



**Universidade de São Paulo**

Escola de Engenharia de São Carlos

Departamento de Engenharia de Transportes



**STT 0403 - Aeroportos, Portos e Vias Navegáveis**

**Aula 7**

**Projeto de pavimentos aeroportuários flexíveis**

**Prof. Dr. Adalberto Leandro Faxina**

# 7 Pavimentos aeroportuários

## Filosofia de projeto – FAA (2009)

- a *Federal Aviation Administration* emprega o FAARFIELD (*FAA Rigid and Flexible Iterative Elastic Layer Design program*) no dimensionamento mecânico de pavimentos aeroportuários
  - o projeto do pavimento flexível usa a teoria de camadas elásticas e o projeto do pavimento rígido usa o método de elementos finitos em três dimensões
- no projeto do pavimento flexível, o FAARFIELD usa a deformação vertical máxima no topo do subleito e a deformação horizontal máxima de tração no fundo da camada asfáltica na previsão da vida estrutural do pavimento
  - o FAARFIELD fornece a espessura exigida para cada camada para suportar uma dada composição de aeronaves considerando um dado subleito
- no projeto do pavimento rígido, o FAARFIELD usa a tensão horizontal máxima no fundo da placa de concreto na previsão da vida estrutural do pavimento
  - esta tensão é determinada usando a condição de carregamento na borda
  - o FAARFIELD fornece a espessura exigida para a placa de concreto para suportar uma dada composição de aeronaves considerando o conjunto subbase/subleito

## 7 Pavimentos aeroportuários

### Usando o FAARFIELD – FAA (2009)

- o FAARFIELD é baseado no fator de dano acumulado (CDF – *cumulative damage factor*), no qual a contribuição de cada aeronave de uma dada composição de aeronaves com o dano total é analisada separadamente
- cargas
  - o método considera o peso bruto na decolagem (incluindo o peso da aeronave, a carga e o combustível) – *gross weight*
  - o pavimento é dimensionado para o PMD (peso máximo de decolagem), o que proporciona um certo grau de conservadorismo ao projeto
    - isto dá margem para possíveis mudanças de operação no tráfego de aeronaves bem como mudanças nas previsões de tráfego
    - tal conservadorismo é de certa forma compensado pelo fato de os pousos serem ignorados no dimensionamento
  - 95% da carga total no trem de pouso principal e 5% no trem de pouso do nariz

# 7 Pavimentos aeroportuários

## Usando o FAARFIELD – FAA (2009)

- tipo e configuração do trem de pouso
  - o tipo e a configuração do trem de pouso determinam como o peso da aeronave é distribuído no pavimento e como o pavimento responderá às cargas da aeronave (ver Table 3-1 – pág. 14)
- pressão de enchimento dos pneus
  - pressões da ordem de 1,5 MPa (221 psi) são admitidas desde que as espessuras das camadas de revestimento e de base atendam os requisitos de espessuras mínimas e seja usado um revestimento asfáltico de alta estabilidade
- volume de tráfego
  - manual recomenda consultar estatísticas de órgãos governamentais americanos
  - já no caso do Brasil...


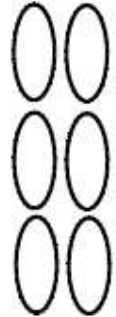
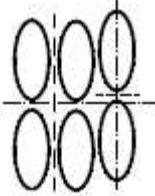
# 7 Pavimentos aeroportuários

## Nomenclatura para os trens de pouso mais comuns (FAA, 2009)

designação	configuração	exemplo de aeronave
S - single		single wheel - 45
D - dual		B737-100
2S – two single in tandem		C-130

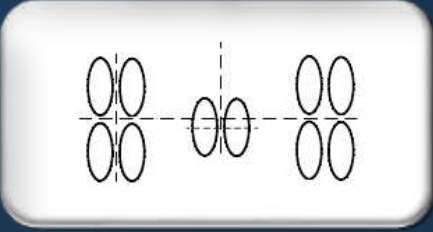
# 7 Pavimentos aeroportuários

## Nomenclatura para os trens de pouso mais comuns (FAA, 2009)

designação	configuração	exemplo de aeronave
2D – 2 duals in tandem		B767-200
3D – 3 duals in tandem		B777-200
2T – two triple wheels in tandem		C-17A

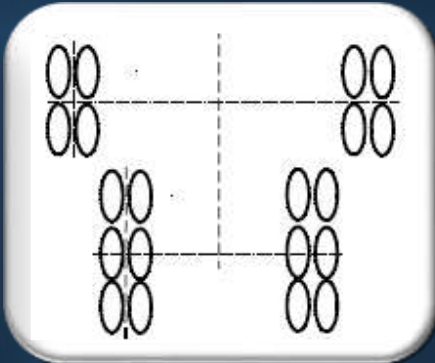
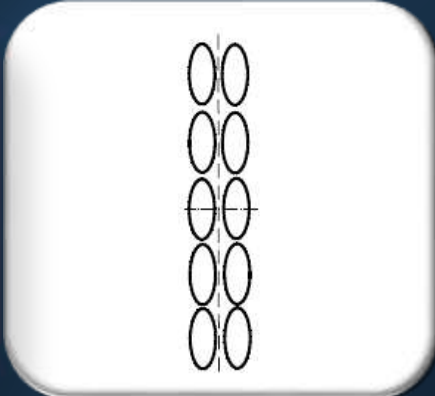
# 7 Pavimentos aeroportuários

## Nomenclatura para os trens de pouso mais comuns (FAA, 2009)

designação	configuração	exemplo de aeronave
2D/D1 – 2 dual wheels in tandem main gear/2 wheels body gear		DC10-30/40
2D/2D1 – 2 dual wheels in tandem main gear/2 dual wheels in tandem body gear		A340-600 std
2D/2D2 – 2 dual wheels in tandem main gear/2 dual wheels in tandem body gear		B747-400

# 7 Pavimentos aeroportuários

## Nomenclatura para os trens de pouso mais comuns (FAA, 2009)

designação	configuração	exemplo de aeronave
2D/3D2 – 2 dual wheels in tandem main gear/3 dual wheels in tandem body gear		A380-800
5D – 5 dual wheels in tandem main gear		An-124



# 7 Pavimentos aeroportuários

## Trem de pouso A380



Fonte:

<http://aircraftpapermodel.blogspot.com.br/2013/03/airbus-a380-800.html>

Fonte:

[http://campaigningforchange.files.wordpress.com/2011/11/791px-farnborough\\_air\\_show\\_2006\\_a380\\_landing.jpg](http://campaigningforchange.files.wordpress.com/2011/11/791px-farnborough_air_show_2006_a380_landing.jpg)

# 7 Pavimentos aeroportuários

## Trem de pouso Boeing 747-400



[https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.youtube.com%2Fwatch%3Fv%3DseptP3acxCc&psig=AOvVaw2N0P8\\_ZTaWpKjITUluRMJK&ust=1586613348813000&source=images&cd=vfe&ved=0CAIQjRxqFwoTCLCBkr6B3ugCFQAAAAAdAAAAABAU](https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.youtube.com%2Fwatch%3Fv%3DseptP3acxCc&psig=AOvVaw2N0P8_ZTaWpKjITUluRMJK&ust=1586613348813000&source=images&cd=vfe&ved=0CAIQjRxqFwoTCLCBkr6B3ugCFQAAAAAdAAAAABAU)

[https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.youtube.com%2Fwatch%3Fv%3DhbmV3LGUg-k&psig=AOvVaw2N0P8\\_ZTaWpKjITUluRMJK&ust=1586613348813000&source=images&cd=vfe&ved=0CAIQjRxqFwoTCLCBkr6B3ugCFQAAAAAdAAAAABAZ](https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.youtube.com%2Fwatch%3Fv%3DhbmV3LGUg-k&psig=AOvVaw2N0P8_ZTaWpKjITUluRMJK&ust=1586613348813000&source=images&cd=vfe&ved=0CAIQjRxqFwoTCLCBkr6B3ugCFQAAAAAdAAAAABAZ)

# 7 Pavimentos aeroportuários

## Trem de pouso Antonov 225



[https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.pinterest.com%2Fpin%2F729794314586268761%2F&psig=AOvVaw1U\\_-N8rWYicFoItQraVzHA&ust=1586613687259000&source=images&cd=vfe&ved=0CAIQjRxqFwoTCPiX2-OC3ugCFQAAAAAdAAAAABAD](https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.pinterest.com%2Fpin%2F729794314586268761%2F&psig=AOvVaw1U_-N8rWYicFoItQraVzHA&ust=1586613687259000&source=images&cd=vfe&ved=0CAIQjRxqFwoTCPiX2-OC3ugCFQAAAAAdAAAAABAD)



[https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.airteamimages.com%2Fantonov-an-225-mriya\\_UR-82060\\_antonov-airlines-28antonov-design-bureau29\\_119545.html&psig=AOvVaw1U\\_-N8rWYicFoItQraVzHA&ust=1586613687259000&source=images&cd=vfe&ved=0CAIQjRxqFwoTCPiX2-OC3ugCFQAAAAAdAAAAABAJ](https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.airteamimages.com%2Fantonov-an-225-mriya_UR-82060_antonov-airlines-28antonov-design-bureau29_119545.html&psig=AOvVaw1U_-N8rWYicFoItQraVzHA&ust=1586613687259000&source=images&cd=vfe&ved=0CAIQjRxqFwoTCPiX2-OC3ugCFQAAAAAdAAAAABAJ)

# 7 Pavimentos aeroportuários

## Usando o FAARFIELD – FAA (2009)

- composição de tráfego
  - o FAARFIELD foi criado para determinar as espessuras do pavimento usando uma composição de diferentes aeronaves em vez de uma aeronave crítica
  - o programa calcula o dano provocado por cada aeronave da composição
  - o dano de todas as aeronaves é somado usando a lei de Miner

$$\sum_{i=1}^m \frac{n_i}{N_i} = 1$$

onde  $n_i$  é o número de solicitações do veículo  $i$ ,  $N_i$  o número de solicitações do veículo  $i$  que provoca a ruptura do pavimento e  $m$  o número de veículos que solicitam o pavimento

- quando o fator de acúmulo de dano (CDF – *cumulative damage factor*) chega a 1,0, as condições de projeto foram atendidas

# 7 Pavimentos aeroportuários

## Recomendações de projeto – FAA (2009)

- período de projeto
  - o FAA utiliza 20 anos como período de projeto nas suas rotinas de projeto
- composição de tráfego
  - a rotina de projeto nas versões anteriores do método de projeto da FAA exigia
    - que a composição de tráfego fosse convertida em uma única aeronave de projeto e
    - que todas as decolagens anuais fossem convertidas em decolagens anuais equivalentes da aeronave de projeto
  - a aeronave de projeto era selecionada como a aeronave que provocava o maior dano, com base no peso máximo de decolagem e no número de decolagens de cada aeronave

# 7 Pavimentos aeroportuários

## Recomendações de projeto – FAA (2009)

- composição de tráfego
  - o FAARFIELD não converte a composição de tráfego em decolagens equivalentes de uma aeronave de projeto
  - em vez disso, o FAARFIELD analisa o dano ao pavimento provocado por cada aeronave e determina a espessura final para o dano total acumulado
  - o FAARFIELD permite a entrada do trem de pouso principal de cada aeronave em relação ao centro do pavimento
  - ele também permite que o dano ao pavimento associado a uma aeronave em particular seja completamente isolado do dano provocado pelas demais aeronaves da composição

## 7 Pavimentos aeroportuários

### Recomendações de projeto – FAA (2009)

- razão passadas/cobertura (P/C ratio)
  - uma aeronave que se movimenta ao longo da pista raramente se desloca descrevendo uma trajetória perfeitamente reta ou ao longo da mesma trajetória percorrida por outra aeronave
  - esta movimentação lateral é conhecida como *airplane wander* e é modelada por uma distribuição normal
  - à medida que a aeronave se desloca ao longo da pista, são necessários vários deslocamentos para que um ponto em particular naquele pavimento receba uma aplicação de carga completa
  - o número de passadas necessário para uma aplicação completa de carga a uma unidade de área do pavimento é expresso pela razão passadas/cobertura (P/C)

# 7 Pavimentos aeroportuários

## Recomendações de projeto – FAA (2009)

- razão passadas/cobertura (P/C ratio)
  - é fácil observar o número de passadas que uma aeronave pode proporcionar a um pavimento, mas o número de coberturas precisa ser matematicamente derivado com base em uma razão passada/cobertura estabelecida para cada aeronave
  - por definição, uma cobertura ocorre quando uma área de um pavimento experimenta a máxima resposta (tensão para pavimentos rígidos e deformação para pavimentos flexíveis) induzida por uma dada aeronave
    - para pavimentos flexíveis, coberturas são uma medida do número de repetições da deformação máxima que ocorrem no topo do subleito
    - para pavimentos rígidos, coberturas são uma medida das repetições de uma máxima tensão que ocorrem no fundo da placa de concreto



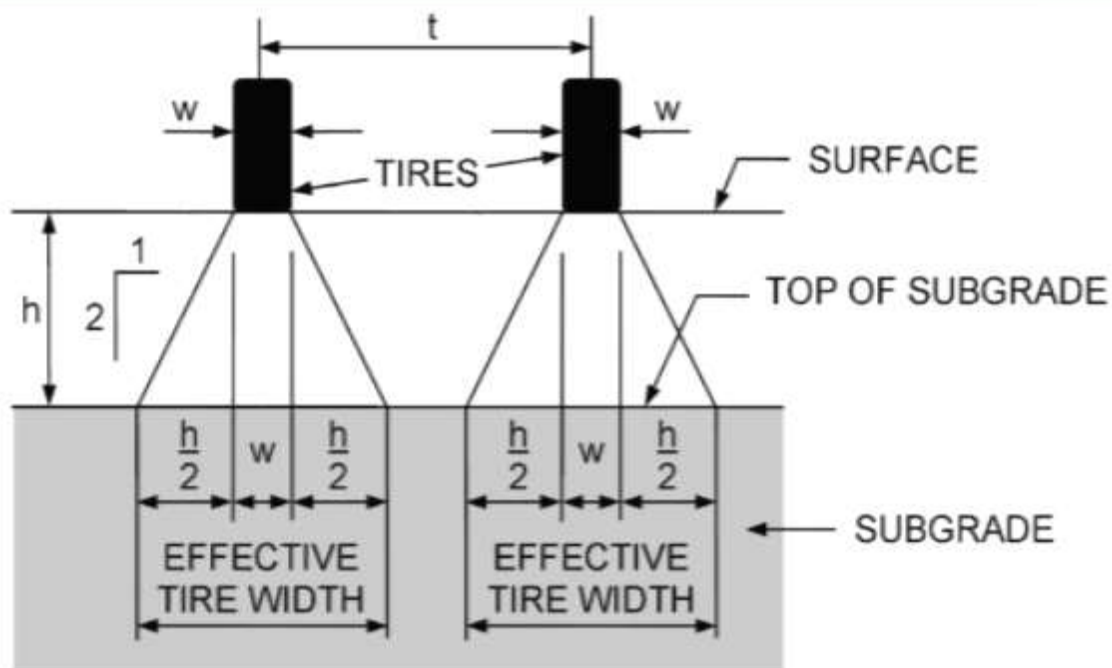
# 7 Pavimentos aeroportuários

## Recomendações de projeto – FAA (2009)

- razão passadas/cobertura (P/C ratio)
  - o número de coberturas resultante das operações de uma dada aeronave é função do número de passadas da aeronave, do número e do espaçamento entre rodas do trem de pouso principal, da largura da área de contato do pneu e da distribuição lateral das trilhas de roda em relação ao centro do pavimento ou da faixa
  - para calcular a razão P/C, o FAARFIELD usa o conceito de largura efetiva do pneu
    - para pavimentos rígidos, a largura efetiva do pneu é definida na superfície do pavimento e é igual à largura da área de contato do pneu
    - para pavimentos flexíveis, a largura efetiva do pneu é definida no topo do subleito, para o mecanismo de ruptura de cisalhamento no subleito
  - linhas de influência são desenhadas com inclinação 1:2, partindo das áreas de contato do pneu na direção do topo do subleito, conforme ilustrado
  - os pneus são considerados ou separados ou combinados, dependendo se há ou não sobreposição das linhas de influência

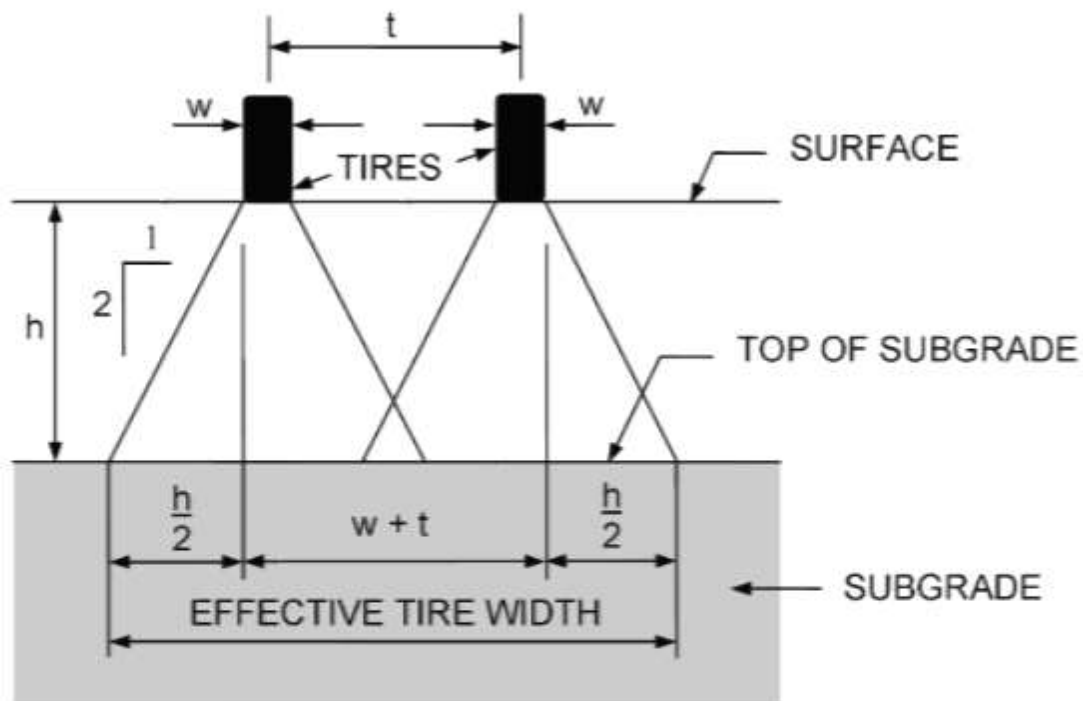
# 7 Pavimentos aeroportuários

## Larguras efetivas – sem sobreposição (FAA, 2009)



# 7 Pavimentos aeroportuários

## Larguras efetivas – com sobreposição (FAA, 2009)



# 7 Pavimentos aeroportuários

## Recomendações de projeto – FAA (2009)

- decolagens anuais e ciclos de tráfego
  - o FAARFIELD considera apenas as decolagens e ignora os pousos para determinar o número de passadas
    - na maioria dos casos, as aeronaves chegam no aeroporto com um peso significativamente menor que o de decolagem em virtude da redução do peso correspondente ao consumo de combustível
    - além disso, durante o pouso, uma pequena força de sustentação contribui para aliviar a força vertical dinâmica que é transmitida ao pavimento pelo trem de pouso
  - o FAA definiu um ciclo de tráfego padrão (TC), que corresponde a uma decolagem e um pouso da mesma aeronave
    - um ciclo de tráfego produz uma passada da aeronave que resulta em uma razão passada/tráfego (P/TC) de 1

# 7 Pavimentos aeroportuários

## Recomendações de projeto – FAA (2009)

- razão passadas/cobertura (P/C ratio)
  - para determinar o número de decolagens anual, multiplique o número de decolagens pelo P/TC
  - para a maioria dos projetos de pavimentos aeroportuários pode ser usado  $P/TC = 1$
  - nos casos em que o peso de pouso não é significativamente menor que o de decolagem ou nos casos em que a aeronave precisa trafegar pelo pavimento mais que uma vez (caso em que o taxiamento ocorre na própria pista de pouso e decolagem), seria apropriado ajustar o número de decolagens anual para refletir uma razão passadas/tráfego diferente
    - no caso de uma pista para pousos e decolagens e taxiamento, adotar  $P/TC = 2$ , desde que a aeronave seja abastecida no aeroporto, e o número de decolagens anual seria então multiplicado por 2

## 7 Pavimentos aeroportuários

### Recomendações de projeto – FAA (2009)

- *cumulative damage factor* (CDF) – fator de dano acumulado
  - CDF é a fração da vida de fadiga do pavimento que foi consumida
  - é expressa como a razão entre o número de repetições de carga aplicadas e o número de repetições de carga disponíveis até a ruína
  - para uma dada aeronave e um número constante de decolagens anuais, o CDF pode ser obtido das seguintes formas

$$\text{CDF} = \frac{\text{número de repetições de carga aplicadas}}{\text{número de repetições de carga disponíveis até a ruína}}$$

$$\text{CDF} = \frac{\text{número de decolagens anuais} \times \text{período de projeto}}{\text{razão passadas} / \text{coberturas} \times \text{coberturas até a ruína}}$$

$$\text{CDF} = \frac{\text{coberturas aplicadas}}{\text{coberturas até a ruína}}$$

# 7 Pavimentos aeroportuários

## Condição do pavimento com base nos valores de CDF (FAA, 2009)

Vida de fadiga remanescente com base nos valores de CDF

CDF	vida de fadiga remanescente
1	o pavimento consumiu toda sua vida de fadiga
< 1	o pavimento tem uma parcela remanescente da sua vida de fadiga e o valor de CDF indica a fração consumida da vida de fadiga
> 1	o pavimento excedeu sua vida de fadiga

# 7 Pavimentos aeroportuários

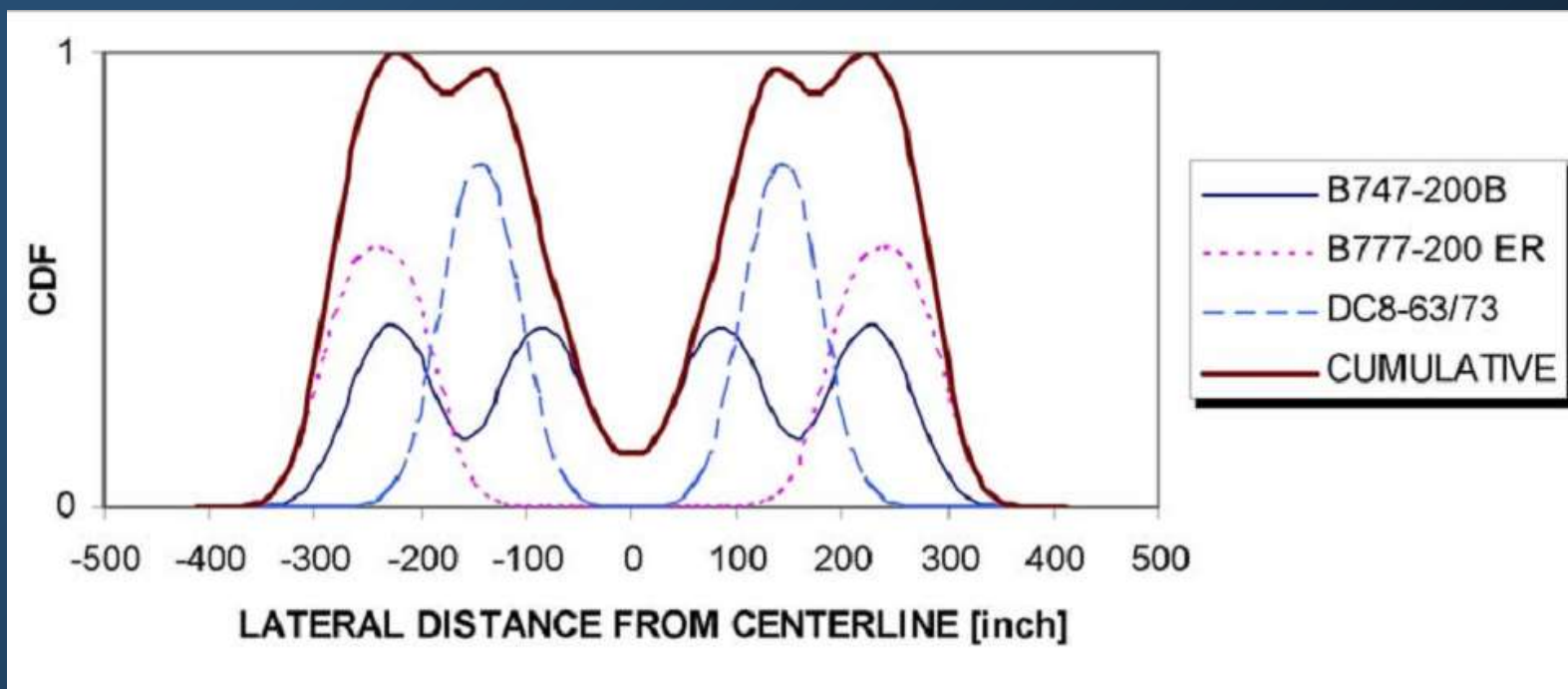
## Recomendações de projeto – FAA (2009)

- *cumulative damage factor* (CDF) – fator de dano acumulado
  - no FAARFIELD, o CDF é calculado para faixas de 10 pol de largura ao longo do pavimento para uma largura total de 820 pol (20,8 m)
  - a razão passadas/cobertura é calculada para cada faixa com base em uma distribuição normal dos desvios laterais (*airplane wander*) com um desvio padrão de 30,435 pol (equivalente à operação de uma aeronave em uma pista de taxiamento) e usada na equação da lei de Miner
  - o CDF de projeto é o máximo dentre os calculados para as 82 faixas
  - mesmo tendo a mesma geometria de trem de pouso, aeronaves com diferentes larguras de contato dos pneus terão diferentes razões passadas/coberturas em cada uma das faixas de 10 pol e podem mostrar pequeno efeito sobre o CDF total
  - remover as aeronaves com as menores tensões ou deformações pode então ter efeito pequeno sobre a espessura de projeto, dependendo de quão próximas as trilhas de roda estão uma das outras e do número de decolagens



## 7 Pavimentos aeroportuários

Contribuição do CDF para a composição de tráfego (FAA, 2009)



# 7 Pavimentos aeroportuários

## Projeto do pavimento – FAA (2009) - definições

- pavimento flexível
  - é aquele composto de uma camada superficial construída com mistura asfáltica (CAUQ) assentada sobre uma camada de base e, quando requerido por condições do subleito, uma subbase
  - o pavimento flexível é uma estrutura que tem o subleito como fundação
- revestimento em concreto asfáltico ou capa asfáltica
  - deve prevenir a penetração de água superficial na camada de base
  - deve proporcionar uma superfície regular e coesa, livre de partículas soltas que possam levar risco a aeronaves e pessoas
  - deve resistir às tensões cisalhantes induzidas pelas cargas das rodas das aeronaves
  - deve fornecer uma superfície com níveis adequados de aderência pneu-pavimento, sem provocar desgaste prematuro dos pneus das aeronaves

# 7 Pavimentos aeroportuários

## Projeto do pavimento – FAA (2009) - definições

- revestimento em concreto asfáltico ou capa asfáltica
  - a fim de atender satisfatoriamente tais requisitos (tela anterior), a capa asfáltica deve ser composta de uma mistura de agregados minerais e ligantes asfálticos que irá produzir uma superfície uniforme com textura adequada, apresentando estabilidade e durabilidade máximas
  - dado que o controle de produção da mistura asfáltica é item de grande relevância, tais requisitos podem ser satisfatoriamente obtidos usando uma planta de usinagem onde o adequado controle de produção possa ser executado prontamente
  - um concreto asfáltico de graduação densa, tal como a P-401, produzido em uma planta de usinagem irá atender satisfatoriamente os requisitos anteriores
  - quando a capa asfáltica estiver sujeita a respingos de combustível, fluidos hidráulicos ou outros solventes, tal como em posições de abastecimento e manutenção de aeronaves, proteção deveria ser proporcionada por uma superfície resistente a solventes

# 7 Pavimentos aeroportuários

## Projeto do pavimento – FAA (2009) - definições

- camada de base
  - é o principal componente estrutural de um pavimento flexível
  - tem a função principal de distribuir as cargas das rodas para a fundação do pavimento (reforço do subleito ou o próprio subleito)
  - deve apresentar tal qualidade e espessura a ponto de evitar a ruptura do subleito, suportar as tensões originadas na própria base, resistir às pressões verticais que tendem a produzir consolidação e que resultam em distorção da base e resistir às mudanças volumétricas provocadas por variações no seu teor de umidade
  - a qualidade da camada de base depende dos materiais que a compõem, das suas propriedades físicas e da qualidade da compactação

# 7 Pavimentos aeroportuários

## Projeto do pavimento – FAA (2009) - definições

- camada de reforço do subleito
  - compõe o pavimento flexível exceto quando o CBR do subleito for superior a 20%
  - a função do reforço do subleito é semelhante à da camada de base
  - no entanto, como está distante da superfície e está sujeita a níveis mais baixos de tensão, os requisitos dos materiais não são tão estritos como para os materiais da base
  - o CBR da camada de reforço é uma variável no projeto do pavimento flexível
  - qualquer material adequado para uso em camadas de base pode ser usado em camadas de reforço desde que a prática construtiva e aspectos econômicos assim o determinem

# 7 Pavimentos aeroportuários

## Projeto do pavimento – FAA (2009) - definições

- subleito
  - está sujeito a tensões mais baixas que a capa, a base e a subbase
  - as tensões no subleito diminuem com a profundidade e o controle da tensão no subleito é feito usualmente no topo do subleito, a menos de condições excepcionais (subleitos em camadas ou variações bruscas de umidade ou de densidade)
  - a capacidade de um dado solo em resistir ao cisalhamento e à deformação variam com sua densidade e seu teor de umidade
  - a tabela 3-4 do manual mostra as profundidade medidas a partir da superfície do subleito nas quais o controle de compactação se aplica – para usar esta tabela, considere o conjunto de aeronaves que irá solicitar o pavimento (a aeronave do conjunto que deve ser usada para determinar os requisitos de compactação é a aeronave que requer a máxima profundidade de compactação, independente do número de operações previsto)

# 7 Pavimentos aeroportuários

## Projeto do pavimento – FAA (2009)

- o pavimento flexível deve ser composto de camada de rolamento, de base e de subbase (esta última apenas se o CBR do subleito for inferior a 20%)
- CBR do subleito
  - O CBR de projeto deve ser igual ou inferior a 85% de todos os valores de CBR (percentil correspondente a 85% dos valores) – corresponde a um valor de projeto de um desvio padrão abaixo da média
- a rotina de projeto do pavimento flexível inclui dois modos de ruína
  - deformação vertical no topo do subleito – prevenir ruptura por deformação plástica excessiva do subleito
  - deformação horizontal no fundo da camada asfáltica – prevenir ruptura por trincamento
    - para obter a deformação horizontal na camada asfáltica, desabilitar a caixa “No AC CDF” no FAARFIELD

# 7 Pavimentos aeroportuários

## Projeto do pavimento – FAA (2009)

- período de projeto
  - 20 anos é o padrão do FAA e do FAARFIELD (permite entrar com outros períodos)
- revestimento asfáltico
  - espessura mínima: 4 pol (10 cm)
  - FAARFIELD: MR (módulo de resiliência) = 1.380 MPa (200.000 psi) – corresponde a uma temperatura do pavimento de 32°C (90°F)
  - dois tipos estão disponíveis no FAARFIELD, ambos com módulo de 200.000 psi e coeficiente de Poisson de 0,35
    - capa asfáltica (*asphalt surface*) – pode ser colocada no topo da estrutura ou sob uma camada asfáltica delgada
    - camada asfáltica delgada (*asphalt overlay*) – pode ser colocada apenas sobre a capa asfáltica ou sobre placa de concreto de cimento Portland



# 7 Pavimentos aeroportuários

## Camadas de base no FAARFIELD (FAA, 2009)

tipo de base	designação
P-208	base em agregado natural <sup>1</sup>
P-209	base em agregado britado <sup>2</sup>
P-211	base em rocha calcária
P-219	base de concreto reciclado
P-304	base tratada com cimento
P-306	subbase de Econocrete <sup>3</sup>
P-401	pré-misturado asfáltico
P-403	concreto asfáltico

<sup>1</sup>O uso da P-208 como base é limitado a pavimentos projetados para cargas de 60.000 libras (27.216 kgf) ou menos. Se for usada, a espessura mínima do revestimento asfáltico deve ser 5 pol.

<sup>2</sup>Seu uso para bases é limitado a pavimentos projetados para peso bruto de decolagem de 100.000 libras (45.359 kgf) ou menos, exceto conforme mencionado no item 317 (material sem estabilização pode ser usado desde que o CBR da base seja 100% ou 35% para subbase, outras exceções à regra devem ser baseadas no desempenho de tais materiais granulares em projetos de outras pistas sob condições climáticas semelhantes).

<sup>3</sup>Concretos projetados para empregar agregados locais que não necessariamente atendem os requisitos das especificações tradicionais.

# 7 Pavimentos aeroportuários

## Projeto do pavimento – FAA (2009)

- camadas de base
  - estabilizadas
    - flexíveis: P-401/P-403 (bases asfálticas) e MR variável
      - apresentam coeficiente de Poisson alto (0,35), se comportam como camadas flexíveis (em oposição às rígidas) e não são propensas ao trincamento
      - a base flexível estabilizada com MR variável pode ser usada para caracterizar uma base estabilizada que não se conforma às propriedades da P-401 e P-403
    - rígidas: P-304 (base tratada com cimento) e P-306 (Econocrete)
      - podem ser usadas também como camadas de base em pavimentos flexíveis
      - **P-301 (base de solo cimento) não pode ser usada como base estabilizada para pavimentos flexíveis**

# 7 Pavimentos aeroportuários

## Projeto do pavimento – FAA (2009)

- camadas de base
  - não-estabilizadas
    - a P-209 (base de agregado britado) é a base de agregado mineral padrão do FAARFIELD
    - agregado mineral pode compor qualquer camada do pavimento, exceto a camada superficial e o subleito
    - o número máximo de camadas em agregado mineral que podem estar presentes em um pavimento flexível é 2, uma de cada tipo (agregado natural ou agregado britado)
    - quando camadas com agregado natural e britado estiverem juntas, a camada de material britado deve estar acima da de material natural

# 7 Pavimentos aeroportuários

## Tipos de base no FAARFIELD (FAA, 2009)

	tipo de base	MR (psi, MPa)	coeficiente de Poisson
flexível	variável mínimo	150.000 (1.035)	0,35
	variável máximo	400.000 (2.760)	
	P-401/403 (asfáltica)	400.000 (2.760)	
rígida	variável mínimo	250.000 (1.720)	0,20
	variável máximo	700.000 (4.830)	
	P-304 (tratada com cimento)	500.000 (3.450)	
	P-306 (subbase Econocrete)	700.000 (4.830)	

# 7 Pavimentos aeroportuários

## Projeto do pavimento – FAA (2009)

- camadas de base – espessuras mínimas
  - parte-se do pressuposto de que a subbase proporciona uma capacidade de suporte equivalente a um CBR de 20%, então a espessura da base é calculada como a espessura necessária para proteger um subleito com CBR de 20%
  - quando uma base de agregado mineral é usada, o procedimento automático do FAARFIELD é executado em dois passos
    - passo 1: cálculo da espessura necessária para proteger um subleito com CBR de 20%
    - passo 2: comparação entre a espessura calculada no passo 1 e a espessura mínima (tabela 3-9) – adota-se a maior entre as duas

# 7 Pavimentos aeroportuários

## Espessuras mínimas para base de agregado mineral (FAA, 2009)

tipo de trem de pouso	faixa de carga de projeto		espessura mínima da base P-209	
	libras	kgf	pol	mm
S	30.000 – 50.000	13.600 – 22.700	4	100
	50.000 – 75.000	22.700 – 34.000	6	150
D	50.000 – 100.000	22.700 – 45.400	6	150
	100.000 – 200.000	45.400 – 90.700	8	200
2D	100.000 – 250.000	45.400 – 113.400	6	150
	250.000 – 400.000	113.400 – 181.000	8	200
2D (B757, B767)	200.000 – 400.000	90.700 – 181.000	6	150
2D ou 2D/D1 (DC 10, L1011)	400.000 – 600.000	181.000 – 272.000	8	150

# 7 Pavimentos aeroportuários

## Espessuras mínimas para base de agregado mineral (FAA, 2009)

tipo de trem de pouso	faixa de carga de projeto		espessura mínima da base P-209	
	libras	kgf	pol	mm
2D/2D2 (B747)	400.000 – 600.000	181.000 – 272.000	6	150
	600.000 – 850.000	272.000 – 385.600	8	200
2D/D1 ou 2D/2D1 (A340)	568.000 – 840.400	257.640 – 381.200	10	250
2S (C130)	75.000 – 125.000	34.000 – 56.700	4	100
	125.000 – 175.000	56.700 – 79.400	6	150
3D (B777)	537.000 – 777.000	243.500 – 352.440	10	250
3D (A380)	1.239.000 – 1.305.125	562.000 – 592.000	9	230

# 7 Pavimentos aeroportuários

## Projeto do pavimento – FAA (2009)

- camadas de base – espessuras mínimas
  - para composições de tráfego com aeronaves excedendo 100.00 libras (45.400 kgf), bases estabilizadas são necessárias, com espessura mínima de 5 pol (127 mm)
  - quando uma base estabilizada é usada, um passo é adicionado ao procedimento automático do FAARFIELD – depois que a espessura da base em agregado mineral é calculada (passo 1), a espessura necessária da base estabilizada é obtida dividindo o valor por 1,6
  - a espessura da base estabilizada obtida é comparada com a mínima (5 pol) – adotar a maior entre as duas



# 7 Pavimentos aeroportuários

## Camadas de subbase no FAARFIELD (FAA, 2009)

tipo de base	designação
P-154	camada de subbase
P-210	camada de base tipo Caliche
P-212	camada de base tipo Shell
P-213 <sup>1</sup>	camada de base em areia argilosa
P-301 <sup>1</sup>	base de solo-cimento

<sup>1</sup>O uso da P-213 e da P-301 como subbase não é recomendado onde a penetração de água de degelo na subbase é prevista.

# 7 Pavimentos aeroportuários

## Projeto do pavimento – FAA (2009)

- camadas de subbase
  - podem ser em agregados minerais ou estabilizadas
  - a espessura estrutural mínima é 4 pol (10 cm)
  - espessura adicional pode ser requerida por limitações construtivas
  - para composições de tráfego com aeronaves excedendo as 100.000 libras (45.359 kgf), uma base estabilizada é exigida – neste caso, recomenda-se que um material de alta qualidade seja usado na subbase
    - P-208: base em agregado mineral
    - P-209: base em agregado mineral britado
  - qualquer material adequado para camadas de base pode também ser usado na camada de subbase desde que uma base estabilizada seja usada

# 7 Pavimentos aeroportuários

## Projeto do pavimento – FAA (2009)

- subleito
  - considera-se que o subleito seja infinito na espessura e caracterizado por um valor de módulo ou um CBR
  - no caso de se dispor apenas de valores de CBR do subleito, usar a expressão

$$E = 1500.CBR(\text{em psi})$$

## 7 Pavimentos aeroportuários

### Perguntas

1. Quais são os dois critérios de ruptura adotados no método de dimensionamento?
2. Por que apenas as decolagens são consideradas na composição do tráfego?
3. O método não considera uma aeronave crítica no dimensionamento e sim o dano acumulado provocado por cada trem de pouso por meio do fator CDF (*cumulative damage factor*). Qual o significado deste fator e como é calculado?
4. Para calcular o fator *P/C ratio* (relação passadas/cobertura), o método de dimensionamento faz uso do conceito de largura efetiva do pneu. Descreva este critério, fazendo uso de ilustrações, caso necessário.
5. A estrutura típica do pavimento dimensionado por este método é composta apenas de camada asfáltica e camada de base. Em que caso uma camada de subbase se faz necessária?
6. Qual a espessura mínima da camada asfáltica?
7. Quais materiais podem ser utilizados na confecção das camadas de base?

## **7 Pavimentos aeroportuários**

### **Software FAARFIELD v. 1.42**

Disponível para download no link:

<https://www.airporttech.tc.faa.gov/Products/Airport-Pavement-Software-Programs/Airport-Software-Detail/ArtMID/3708/ArticleID/4/FAARFIELD-142>