

Manual de AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE DE SUPORTE DE ÁREAS NÃO PAVIMENTADAS POR MEIO DO *SOFTWARE* PCASE



**AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE DE SUPORTE DE ÁREAS NÃO PAVIMENTADAS
POR MEIO DO *SOFTWARE* PCASE**

SUPERINTENDÊNCIA DE INFRAESTRUTURA AEROPORTUÁRIA - SIA

Agosto/ 2025

SUPERINTENDENTE

Giovano Palma

GERENTE DE CERTIFICAÇÃO E SEGURANÇA OPERACIONAL

Eduardo Henn Bernardi

GERENTE TÉCNICO DE ENGENHARIA AEROPORTUÁRIA

Rafael Ribeiro Rocha

EQUIPE TÉCNICA RESPONSÁVEL

Lucius de Albuquerque Prado

REVISOR DE TEXTO

Ingrid Fonseca de Araújo

PROJETO GRÁFICO E DIAGRAMAÇÃO

Assessoria de Comunicação Social (Ascom)

DÚVIDAS, SUGESTÕES E CRÍTICAS PODEM SER ENVIADAS PARA O E-MAIL

obras.sia@anac.gov.br

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	5
A) FAIXA PREPARADA	5
B) ÁREAS DE SEGURANÇA DE FIM DE PISTA (<i>RUNWAY END SAFETY AREA</i>) - RESA	6
2. OBJETIVOS	8
3. ENSAIOS PARA AVALIAÇÃO ESTRUTURAL DE ÁREAS NÃO PAVIMENTADAS	9
4. SOFTWARES PARA AVALIAÇÃO ESTRUTURAL DE ÁREAS NÃO PAVIMENTADAS	10
FAARFIELD	10
MEDINA	11
PCASE	11
5. CONTEÚDO MÍNIMO DO RELATÓRIO	13
6. UTILIZANDO O SOFTWARE PCASE	14
DOWNLOAD DO SOFTWARE PCASE	14
TELA INICIAL	15
MÓDULO APE – <i>AIRFIELD PAVEMENT EVALUATION</i>	15
MÓDULO APE – CONFIGURANDO O AEROPORTO DE ANÁLISE	16
MÓDULO APE – CONFIGURANDO O TRÁFEGO	17
MÓDULO APE – SELECIONANDO A ÁREA DE AVALIAÇÃO E O TIPO DE PAVIMENTO	17
MÓDULO APE – SELECIONANDO A CATEGORIA DE RESISTÊNCIA DO SUBLEITO	18
MÓDULO APE – SELECIONANDO A AERONAVE MAIS EXIGENTE	19
MÓDULO APE – DEFININDO O NÚMERO DE PASSAGENS E A MASSA DA AERONAVE	19
MÓDULO APE – DEFININDO O CRITÉRIO DE FALHA	20
MÓDULO APE – CRIANDO OS ELEMENTOS DE AVALIAÇÃO	21

MÓDULO APE – INSERINDO O MATERIAL DAS CAMADAS E OUTROS DADOS GEOTÉCNICOS	21
MÓDULO APE – VERIFICANDO OS RESULTADOS DA ANÁLISE	22
7. AVALIAÇÃO PRELIMINAR DA NECESSIDADE DE REFORÇO	25
8. PRINCIPAIS NÃO CONFORMIDADES	27
9. CONSIDERAÇÕES FINAIS	27
10. NOTA	28
11. REFERÊNCIAS	28
ANEXO I - BENEFÍCIOS ASSOCIADOS ÀS ÁREAS NÃO PAVIMENTADAS	29
A) ABSORÇÃO DE IMPACTO	29
B) CUSTO DE MANUTENÇÃO	29
C) DRENAGEM NATURAL	29
D) MENOR RISCO DE FOD (<i>FOREIGN OBJECT DEBRIS</i>)	29
ANEXO II - AVALIAÇÃO ESTRUTURAL DE ÁREAS NÃO PAVIMENTADAS	30
ANEXO III - AVALIAÇÃO FUNCIONAL DE ÁREAS NÃO PAVIMENTADAS	37
ANEXO IV - TÉCNICAS DE PLANTIO DA GRAMA	39
A) HIDROSSEMEADURA	39
B) PLANTIO POR SEMENTES	40
C) PLANTIO POR PLACAS DE GRAMA (TAPETES)	40
D) PLANTIO POR <i>PLUGS</i> OU MUDAS	41
E) ESTOLÕES OU RIZOMAS	41
ANEXO V - TERRAPLENAGEM EM AERÓDROMOS	43
1) LEVANTAMENTO, TOPOGRÁFICO E ESTUDOS DO SOLO	43
2) LIMPEZA E DESMATAMENTO	43
3) CORTE E ATERRO	43
4) COMPACTAÇÃO E NIVELAMENTO	44
5) DRENAGEM	44
6) ESTABILIZAÇÃO DO SOLO (CASO NECESSÁRIO)	45
7) PREPARAÇÃO DA BASE PARA PAVIMENTAÇÃO OU PLANTIO DA FAIXA PREPARADA	45

1. INTRODUÇÃO

A faixa preparada e a RESA possuem funções diferentes na infraestrutura do aeródromo, mas, no tocante à capacidade de suporte, compartilham os mesmos requisitos. Fazem parte do que se considera “áreas de segurança” de aeródromos.

De modo a tornar essas definições mais claras, abaixo se apresentam mais detalhes.

A) FAIXA PREPARADA

Faixa preparada é a área nivelada e compactada que envolve a pista de pouso e decolagem, projetada para reduzir os danos às aeronaves em caso de eventual saída da pista.

O [RBAC nº 154](#) define a faixa preparada como a porção de uma faixa de pista de pouso e decolagem nivelada e construída com capacidade de suporte adequada de forma a minimizar os riscos no caso de uma aeronave sair acidentalmente da pista.

A **faixa preparada** faz parte da **faixa de pista** e deve estar livre de obstáculos que possam representar riscos à segurança operacional.

LARGURA DA FAIXA PREPARADA PARA OPERAÇÕES POR INSTRUMENTO

Em termos de dimensões, o [RBAC nº 154](#) estabelece que a porção da faixa de pista de uma pista de pouso e decolagem para operações por instrumento deve ser uma área nivelada, de acordo com as aeronaves para as quais a pista é destinada. O objetivo é proteger uma aeronave que saia acidentalmente da pista, abrangendo, no mínimo, as seguintes distâncias a partir do eixo da pista e do seu prolongamento:

- (i) 75 m, onde o número de código for 3 ou 4; e
- (ii) 40 m, onde o número de código for 1 ou 2.

LARGURA DA FAIXA PREPARADA PARA OPERAÇÕES VISUAIS

Já no caso de operações visuais, a porção da faixa de pista deve abranger, no mínimo, as seguintes distâncias a partir do eixo da pista e do seu prolongamento:

- (i) 75 m onde o número de código for 3 ou 4;
- (ii) 40 m onde o número de código for 2; e
- (iii) 30 m onde o número de código for 1.

A [IS nº 154-002 - Revisão B](#) também traz requisitos para a faixa preparada relacionados a declividades longitudinais e transversais, os quais não são objetos deste Manual, mas podem ser vistos no item 6.5.5 da própria IS.

De acordo com o item 6.5.6 da referida IS, a superfície da faixa preparada deve ser projetada para suportar, pelo menos, 1 (uma) passagem da aeronave mais exigente do *mix* de aeronaves do aeródromo.

B) ÁREAS DE SEGURANÇA DE FIM DE PISTA (*RUNWAY END SAFETY AREA*) - RESA

A área de segurança de fim de pista (RESA) é, na definição do [RBAC nº 154](#), uma área simétrica ao longo do prolongamento do eixo da pista de pouso e decolagem e adjacente ao fim da faixa de pista, utilizada primordialmente para reduzir o risco de danos a aeronaves que realizem o toque antes de alcançar a cabeceira (*undershoot*) ou que ultrapassem acidentalmente o fim da pista de pouso e decolagem (*overrun*).

Uma RESA deve ser disponibilizada nas extremidades da faixa de pista e deve se estender por, no mínimo, 90 m:

- (i) onde o número de código for 3 ou 4;
- (ii) onde no número do código for 1 ou 2 e a pista for do tipo por instrumento.

No entanto, requisitos específicos do RBAC nº 154 definem que o comprimento da RESA poderá ser igual ou superior a 30 m, 120 m ou 240 m, a depender do que a Anac estabelecer.

Já a largura da RESA deve ser igual ou superior ao dobro da largura de pista requerida para a aeronave mais exigente (crítica) associada.

A [IS nº 154-002 - Revisão B](#) também traz requisitos relacionados a declividades longitudinais e transversais da RESA, que não são objetos deste Manual, mas podem ser vistos no item 6.6.3 da própria IS.

De forma análoga ao que ocorre com a faixa preparada, vide item 6.6.4 da referida IS, a RESA também deve ser projetada para suportar, pelo menos, 1 (uma) passagem da aeronave mais exigente do *mix* de aeronaves do aeródromo.

Para melhor compreensão sobre os conceitos abordados até aqui, a figura 1 traz representação da faixa preparada e da RESA.



Figura 1 - Faixa de pista, faixa preparada e áreas de segurança (RESA).

Fonte: autor.

Como se observa, tanto a faixa preparada quanto as áreas de segurança de fim de pista são elementos importantes para a segurança da aviação civil. Por se tratar de elementos adjacentes à pista de pouso e decolagem, processos de avaliação de risco consideram a possibilidade de aeronaves adentrarem tais áreas, razão pela qual deve ser avaliada a capacidade de suporte desses elementos.

2. OBJETIVOS

O objetivo deste Manual consiste em prover forma consistente de avaliação da capacidade de suporte (resistência) de áreas não pavimentadas, sobretudo da faixa preparada e das áreas de segurança de fim de pista (RESA).

Como documento orientativo, não dispõe de força regulatória. No entanto, reflete a percepção atual do órgão regulador quanto ao tema, à luz do que estabelece a regulação vigente e as orientações da Organização da Aviação Civil Internacional (Oaci). Dessa forma, este Manual pretende ser guia para estudantes, consultores, projetistas e demais profissionais envolvidos com esse tipo de trabalho.

Este Manual está estruturado, em essência, em duas partes. A primeira parte engloba o cerne deste documento, que é a apresentação de um método aceito pela Anac para avaliação da capacidade de suporte de áreas não pavimentadas em aeródromos, denominadas “áreas de segurança”.

A segunda parte foi subdividida em cinco anexos, contendo informações complementares, de modo que o leitor tenha uma compreensão do funcionamento de etapas anteriores à verificação da capacidade de suporte.

3. ENSAIOS PARA AVALIAÇÃO ESTRUTURAL DE ÁREAS NÃO PAVIMENTADAS

Ensaio como FWD e HWD são comuns em áreas pavimentadas, mas seus usos não são recomendados em áreas não pavimentadas, como faixa preparada e RESAs. Tais ensaios são projetados para avaliar pavimentos rígidos ou semirrígidos, em que a deflexão pode ser medida com base na estrutura de asfalto ou concreto.

No caso de áreas não pavimentadas, a estrutura do solo é mais flexível e não oferece base suficientemente rígida para uma medição precisa. Nesses casos, outros ensaios podem ser realizados, destacando-se:

- a) Ensaio de CBR (*California Bearing Ratio*);
- b) Ensaio de compactação (Proctor);
- c) Ensaio de granulometria;
- d) Ensaio de resistência ao cisalhamento;
- e) Ensaio de permeabilidade; e
- f) Teste de densidade *in situ*.

Para avaliação da capacidade de suporte da faixa preparada e das RESAs, faz-se necessário conhecer o perfil de resistência do solo ao longo da profundidade. Como mencionado, sugere-se que essa profundidade alcance entre 0,80 e 1,30 metros, mas o julgamento técnico do responsável pela avaliação deve ser levado em consideração.

Assim, para avaliação da resistência (CBR), pode-se, após a abertura de janelas ou poços de inspeção, levar o material para laboratório e, com isso, obter tal parâmetro. Ensaio de campo, como *Dynamic Cone Penetrometer* (DCP), também são bastante utilizados. O importante é que o CBR seja conhecido em diferentes profundidades do solo.

A caracterização dos materiais também é necessária. Assim, é preciso saber o número de camadas existentes, as espessuras, os tipos de material, os respectivos CBR, bem como o CBR do topo do subleito. Esses dados são necessários para alimentar o *software* que será abordado na próxima seção deste Manual.

De posse dos dados geotécnicos – e conhecida a aeronave mais exigente em operação no aeródromo –, o próximo passo consiste no lançamento dessas informações no programa computacional. A orientação da Anac é que seja utilizado o *software* gratuito PCASE, na versão mais recente disponível.

4. SOFTWARES PARA AVALIAÇÃO ESTRUTURAL DE ÁREAS NÃO PAVIMENTADAS

Certamente, há diversas ferramentas destinadas à avaliação estrutural de pavimentos. A maioria delas associada à avaliação rodoviária e algumas poucas destinadas à avaliação aeroportuária.

Dentre os *softwares* mais utilizados pelos operadores de aeródromos para avaliação de áreas não pavimentadas, destacam-se três:

- 1) **FAARFIELD**, da *Federal Aviation Administration* (FAA)/USA;
- 2) **MeDiNa** – Método de Dimensionamento Nacional, desenvolvido pelo DNIT e UFRJ; e
- 3) **PCASE** – desenvolvido pelo *United States Army Corps of Engineers* (USACE).

Acredita-se que, com o decorrer do tempo, outras ferramentas estarão aptas para fazer esse tipo de avaliação, à medida que incorporarem as novas diretrizes da 3ª edição do DOC 9157 – Parte 3, da Oaci.

A seguir, tecem-se breves comentários sobre cada um dos *softwares* citados anteriormente.

FAARFIELD

O FAARFIELD é muito utilizado para o projeto e avaliação da capacidade de suporte de áreas pavimentadas. No entanto, o uso em áreas não pavimentadas é contraindicado.

O critério de falha utilizado para pavimentos revestidos neste *software* é diferente (mais exigente) do que o critério de falha utilizado em pavimentos não revestidos (menos exigente), uma vez que as modelagens – modelos matemáticos – consideradas são diferentes.

Como exemplo, para áreas pavimentadas, a deformação máxima permitida no topo do subleito para que um pavimento falhe é de 1" (2,54 cm). Já o PCASE considera, para o mesmo critério, 3" (7,62 mm). Isso permite concluir o quanto o FAARFIELD é mais conservador, o que poderá acarretar avaliações mais exigentes do que o critério disposto na IS nº 154-002.

É relativamente simples entender por que é necessário ser mais criterioso para áreas pavimentadas que para áreas não pavimentadas: a pista de pouso e decolagem é o destino de toda e qualquer aeronave, enquanto a faixa preparada se destina somente a situações não intencionais. Não faria sentido exigir o mesmo rigor para áreas não pavimentadas – raramente utilizadas por aeronaves.

Outro ponto é que as análises do FAARFIELD se baseiam no *Cumulative Damage Factor* (CDF), que nada mais é que o dano cumulativo provocado na estrutura após sucessivas operações, estando associado ao processo de fadiga.

As avaliações da faixa preparada e das RESAs não envolvem passagens repetidas, como as que ocorrem nas áreas pavimentadas. Pelo contrário, na faixa preparada e nas RESAs, o movimento é eventual, e não se pode falar em fadiga. Com isso, verifica-se que o uso do FAARFIELD não se mostra adequado para esse tipo de avaliação.

MEDINA

A ferramenta computacional MeDiNA é bastante utilizada na área de rodovias e também dispõe de módulo específico para aeroportos, chamado AEMC (Análise Elástica de Múltiplas Camadas). Os gráficos mostrados na figura 20 foram produzidos por meio dessa ferramenta.

Nota-se que o MeDiNa agrega nas avaliações da capacidade de suporte de áreas como faixa preparada e RESAs. No entanto, salvo melhor juízo, ele não é capaz de responder, de forma direta, o seguinte:

A faixa preparada ou a RESA é capaz de suportar, pelo menos, 1 (uma) passagem da aeronave mais exigente do mix de aeronaves do aeródromo?

Em razão da ausência dessa resposta, os relatórios encaminhados pelos operadores de aeródromos a este órgão regulador que fazem uso do MeDiNa não atendem ao requisito da [IS nº 154-002 – Revisão B](#). Dito de outra forma, não há como assegurar a conformidade normativa se o relatório técnico não responde, objetivamente, ao que foi exigido pelo regulamento.

O *software* MeDiNa pode trazer análises complementares, desde que usado de forma correta, mas, até o momento, não fornece respostas em linha com o que a IS prescreve.

PCASE

Com o advento da 3ª edição do *Aerodrome Design Manual*, ou seja, DOC 9157 – Parte 3 - *Pavements*, da Oaci, em 2022, o critério de aceitação da faixa preparada por meio de camadas com CBR entre 15% e 20% foi substituído pelo requisito constante na [IS nº 154-002 – Revisão B](#).

Desde então, sabe-se que o PCASE é capaz de responder, objetivamente, a quantas passagens de determinada aeronave uma área não revestida é capaz de suportar. Por esse motivo, a ANAC orienta o uso do PCASE para avaliações de capacidade de suporte de áreas de segurança não pavimentadas.

O uso de uma mesma ferramenta padroniza tanto a atuação dos regulados quanto a do órgão regulador. Não é razoável que os técnicos da ANAC tenham domínio sobre todas as ferramentas existentes acerca do tema, de modo a avaliar a consistência dos relatórios protocolados pelos operadores de aeródromos.

Assim, a padronização das ferramentas de análise tem sido adotada pela ANAC, como ocorre com o FAARFIELD para áreas pavimentadas e o PCASE para áreas não pavimentadas. Com isso, ganha-se na

produtividade e na uniformização de entendimentos, tanto no meio interno quanto externo, uma vez que os interessados no assunto saberão exatamente o que o regulador deseja, conforme mostrado neste Manual.

Além disso, o PCASE é *software* bastante conhecido por outras autoridades de aviação civil, sendo utilizado pelas forças armadas dos Estados Unidos, sejam elas a Marinha, o Exército e a Aeronáutica.

A ferramenta permite considerar, além de aeronaves, carros de combate a incêndio e outros veículos operacionais que podem transitar pela faixa preparada no aeródromo. Na próxima seção, serão abordadas outras características do PCASE.

5. CONTEÚDO MÍNIMO DO RELATÓRIO

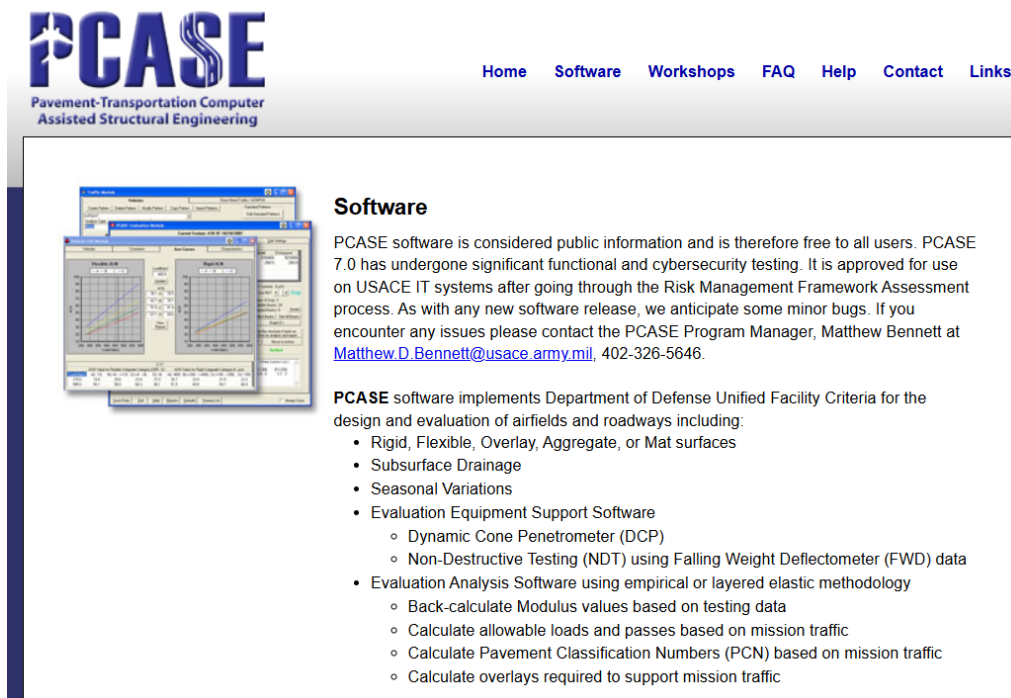
Espera-se que o relatório que avalia áreas de segurança não revestidas, como é caso da faixa preparada e das RESAs, contenha, no mínimo, os seguintes elementos:

- Caracterização da infraestrutura (áreas da faixa preparada e RESAs, espessura das camadas, tipos de materiais etc.);
- Premissas adotadas;
- Aeronave mais exigente adotada;
- Ensaios realizados (laboratório e campo) com justificativa;
- Mapa dos ensaios (coordenadas geográficas e localização);
- Resultados anexados (laboratório e campo);
- Análise no *software* PCASE (com variáveis de entrada e memória de cálculo);
- *Prints* das telas do *software* (entradas e resultados);
- Análise dos resultados;
- Verificação da existência dos 15 cm superficiais menos resistentes da faixa preparada ou das RESAs (para desaceleração da aeronave);
- Conclusões; e
- ART (Anotação de Responsabilidade Técnica).

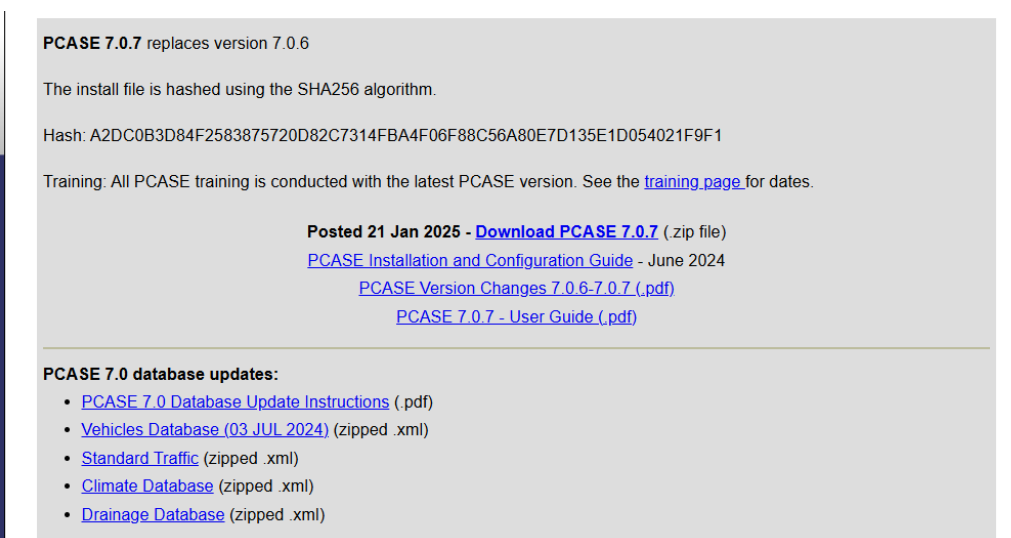
6. UTILIZANDO O SOFTWARE PCASE

DOWNLOAD DO SOFTWARE PCASE

O software PCASE pode ser encontrado no *link* a seguir: <https://transportation.erdc.dren.mil/pcase/software.aspx>. A figura 2 ilustra onde essas informações poderão ser encontradas.



(a)



(b)

Figura 2 – Telas com informações da última versão do PCASE 7.0.7, acessada às 17h07min, de 13/02/2025.

Fonte: autor.

TELA INICIAL

Após fazer o *download* do programa, será aberta a tela mostrada na figura 3.

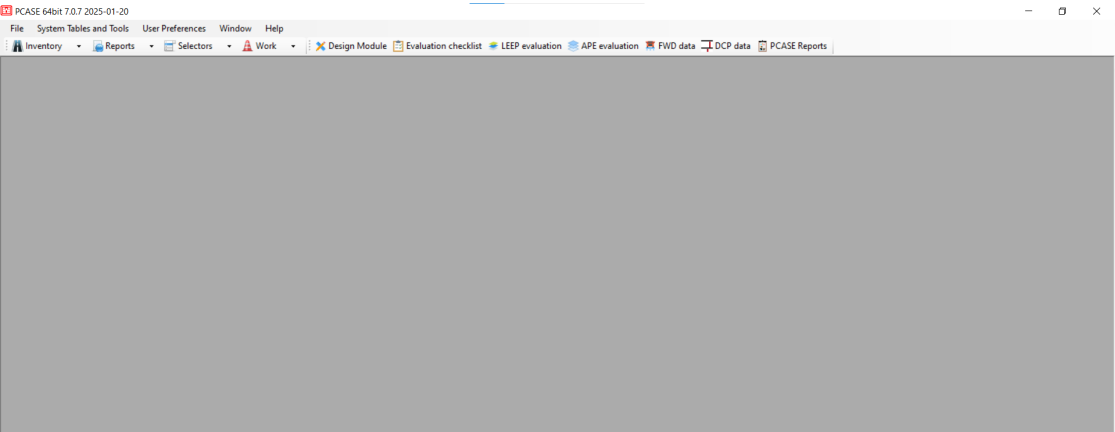


Figura 3 – Tela inicial do programa.

Fonte: autor.

MÓDULO APE – AIRFIELD PAVEMENT EVALUATION

Logo na tela inicial do *software*, podem-se ver os módulos *LEEP Evaluation* e *APE Evaluation*.

O modulo LEEP se baseia na Teoria das Camadas Elásticas (*Layered Elastic Theory – LET*) para avaliação dos pavimentos. Já o módulo APE se baseia em modelo mecanístico-empírico, realizando cálculos mais simples, porém mais rápidos, buscando fornecer respostas sobre a capacidade de suporte do elemento avaliado.

As principais diferenças entre os módulos LEEP e APE podem ser vistas no quadro 1.

Quadro 1 – Diferenças entre os módulos LEEP e APE no PCASE.

Característica	APE (<i>Airfield Pavement Evaluation</i>)	LEEP (<i>Layered Elastic Evaluation Program</i>)
Foco	Avaliação estrutural de pavimentos não revestidos para tráfego de aeronaves	Cálculo puro de tensões e deformações em camadas não revestidas
Tipo de modelo	Mecanístico-empírico (<i>Layered Elastic Theory</i> + critérios de falha empíricos)	Apenas mecanicista (<i>Layered Elastic Theory</i> puro)
Vida útil e falha?	Sim, prevê falhas como excesso de deformação no subleito e perda de suporte	Não, apenas calcula respostas elásticas
Considera variação de umidade?	Sim, pode incluir efeitos da umidade nas camadas	Não diretamente, mas pode ser modelado alterando o módulo resiliente
Usa carga de aeronaves?	Sim	Sim

Característica	APE (Airfield Pavement Evaluation)	LEEP (Layered Elastic Evaluation Program)
Usa ensaios de deflexão (ex.: FWD)?	Sim, pode ser usado para ajuste do modelo estrutural	Sim, mas sem análise de vida útil
Modelo de falha analisado	Deformação excessiva no subleito e materiais granulares, perda de suporte estrutural	Apenas fornece tensões, deformações e deflexões nas camadas
Aplicação prática	Avaliação da capacidade estrutural de aeródromos não pavimentados, previsão de reforços ou estabilização	Estudos acadêmicos e simulação da resposta mecânica de estruturas não pavimentados

O módulo APE é mais útil para avaliar se determinado pavimento não revestido pode suportar tráfego de aeronaves, considerando vida útil, deformações críticas e impactos da umidade. Já o módulo LEEP é mais técnico e teórico, servindo para análises puramente mecanicistas, sem prever a capacidade real de suporte ao tráfego.

Dessa forma, a Anac orienta o uso do módulo APE para avaliação da faixa preparada e RESAs em aeródromos.

MÓDULO APE – CONFIGURANDO O AEROPORTO DE ANÁLISE

Para configurar o aeroporto objeto de avaliação, basta seguir o exposto na figura 4.

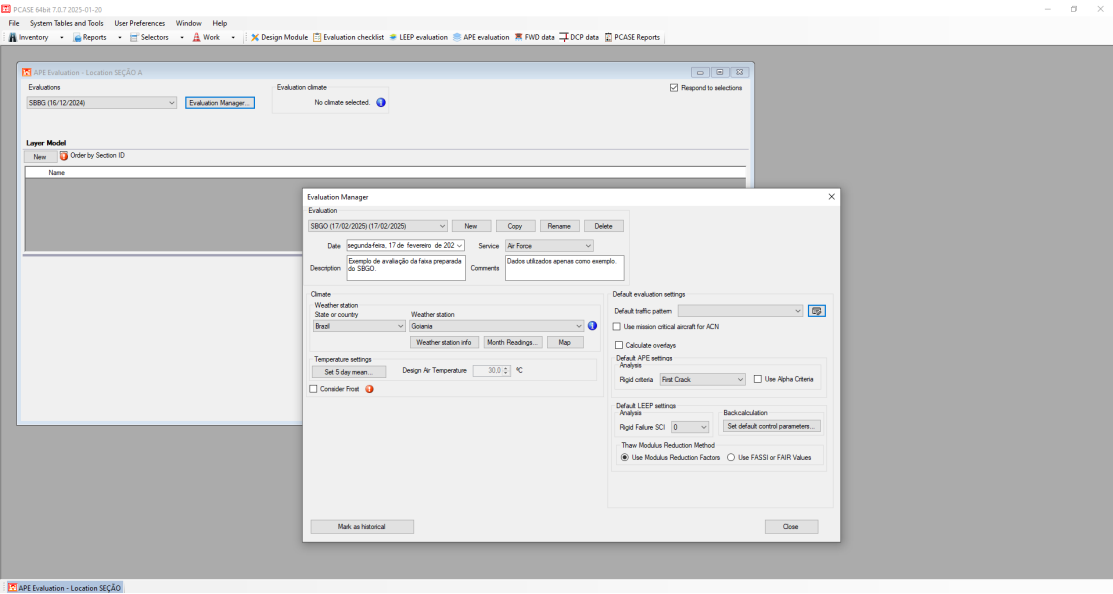


Figura 4 – Configurando os dados do aeroporto no módulo APE do PCASE.

Fonte: autor.

Agora, deverão ser inseridos os dados do tráfego, o que pode ser feito selecionando “Default evaluation settings”, mostrado no próximo item.

MÓDULO APE – CONFIGURANDO O TRÁFEGO

Neste item, pode-se inserir a aeronave mais exigente em operação no aeródromo, conforme exigido pela IS nº 154-002 – Revisão B. É possível adicionar mais de uma aeronave e até mesmo considerar veículos de combate a incêndio que operam no aeródromo.

Apesar disso, o requisito é claro, ou seja, a avaliação deve envolver a aeronave mais exigente em operação no aeródromo. Assim, nos casos de projetos de faixa preparada ou RESAs utilizando o PCASE, o projetista pode considerar tais veículos no dimensionamento.

A figura 5 mostra como configurar o *mix* de aeronaves no sistema. Adiante serão fornecidas mais informações sobre como inserir as aeronaves no *mix* cadastrado.

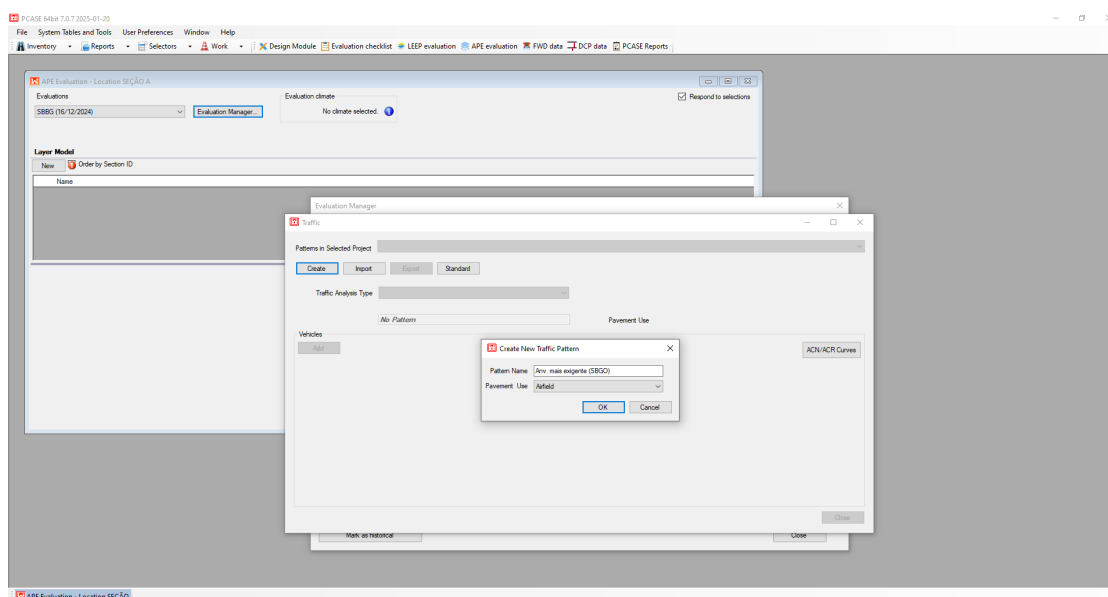


Figura 5 – Configurando o mix de aeronaves no módulo APE do PCASE.

Fonte: autor.

MÓDULO APE – SELECIONANDO A ÁREA DE AVALIAÇÃO E O TIPO DE PAVIMENTO

Para realizar a análise, faz-se necessário definir a área de avaliação. Para os casos propostos neste manual (faixa preparada e RESA), a configuração a ser selecionada é a "A", ou seja, "*Traffic & Runways Ends*", como mostra a figura 6.

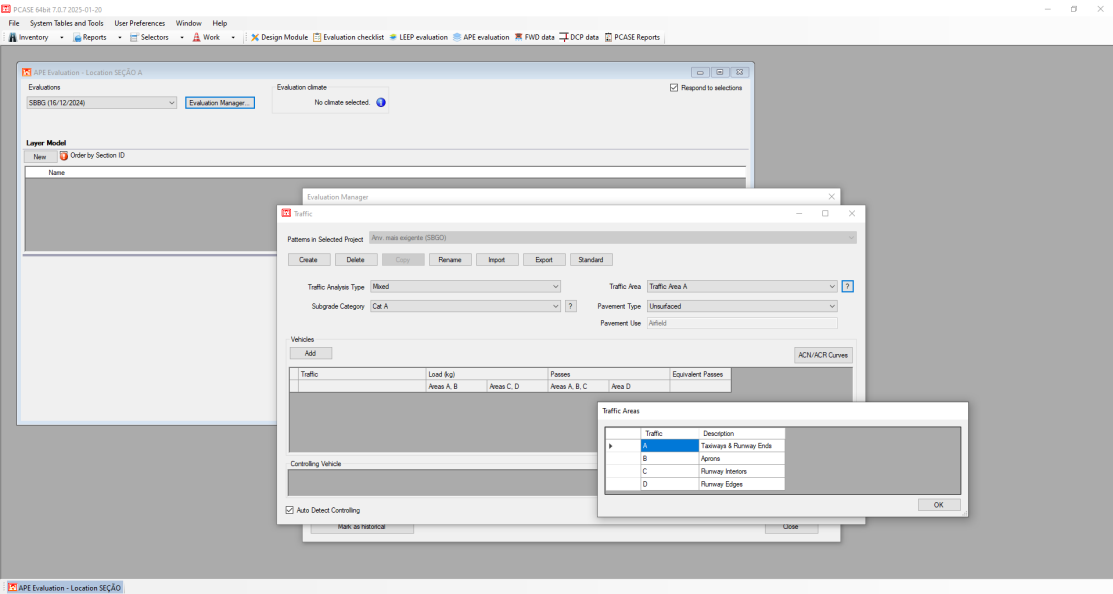


Figura 6 – Configurando a área de verificação no módulo APE do PCASE.

Fonte: autor.

Para áreas não pavimentadas, deve-se selecionar a opção “unsurfaced”.

MÓDULO APE – SELECIONANDO A CATEGORIA DE RESISTÊNCIA DO SUBLEITO

A resistência do subleito deve ser informada conforme mostrado na figura 7.

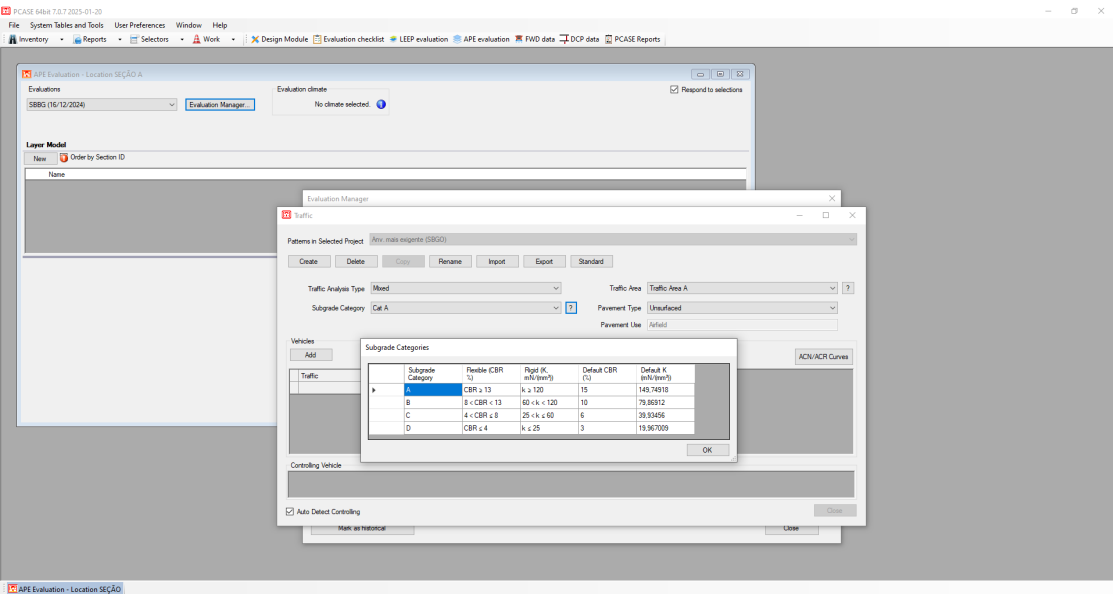


Figura 7 – Inserindo a categoria de resistência do subleito no módulo APE do PCASE.

Fonte: autor.

MÓDULO APE – SELECIONANDO A AERONAVE MAIS EXIGENTE

A aeronave mais exigente no aeródromo deve ser selecionada conforme mostrado na figura 8. No caso em tela, admite-se que seja o B737 MAX 8.

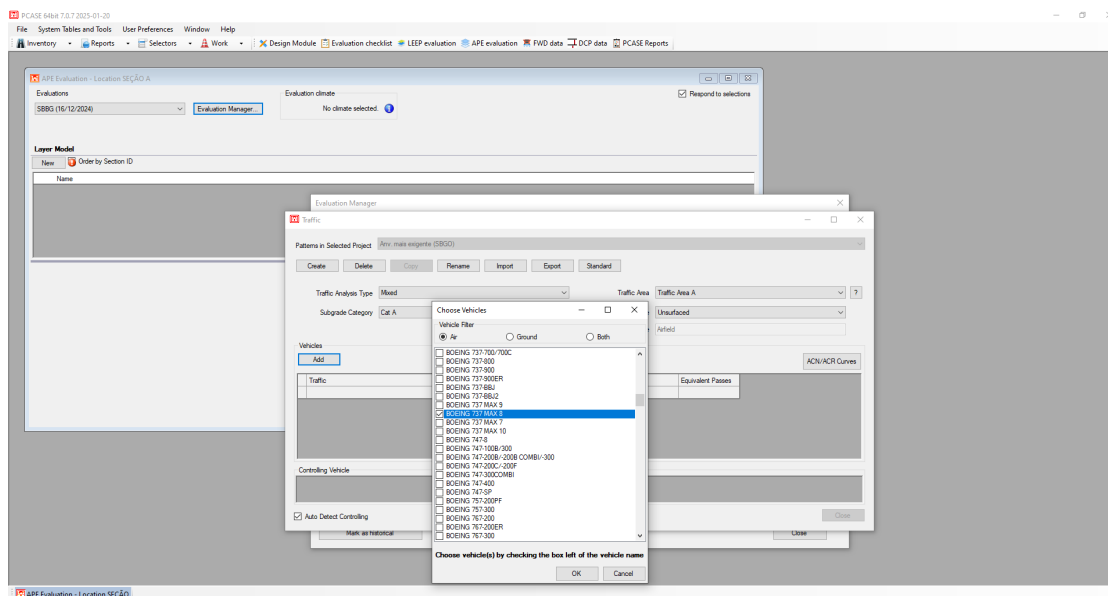


Figura 8 – Inserindo a aeronave B737 MAX 8 como aeronave mais exigente no módulo APE do PCASE.

Fonte: autor.

MÓDULO APE – DEFININDO O NÚMERO DE PASSAGENS E A MASSA DA AERONAVE

Segundo a IS nº 154-002 – Revisão B, deve-se considerar, no mínimo, 1 (uma) passagem da aeronave mais exigente na avaliação da faixa preparada e da RESA. A massa da aeronave considerada aqui foi a padrão do sistema, mas pode ser alterada conforme o caso concreto.

A figura 9 a seguir mostra o caso. Vale observar que o número de passagens vem pré-configurado como sendo 100.

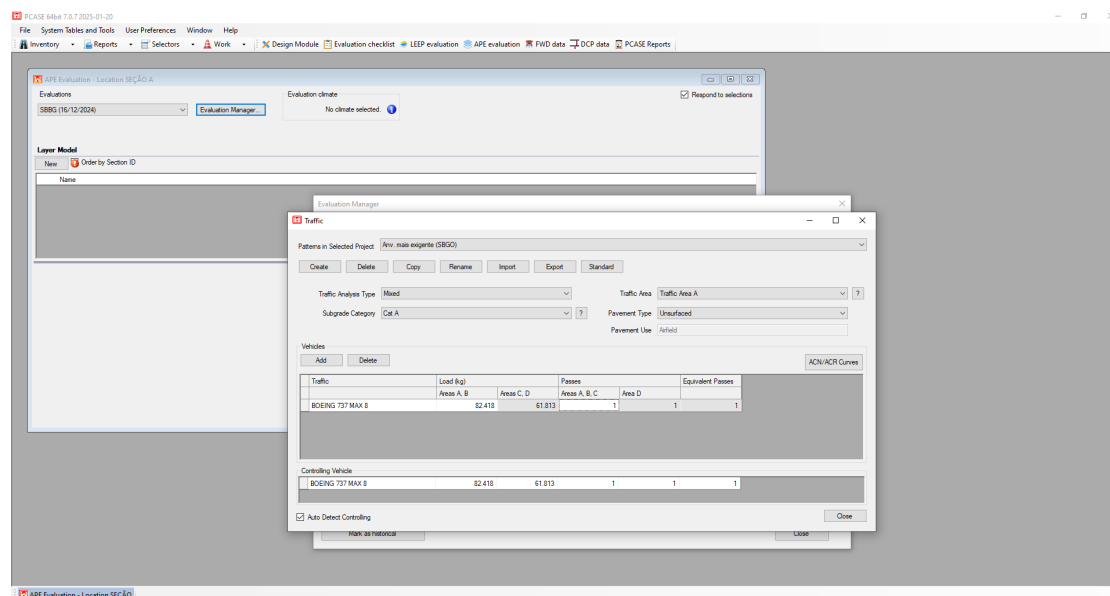


Figura 9 – Inserindo o número de passagens na área não pavimentada no módulo APE do PCASE.

Fonte: autor.

MÓDULO APE – DEFININDO O CRITÉRIO DE FALHA

Ao que parece, o critério de falha usado na tela mostrada na figura 10 diz respeito a elementos rígidos no pavimento ou na faixa preparada. Na maioria das vezes, esse item não será relevante para a avaliação dos elementos como faixa preparada e RESA, pois grande parte dos aeroportos brasileiros não dispõe de camadas rígidas nessas áreas. Caso haja, recomenda-se o uso da opção "complete failure".

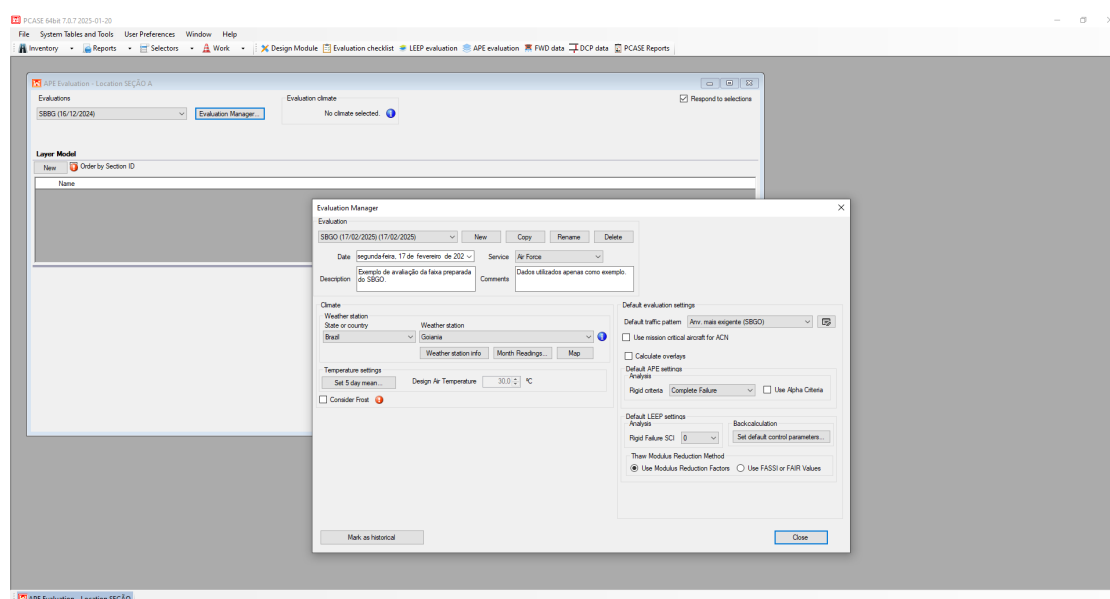


Figura 10 – Inserindo o número de passagens na área não pavimentada no módulo APE do PCASE.

Fonte: autor.

MÓDULO APE – CRIANDO OS ELEMENTOS DE AVALIAÇÃO

A seguir, na figura 11, mostra-se a criação do elemento de infraestrutura a ser avaliado. Como exemplo, será criado o elemento “FP-Lado Direito-SBGO”. Se houvesse avaliação de RESAs, também poderiam ser adicionadas.

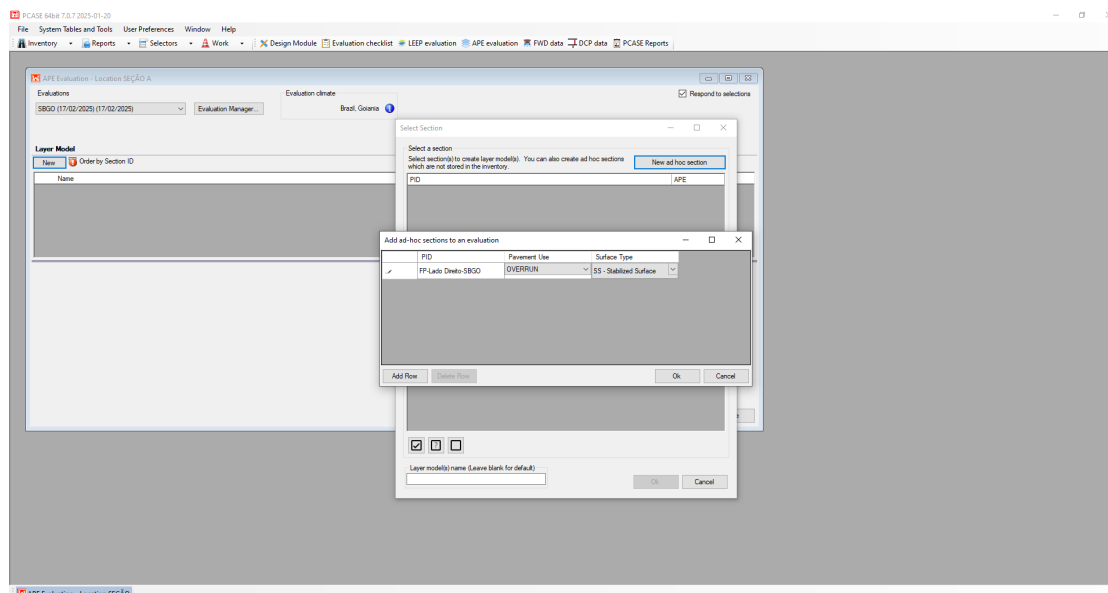


Figura 11 – Inserindo os elementos de avaliação não pavimentados no módulo APE do PCASE.

Fonte: autor.

MÓDULO APE – INSERINDO O MATERIAL DAS CAMADAS E OUTROS DADOS GEOTÉCNICOS

Para que a avaliação da capacidade de suporte seja realizada, faz-se necessário informar no PCASE as camadas do elemento de infraestrutura avaliado, ou seja, a faixa preparada ou a RESA.

Nessa parte, deverá ser informado o tipo de material do subleito, que no caso do PCASE são 5 (cinco):

- 1) Solo coesivo (corte) – *cohesive cut*;
- 2) Solo coesivo (aterro) – *cohesive fill*;
- 3) Solo não coesivo (corte) – *cohesiveless cut*;
- 4) Solo não coesivo (aterro) – *cohesiveless fill*; e
- 5) Areia – *sand*.

Para esse exemplo, será admitido que o subleito seja caracterizado por aterro de solo coesivo e que a camada superior seja de solo arenoso. Será admitido CBR de 15% para o subleito e de 12% para a camada de solo arenoso.

Acima do subleito, a análise admitirá que há, pelo menos, 20 cm de solo arenoso. A figura 12 ilustra a situação.

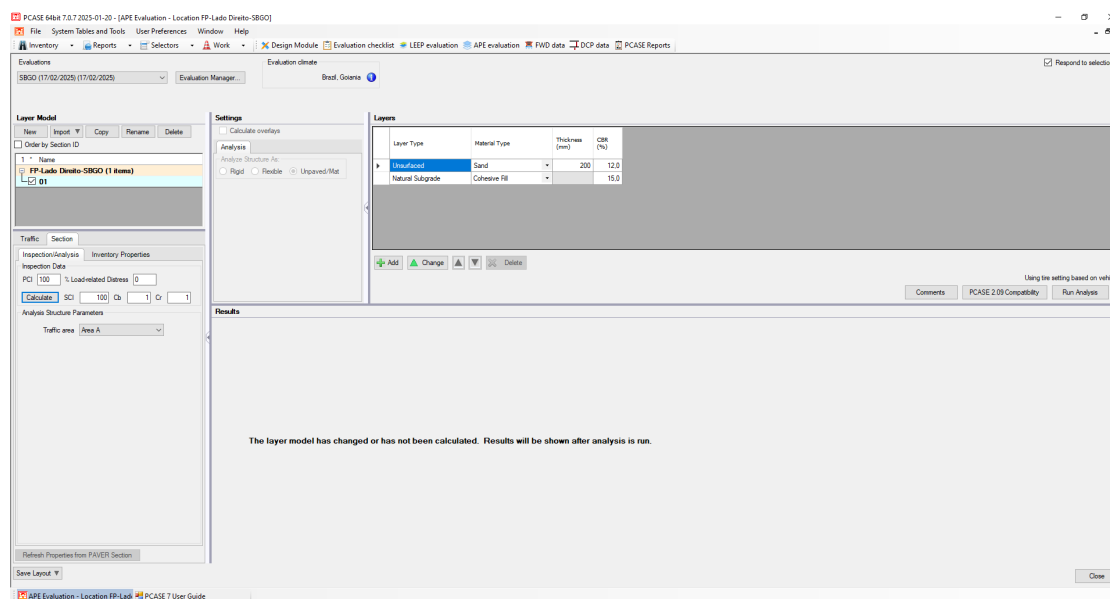


Figura 12 – Inserindo as camadas de solo, as espessuras e o CBR do subleito no módulo APE do PCASE.

Fonte: autor.

MÓDULO APE – VERIFICANDO OS RESULTADOS DA ANÁLISE

Para que a análise ocorra, é preciso clicar em “calcular” na área mencionada na figura 13, mostrada a seguir. Essa informação diz respeito às variáveis PCI, SCI, Cb e Cr. PCI e SCI são parâmetros funcionais e estruturais, respectivamente, de áreas pavimentadas. Desse modo, os valores nesses campos não influenciarão os resultados da análise. Caso não se clique em “calcular”, o *software* não rodará a análise.

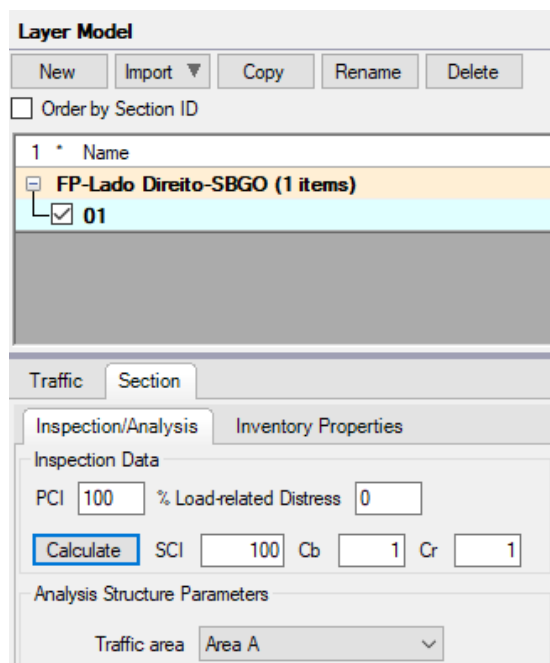


Figura 13 – Clique em “Calculate, em “Inspection/Analysis”, no módulo APE do PCASE.

Fonte: autor.

Feito isso, o PCASE mostra o quadro com os resultados da avaliação, conforme figura 14.

Layer Type	Material Type	Thickness (mm)	CBR (%)	Controlling Layer	Allowable Gross Load (kg)	Allowable Passes
Unsurfaced	Sand	200	12.0	<input checked="" type="checkbox"/>	10,108.48...	37,956.09...
Natural Subgrade	Cohesive Fill		15.0	<input type="checkbox"/>	3,153.052...	15,768.79...

Evaluation Load (kg)	Evaluation Passes	AGL (kg)	Allowable Passes
82,415	1	101,085	4

Figura 14 – Resultados de análise da faixa preparada rodada no módulo APE do PCASE.

Fonte: autor.

Percebe-se que a análise desse exemplo hipotético retornou número de passagens igual a 4, o que significa que a faixa preparada atende ao critério contido na [IS nº 154-002 – Revisão B](#).

Agrega-se à análise a comparação direta do AGL (kg) – *Allowable Gross Load* – com o *Evaluation Load* (kg). Como pode ser visto, o AGL, que é a carga bruta permitida no solo, é superior à massa da aeronave considerada. Assim, avalia-se que o requisito regulatório foi atendido.

Caso o resultado do AGL seja inferior ao do “*Evaluation Load*”, então o requisito da IS encontra-se não atendido, devendo ser providenciado o reforço necessário.

Caso a aeronave mais exigente no aeródromo fosse o Boeing 747-800, mantidas as configurações do exemplo, o resultado seria o exposto na figura 15.

Layer Type	Material Type	Thickness (mm)	CBR (%)	Controlling Layer	Allowable Gross Load (kg)	Allowable Passes
Unsurfaced	Sand	200	12.0	<input checked="" type="checkbox"/>	39,726.10...	60,375.35...
Natural Subgrade	Cohesive Fill		15.0	<input type="checkbox"/>	792.0679...	16,615.88...

Evaluation Load (kg)	Evaluation Passes	AGL (kg)	Allowable Passes
443,613	1	397,261	1

Figura 15 – Resultados de análise da faixa preparada considerando o Boeing 747-800 no PCASE.

Fonte: autor.

Percebe-se que o AGL é inferior ao “*Evaluation Load*”, que no caso é a carga da própria aeronave considerada. Dito de outra forma, o solo existente possui capacidade de suporte inferior à massa da aeronave, o que faz com que o critério de deformação no topo do subleito supere 3” (7,62 cm). Com isso, a faixa preparada irá falhar em eventual passagem do Boeing 747-800, não atendendo ao requisito da [IS nº 154-002 – Revisão B](#).

Extrapolando o exemplo, pode haver situações em que a capacidade de suporte do solo seja muito baixa e não resista aos esforços provenientes da aeronave considerada. Nesse sentido, conforme mostrado na figura 16, em que o valor do CBR do subleito foi reduzido para 5% e o do solo arenoso para 10%, o solo colapsaria diante de eventual passagem da aeronave considerada na análise.

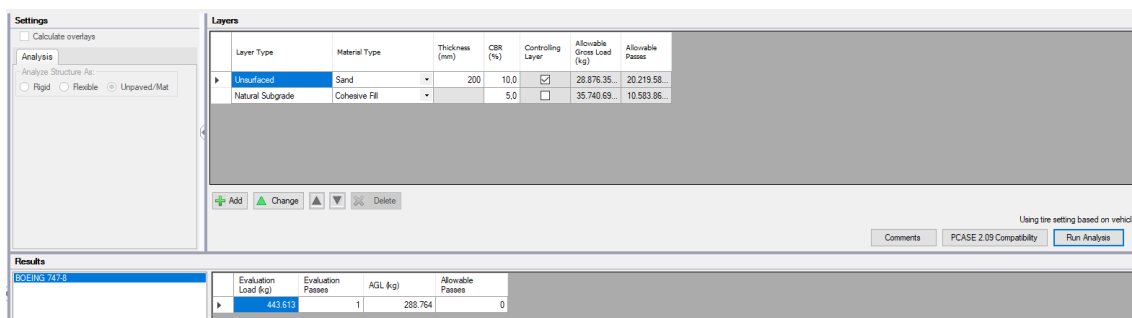


Figura 16 – Simulação mostra colapso da faixa preparada diante das variáveis expostas.

Fonte: autor.

Diante do exposto, os exemplos presentes neste Manual permitem aos operadores de aeródromos avaliar suas respectivas faixas preparadas e RESAs, de modo que ajustes possam ser feitos – caso necessário – para adequação aos requisitos regulatórios.

7. AVALIAÇÃO PRELIMINAR DA NECESSIDADE DE REFORÇO

Como demonstrado na seção anterior, há casos em que a faixa preparada ou as RESAs avaliadas não são capazes de suportar, pelo menos, 1 (uma) passagem da aeronave mais exigente no aeródromo. Nesse cenário, intervenções devem ser conduzidas pelo operador de aeródromo, de modo que a infraestrutura seja capaz de atender ao exigido pela regulação.

A ferramenta PCASE pode auxiliar o operador na correção dessas não conformidades. Considerando os resultados mostrados na figura 25, pergunta-se:

- Qual seria o CBR mínimo do subleito para que a faixa preparada permitisse, pelo menos, 1 (uma) passagem eventual do Boeing 747-800?
- Seria possível corrigir o problema melhorando o CBR apenas do solo arenoso?

A figura 17 retrata melhoria no CBR do subleito, passando de 5% para 15%. O resultado mostra que, ainda assim, essa melhoria não alterou a condição inicial.

Layer Type	Material Type	Thickness (mm)	CBR (%)	Controlling Layer	Allowable Gross Load (kg)	Allowable Passes
Unsurfaced	Sand	200	10.0	<input checked="" type="checkbox"/>	28 876.35	20 219.58
Natural Subgrade	Cohesive Fill		15.0	<input type="checkbox"/>	792 067.9	16 615.88

Evaluation Load (kg)	Evaluation Passes	AGL (kg)	Allowable Passes
443 613	1	288 764	0

Figura 17 – Simulação mostra que a melhoria na resistência do subleito ainda não é suficiente.

Fonte: autor.

Se houver melhoria também na capacidade de suporte do solo arenoso, passando de 10% para 15%, observa-se que seria possível a faixa preparada suportar 2 passagens do Boeing 747-800 (figura 18), o que responde ao primeiro questionamento feito anteriormente.

Layer Type	Material Type	Thickness (mm)	CBR (%)	Controlling Layer	Allowable Gross Load (kg)	Allowable Passes
Unsurfaced	Sand	200	15.0	<input checked="" type="checkbox"/>	5 124 434	23 031.36
Natural Subgrade	Cohesive Fill		15.0	<input type="checkbox"/>	792 067.9	16 615.88

Evaluation Load (kg)	Evaluation Passes	AGL (kg)	Allowable Passes
443 613	1	512 443	2

Figura 18 – Simulação da capacidade de suporte com melhoria eficiente da resistência do subleito.

Fonte: autor.

Importante notar que, nesse cenário, o aumento da espessura da camada de solo arenoso para 1 metro em nada impacta a capacidade de suporte da faixa preparada, permanecendo sem condições de suportar a passagem eventual do Boeing 747-800, conforme se vê na figura 19. Isso responde ao segundo questionamento feito anteriormente.

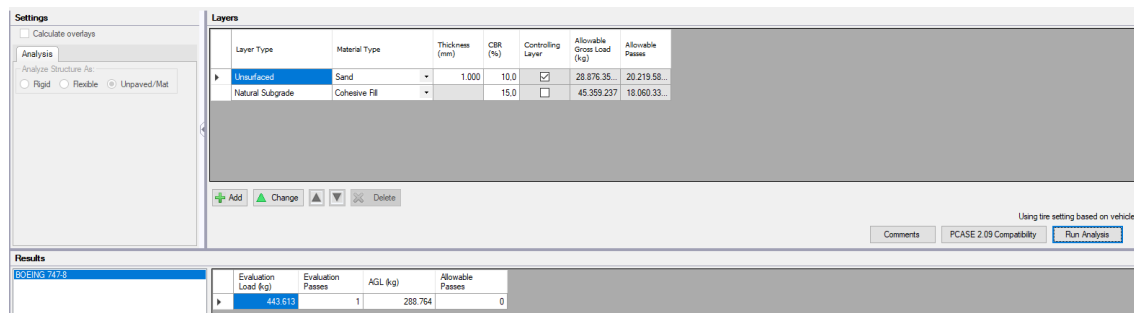


Figura 19 – Simulação da capacidade de suporte com aumento da espessura da camada arenosa.

Fonte: autor.

Também pode ser avaliada a construção de reforços e de novas camadas para melhorar a resistência do conjunto. Nesse sentido, cabe aos profissionais contratados pelos operadores de aeródromo avaliar a melhor solução para o caso concreto.

Destaca-se que o *software* PCASE é apenas uma ferramenta de cálculo, podendo existir outras soluções capazes de produzir os mesmos resultados com custo mais baixo. Caso determinado projeto de reforço não seja feito pelo PCASE (uso de outra técnica), recomenda-se que a avaliação da capacidade de suporte seja feita novamente no PCASE.

8. PRINCIPAIS NÃO CONFORMIDADES

A seguir, apresenta-se uma lista com as principais não conformidades identificadas nos relatórios encaminhados pelos operadores de aeródromos:

- Ausência de relatórios geotécnicos que fundamentem as variáveis utilizadas;
- Ausência de memória de cálculo (processo de análise);
- Dados inconsistentes entre ensaios e análise no *software*;
- Falta de *prints* das telas do *software*;
- Informações insuficientes sobre os 15 cm superficiais menos resistentes da faixa preparada ou das RESAs;
- Ausência de conclusão; e
- Ausência de ART.

9. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como já mencionado ao longo deste Manual, a avaliação de áreas de segurança não revestidas em aeródromos, a exemplo do que ocorre com áreas pavimentadas, não é algo estanque ou imutável. Nesse sentido, a avaliação da capacidade de suporte, tanto de áreas pavimentadas quanto de áreas não pavimentadas, está relacionada à infraestrutura existente e ao *mix* em operação no aeródromo.

Nos casos em que o operador de aeródromo necessite realizar intervenções significativas na faixa preparada ou nas RESAs para adequação da capacidade de suporte, novo relatório deverá ser providenciado e encaminhado ao órgão regulador, visando comprovar a conformidade da capacidade de suporte à regulação vigente.

Em linha com o exposto, caso ocorra modificação na aeronave mais exigente do aeródromo, nova avaliação da faixa preparada pode ser necessária. Esse assunto deve ser visto com atenção, principalmente nos aeródromos em que, sabidamente, apresentam deficiências na capacidade de suporte das áreas não pavimentadas.

10. NOTA

Este Manual contém *hyperlinks* que direcionam o leitor para as páginas da *Web* citadas no texto. Eventualmente, um ou outro *link* poderá deixar de funcionar, principalmente em função de mudança de endereço, exclusão da página ou outros fatores. Recomenda-se, nesses casos, a busca manual da informação pretendida.

A versão do *software* PCASE utilizada nas simulações deste Manual é a 7.0.7.2025-01-20. Outras versões poderão ser lançadas posteriormente, podendo alterar as telas (*prints*) com as informações usadas aqui como referência. No entanto, a partir dos princípios compartilhados ao longo deste Manual, é provável que o operador de aeródromo consiga – mesmo com alteração na versão do *software* – realizar os procedimentos de cálculo de acordo com as orientações aqui contidas.

11. REFERÊNCIAS

- Agência Nacional de Aviação Civil. (2024). *Regulamento Brasileiro da Aviação Civil n° 153*.
- Agência Nacional de Aviação Civil. (2024). *Regulamento Brasileiro da Aviação Civil n° 154*.
- Agência Nacional de Aviação Civil. (2024). *IS n° 154.002 – Revisão B*.

ANEXO I - BENEFÍCIOS ASSOCIADOS ÀS ÁREAS NÃO PAVIMENTADAS

As áreas não pavimentadas – geralmente gramadas em aeródromos – como nos casos da faixa de pista, da faixa preparada ou da RESA, contribuem com a segurança operacional de forma primária ou secundária.

Primariamente, a faixa preparada e as RESAs devem ser capazes de suportar, pelo menos, 1 (uma) passagem da aeronave mais exigente em operação no aeródromo. De forma secundária, alguns pontos merecem destaque, a saber:

A) ABSORÇÃO DE IMPACTO

O solo ou a grama ajudam a reduzir a velocidade da aeronave em caso de saída da pista, minimizando danos estruturais.

B) CUSTO DE MANUTENÇÃO

Superfícies pavimentadas exigem manutenção frequente devido a trincas, rachaduras e deteriorações causadas por clima e impactos.

C) DRENAGEM NATURAL

Áreas gramadas facilitam a drenagem da água da chuva, reduzindo o risco de acúmulo de água na pista principal.

D) MENOR RISCO DE FOD (*FOREIGN OBJECT DEBRIS*)

Pavimentos podem gerar fragmentos soltos que representam perigo para os motores das aeronaves.

Como se nota, além da função primária da faixa preparada e das RESAs, que é a de suportar, pelo menos, 1 (uma) passagem da aeronave mais exigente em operação no aeródromo, esses elementos de infraestrutura também possuem função secundária, como as mencionadas nos itens anteriores.

Ainda que a faixa preparada e as RESAs sejam, tradicionalmente, áreas não revestidas em aeródromos, em casos excepcionais, poderia ser estudada a pavimentação para garantir estabilidade. Tal cenário é, como já dito, exceção, e não regra. A grama continua sendo a escolha mais comum devido aos benefícios operacionais e de segurança que ela proporciona.

ANEXO II - AVALIAÇÃO ESTRUTURAL DE ÁREAS NÃO PAVIMENTADAS

A avaliação da capacidade de suporte de áreas não pavimentadas, tais como faixa preparada e RESA consiste em verificar se a capacidade da infraestrutura existente é suficiente para receber passagem de aeronave que eventualmente saia da pista de pouso e decolagem.

Com isso em vista, entende-se que deve ser feita a avaliação da capacidade de suporte nos seguintes casos:

- a) Após a construção da faixa preparada ou das RESAs;
- b) Após intervenções na estrutura (reforços, cortes ou aterros em áreas de extensão significativa); e
- c) Quando houver mudança na aeronave mais exigente do aeródromo.

A partir desses princípios, o operador de aeródromo poderá conduzir processos e estabelecer sistemática que permita a avaliação estrutural das áreas não pavimentadas, uma vez que a análise não é estanque e depende de variáveis externas como, por exemplo, as aeronaves que operam no aeródromo.

Nesse sentido, este Manual não pretende ser guia para avaliação e solução de todas as problemáticas passíveis de existir na faixa preparada ou nas RESAs, mas de ser capaz de apresentar método de avaliação da capacidade de suporte dessas áreas aceito por este órgão regulador.

A [IS nº 154.002 – Revisão B](#) estabelece o que se mostra a seguir.

6.5.6. [FC 154.207(g)] – A faixa preparada deve ser projetada para suportar, pelo menos, 1 (uma) passagem da aeronave mais exigente do mix de aeronave do aeródromo.

6.5.6.1. Nos primeiros 15 cm a partir da superfície, o solo deve ter uma resistência menor para favorecer a desaceleração da aeronave.

6.5.7 [Recomendação 154.207(g)] – A superfície da faixa preparada deve ter cobertura de grama.

(...)

6.6.4. [FC 154.209(f)(1)] – A RESA deve ser projetada para suportar, pelo menos, 1 (uma) passagem da aeronave mais exigente do mix de aeronaves do aeródromo.

6.6.4.1. Nos primeiros 15 cm a partir da superfície, o solo deve ter uma resistência menor para favorecer a desaceleração da aeronave.

Assim, espera-se que os relatórios técnicos apresentados pelo operador de aeródromo sejam capazes de responder a duas perguntas:

- 1) A faixa preparada ou a RESA é capaz de suportar quantas passagens da aeronave mais exigente no aeródromo?
- 2) Os 15 (quinze) centímetros superficiais da faixa preparada (abaixo da camada vegetal) possuem resistência menor?

A resposta ao primeiro questionamento precisa ser maior ou igual a 1 (um). No tocante ao segundo questionamento, algumas dúvidas podem surgir, tais como:

... possuir resistência menor que o quê?

Entende-se que essa resistência menor deve ser uma comparação em relação à camada subjacente aos 15 cm. Assim, a camada de 15 cm abaixo da cobertura vegetal (se existir) deve possuir resistência (CBR) menor que a(s) camada(s) que vem (vêm) em seguida, ou seja, na direção do topo para o subleito.

Na Figura 20, pode-se ver dois gráficos. O da esquerda mostra a tensão vertical no meio de uma roda do trem de pouso principal de uma aeronave em função da profundidade, e o da direita, as deformações – horizontal e vertical – em função da profundidade.

Os gráficos foram gerados pelo *software* MeDiNa (Método de Dimensionamento Nacional), inicialmente desenvolvido pelo Instituto de Pesquisas Rodoviárias do DNIT (IPR/DNIT) e pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (COPPE) para uso em pavimentos rodoviários. No entanto, a ferramenta dispõe de módulo específico, denominado AEMC, desenvolvido posteriormente para avaliações considerando aeronaves.

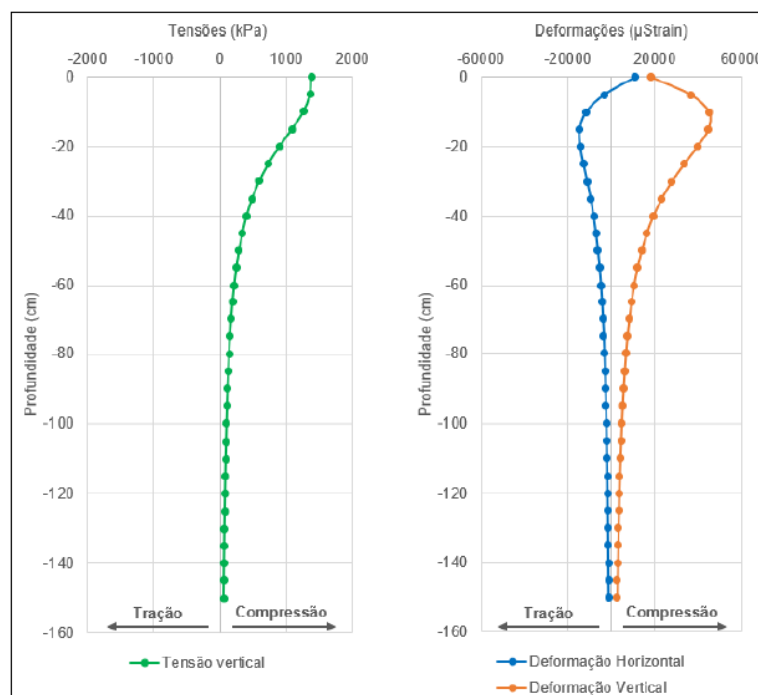


Figura 20 – Tensões e deformações em função da profundidade.

Fonte: Software MeDiNa.

Dos gráficos anteriores, nota-se que a tensão vertical diminui com a profundidade. Além disso, observa-se que a tensão é do tipo compressão, em decorrência da pressão exercida pela roda da aeronave no solo. Agrega-se a esse comentário o fato de que a tensão vertical, no caso em tela, começa a ficar pequena a partir dos 60 cm ou 80 cm de profundidade.

Também pode-se observar que a deformação horizontal é negativa (expansão lateral), ao passo que a deformação vertical é positiva (compressão). Nesse caso, a deformação horizontal reduz bastante entre 60 cm e 80 cm de profundidade, ao passo que a deformação vertical reduz bastante entre 80 cm e 1,00 m de profundidade.

Com o avanço da profundidade, a resistência do solo aumenta (CBR). Assim, a partir de certa profundidade, a carga da aeronave no topo da superfície é quase totalmente absorvida pelas camadas superiores.

Vale comentar que solos são materiais complexos, que podem se comportar de forma diferente diante de várias situações, principalmente na presença de água. A resposta dos materiais (solos) às cargas não necessariamente seguirá o padrão acima. A ideia aqui é apresentar um exemplo de como isso pode ser avaliado, de modo que, compreendidos os princípios, os interessados no tema possam adaptá-los às respectivas realidades.

As razões pelas quais, na maioria das vezes, a resistência do solo aumenta em função da profundidade são expostas a seguir:

a) Compactação natural

À medida que o tempo passa, as camadas mais profundas do solo são compactadas pelo peso das camadas superiores, aumentando sua resistência.

b) Menor influência da matéria orgânica

É fácil compreender que superfícies rasas tendem a ter mais matéria orgânica, que pode reduzir a coesão e a resistência do solo.

c) Pressão de confinamento

Sabe-se que, quanto maior a profundidade, maior a pressão exercida pelas camadas acima, o que pode aumentar a resistência do solo. Diferentemente da compactação natural, que ocorre ao longo do tempo, a pressão de confinamento é um efeito direto da profundidade.

d) Alteração nos tipos de solo

Os solos variam nas diversas regiões do Brasil. Em alguns locais, os solos superficiais podem ser menos resistentes, enquanto camadas mais profundas podem conter solos mais densos, como argilas compactas ou rochas alteradas.

Há casos, no entanto, em que as camadas mais profundas do solo podem ser menos resistentes. Isso pode decorrer de alguns fatores, tais como:

a) Camadas de argila mole ou orgânica

Em algumas regiões, pode haver depósitos profundos de argila mole ou solos orgânicos, que podem manter alta umidade e possuir baixa capacidade de suporte.

b) Solo residual sobre rocha alterada

Determinadas formações geológicas possuem a camada superficial constituída de solo residual mais denso e resistente, enquanto as camadas mais profundas podem conter rochas intemperizadas, ou seja, alteradas, com menor resistência.

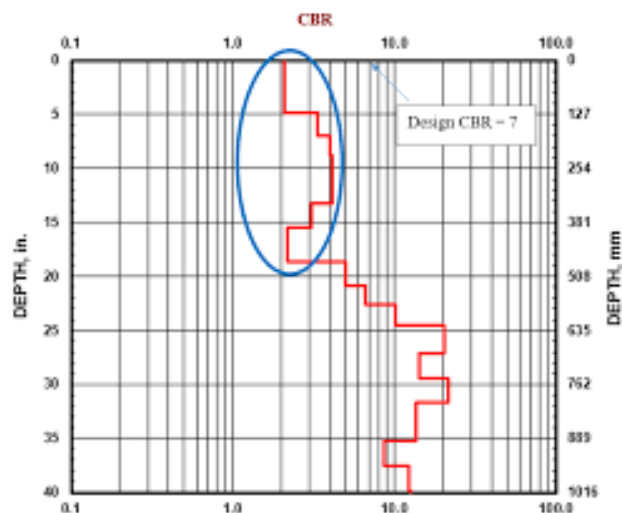
c) Camadas de solo saturado

Na presença de lençol freático elevado, as camadas profundas podem estar saturadas de água, reduzindo sua resistência ao cisalhamento, especialmente em solos arenosos.

d) Presença de cavidades ou materiais solúveis

Há um tipo de terreno em que o solo e as rochas subterrâneas foram dissolvidos pela ação da água ao longo do tempo, formando cavernas, depressões no solo, sumidouros e rios subterrâneos. Geralmente estão associados a rochas solúveis, como gesso, calcário e dolomita, sendo conhecidos como terrenos cársticos. Nesse tipo de solo, podem existir vazios subterrâneos devido à dissolução de rochas calcárias, tornando algumas camadas menos estáveis.

A partir do exposto, pode-se ver que os gráficos mostrados na figura 20 podem variar de solo para solo. Em paralelo, a figura 21 apresenta dois estudos da variação da resistência (CBR) em função da profundidade.



(a)

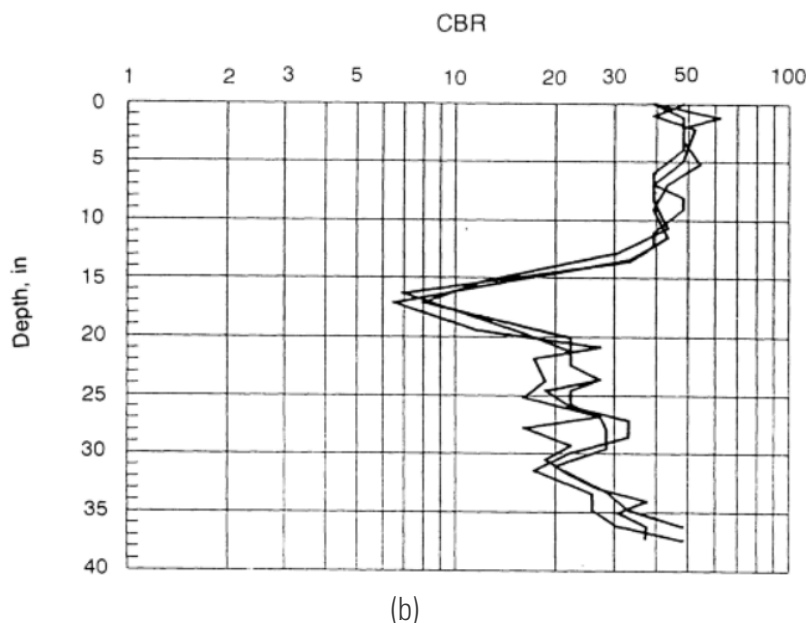


Figura 21 – Variação da resistência (CBR) em função da profundidade.

Fonte: *Ohio Department of Transportation*.

Nota-se que, no primeiro gráfico da figura 21, os valores de CBR tendem a ser maiores à medida que a profundidade avança. Já no segundo gráfico, essa resistência é significativamente menor na camada intermediária, mostrando as diferenças encontradas em situações práticas de campo.

Voltando à questão de a camada dos 15 cm abaixo da camada vegetal possuir resistência inferior à camada subjacente, percebe-se que, naturalmente, esse processo tende a ocorrer, uma vez que a camada superficial é uma camada mais fofa, mais cheia de matéria orgânica, menos compactada e com menor pressão de confinamento.

No entanto, reiteradas passagens de veículos, como por exemplo veículos operacionais e de corte de grama, tendem a compactar também essas camadas superiores, efeito que pode variar de aeroporto para aeroporto. Além disso, se o processo de construção da faixa preparada ou RESA envolveu cortes ao invés de aterros, há mais chance de as camadas superiores estarem mais compactadas do que estariam em um processo de aterro.

Dito de outra forma, no caso de cortes, o solo original geralmente já passou por um processo natural de adensamento ao longo do tempo, resultando em maior resistência, ao passo que, no caso de aterros, a resistência irá depender fortemente do grau de compactação e da umidade do material utilizado.

Tendo isso em vista, este órgão regulador avalia que o estudo da faixa preparada deve abranger a profundidade que o profissional responsável julgar tecnicamente necessário, estando, no geral, compreendida entre 0,80 m e 1,30 metros.

Para avaliar se os 15 cm abaixo da camada vegetal possuem, de fato, menor resistência que as camadas inferiores, orienta-se que a resistência (CBR) obtida a 15 cm de profundidade abaixo da camada vegetal seja inferior ao CBR médio do restante da profundidade investigada, o que geralmente varia entre 0,80 m e 1,30 metros de profundidade, conforme mencionado no parágrafo anterior. Nota-se que essa referência é apenas uma tentativa de padronização dos relatórios enviados pelos operadores de aeródromos. A figura 22 ilustra o exposto.



Figura 22 – Camadas investigadas e avaliação das resistências (CBR).

Fonte: autor.

Diante disso, nos casos em que o CBR médio das camadas inferiores à camada de 15 cm menos resistente for inferior ao CBR daquela camada (ver figura 22), o operador de aeródromo poderá avaliar a situação de forma mais profunda. No limite, pode-se identificar, de forma antecipada, situações conhecidas como “casca de ovo”, em que a resistência das camadas inferiores é significativamente menor que a resistência da camada superior.

No gráfico 21 (b), há indícios de a camada superior ter sido compactada artificialmente, fazendo com que adquirisse resistência maior que as camadas mais profundas. No entanto, isso pode não ser problema, a depender da carga que transita na superfície. Portanto, uma avaliação caso a caso merece ser conduzida pelo operador de aeródromo.

Explorando um pouco mais a questão, se as camadas superficiais apresentarem maior resistência que as camadas mais profundas, alguns problemas poderão surgir, a saber:

a) Recalque diferencial

Se a camada superficial for mais rígida e a subjacente for mais frágil, pode ocorrer afundamento irregular ao longo do tempo devido à compressão do solo mais fraco. Isso pode ser crítico em aeroportos, pois diferenças de nivelamento podem comprometer a segurança. Naturalmente, a questão é mais crítica em pistas de pouso e decolagem, mas pode comprometer o nivelamento da faixa preparada, a depender da extensão do problema.

b) Ruptura por cisalhamento

Resistência menor em camadas subjacentes pode causar falha por cisalhamento quando cargas elevadas são aplicadas na superfície. Em áreas não pavimentadas, isso pode provocar afundamentos localizados.

c) Acúmulo de água e bombeamento

Quanto a essa questão, nos casos em que a camada superior for mais compactada e menos permeável que a inferior, pode haver acúmulo de água na interface das camadas. Com isso, diversas passagens de veículos, como veículos operacionais, de combate a incêndio, de corte de grama, poderão ocasionar bombeamentos de finos, em que partículas de solo são arrastadas para cima (migração ascendente de partículas finas), resultando em erosão interna e perda da capacidade de suporte.

d) Dificuldade na compactação e estabilização

Se o solo mais frágil estiver abaixo da camada compactada, reforços podem ser necessários para evitar recalques futuros. Assim, tal situação poderá exigir remoção e substituição do material, compactação reforçada ou tratamentos com adição de cimento e cal.

Ao investigar a situação encontrada de forma mais profunda, o operador de aeródromo poderá avaliar algumas soluções. As mais frequentes consistem em investigar a profundidade crítica, adicionar camadas de reforço e melhorar o solo subjacente.

O exposto até aqui permite que o operador de aeródromo seja capaz de responder às duas perguntas apresentadas anteriormente nessa seção, ou seja:

- 1) A faixa preparada ou a RESA é capaz de suportar quantos passagens da aeronave mais exigente no aeródromo?
- 1) Os 15 (quinze) centímetros superficiais da faixa preparada (abaixo da camada vegetal) possuem resistência menor?

ANEXO III - AVALIAÇÃO FUNCIONAL DE ÁREAS NÃO PAVIMENTADAS

As áreas não pavimentadas, geralmente gramadas, devem ser mantidas conforme projetadas, de modo a manterem a sua funcionalidade. Sabe-se que diversos veículos transitam por essas áreas, como veículos de combate a incêndio, veículos usados pela equipe de manutenção, áreas verdes, operações, engenharia etc. Eles precisam transitar por essas áreas para acessarem locais específicos ou, até mesmo, livrarem a pista de pouso e decolagem quando solicitado pela Torre de Controle. Esta realidade é inerente a grandes aeroportos.

Diante disso, com o tempo, a passagem desses veículos pode produzir irregularidades na superfície, alterar declividades, provocar erosões ou outras distorções na concepção original dessas áreas. Assim, o operador de aeródromo deve se atentar para tais questões, pois essas áreas são maiores que a própria pista de pouso e decolagem, o que demonstra que a manutenção requer equipe (pessoas), recursos financeiros e planejamento adequado.

Merece destaque o corte da grama, pois, principalmente em períodos de chuva, costuma crescer rápido, o que pode comprometer a visibilidade de placas (sinalização vertical) e até mesmo do balizamento (luzes). Elementos de drenagem podem ser afetados, atraindo animais que se beneficiam da grama alta e comprometendo a segurança das operações. O [RBAC nº 153](#) traz requisitos que visam a manutenção dessas áreas.

Pragas, como cupins de solo, podem produzir morrotes, conhecidos como cupinzeiros, que podem consistir em obstáculos, não só à eventual passagem de aeronaves, mas, no limite, à passagem de veículos que necessitam adentrar aquelas áreas. A figura 23 ilustra o exposto.



Figura 23 – Morrotes produzidos por cupins.

Fonte: autor.

Já a figura 24 mostra a questão da altura da grama das áreas não pavimentadas em aeródromos, o que consiste em problema para a equipe de meio ambiente que precisa lidar, diariamente, com o tema.



Figura 24 – Vegetação alta na faixa preparada de aeródromos, o que se torna refúgio para pássaros.

Fonte: CENIPA/Comando da Aeronáutica.

Adicionalmente, e em linha com o exposto, o Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos – CENIPA, do Comando da Aeronáutica, publicou, em sua página na internet, informações relevantes sobre o tema.

Para ver, acesse aqui: <https://www2.fab.mil.br/cenipa/index.php/ultimas-noticias/1131-a-cobertura-vegetal-e-a-reducao-da-presenca-de-fauna-em-aeroportos>.

ANEXO IV - TÉCNICAS DE PLANTIO DA GRAMA

Tanto a faixa preparada quanto a RESA são, usualmente, áreas não pavimentadas, geralmente revestidas por grama, plantadas por:

- a) Hidrossemeadura
- b) lançamento de sementes
- c) placas de grama (tapetes)
- d) plantio por plugs ou mudas
- e) Estolões ou rizomas.

Essas cinco formas de realizar o plantio da grama podem ser detalhadas como se segue.

A) HIDROSSEMEADURA

Trata-se de técnica que usa mistura de sementes, fertilizantes, mulch (palha ou celulose) e água, aplicada por aspersão. Costuma ser indicada para áreas grandes, terrenos inclinados e locais com risco de erosão. É um método rápido e eficiente, porém exige controle de umidade nos primeiros dias. A figura 25 ilustra o processo.



Figura 25 – Hidrossemeadura em talude.

Fonte: Revista Campos e Negócios.

B) PLANTIO POR SEMENTES

Consiste em espalhar as sementes diretamente no solo preparado. É tido como o método mais barato, mas exige mais tempo para a grama crescer e maior controle de erosão. É útil em grandes áreas, onde o custo precisa ser reduzido. A figura 26 ilustra o processo.



Figura 26 – Plantio de grama por sementes.

C) PLANTIO POR PLACAS DE GRAMA (TAPETES)

Por meio desse processo, placas de grama já crescidas são instaladas sobre o solo preparado. Entretanto, a execução do plantio de toda a área tende a demandar mais tempo, em comparação a outros métodos, apresentando custo mais elevado. É indicado para locais que exigem cobertura imediata (figura 27).



Figura 27 – Plantio de grama por meio de placas.

D) PLANTIO POR *PLUGS* OU MUDAS

Já nesse sistema, pequenos tufos de grama são plantados em espaçamentos regulares no solo. É um método econômico, mas também é demorado para se ter a área totalmente gramada. Em geral, é usado para recuperar áreas danificadas ou economizar sementes em solos férteis (figura 28).



Figura 28 – Mudas de grama.

E) ESTOLÕES OU RIZOMAS

Aqui, pequenos pedaços de raízes ou caules subterrâneos são espalhados sobre o solo. Técnica comum para gramas do tipo Bermuda e Zoysia, muito usadas em aeroportos. Crescimento mais lento, mas eficiente para terrenos arenosos (figura 29).



Figura 29 – Rizomas de grama.

Como se observa, cada método de plantio de grama em áreas não pavimentadas possui aplicações específicas, determinadas pelo tempo disponível para implantação, pelo orçamento e pelas características do solo. Em aeródromos, os métodos mais utilizados são a **hidrossemeadura** e o **plantio por sementes**, por permitirem a cobertura eficiente de grandes áreas.

ANEXO V - TERRAPLENAGEM EM AERÓDROMOS

O processo de terraplanagem em aeródromos envolve várias etapas, o que pode incluir cortes e aterros. Isso é necessário para que o terreno esteja nivelado e adequado para a construção da pista de pouso e decolagem, das pistas de táxi, dos pátios e de outras infraestruturas, como a faixa preparada e as RESAs. Dessa forma, a terraplenagem é importante porque proporciona solo estável e drenagem eficiente, contribuindo com a segurança operacional.

Antes de iniciar a terraplenagem em um aeródromo, faz-se necessário seguir alguns passos, a saber:

1) LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO E ESTUDOS DO SOLO

Envolve o mapeamento do relevo e características geotécnicas do solo. É nessa etapa em que se levanta áreas em que será preciso cortar ou aterrar, bem como a necessidade de drenagem e compactação.

2) LIMPEZA E DESMATAMENTO

A remoção de vegetação, pedras e obstáculos do terreno é parte inerente a essa etapa. A limpeza busca remover raízes de tocos de árvores para evitar problemas futuros, processo conhecido como destoca.

3) CORTE E ATERRO

Corte é a remoção de excesso de solo em áreas mais altas para nivelamento, enquanto o aterro é o preenchimento de áreas mais baixas com material proveniente do corte ou de locais externos. Dito de outra forma, o material que é retirado das áreas de corte é lançado nas áreas destinadas aos aterros. O excedente do corte é retirado da área de trabalho e, caso o volume de corte seja menor que o volume de aterro necessário, deve-se buscar o material em sítios externos. Destaca-se que, no caso de aterros, o solo necessita ser compactado em camadas para garantir estabilidade e evitar recalques.



Figura 30 – Terraplanagem para construção de RESA no aeroporto de Araguaína/TO.

Fonte: Prefeitura de Araguaína/TO.

4) COMPACTAÇÃO E NIVELAMENTO

No processo de compactação e nivelamento, usam-se rolos compactadores para alcançar a densidade ideal do solo. Se a compactação for destinada a área pavimentada, é comum a compactação de camadas de material granular, como a brita, para reforçar a base. A qualidade do serviço executado pode ser conferida por meio de ensaios do CBR e do Proctor modificado.



Figura 31 – Terraplanagem para construção do Terminal de Passageiros 3 do Aeroporto Internacional de Guarulhos/SP.

Fonte: <https://www.flickr.com/photos/pacgov/8389687658/in/photostream/>

5) DRENAGEM

Após a compactação e o nivelamento, é a vez da construção das valetas, canaletas e tubos de drenagem para evitar acúmulo de água. O sistema de drenagem pode ser superficial ou subterrâneo, conhecido como drenagem profunda.



Figura 32 – Canal de macrodrenagem com geocélula e geotêxtil no Aeroporto Internacional de Guarulhos/SP.

Fonte: Portal AECweb.

6) ESTABILIZAÇÃO DO SOLO (CASO NECESSÁRIO)

Em alguns casos, quando o solo trabalhado possuir deficiências que impeçam a manutenção da estrutura original projetada, como no caso de elevação de água pelo lençol freático, terrenos naturalmente úmidos ou solos naturalmente com baixa capacidade de carga, pode-se melhorar essas questões por meio da estabilização do solo. Para isso, utilizam-se cal, cimento ou outros aditivos para melhorar a resistência. O uso de geomantas ou geotêxteis para evitar erosão também pode ser considerado pelo projetista.

7) PREPARAÇÃO DA BASE PARA PAVIMENTAÇÃO OU PLANTIO DA FAIXA PREPARADA

Envolve a parte final do processo de terraplenagem, que consiste na preparação da estrutura para a execução das camadas de sub-base, base e revestimento, no caso da construção de uma pista de pouso e decolagem. Já no caso de terraplenagem para faixas preparadas, deve-se proceder com o plantio da vegetação por semente, hidrossemeadura ou placas de grama, já abordados no item 3 deste Manual.

Considerando os pontos acima, nota-se que o serviço de terraplenagem é atividade importante no desenvolvimento de aeródromos. A não observância desses princípios e técnicas pode provocar recalques e rachaduras em áreas pavimentadas, prejudicar a drenagem e acarretar erosões no solo.

Problemas também poderão ser observados nas áreas não pavimentadas, afetando a capacidade de suporte, a declividade, proporcionando atração de pássaros e até mesmo adicionando risco às operações no aeródromo.

