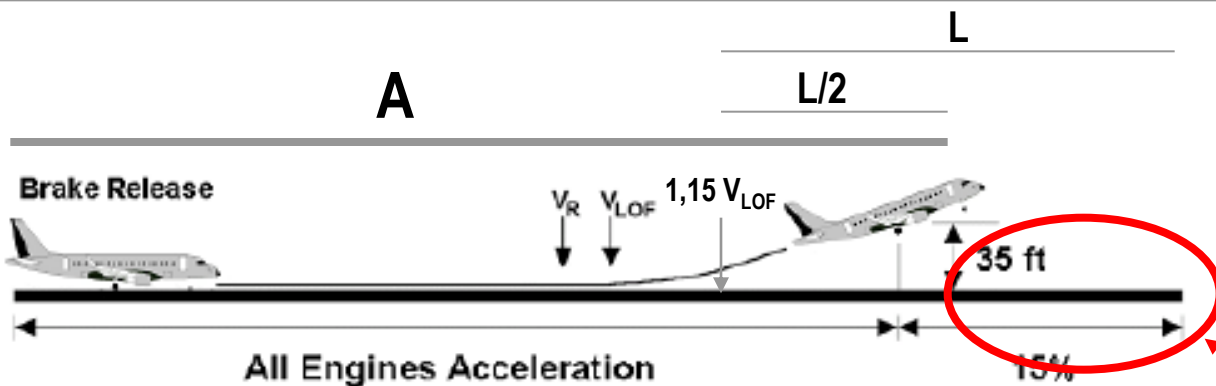
clearway

Decolagem abortada



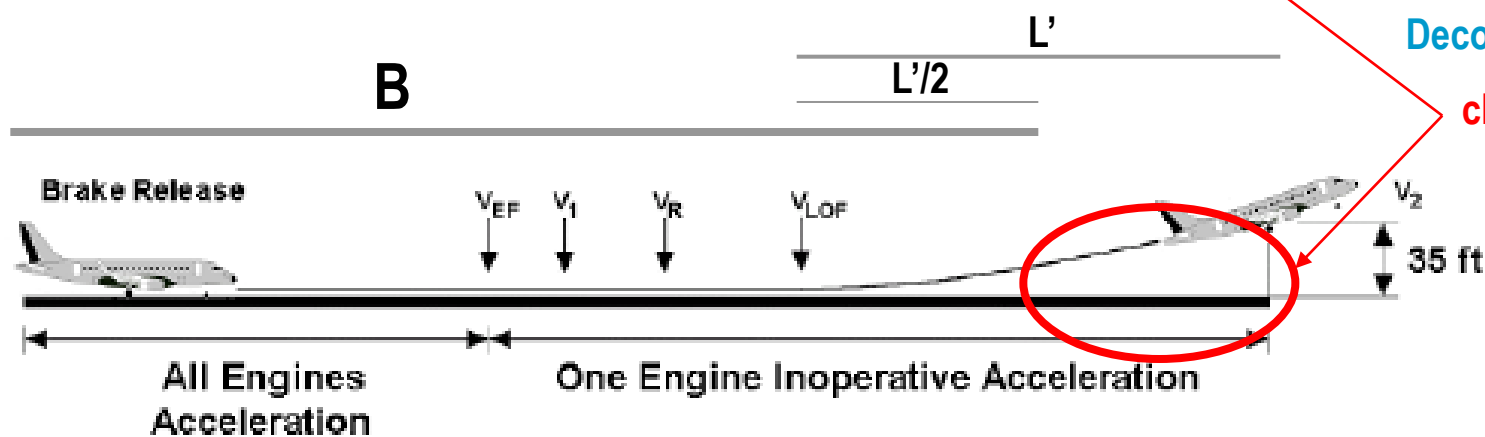
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

Aeroportos e Transporte Aéreo



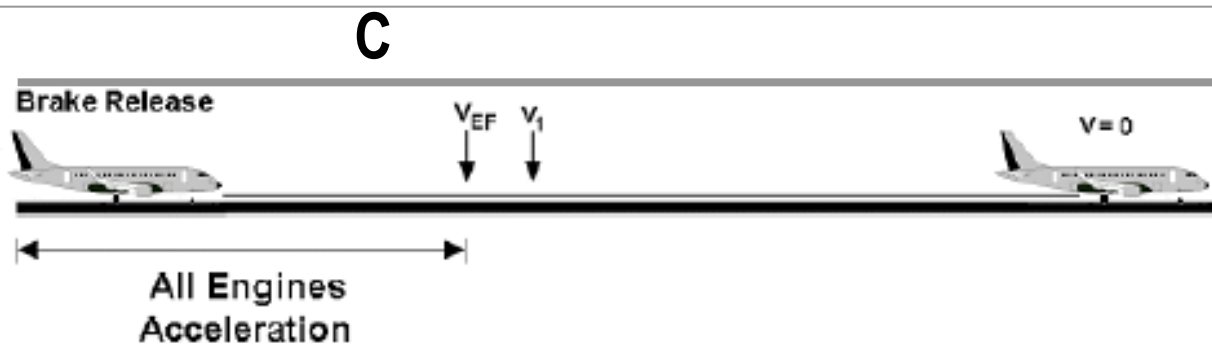
Decolagem normal

pista = max (A,B)



Decolagem em pane

clearway

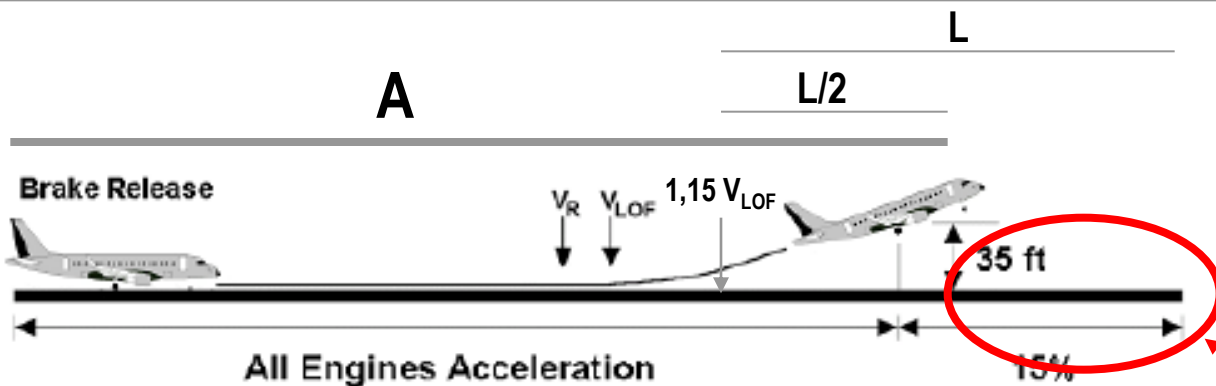


Decolagem abortada



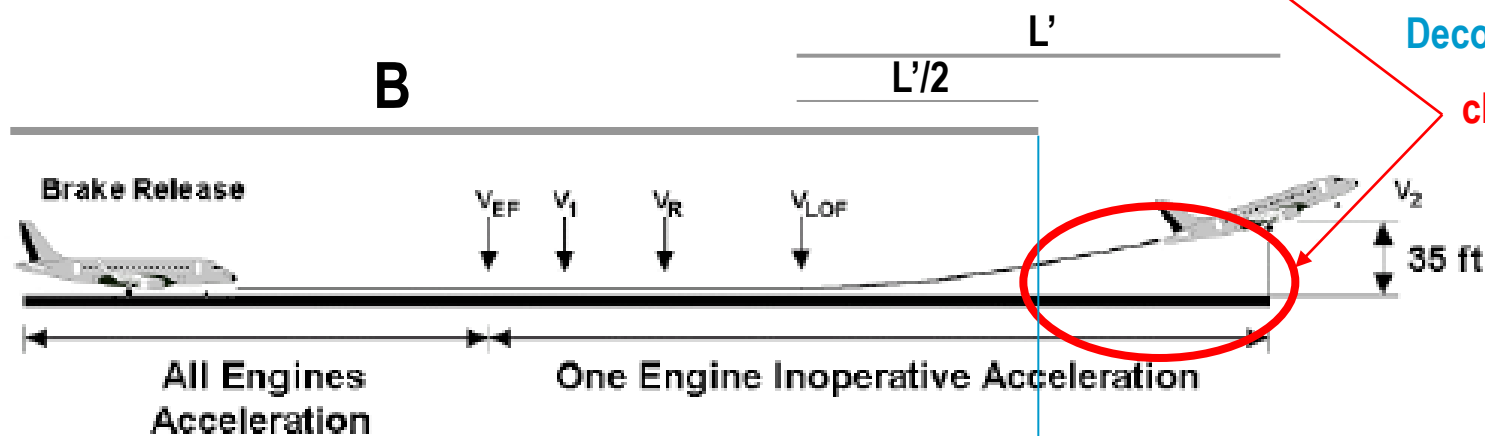
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

Aeroportos e Transporte Aéreo



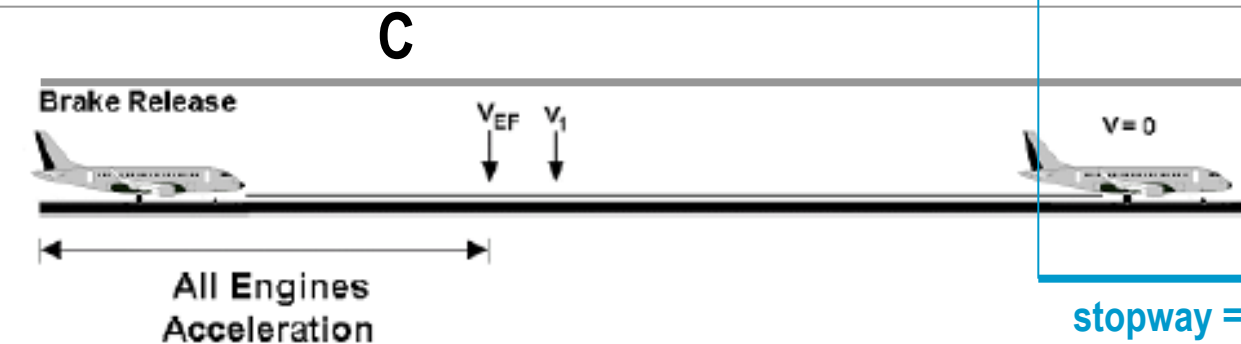
Decolagem normal

pista = max (A,B)



Decolagem em pane

clearway



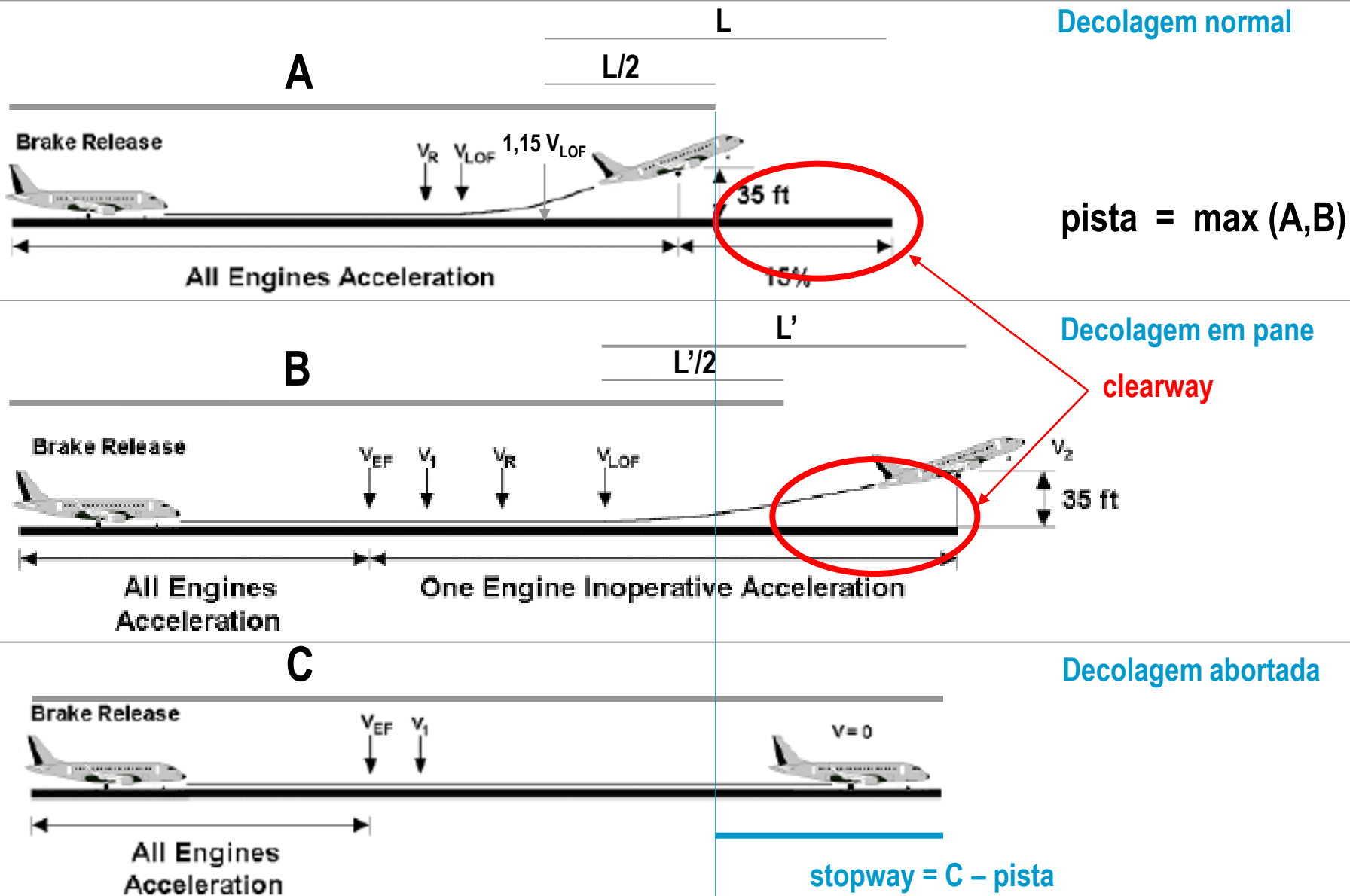
Decolagem abortada

stopway = C - pista



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

Aeroportos e Transporte Aéreo





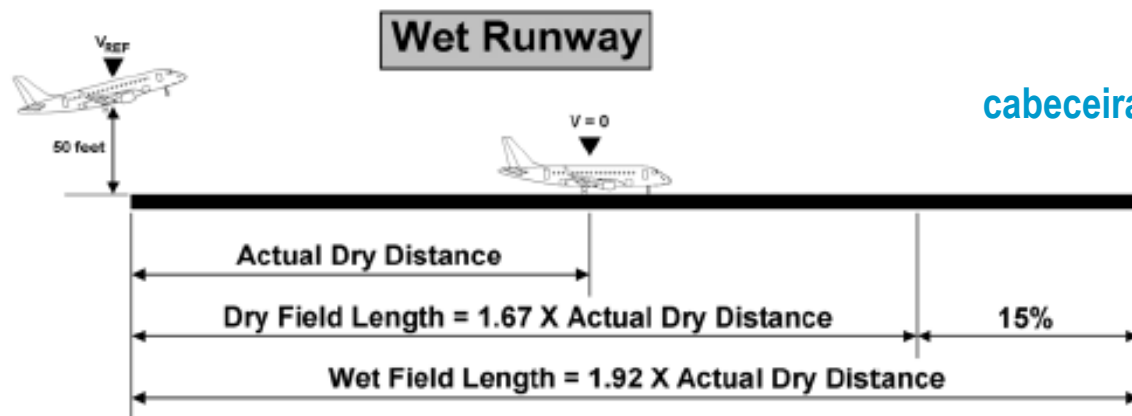
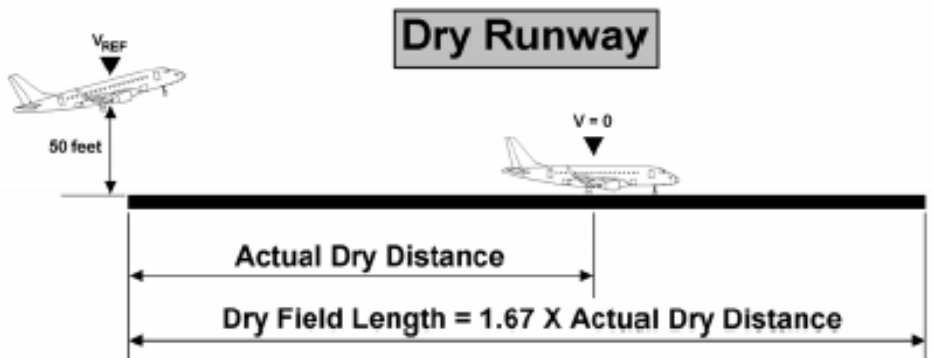
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

Aeroportos e Transporte Aéreo

Aterragem

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

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



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

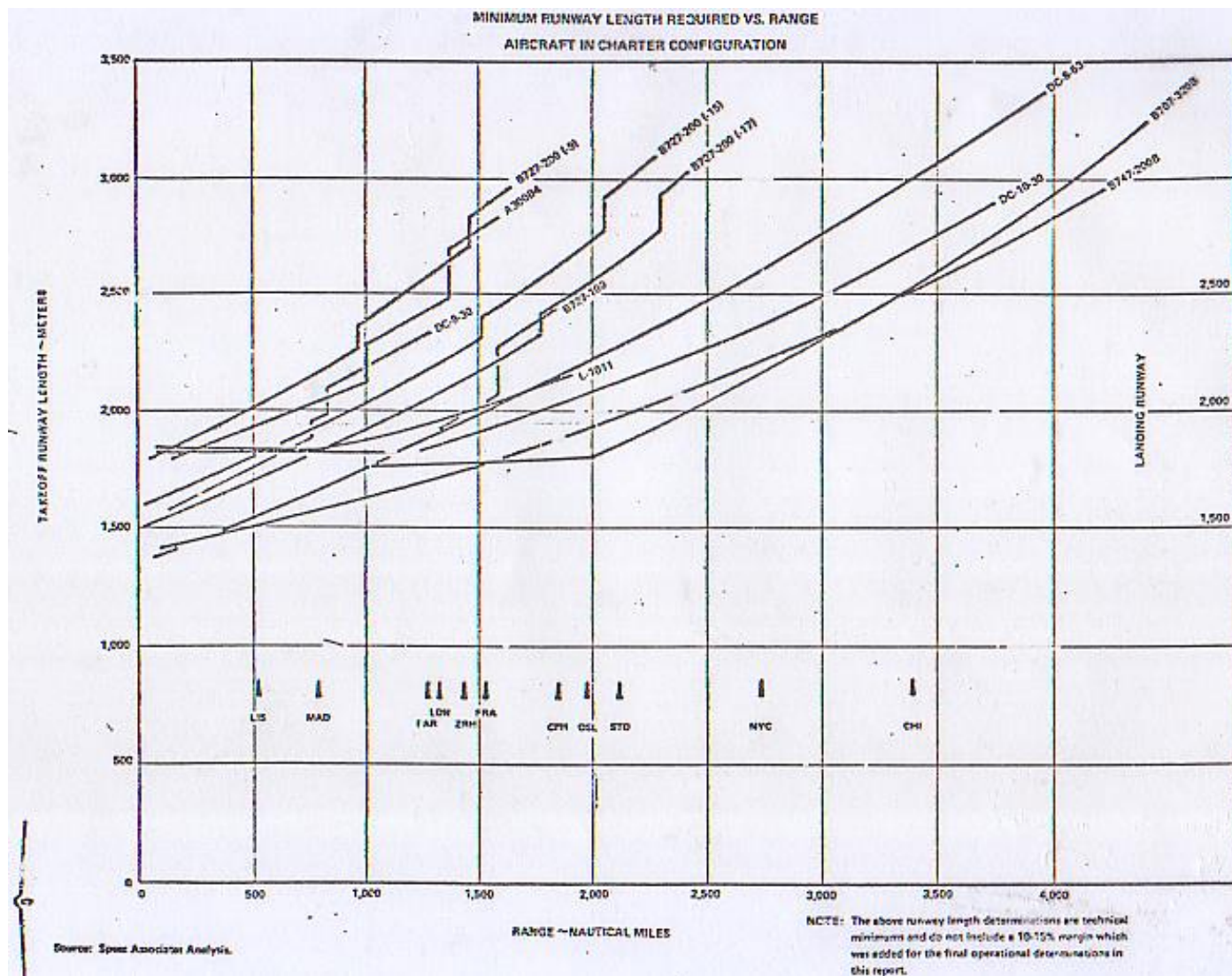
D



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

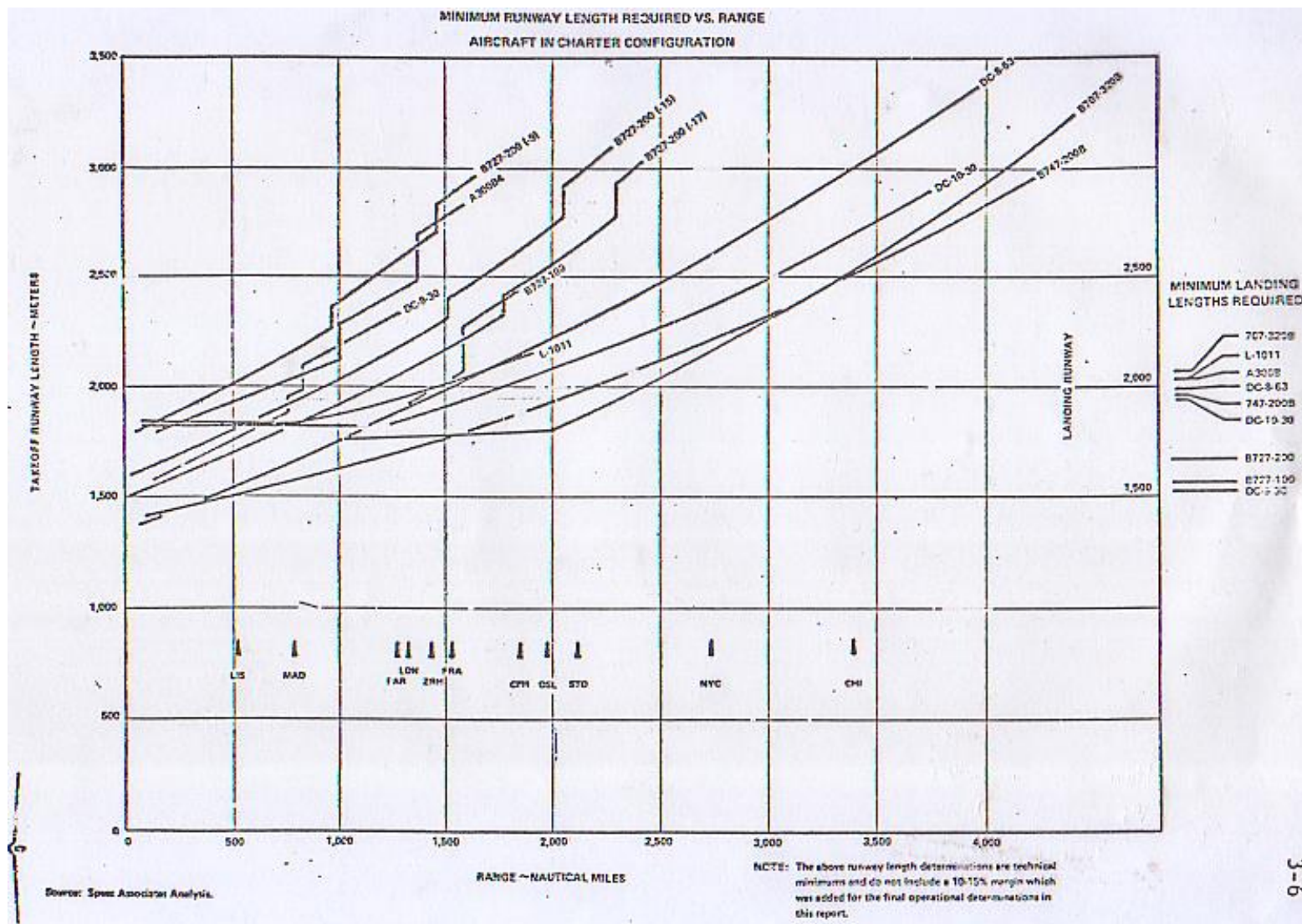
Aeroportos e Transporte Aéreo

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)

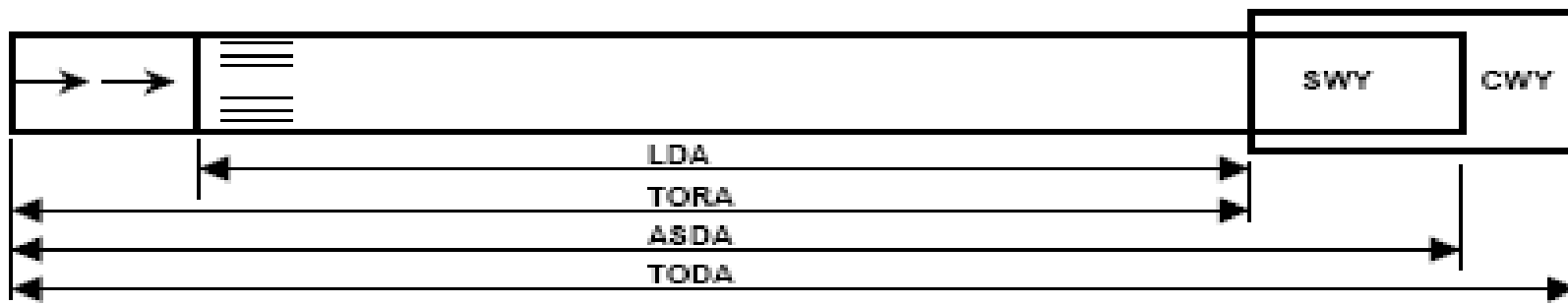
→ definição dos **comprimentos característicos** de suas pistas

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



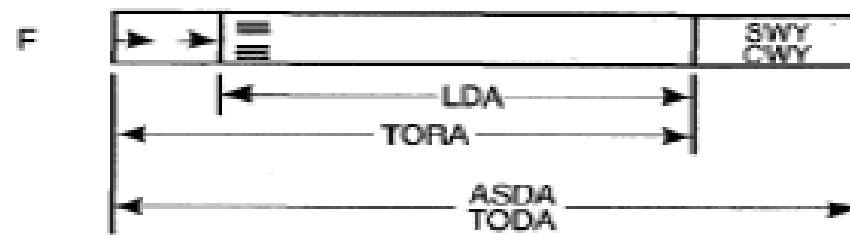
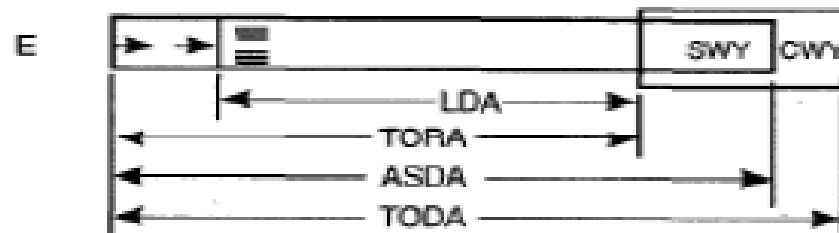
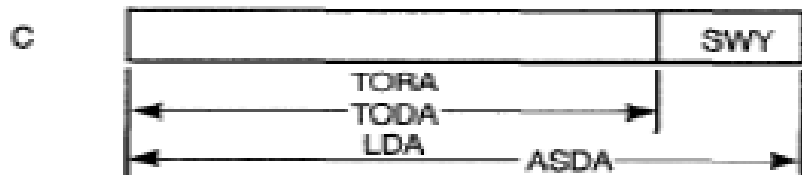
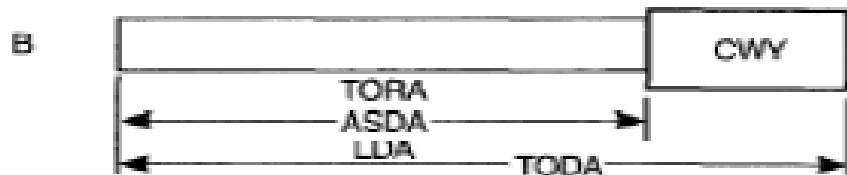
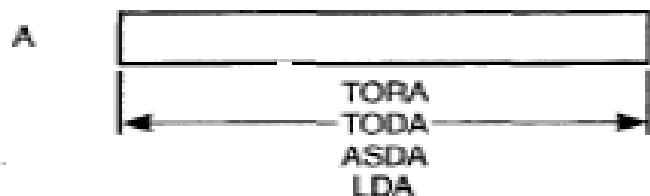
Comprimentos característicos de pista – ICAO

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 aterrar (turbulência menor – evita obstáculos)





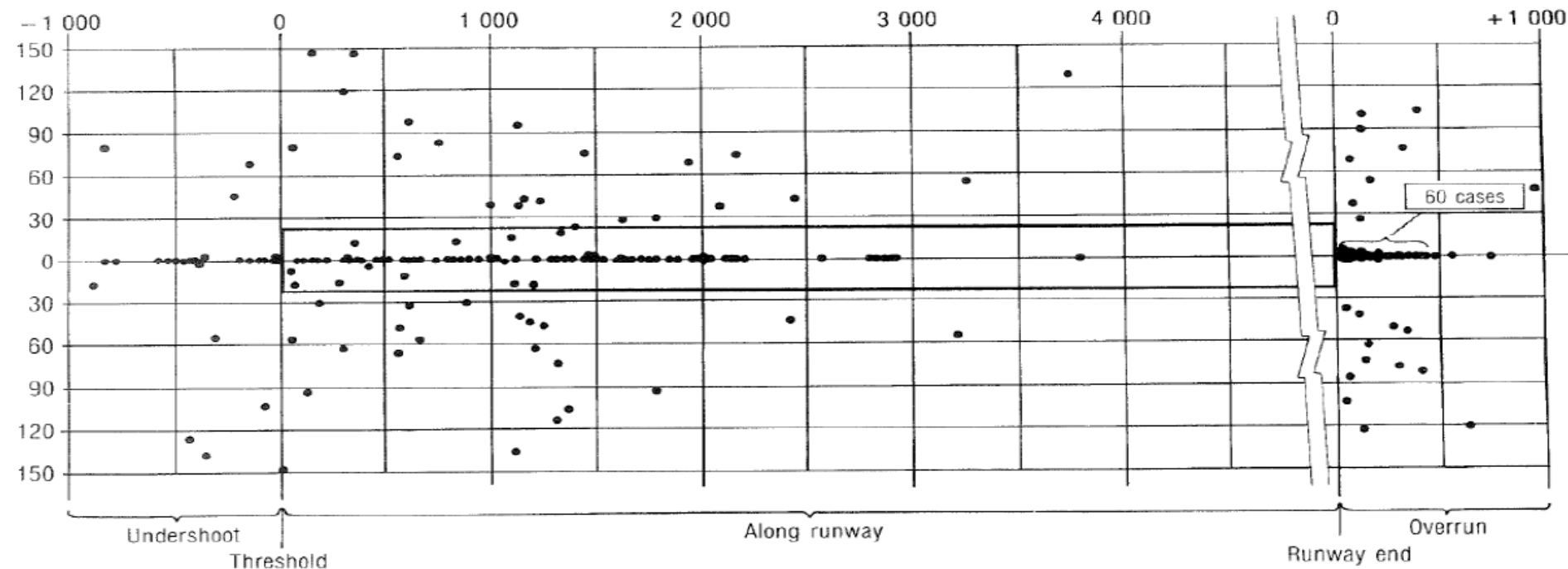
Comprimentos característicos de pista – ICAO



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



Local onde aviões pararam depois de acidentes



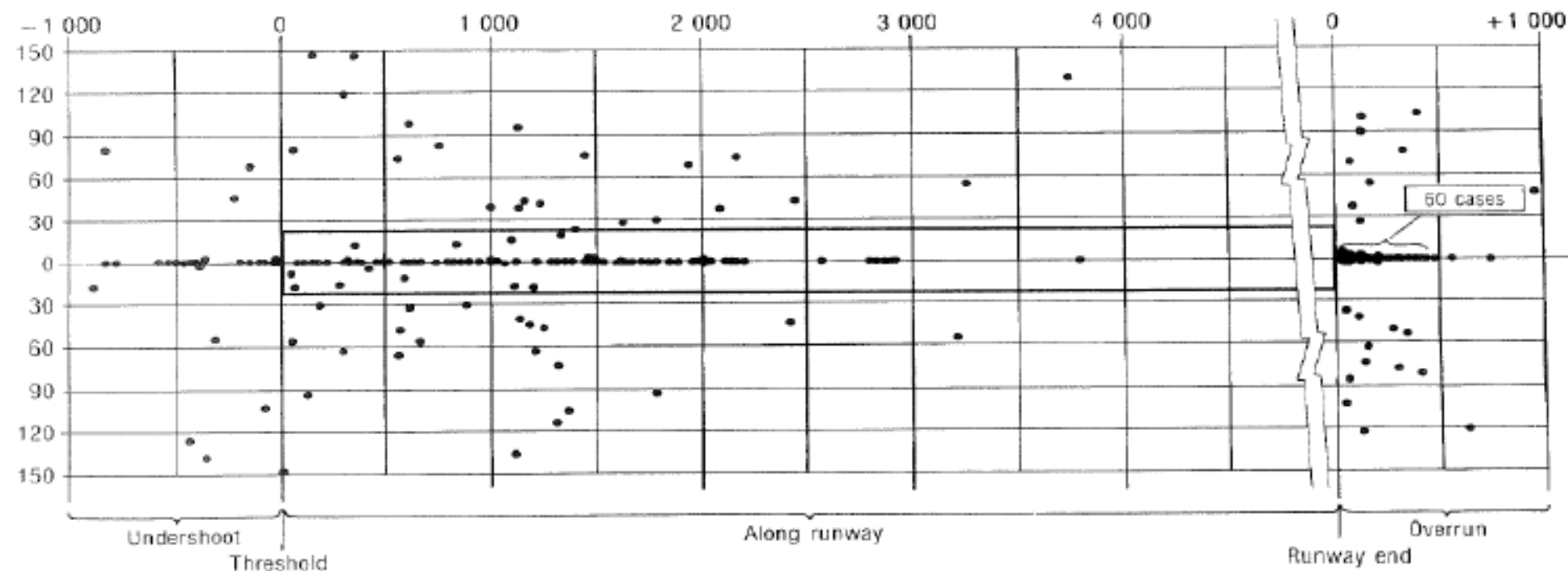
aviões com pesos acima de 5,7 ton

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

