

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**  
**ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS**  
**DEPARTAMENTO DE TRANSPORTES - STT**

**COMPRIMENTO DE PISTA**

**Prof. Manoel Henrique Alba Sória**

**2006**

A pista, ou mais apropriadamente, a pista de pouso e decolagem, é o elemento fundamental do aeródromo. Seu comprimento, além de outras características como direção, largura, resistência do piso, tipo de superfície etc., é determinante para o pouso e decolagem das aeronaves. Trataremos aqui apenas do comprimento de pista. Outros aspectos serão tratados posteriormente.

## 1. Procedimentos e Definições operacionais

### 1.1. Decolagem

O comprimento de pista para decolagem deve ser tal que uma vez iniciada, a aeronave possa, se preciso, abortar a decolagem e parar com segurança ou completar a decolagem e iniciar a subida, também com segurança. Visando o estabelecimento de padrões de operação e de análise do comprimento de pista, foram normalizados os procedimentos de decolagem, as velocidades e distâncias.

Tomando-se por base as Figuras 1 e 2, o procedimento de decolagem pode ser assim descrito:

a) estando o avião parado na cabeceira da pista, ponto A, o piloto imprime toda a potência aos motores e o avião inicia a corrida de decolagem;

b) se uma falha de um motor com perda súbita e total de potência for identificada pelo piloto exatamente ao atingir a velocidade de decisão,  $V_1$ , deve ele escolher uma dentre as duas alternativas: interromper ou continuar a decolagem;

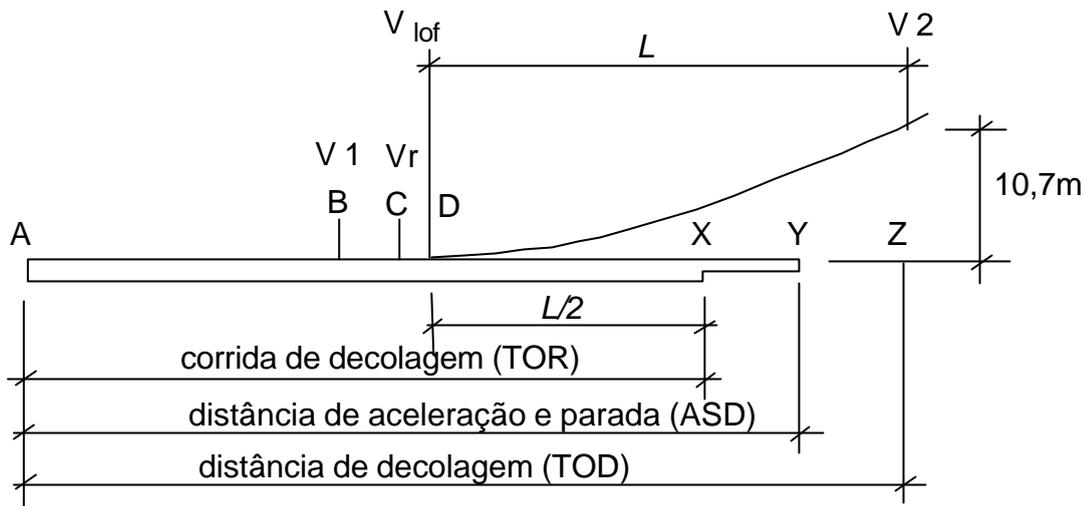
b1) se o piloto decidir frear, o avião correrá na pista até parar no ponto Y. A distância AY é chamada "distância de aceleração e parada";

b2) se decidir continuar a decolagem com um motor inoperante, o avião acelerará até atingir a velocidade de rotação,  $V_r$ , (ponto C) com a qual é possível erguer o nariz da aeronave aumentando o ângulo de ataque e ao alcançar a velocidade de decolagem,  $V_{lof}$ , (em inglês "Lift-off") e iniciar o vôo, ponto D, vindo a passar sobre o ponto Z com uma altura de 10,7 m e velocidade igual ou maior que  $V_2$ . A distância AZ é chamada "distância de decolagem";

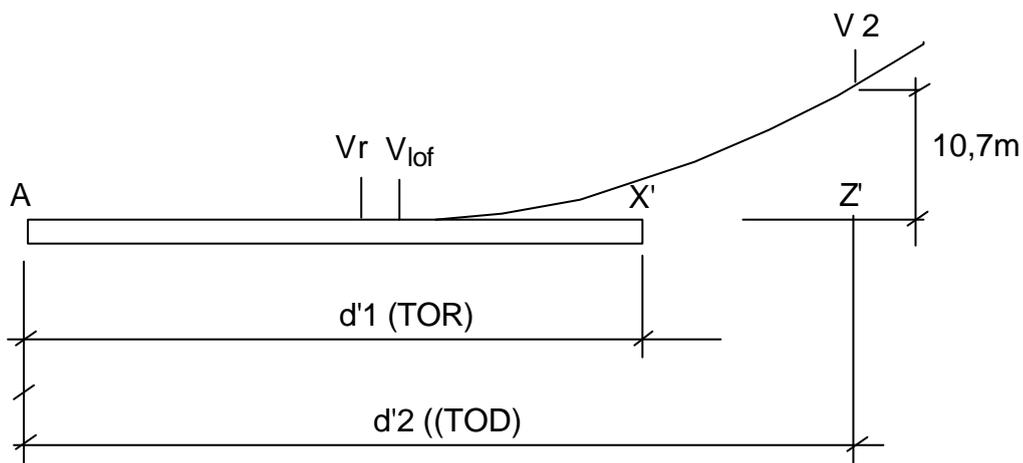
c) se a falha de um motor ocorrer antes da velocidade  $V_1$  o piloto interromperá a decolagem aplicando os dispositivos de frenagem vindo a parar antes do ponto Y. A decolagem deve ser abortada porque a velocidade é insuficiente e não há condições de aceleração com a potência reduzida;

d) se a falha ocorrer depois de atingida a velocidade  $V_1$ , a decolagem deverá prosseguir e o avião sobrevoará o ponto Z com uma altura maior que 10,7m. A decolagem deve continuar uma vez que o avião adquiriu velocidade suficiente e que seria difícil ou até impossível parar na distância disponível.

e) se, como se dá normalmente, não ocorrer falha de motor, o avião correrá até atingir  $V_r$ ,  $V_{lof}$  e  $V_2$ , decolando. Neste caso as distâncias para alcançar  $V_r$ ,  $V_{lof}$  e  $V_2$  são menores do que no caso de falha de um motor, como mostra a Figura 2.



**Figura 1.1.** Decolagem com falha de um turbina crítica em  $V_1$



**Figura 1.2.** Decolagem sem falha de turbina.

As velocidades  $V_1$ ,  $V_r$ ,  $V_{lof}$  e  $V_2$  são assim definidas:

- Velocidade de decisão,  $V_1$ , é a velocidade escolhida e pelo operador à qual admite-se que, ao ser reconhecida pelo piloto uma perda súbita e total de potência de uma unidade moto-propulsora, é possível frear o avião ou continuar a decolagem sem o motor crítico. A definição completa de  $V_1$ , inclui as afirmações contidas nos itens b, c e d da descrição do procedimento de decolagem, já descrito. Como regra geral a velocidade de decisão é escolhida de modo que seja menor ou no máximo igual a  $V_2$ , velocidade de início de subida. Deve, no entanto, ser maior que a velocidade mínima de controle no solo,  $V_{mgc}$ , com o motor crítico inoperante. Esta velocidade é característica do avião e é dada pelos manuais.

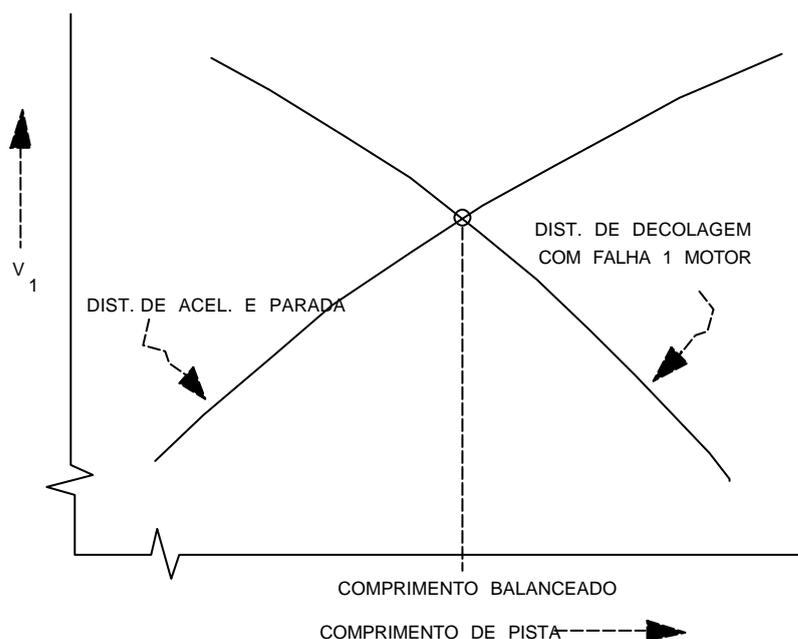
- Velocidade de Rotação,  $V_r$ , é a velocidade à qual o piloto inicia a rotação da aeronave (em torno do eixo transversal), isto é, levanta o nariz ou "roda", tirando do chão as rodas do nariz.
- Vel. para deixar o solo ou de decolagem,  $V_{lof}$ , é a velocidade à qual se tira o avião da pista, isto é, inicia o vôo propriamente dito sustentando-se no ar. Em inglês, "Lift-off" Speed.
- Velocidade de início de subida,  $V_2$ , é a velocidade mínima com a qual o piloto pode dar início à subida depois de ter passado a 10,7 m de altura sobre a superfície da pista durante uma decolagem com um motor inoperante. A velocidade  $V_2$  deve ser mantida até que o avião chegue a uma altura de 122m (400 pés).

Todas as velocidades são dadas em termos de velocidade aerodinâmica calibrada, isto é, dadas pela leitura do indicador. Não são velocidades aerodinâmica verdadeiras. Para uma determinada aeronave e condições de tempo e pressão,  $V_r$ ,  $V_2$  e  $V_{lof}$ , são funções de peso bruto da aeronave e posição do flap, enquanto que  $V_1$  pode ser escolhido dentro de certos limites que dependem também da pressão, temperatura e peso bruto. Como ordem de grandeza pode-se dizer que  $0,7 V_r < V_1 < V_r$ . Num diagrama típico de velocidades na decolagem, entra-se com pressão, temperatura e peso bruto de decolagem e tira-se  $V_r$ ,  $V_2$  e  $V_1 / V_r$  (para comprimento balanceado de pista, como veremos adiante).

### 1.1.2 Comprimento Balanceado de Pista

Vimos até aqui que o piloto pode escolher, entre certos limites, a velocidade de decisão  $V_1$ . Essa escolha tem por objetivo fazer a distância de aceleração e parada ser igual à distância de decolagem, com falha de um **motor**, ou seja, fazer  $Y$  e  $Z$  coincidente, obtendo-se assim o comprimento de pista balanceado com falha de um motor. Isso pode ser feito porque quanto maior  $V_1$ , maior será a distância de aceleração e parada e menor a distância de decolagem como ilustra a Figura 3. Exceto quando houver afirmação em contrário, o valor de  $V_1$  ou  $V_1 / V_r$  que o manual fornece é o que dá o comprimento de pista balanceado. Para outros valores de  $V_1$  teremos comprimentos de pista não balanceados, que serão discutidos mais adiante.

**Figura 1.3.** Distância de aceleração e parada e distância de decolagem em função de  $V_1$ .



### 1.1.3 Decolagem sem falha.

Para o caso de decolagem com todos os motores funcionando, sem falha (Figura 2), a corrida de decolagem é definida como 115 % da distância para atingir  $V_{lof}$ . A distância de decolagem, ou seja, para atingir 10,7 m de altura, também será multiplicada por 1,15 para confronto com as distâncias do desempenho com falha de um motor.

### 1.1.4 Comprimento de pista para a decolagem: conclusão.

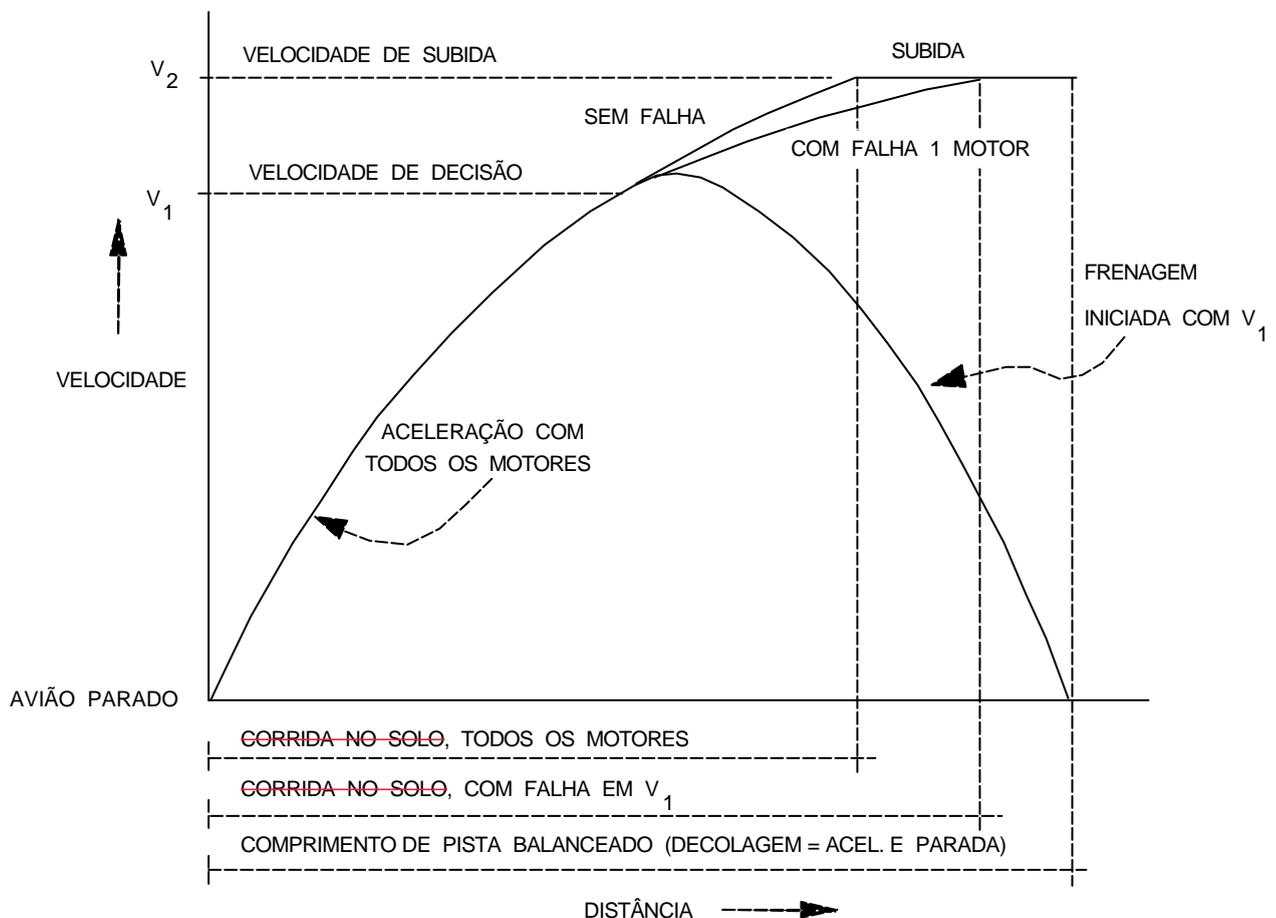
O comprimento de pista para a decolagem, determinado pelo desempenho da aeronave é o maior dentre:

- o comprimento balanceado de pista (ou seja, comprimento necessário quando a distância de decolagem com falha for igual à distância de aceleração e parada) ou;
- 115 por cento da distância de decolagem com todos os motores.

A corrida de decolagem, analogamente, é a maior dentre:

- distância para atingir  $V_{lof}$  com falha em  $V_1$ ; ou;
- 115 por cento da distância para atingir  $V_{lof}$  sem falha.

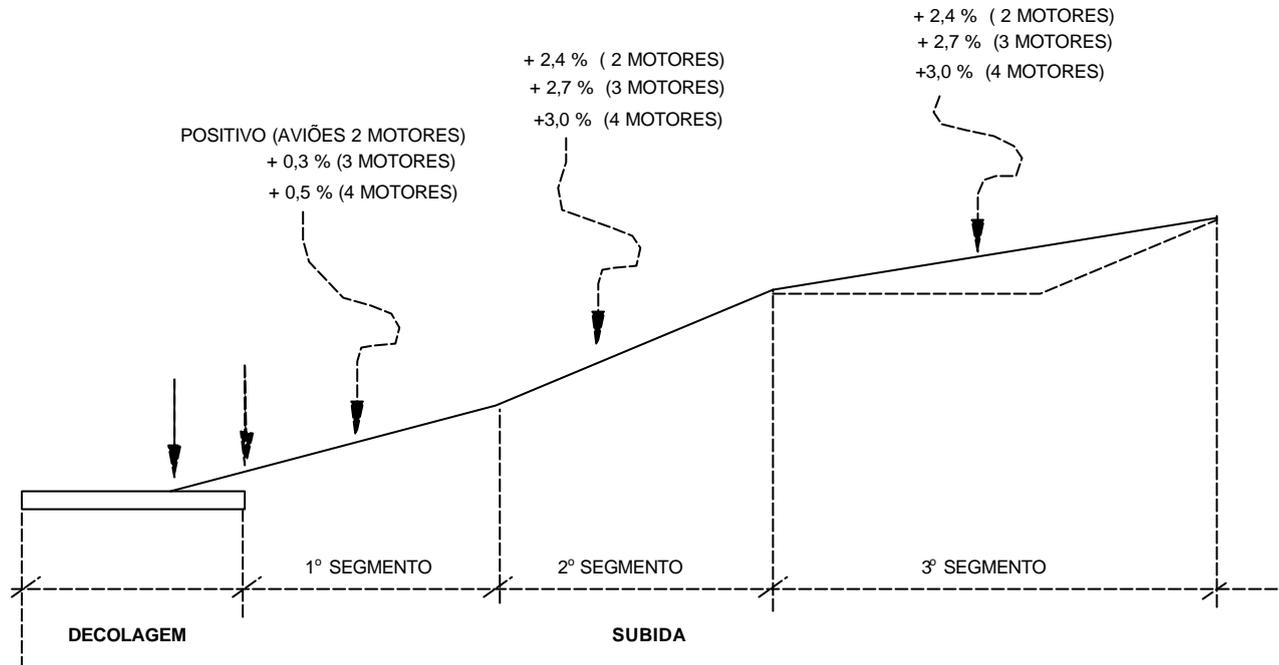
A Figura 4 ilustra a variação da velocidade e distância para uma decolagem com falha em  $V_1$  e sem falha.



**Figura 1.4.** Distâncias e velocidades na decolagem

## 1.2 Procedimento de subida.

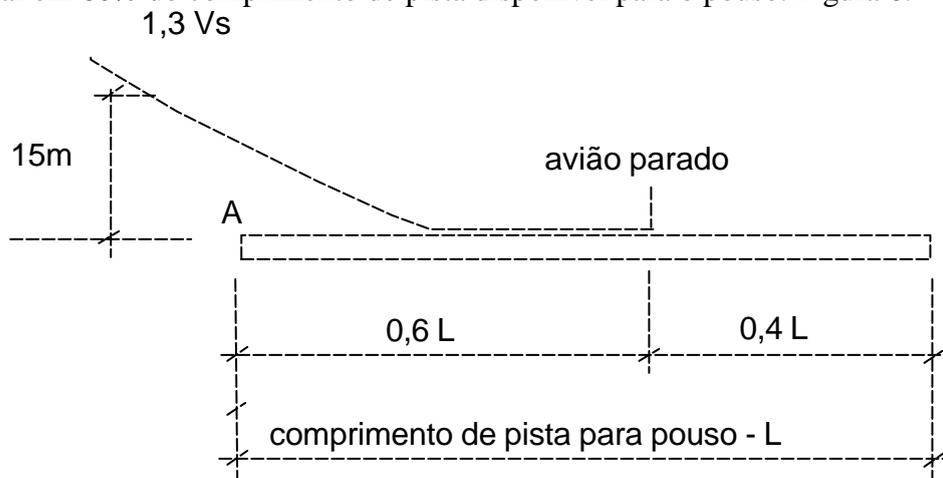
Tendo a aeronave decolado, deve cumprir determinados requisitos de subida. A Figura 5 mostra, simplificada, as condições mínimas exigidas para a subida com um motor inoperante.



**Figura 1.5.** Gradientes mínimos de subida para aeronaves a turbina, admitindo-se que não haja obstáculos na trajetória de vôo.

## 1.3 Pouso

A operação de pouso tem uma definição mais simples: o avião sobrevoa a cabeceira da pista passando à altura de 15 m, com uma velocidade constante igual a  $1,3 V_s$ , onde  $V_s$  é a velocidade de estol para as condições de pouso. O comprimento de pista para o pouso deve ser tal que, a aeronave passando sobre a cabeceira de pouso com altura de 15 m e velocidade  $1,3 V_s$ , pouse, vindo a parar em 60% do comprimento de pista disponível para o pouso. Figura 6.



**Figura 1.6.** Comprimento de pista para o pouso.

O comprimento de pista para o pouso dado pelos manuais das aeronaves é computado segundo essa definição. Depende do peso bruto no pouso, da pressão e temperatura do ar na pista, da posição dos flaps e funcionamento de certos dispositivos de frenagem e do estado da superfície, principalmente se está seca ou molhada. Para as aeronaves comerciais hoje em operação e em condições normais de pouso, o comprimento de pista para o pouso não é crítico, isto é, é menor que o de decolagem. Convém ressaltar que o peso bruto máximo para o pouso é o peso máximo estrutural de pouso.

#### 1.4 Distâncias declaradas

Para cada pista de pouso e decolagem devem ser especificados os comprimentos ou distâncias disponíveis, para que o operador da aeronave possa planejar as operações. São as “Distâncias Declaradas”, que caracterizam cada pista. Note-se que uma vez que os aviões podem operar de qualquer cabeceira, para uma pista – retângulo de terreno preparado para operação – há duas pistas, operacionalmente falando. Por exemplo, pista 15 – 33 (150° – 330°) de um aeródromo, tem duas cabeceiras ou “pistas”: a 15 e a 33. Para cada uma delas haverá um conjunto de 4 distâncias declaradas. A distância declaradas da pista 15 não precisam necessariamente ser iguais às da cabeceira 33.

Para cada pista (cabeceira) devem ser declaradas (texto conforme regulamentação brasileira):

**a) Pista disponível para corrida de decolagem - TORA (Take-Off Run**

**Available)** - Comprimento declarado da pista, disponível para corrida no solo de uma aeronave que decola.

**b) Distância disponível para decolagem - TODA (Take-Off Distance**

**Available)** - Comprimento da TORA, somado ao comprimento da Zona Livre de Obstáculos (Clearway), se existente.

**c) Distância disponível para aceleração e parada - ASDA (Accelerate - Stop**

**Distance Available)** - Comprimento da TORA, somado ao comprimento da Zona de Parada (Stopway), se existente.

**d) Distância disponível para pouso - LDA (Landing Distance Available) -**

Comprimento declarado de pista, disponível para a corrida no solo de uma aeronave que pouso.

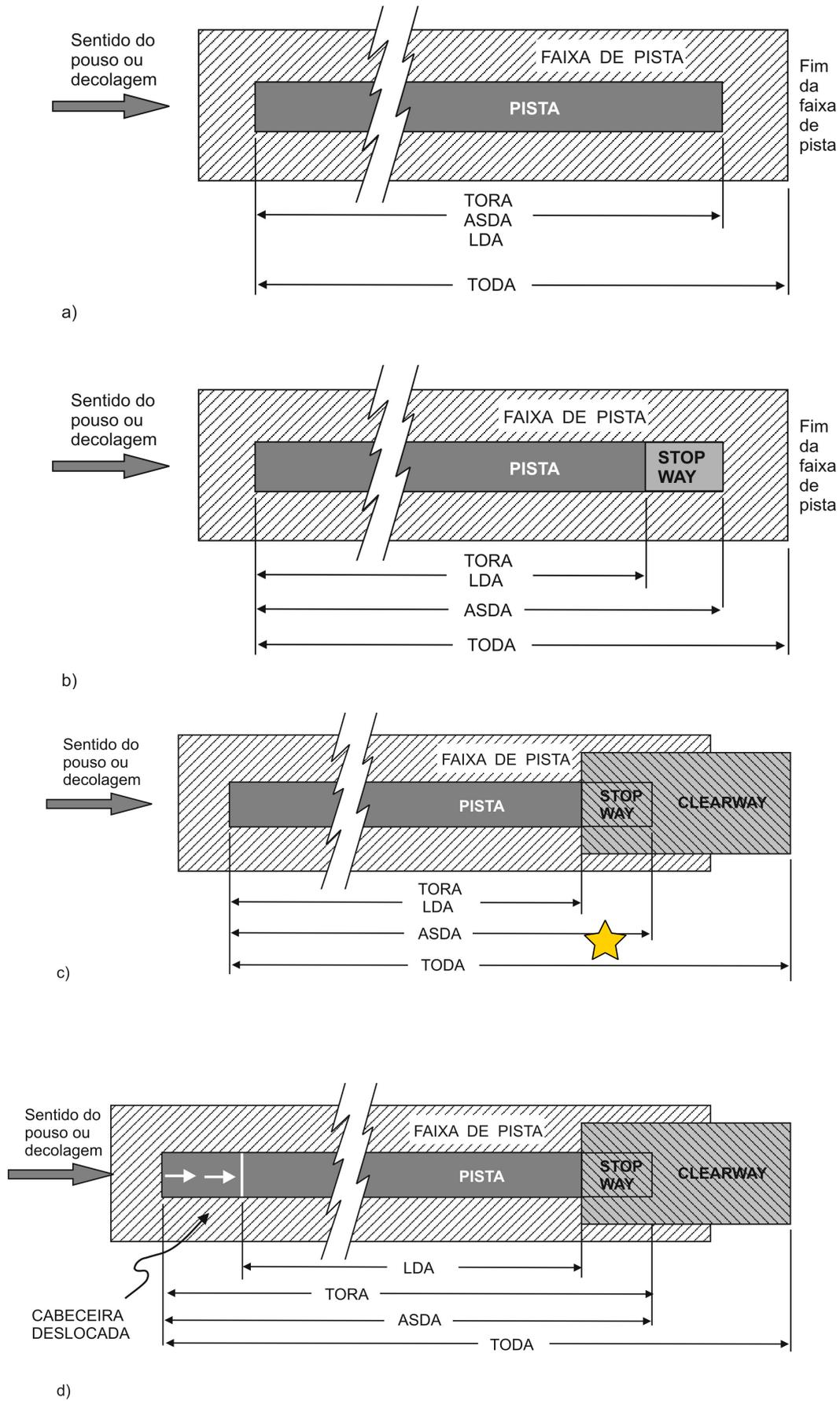
Pode haver ainda, para cada cabeceira, um “Clearway”, um “Stopway” ou ambos, conforme a definição abaixo:

**ZONA LIVRE DE OBSTÁCULOS (“Clearway”)** - Área retangular sobre o

solo ou a água, sob controle de autoridade competente e selecionada ou preparada como área disponível sobre a qual uma aeronave possa efetuar parte de sua subida inicial, até uma altura especificada.

**ZONA DE PARADA (“Stopway”)** - Área retangular, definida no terreno, situada

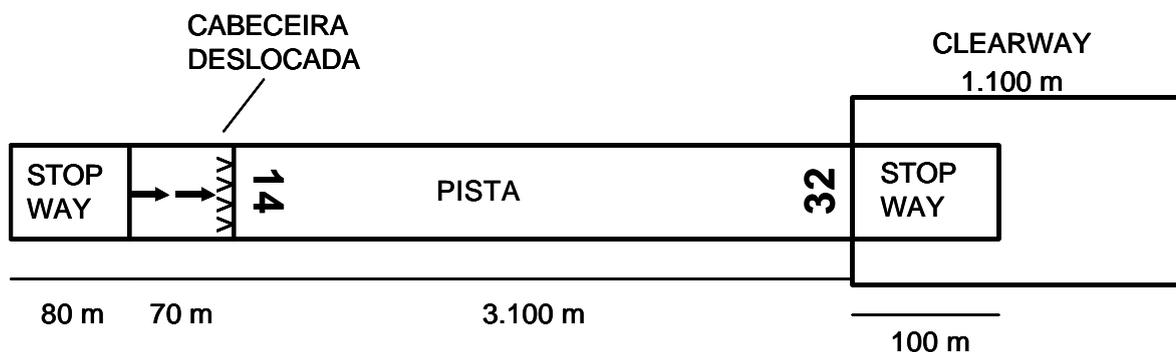
no prolongamento do eixo da pista no sentido da decolagem, destinada e preparada como zona adequada à parada de aeronaves.



**Figura 1.7.** Exemplos de possibilidades de distâncias declaradas.

## EXEMPLOS DE DISTÂNCIAS DECLARADAS

Aeródromo A: Pistas 14 e 32.



PISTA 14	DADOS OPERACIONAIS	PISTA 32
3170 m	PISTA DISPONÍVEL PARACORRIDA DE DECOLAGEM - <b>TORA</b>	3300 m
4270 m	DISTÂNCIA DISPONÍVEL PARA DECOLAGEM - <b>TODA</b>	4270 m
3370 m	DISTÂNCIA DISPONÍVEL PARA ACELERAÇÃO E PARADA - <b>ASDA</b>	3270 m
3100 m	DISTÂNCIA DISPONÍVEL PARA POUSO - <b>LDA</b>	3250 m

Nota: Se a cabeceira tiver sido deslocada por motivo que impeça o tráfego de aeronaves (temporariamente para manutenção, por exemplo), a distância de 70 metros e mesmo os 80 metros da zona de parada (stopway) a ela anexa podem não ser disponíveis para a decolagem da cabeceira 14 e pouso na cabeceira 32 (apenas os 70 m da cabeceira deslocada). No exemplo considera-se que a cabeceira 14 é deslocada por motivos de obstáculos no prolongamento da pista e que os 70 m são utilizáveis na decolagem da 14 e no pouso da 23. O "stopway" nunca é considerado como distância utilizável para pouso (senão seria pista normal).

Aeródromo B: Pistas 05 e 23

PISTA 05	DADOS OPERACIONAIS	PISTA 23
3000 m	PISTA DISPONÍVEL PARACORRIDA DE DECOLAGEM - <b>TORA</b>	3000 m
3700 m	DISTÂNCIA DISPONÍVEL PARA DECOLAGEM - <b>TODA</b>	3700 m
3060 m	DISTÂNCIA DISPONÍVEL PARA ACELERAÇÃO E PARADA - <b>ASDA</b>	3060 m
3000 m	DISTÂNCIA DISPONÍVEL PARA POUSO - <b>LDA</b>	3000 m

Descrição: Pista de 3000 m de comprimento com 60 m de "stopway" e 700 m de "clearway" em cada uma das cabeceiras.

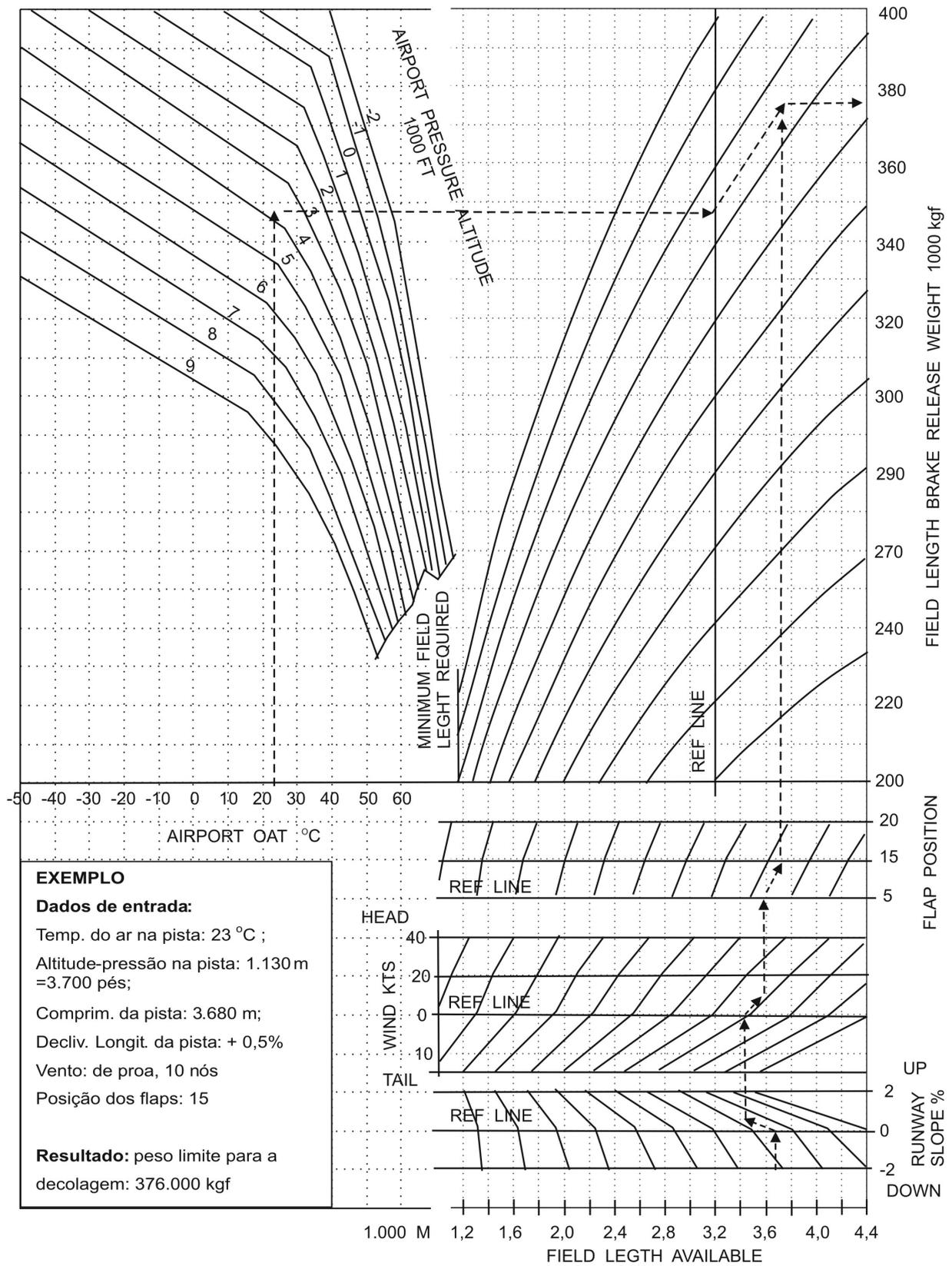
## 2. Comprimento de pista para a decolagem.

O assunto *comprimento de pista para decolagem* pode ser abordado segundo duas posições diversas mostradas no quadro abaixo.

<p><b>Posição do piloto ou engenheiro de vôo:</b></p> <p>Específica para o planejamento de uma determinada operação, a partir de uma pista de um aeródromo existente, em dia e hora específicos.</p>	<p><b>Posição do projetista da pista:</b></p> <p>Específica para a construção de uma pista em determinado local.</p>
<p><b>Informações disponíveis:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) Avião (tipo, modelo, turbina etc);</li> <li>2) Condições atmosféricas na ocasião:             <ol style="list-style-type: none"> <li>a) Altitude da pista (pressão);</li> <li>b) Temperatura do ar na pista;</li> <li>c) Vento (velocidade e direção);</li> </ol> </li> <li>3) Pista disponível:             <ol style="list-style-type: none"> <li>a) Comprimento disponível (três distâncias declaradas);</li> <li>b) Declividade longitudinal da pista (a partir da cabeceira a ser usada);</li> <li>c) Tipo e estado do pavimento.</li> </ol> </li> </ol> <p>Entorno do aeroporto: obstáculos na trajetória de decolagem.</p>	<p><b>Informações disponíveis:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) Conjunto de aviões que poderão usar a pista. Ou seja, uma previsão. Inclui pesos de decolagem esperados (em certas circunstância, menores que o máximo)</li> <li>2) Condições representativas do local:             <ol style="list-style-type: none"> <li>a) Altitude geométrica;</li> <li>b) Temperatura representativa (Temp.de Referência do local.</li> <li>c) Regime de ventos representativo do local;</li> </ol> </li> <li>3) Declividades longitudinais médias;</li> </ol>
<p><b>Perguntas a serem respondidas:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>a) Com que peso é possível decolar com esse avião?</li> <li>b) Quais são as configurações operacionais a serem adotadas (posição de flap, velocidades V1, VR, Vlof e V2) em função da tração disponível?;</li> <li>c) No caso de decolagem abortada, há comprimento suficiente para aceleração e parada?</li> <li>d) Como será o procedimento de subida? O avião terá condições de subir? Há obstáculos físicos na trajetória? Qual é a razão de subida esperada?</li> </ol> <p>(Há outras variáveis de importância que podem entrar em jogo em situações especiais como: pista molhada, chuva, neve, pista não pavimentada, umidade relativa do ar etc).</p>	<p><b>Perguntas a serem respondidas:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>a) Que comprimento de pista deverá ser construído para atender os requisitos operacionais das aeronaves previstas e comerciais das empresas operadoras?</li> <li>b) Que restrições à operação de determinadas aeronaves esse comprimento de pista pode ocasionar?</li> </ol> <p>Ou seja: o projetista deve escolher um comprimento mínimo de pista, de modo que ofereça pista suficiente ao operador, mas que esteja dentro do orçamento da entidade construtora e administradora do aeroporto (geralmente entidade pública).</p> <p>Em outras palavras, o operador da aeronave quer uma pista mais longa possível e a empresa operadora do aeroporto quer gastar o mínimo possível na construção da pista.</p>

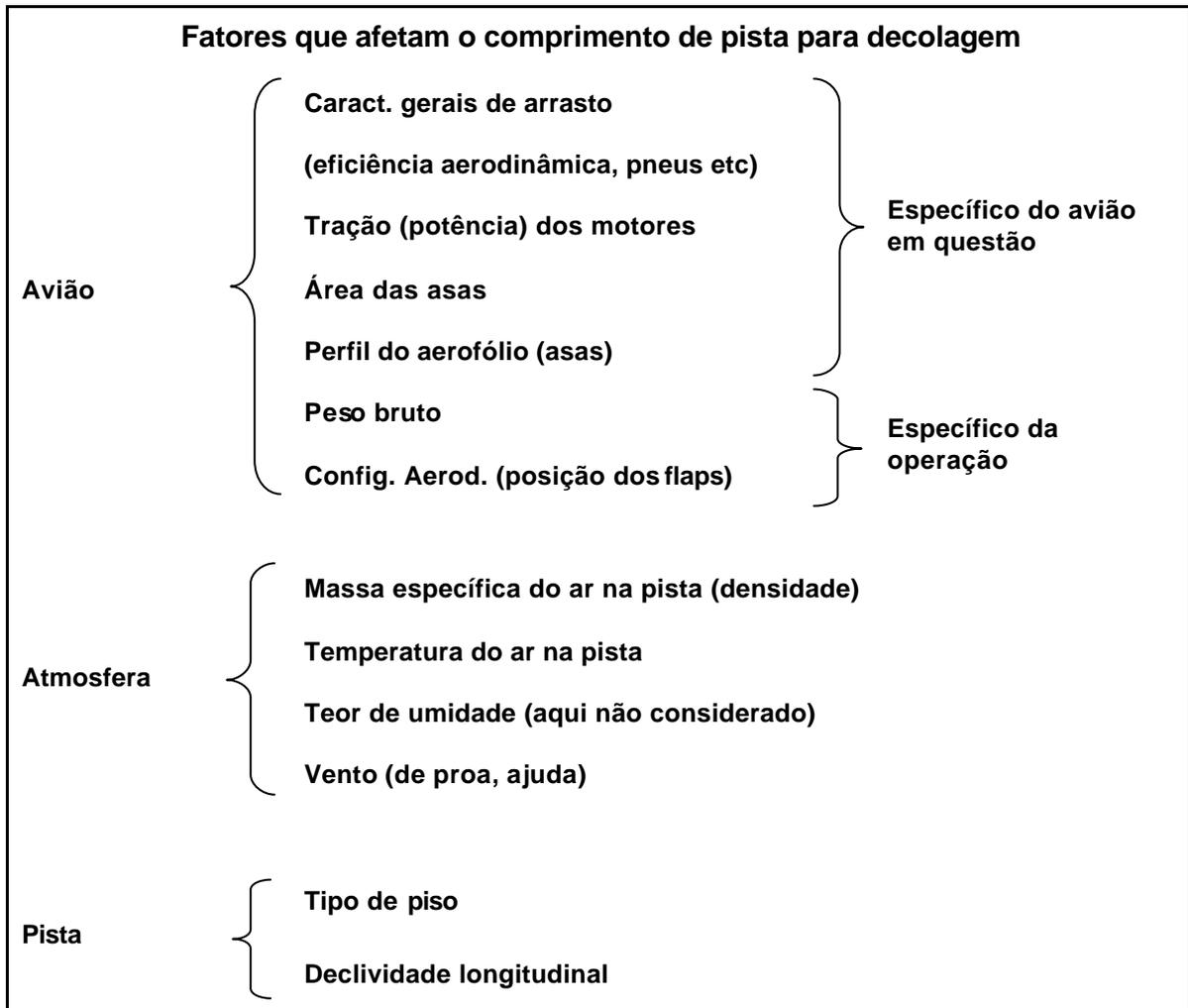
É evidente que o projetista da pista deve conhecer a questão vista pelo ângulo do piloto. Por esse motivo trataremos brevemente desse assunto. Ao planejar a decolagem o piloto deve certificar-se que o comprimento de pista disponível (distâncias declaradas) é suficiente para a operação e determinar qual é o máximo peso bruto que a aeronave pode ter para decolar. Para isso ele deve consultar os ábacos de desempenho de decolagem específicos para o avião em questão ou usar um “software” previamente preparado para os cálculos necessários. Um exemplo de ábaco para planejamento da decolagem é dado na Figura 2.1. Nota-se que há um número razoável de variáveis de entrada e que a saída é o

peso bruto máximo para a decolagem, limitado pelas condições existentes, uma das quais é o comprimento de pista.



**Figura 2.1.** Nomograma de desempenho na decolagem de uma aeronave de quatro turbinas e peso máximo de decolagem de 390.000 kgf.

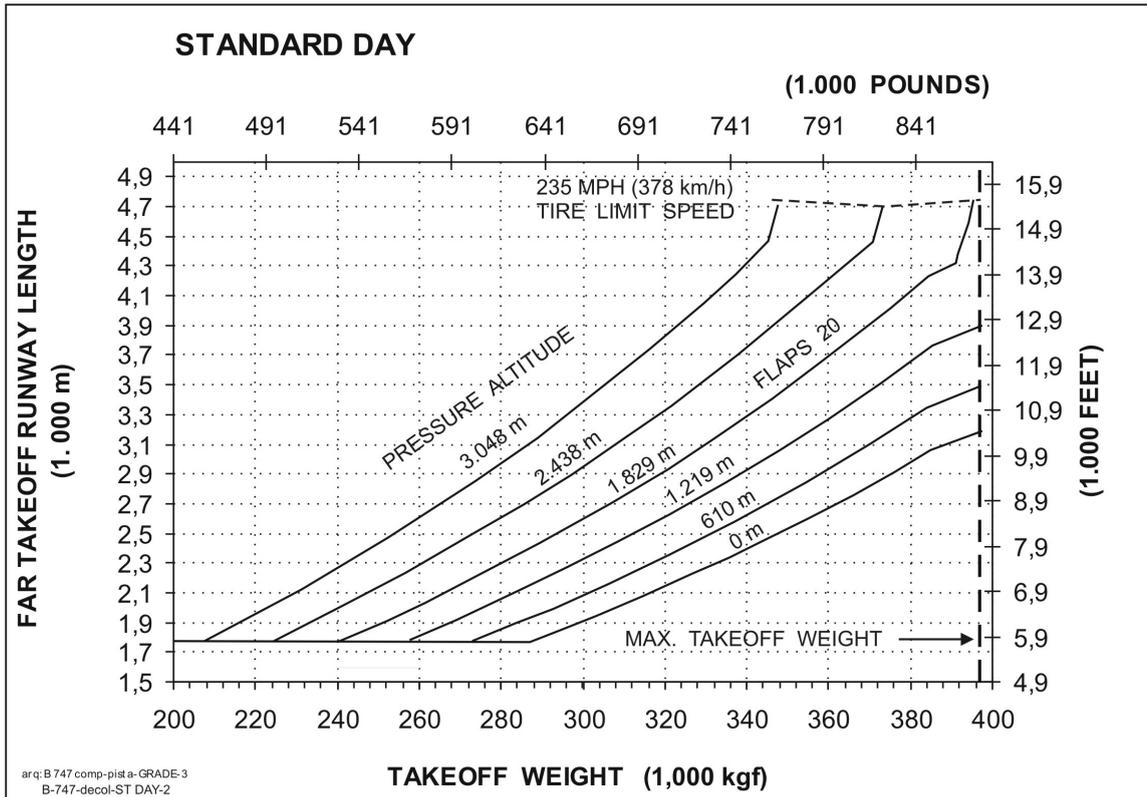
Em resumo, o comprimento de pista necessário para a decolagem de um avião depende de três conjuntos de fatores: a) do avião; b) da atmosfera; c) da pista. Cada um desses conjuntos pode ser detalhado como mostra o quadro apresentado a seguir.



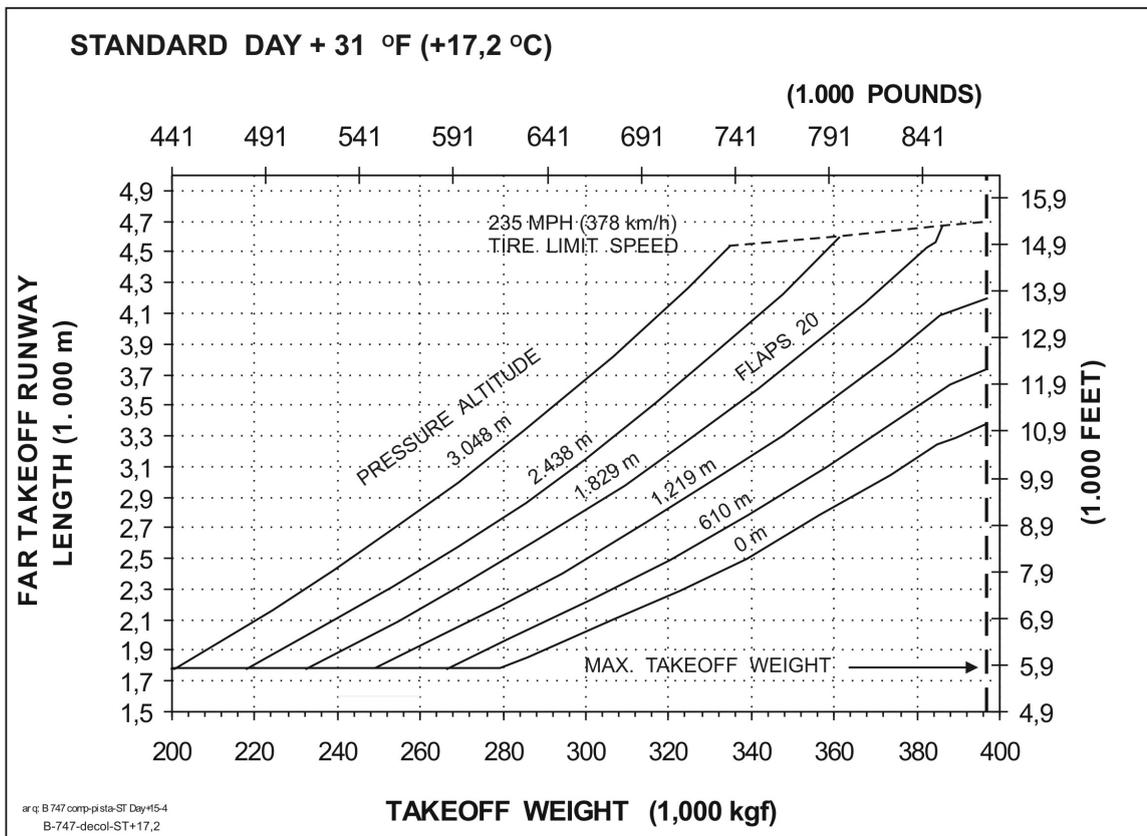
## 2.2. A abordagem do projetista do aeródromo

O projetista ou equipe que vai definir o comprimento de pista a ser construído não dispõe de gráficos como o da Figura 2.1 porque eles só são fornecidos para o operador da aeronave. Provavelmente o fabricante acha essa é uma informação sigilosa e desnecessária ao projetista da pista, o que não corresponde com a experiência deste autor. Mas o fabricante da aeronave fornece ao projetista do aeródromo os manuais do tipo “Airport Planning”, que contém informações sobre comprimento de pista, embora com menos detalhes. Esses manuais fornecem, para cada modelo do avião e marca e modelo da turbina, dois gráficos como os apresentados na Figura 2.2. Examinemos esses gráficos.

Os dois gráficos apresentam nas abscissas o peso de decolagem, nas ordenadas o comprimento de pista e várias curvas, cada uma delas para uma determinada altitude. Entra-se, portanto, com um peso de decolagem e uma altitude e têm-se como saída o comprimento de pista. A diferença entre os dois gráficos é que o de cima, (a), é válido para a condição “STANDARD DAY”, ou seja, “Dia Padrão”. O segundo (b) é válido para “STANDARD DAY + 17,2 °C. ”. A denominação “dia padrão” refere-se a uma situação ideal, hipotética, onde reina a Atmosfera Padrão. Para o caso em questão, isso equivale a dizer que admite-se uma variação padronizada

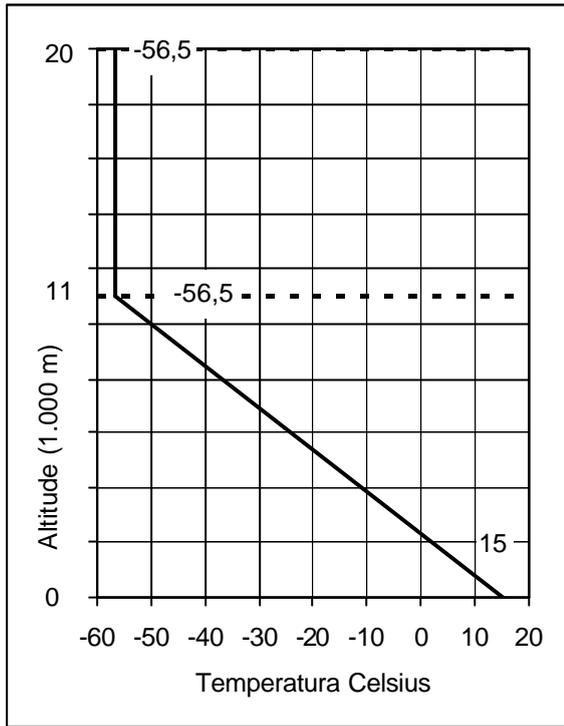


(a)



(b)

**Figura 2.2.** Comprimento de pista para decolagem. Boeing 747-400 (CF6-80C2B1)  
Atmosfera padrão, pista em nível, vento zero. PMD= 396,891 kgf (875.000 lb.)  
(Adaptado do manual Airport Planning 747-400)



de temperatura do ar em função da altitude, de acordo com parâmetros adotados pela Organização Internacional de Aviação Civil, a OACI. (a variação da pressão já está expressa na altitude). A diferença, portanto, entre os dois gráficos, é que o primeiro vale para as temperaturas (em função da altitude) da atmosfera padrão, enquanto que o segundo vale para temperaturas de 17,2 °C maiores que as da atmosfera padrão. A temperatura da atmosfera padrão é conhecida com “Temperatura Padrão” ou  $T_p$  e é uma função linear da altitude dada por:

$$T_p = (15 - 0,0065 H) \text{ } ^\circ\text{C}$$

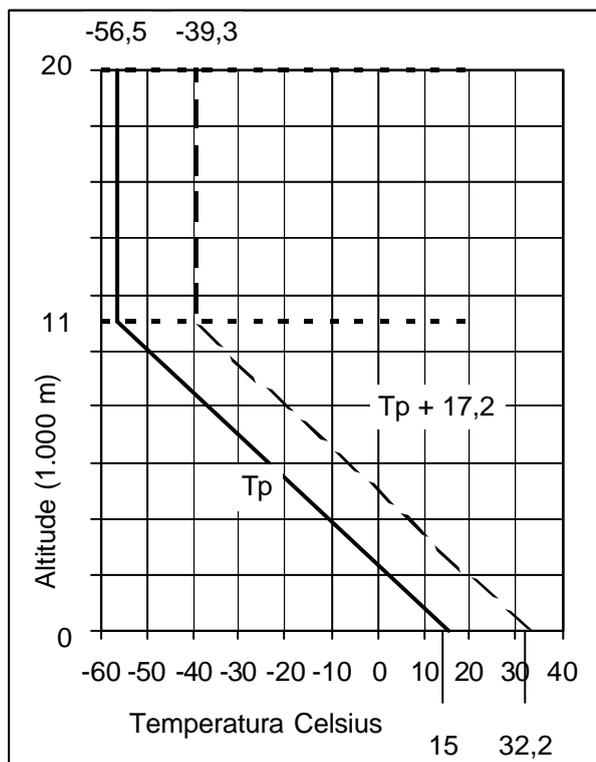
Onde H é a altitude em metros.

A expressão é válida até 11.000 metros de altitude. A rigor a altitude deveria ser em metros geopo-tenciais, mas a diferença é desprezível para

**Figura 2.3.** Temperatura da Atmosfera padrão.

efeito dos cálculos aqui efetuados. Entre 11.000 e 20.000 metros a temperatura mantém-se constante em -56,5 °C (figura acima).

Como a temperatura depende unicamente da altitude, para os dois gráficos podemos associar a temperatura para cada uma das curvas de altitude:



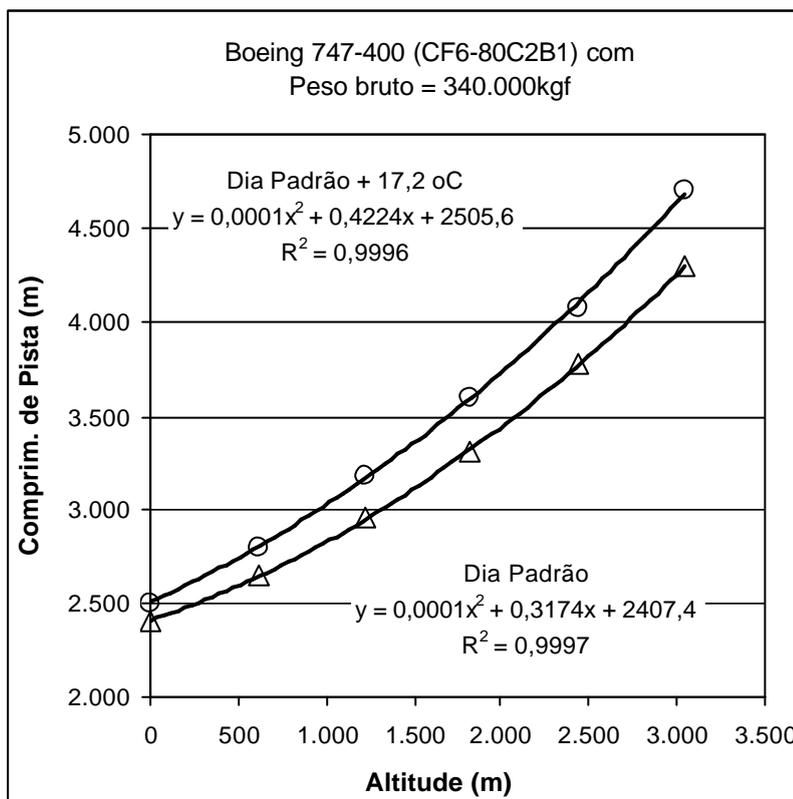
Altitude	$T_p$	$T_p + 17,2$
0 (nível do mar)	15,00 °C	32,20 °C
610 m	11,04 °C	28,23 °C
1.219 m	7,08 °C	24,28 °C
1.829 m	3,11 °C	20,31 °C
2.438 m	-0,85 °C	16,35 °C
3.048 m	-4,8 °C	12,39 °C

**Figura 2.4.** Temperaturas para os gráficos (a) e (b) da Figura 2.2, (a) e (b), em função da altitude

O exame dos gráficos da Figura 2.2 revela que:

- Para uma mesma altitude, o comprimento de pista necessário aumenta com o peso bruto de decolagem, de maneira não linear;
- À medida que a altitude aumenta, o efeito da altitude é mais pronunciado (a distância entre as curvas de altitude aumenta com a altitude);
- Uma comparação entre as curvas de mesma altitude para os dois gráficos mostra que com o aumento de temperatura o comprimento de pista necessário também aumenta.

Tomando-se por base um determinado peso bruto como, por exemplo, 340.000 kgf, valores de comprimento de pista para decolagem podem ser lidos diretamente dos gráficos da Figura 2.2, na vertical correspondente ao peso bruto adotado. Esses valores são mostrados na tabela e na figura abaixo, e ilustram o que se afirmou acima nos itens b) e c).



Altitude (m)	Dia Padrão Comp Pista (m)	Dia Padrão +17,2°C Comp Pista (m)
0	2.400	2.500
610	2.650	2.800
1219	2950	3180
1829	3.300	3.600
2438	3.780	4.080
3048	4.300	4.700

**Figura 2.5.** Variação do comprimento de pista de decolagem para um mesmo peso bruto e duas temperaturas, em função da altitude

### 1.2.1 Comprimento de Pista de Referência do avião

O Comprimento de Pista de Referência do Avião é o comprimento de pista para decolagem nas seguintes condições:

- 1) Peso máximo de decolagem para o avião;
- 2) Altitude zero, ou seja, ao nível do mar;
- 3) Temperatura Padrão para essa altitude, ou seja, 15 °C;
- 4) Pista em nível (declividade longitudinal igual a zero);
- 5) Ausência de vento (vento zero).
- 6)

No caso do exemplo da Figura 2.2 esse comprimento é 3.200 metros, valor lido diretamente no gráfico de Dia Padrão, com peso máximo de decolagem e altitude zero. Antigamente era denominado “comprimento básico”, nomenclatura que ainda permanece em determinadas

situações. Essa definição é fundamental. Serve de referência para comparações de comprimentos de pista exigidos por aviões. O valor de comprimento de pista de decolagem que aparece nas tabelas e demais informações genéricas de aviões é o comprimento de referência. Por outro lado, o comprimento de pista de um aeródromo também deve ser “convertido” ao comprimento de pista de referência, se quiser fazer comparações. Um comprimento de 3.500 metros em um lugar alto e quente pode significar menos do que um comprimento de 3.000 metros num local mais baixo e/ou mais frio.

A definição legal, do Anexo 14 da OACI, é a seguinte:

*“COMPRIMENTO DE REFERENCIA DE PISTA DO AVIÃO. É o mínimo de comprimento de pista necessário para decolagem com o peso máximo de decolagem, ao nível do mar, condições atmosféricas padrão, calma, e pista de declive nula, como mostrado no manual de voo pertinente, estabelecido pela autoridade homologadora, ou dados equivalentes fornecidos pelo fabricante da aeronave. Comprimento de pista significa comprimento balanceado de pista para aviões, se aplicável, ou distancia de decolagem nos outros casos.”* (do original em inglês).

### 1.2.2 Temperatura de Referência

As temperaturas do ar correspondentes às situações denominadas “Dia Padrão” e “Dia Padrão + 17,2 °C”, no nosso exemplo da Figura 2.2, são aquelas nas quais as turbinas e a aeronave foram testadas. A temperatura representativa do aeródromo pouco ou nada tem a ver com elas. O aeródromo está num determinado local onde prevalecem condições de tempo e clima próprios deste local. Qual seria então a temperatura representativa de um determinado local?. Sabe-se que o desempenho das turbinas piora com o aumento da temperatura. É de se esperar, portanto, que a Temperatura de Referência do local, para fins de desempenho da aeronave, seja mais próxima da máxima do que da temperatura média. Cada Aeródromo tem uma Temperatura de Referência, que é atualizada periodicamente. A definição é a seguinte:

*“TEMPERATURA DE REFERENCIA DE AERÓDROMO - A temperatura de referência de aeródromo deve ser a média mensal das temperaturas máximas diárias do mês mais quente do ano (o mês mais quente do ano é o que tem a temperatura média mensal mais alta). Esta temperatura deve ser a média ao longo de vários anos.”* (do original em inglês).

Nota-se portanto, que a Temperatura de Referência ( $T_r$ ) de um aeródromo é sempre maior que a temperatura média do local. Para o Aeroporto de Viracopos Campinas, por exemplo, a Temperatura de Referência é de 30 graus

É evidente que a variação de temperatura com a altitude também não segue exatamente a variação da atmosfera padrão; antes, é uma característica climática que muda com inclusive com a estação do ano. Mas, para fins de projeto e operação do aeródromo, a altitude-pressão e o desvio da temperatura padrão soa suficientes. Desse modo, o que interessa, em termos de temperatura, é o quanto a Temperatura de Referência se afasta da Temperatura Padrão.

### 1.2.3 Condições Geométricas da Pista

a) DECLIVIDADE LONGITUDINAL DA PISTA - O desempenho na decolagem é afetado pela declividade longitudinal da pista: se o avião tem que decolar em rampa ascendente ou seja,

na subida, terá uma resistência de rampa contrária ao seu esforço de aceleração. É um trabalho feito contra a gravidade. Numa rampa de 2%, por exemplo, ao longo de 500m, equivale a erguer o peso do avião a uma altura de 10 m. Para executar esse trabalho extra, os motores consomem parte da energia que seria usada para acelerar o avião.

A declividade longitudinal é uma característica da pista. É geralmente expressa em porcentagem. As pistas de aeródromos em geral são construídas com uma ou mais rampas, cujas declividades podem chegar até 1,25% para grandes aeroportos e 2% para pistas onde operam pequenas aeronaves. Somente em situações excepcionais as pistas têm declividade zero pois modo geral os terrenos onde são implantadas não oferecem condições de se construir pistas em nível. A escolha do local para o aeródromo tem esse condicionante: deve-se procurar locais cujo terreno natural tenha uma pequena declividade (e na direção favorável, do ponto de vista dos ventos; veja texto sobre orientação de pistas). A ordem de grandeza do efeito da declividade é: o comprimento de pista necessário aumenta 10% para cada 1% de declividade média ascendente, e diminui com a mesma taxa.

b) SUPERFÍCIE DA PISTA - O material e as condições da superfície da pista influem nos comprimentos necessários para a decolagem e pouso, pois afetam a resistência de rolamento (arrasto). Para a aceleração a pista deve ser lisa e para a frenagem, ter um certo coeficiente de atrito. Consideraremos aqui apenas pistas pavimentadas com boas condições de rolamento e não mais faremos menção ao seu estado superficial. Apenas no pouso abordaremos a condição "pista molhada".

### 1.3 Cálculo do “Comprimento Corrigido”, a partir do Comprimento de Referência

No caso de não serem disponíveis os gráficos do manual “Airport Planning” (ATENÇÃO: APENAS NESTE CASO !) o comprimento de pista a ser construído pode ser obtido a partir do Comprimento de Referência ao qual são aplicadas correções padronizadas pela OACI. Os resultados desses cálculos devem, em princípio, servir apenas de orientação pois são grosseiros. Servem, entretanto, para o fim didático pois mostram como os fatores ambientais e geométrico afetam o desempenho da aeronave na decolagem.

Um outro propósito dessas correções padronizadas é facilitar a classificação do aeródromo em termos de comprimento de pista. O comprimento de pista efetivamente existente em determinado local não pode ser diretamente comparado com o comprimento existente em outro local porque as condições de altitude, temperatura e declividade são diferentes. Para comparação e classificação é necessário que cada comprimento seja convertido às condições padronizadas. Para isso as correções são aplicadas no sentido contrário: parte-se do comprimento existente e obtém-se um comprimento ideal.

As correções recomendadas pela OACI são as seguintes:

#### CORREÇÃO DO COMPRIMENTO DE PISTA PARA ALTITUDE, TEMPERATURA E DECLIVIDADE:

(Extraído do “Aerodrome Design Manual da OACI, Parte 1 . Runways

*“3.5.1 Como estabelecido no item 3.2.3, quando não for disponível um manual de vôo apropriado o comprimento de pista deve ser determinado pela aplicação de fatores gerais de correção. Como primeiro passo, deve ser escolhido um comprimento básico de pista, adequado para os requisitos operacionais dos aviões para os quais a pista é projetada. Esse comprimento básico é um comprimento de pista escolhido para*

finalidades do planejamento do aeródromo, necessário para a decolagem ou pouso nas condições da atmosfera padrão, vento zero e declive longitudinal da pista, também zero.

3.5.2 O comprimento básico escolhido para a pista deve ser aumentado à taxa de 7% para cada 300m de altitude.

3.5.3. O comprimento de pista é determinado de acordo com 3.5.2 deve ser aumentado à razão de 1% a cada 1° C que a temperatura de referencia do aeródromo exceder a temperatura da atmosfera padrão para a altitude do aeródromo. Se, entretanto, a correção total para altitude e temperatura exceder 35%, as correções devem ser obtidas através de um estudo específico. As características operacionais de certos aviões podem indicar que essas constantes de correção para altitude e pressão não são apropriadas, e que elas devem ser modificadas pelos resultados de estudos aeronáuticos baseados nas condições existentes num local particular e pelos requisitos operacionais de tais aviões.

3.5.4. Nos casos em que o comprimento básico determinado pelos requisitos de decolagem for 900 m ou mais, esse comprimento (calculado em 3.5.3) deve ainda ser aumentado à taxa de 10% para cada 1% de declividade da pista, conforme definida em 5.1.2\*. O comprimento de pouso necessário pode também ser afetado pela declividade da pista.” (original em inglês)

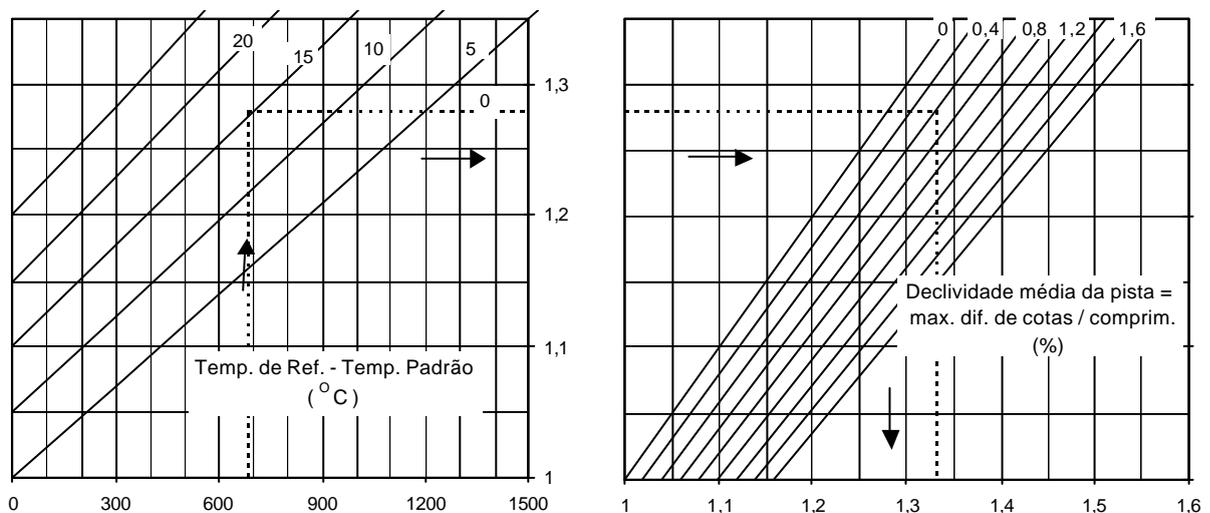
\*  $D = \frac{\text{diferença de cotas : ponto mais alto - ponto mais baixo}}{\text{comprimento da pista}} \times 100$

Cálculo do comprimento ( L ) corrigido (Nota: L básico = L de referência)

$$L_{corr.} = L_{básico} \cdot \left( 1 + \frac{7H}{300 \cdot 100} \right) \cdot \left( 1 + \frac{T_r - T_p}{100} \right) \cdot \left( 1 + \frac{10D}{100} \right)$$

Item:            3.5.1                      3.5.2                      3.5.3                      3.5.4

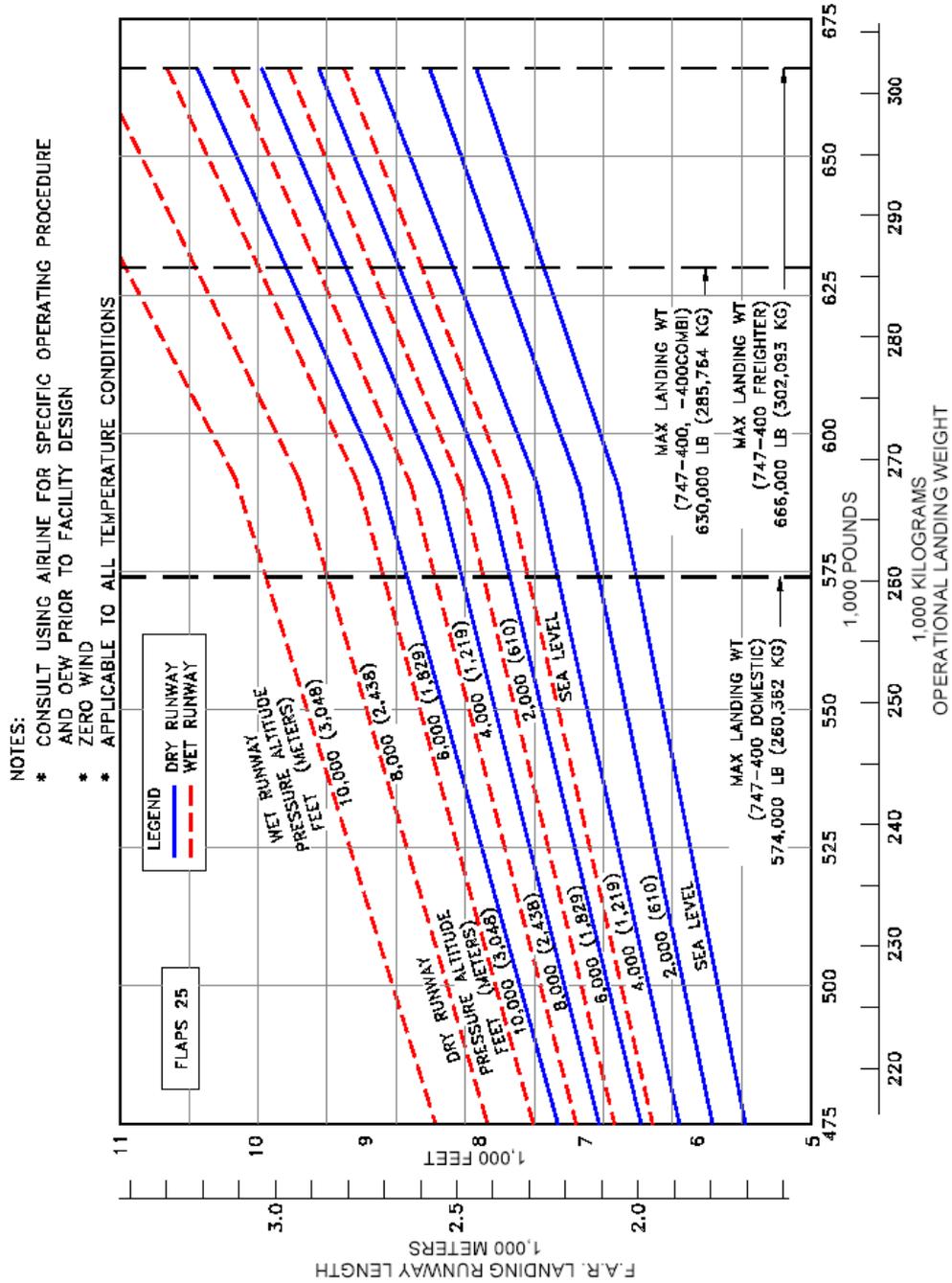
O mesmo resultado pode ser obtido com o gráfico abaixo.



**Figura 2.6.** Nomograma para correção do comprimento de pista em função da altitude, temperatura e declividade.

### 3. Comprimento de pista para o pouso

No caso do pouso a situação é similar, mas mais simples. Os manuais “Airport Planning” fornecem nomogramas como o da figura abaixo.



#### 3.4.1 F.A.R. LANDING RUNWAY LENGTH REQUIREMENTS - FLAPS 25

MODEL 747-400, -400 COMBI, -400 DOMESTIC, -400 FREIGHTER

D6-58326-1

88 DECEMBER 2002

**Figura 3.1.** Comprimento de Pista para o Pouso, Boeing 747-400.

3.4.1 F.A.R. LANDING RUNWAY LENGTH REQUIREMENTS - FLAPS 25  
 MODEL 747-400, -400 COMBI, -400 DOMESTIC, -400 FREIGHTER  
 D6-58326-1  
 88 DECEMBER 2002

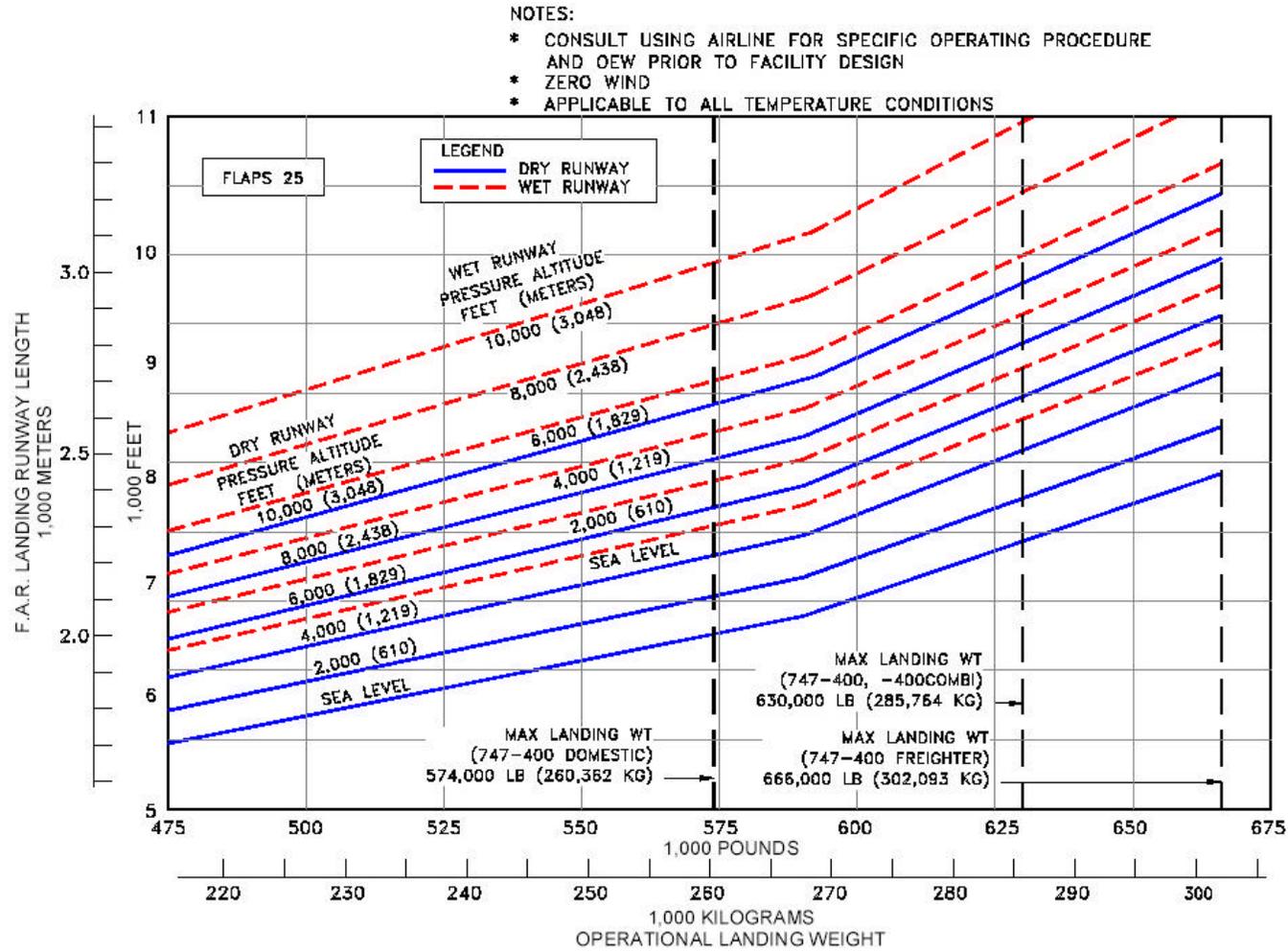


Figura 3.1. Comprimento de pista para o pouso, Boeing 747-400.

