

---

## COMPARAÇÃO ENTRE OS SISTEMAS DE CLASSIFICAÇÃO DE RESISTÊNCIA DE PAVIMENTOS AEROPORTUÁRIOS ACN-PCN E ACR-PCR

Rafael Marques Alves, Cláudia Azevedo Pereira, José Antônio Schiavon.  
Instituto Tecnológico de Aeronáutica, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Infraestrutura Aeronáutica.

[rafael.alves@ita.ga.br](mailto:rafael.alves@ita.ga.br), [claudia.azevedo@ita.br](mailto:claudia.azevedo@ita.br), [schiavon@ita.br](mailto:schiavon@ita.br)

---

**PAPER ID: SIT206**

### RESUMO

O presente trabalho apresenta a comparação entre os índices de resistência de pavimentos aeroportuários, *Aircraft Classification Number/Pavement Classification Number* (ACN/PCN) e *Aircraft Classification Rating/Pavement Classification Rating* (ACR/PCR). O primeiro, desenvolvido por um grupo de trabalho da ICAO, em 1977, e utilizado desde então, será totalmente substituído pelo ACR/PCR até 2024, quando todos os países signatários da ICAO devem ter suas estruturas de pavimento de aeroportos classificadas em termos desse novo índice. A utilidade de um índice de resistência de pavimentos aeroportuários é permitir ao operador adequar as cargas e frequências de operação ao pavimento daquele aeródromo, evitando o desgaste prematuro ou até mesmo o colapso em casos extremos. O método ACN/PCN para pavimentos flexíveis tem como base uma metodologia antiga de dimensionamento de pavimentos, que considera esforços de cisalhamento no topo do subleito, equivalência de materiais e carregamentos. Por sua vez, o ACR/PCR se baseia em modelos de dimensionamento atuais, que consideram a deformação no topo do subleito e as características mecânicas de cada material. Dessa forma, apesar das simplificações necessárias ao estabelecimento de um sistema de classificação de resistência, o ACR/PCR aproxima o índice de resistência das características de dimensionamento atuais. Assim, este trabalho faz uma análise comparativa entre os dois índices, através de quatro estudos de caso de pavimentos aeroportuário flexíveis.

**Keywords:** Pavimentos, Aeródromos, Resistência, ACN/PCN, ACR/PCR.

## 1. INTRODUÇÃO

Um índice de resistência de pavimentos aeroportuários é uma importante ferramenta dos operadores para a gestão de suas pistas de pouso, taxis e pátios. Ele permite ao operador conhecer não apenas as cargas limites para a operação de cada aeronave, mas também, avaliar a operação de aeronaves com sobrecarga, conhecendo o ônus dessas operações e avaliando seus efeitos na vida de serviço dos pavimentos. Desse modo, é possível gerir de forma eficiente suas estruturas de pavimento, unindo requisitos técnicos aos interesses comerciais e operacionais do aeroporto.

Este índice de resistência de pavimentos aeroportuários precisa ser simples e de fácil entendimento, de modo que seja aceito e amplamente utilizado por todos os países. Isso faz com que a tarefa de estabelecer tal índice seja complexa, e requer algumas simplificações.

Por mais que o índice de resistência seja o processo inverso do dimensionamento, ocorre que, um único índice numérico deve representar os diferentes arranjos de carga dos trens de pouso que incidem nos também diferentes tipos de estrutura de pavimento. O atual ACN/PCN realiza esse procedimento através do método de dimensionamento CBR, substituído quase totalmente pelos métodos de análise linear elástica que figuram nas atuais rotinas de dimensionamento de pavimentos aeroportuários (Fabre & Varus, 2019).

A utilização de métodos diferentes para o dimensionamento e para a obtenção do índice de resistência já mostra uma incompatibilidade entre as duas rotinas. Essa incompatibilidade é acentuada ainda mais por considerações, com respeito aos materiais de pavimentação, presentes no método do CBR.

Com a finalidade de compatibilizar os índices de resistência com os métodos de dimensionamento, a *International Civil Aviation Organization* (ICAO) estabeleceu para 2024, a completa substituição do atual ACN/PCN pelo ACR/PCR (ICAO, 2020).

O objetivo deste trabalho, é comparar os dois índices de classificação, para pavimentos flexíveis, através de quatro estudos de caso, com estruturas de pavimentos flexíveis de pistas de pouso e taxi, e os *mixes* de aeronaves que nelas operam. Os nomes e as localizações dos

aeródromos serão aqui omitidos por solicitação dos operadores que forneceram os dados.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. Antecessores

Os primeiros métodos de classificação de resistência de pavimentos aeroportuários faziam referência ao carregamento permitido em cada um dos lados do trem de pouso principal (Loizos et al, 2000). À época, havia em operação apenas aeronaves de rodas simples e duplas. A segunda guerra mundial impulsionou o desenvolvimento da indústria aeronáutica, o que levou ao surgimento de aeronaves mais pesadas, e de trens de pouso mais complexos. Então, em 1965 a ICAO estabeleceu o *Load Classification Number* (LCN) como novo índice de classificação de resistência de pavimentos aeroportuários (Loizos & Charonitis, 2004). Aeronaves ainda mais pesadas e com diferentes distribuições de cargas eram desenvolvidas e, em 1977, a ICAO formou um grupo de estudos para o desenvolvimento do método ACN/PCN, que apresentou grandes vantagens sobre seu antecessor LCN (Loizos & Charonites, 2004).

### 2.2. ACN/PCN

De acordo com a definição da ICAO, o ACN é o número que expressa o efeito relativo de uma aeronave em um pavimento de determinada resistência de subleito. Por sua vez, o PCN é o número que representa a resistência do pavimento para operações irrestritas de uma aeronave de ACN menor ou igual ao PCN (ICAO, 1983).

Estabelecer um índice de resistência numérico simples e direto, diante de tantas variações de trens de pouso, e diferentes materiais e espessuras nas estruturas de pavimento, exige simplificações de ambos os lados desse equacionamento (carregamentos e estruturas de pavimento). Os diferentes tipos de trens de pouso são representados por carregamentos simples e os diferentes tipos de materiais de pavimentação são comparados por meio de fatores de equivalência (FAA, 2014).

Utilizando essas simplificações, o método ACN/PCN permite, através de um índice numérico, avaliar o peso permitido para que uma

aeronave opere em determinado pavimento. Uma estrutura de pavimento é dimensionada para o trem de pouso de cada aeronave e, em seguida, calcula-se a carga de roda simples que gere a mesma tensão de cisalhamento à altura do topo do subleito, em comparação com as mesmas características do trem de pouso original. A esse carregamento dá-se o nome de carga de roda simples equivalente, que tem sua pressão de pneus fixada em 1,25 Mpa (ICAO, 1983).

Outra simplificação importante do método diz respeito à resistência do subleito. Os valores de ACN e PCN são, então, calculados para quatro níveis de resistência de subleito. Sendo estes, valores de referência para faixas de resistência conforme Tabela 1 adaptada da FAA (2014).

**Tabela 1: Faixas de resistência e seus valores de referência para o ACN/PCN.**

| Código | Resistência do subleito | CBR (%)               |            |
|--------|-------------------------|-----------------------|------------|
|        |                         | Faixas                | Referência |
| A      | Alta                    | $\text{CBR} \geq 13$  | 15         |
| B      | Média                   | $8 < \text{CBR} < 13$ | 10         |
| C      | Baixa                   | $4 < \text{CBR} < 8$  | 6          |
| D      | Ultra baixa             | $\text{CBR} \leq 4$   | 3          |

Cada aeronave possui quatro valores de ACN, calculados pelo dimensionamento de uma estrutura de pavimento tipo, para o seu peso máximo de operação, e distribuição de carga que gere o maior carregamento no trem de pouso principal da aeronave. Essa estrutura é dimensionada para 10.000 operações (ICAO, 1983).

Para o cálculo do PCN o que se tem são as estruturas de pavimento existentes, e o conjunto (*mix*) de aeronaves que operam ou irão operar naquele aeródromo. O subleito é representado pela resistência de referência, e a estrutura do pavimento é convertida na estrutura tipo. Em função dos pesos e frequência de operação das aeronaves, e da espessura de pavimento, resultado da conversão, é obtida a carga de roda simples que gera a mesma tensão de cisalhamento no topo do subleito, em comparação com o trem de pouso da aeronave (FAA, 2014).

Esse processo é realizado para cada uma das aeronaves do *mix*, e em seguida, através do *Cumulative Damage Factor* (CDF), as operações de todas as aeronaves são convertidas em

operações da aeronave crítica. O valor do PCN é a carga de roda simples equivalente da aeronave crítica, em  $\text{kg} \times 10^{-3}$ , e multiplicada por dois (FAA, 2014).

O ACN/PCN exige ainda um ajuste por meio dos chamados fatores *alpha*, que atenuam os efeitos dos trens de pouso complexos no desgaste das estruturas de pavimento (Hayhoe, 2006).

Além do índice numérico, os outros fatores que compõem a classificação ACN/PCN são: o comportamento mecânico do pavimento, rígido (R) ou flexível (F); a categoria de resistência do subleito; a pressão de pneus permitida; e a forma de obtenção do índice numérico, por observação (U) ou técnico (T), como foi aqui descrito (ICAO, 1983).

### 2.3. ACR/PCR

Com a finalidade de atualizar o método de classificação de resistência de pavimentos aeroportuários, ainda em 2009, a ICAO estabeleceu um grupo de trabalho para o desenvolvimento de um índice de classificação que fosse compatível com os métodos de dimensionamento amplamente utilizados, e superasse as questões como os fatores *alpha* e de equivalência de materiais. No entanto, apenas em 2020 o conselho da ICAO aprovou a emenda 15, que estabeleceu a completa substituição do ACN/PCN pelo ACR/PCR a partir do ano de 2024 (ICAO, 2020).

O ACR/PCR mantém a simplicidade de apresentação do ACN/PCN, com o código sendo composto pelos mesmos fatores: índice numérico, tipo de pavimento, categoria de resistência do subleito, pressão de pneus e forma de obtenção do índice (ICAO, 2022).

O índice numérico é também obtido a partir da carga de roda simples equivalente, no entanto, o modelo de cálculo não utiliza o CBR, mas o método racional de análise linear elástica. A abordagem empírico-mecânica do novo método elimina a necessidade de fatores de equivalência e fatores *alpha* de ajuste (Fabre & Varus, 2019).

No entanto, para apresentar um índice numérico, direto e simplificado, o novo método também exige simplificações. Com respeito ao subleito, também são quatro as faixas de resistência, agora em termos do módulo de

resiliência, conforme Tabela 2 adaptada da FAA (2020).

**Tabela 2: Faixas de resistência e seus valores de referência para o ACR/PCR.**

| Código | Resistência do subleito | E (Mpa)            |            |
|--------|-------------------------|--------------------|------------|
|        |                         | Faixas             | Referência |
| A      | Alta                    | $E \geq 150$       | 200        |
| B      | Média                   | $100 \leq E < 150$ | 120        |
| C      | Baixa                   | $60 \leq E < 100$  | 80         |
| D      | Ultra baixa             | $E \leq 100$       | 50         |

Da mesma forma como no ACN/PCN, no ACR/PCR cada aeronave tem quatro valores de ACR, um para cada resistência de referência. Esses ACRs são obtidos por meio do dimensionamento de estruturas padrão, com as aeronaves na condição de peso e arranjo de carga que gere máximos esforços no trem de pouso principal (ICAO, 2022).

O dimensionamento da estrutura padrão para o cálculo do ACR considera 36.500 operações das aeronaves. Diante da estrutura dimensionada, é obtida a carga de roda simples, com pressão de pneus de 1,50 Mpa, que cause a mesma deformação no topo do subleito em comparação com o trem de pouso de dimensionamento (ICAO, 2022).

O processo de obtenção do PCR é um pouco diferente do PCN, sendo escolhida a aeronave de maior contribuição para o CDF, de forma a representar a aeronave crítica. Faz-se o CDF causado por todo o *mix* ser representado pela aeronave crítica por meio do aumento da frequência. Em seguida, procede-se o aumento de carga dessa aeronave até que o dano acumulado seja de 100% (CDF=1,00). O PCR será então o ACR da aeronave crítica nesse último cenário de análise, onde o CDF=1,00. O processo deve ser refeito caso haja no *mix* aeronave com maior ACR (ICAO, 2022).

Um grande ganho em comparação com o método ACN/PCN é a forma como o ACR/PCR considera o dano acumulado. No método antigo, são computados os picos de tensão de cisalhamento, os quais são somados, independentemente da posição que a geometria do trem de pouso assume em relação ao eixo do pavimento (Fabre & Balay, 2013).

No novo método, a deformação promovida por cada uma das rodas do trem de

pouso é considerada com os pontos de picos e zonas entre picos. Isso é considerado por meio da integração do dano elementar utilizado no ACN/PCN. Essa integração é repetida em alinhamentos paralelos, de forma a considerar o efeito do trem de pouso no sentido transversal (Fabre e Balay, 2013).

Outro ponto importante no método ACR/PCR, é que o dano computado por cada uma das aeronaves agora tem posição geométrica conhecida com relação ao eixo da pista. Assim, cada *offset* do eixo pode ter seu respectivo dano acumulado conhecido. Isso permite o uso mais eficiente da estrutura, uma vez que o *mix* de aeronaves possui diferentes geometrias de trens de pouso, que atuam em diferentes *offsets* laterais (Fabre & Balay, 2013).

### 3. MÉTODO

Foram realizados quatro estudos de caso, com pavimentos flexíveis nacionais e seus *mixes* de operação de aeronaves. Foram calculados os índices de PCN e PCR para cada uma das estruturas de pavimento, atendendo às diretrizes presentes nas circulares da FAA e aos manuais de cálculo de PCN e PCR da Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC). Além da obtenção dos índices, foram comparados os CDFs dos dois índices ao final de cada processo de cálculo.

Os nomes dos aeródromos e suas localizações foram omitidos por solicitação da ANAC, que forneceu os dados das estruturas de pavimento e do tráfego.

A Tabela 3 mostra o tipo de área de circulação de cada estrutura estudada e sua condição na ocasião da obtenção dos dados.

Na Tabela 4, são apresentadas as estruturas de pavimento objeto dos estudos de caso com os tipos de materiais, suas espessuras, coeficientes de Poisson e módulo de resiliência.

**Tabela 3: Estudos de caso.**

| Estudo de caso | Área            | Status    |
|----------------|-----------------|-----------|
| 1              | Pista de PPD    | Existente |
| 2              | Extensão de PPD | Projetada |
| 3              | Extensão de PPD | Projetada |
| 4              | Pista de taxi   | Existente |

**Tabela 4: Estruturas de pavimento.**

|   | Camada                 | Espessura (cm) | Poisson | Módulo (Mpa) |
|---|------------------------|----------------|---------|--------------|
| 1 | Revestimento asfáltico | 30,00          | 0,30    | 1.500,00     |
|   | Brita graduada simples | 40,00          | 0,35    | 250,00       |
|   | Subleito (CBR = 14%)   | -              | 0,40    | 145,00       |
| 2 | (P-401)                | 9,91           | 0,35    | 1.378,95     |
|   | (P-304)                | 17,02          | 0,20    | 3.447,38     |
|   | (P-209)                | 14,99          | 0,35    | 458,86       |
|   | Subleito (CBR = 20%)   | -              | 0,35    | 206,84       |
| 3 | (P-401)                | 10,00          | 0,35    | 1.378,95     |
|   | (P-403)                | 12,70          | 0,35    | 2.757,90     |
|   | (P-209)                | 31,11          | 0,35    | 418,24       |
|   | Subleito (CBR = 13%)   | -              | 0,35    | 134,45       |
| 4 | (P-401)                | 10,60          | 0,35    | 1.378,95     |
|   | (P-209)                | 15,00          | 0,35    | 397,54       |
|   | (P-154)                | 25,00          | 0,35    | 169,94       |
|   | Subleito (CBR = 15,2%) | -              | 0,35    | 157,20       |

Para o cálculo do PCN, foi utilizado o programa COMFAA 3.0 da FAA. Uma vez que o método PCN exige a conversão dos materiais para a utilização da estrutura tipo na rotina de cálculo, cada uma das estruturas foi convertida na estrutura tipo por meio da planilha de apoio ao COMFAA 3.0, da própria FAA

Essa estrutura tipo é composta por revestimento asfáltico do tipo P-401, base granular do tipo P-209 e sub-base granular do tipo P-154. Todos os quatro *mixes* de aeronaves possuíam ao menos uma aeronave com mais de duas rodas na metade de seu trem de pouso principal. Por esse motivo, a estrutura tipo de conversão foi definida com 127,0 mm de revestimento e 203,2 mm de base granular. O excesso dessas espessuras ou a compensação pelo seu déficit é sempre realizada pelo aumento ou diminuição da sub-base, sempre de acordo com os fatores de equivalência de materiais.

O procedimento de cálculo do PCN recomenda que, no caso de obtenção do CDF menor do que 0,15, deve-se realizar algumas alterações na relação passagem/ciclo de tráfego (P/TC). Caso isso não seja suficiente para levar o CDF ao menos até 0,15, deve-se ajustar também o tráfego. Em último caso, o PCN e seu CDF são calculados para estruturas fictícias, originadas da redução de resistência do subleito e redução de camadas do pavimento, iniciando da camada logo acima do subleito, até que o CDF atinja o valor de 0,15.

Esse procedimento foi necessário nos três primeiros estudos de caso. Assim, apenas o estudo de caso quatro obteve os valores de PCN e seu CDF com estrutura e tráfego originais.

O cálculo do índice PCR foi realizado utilizando o programa FAARFIELD 2.0.7, da FAA. Apesar de ter também uma estrutura tipo para o cálculo composta por revestimento asfáltico e base granular, o método PCR não necessita da conversão dos materiais da estrutura de análise. A estrutura existente é equiparada à estrutura tipo por meio da comparação das tensões e deformações dessas, ajustando-se à espessura de base granular.

O cálculo do PCR é realizado por meio da análise linear elástica utilizando as características mecânicas de cada camada do pavimento. Nos estudos de caso 2 e 3, os dados foram obtidos do projeto dessas estruturas.

Nos estudos de caso 1 e 4, as características dos materiais foram obtidas de levantamentos deflectométricos. No primeiro, o relatório apontou os módulos de resiliência e os coeficientes de Poisson de cada camada, e no quarto, comenta que os módulos se aproximam dos padrões de especificação da FAA. Assim, para o estudo de caso 1 foram utilizados os módulos de elasticidade retroanalisados e os coeficientes de Poisson que o FAARFIELD utiliza, 0,35 para materiais asfálticos e granulares. O estudo de caso 4 utilizou os módulos dos materiais padrão FAA e também os coeficientes de Poisson conforme FAARFIELD, neste caso, 0,20 para a base cimentada.

Todos os relatórios definem a resistência do subleito em termos do CBR. Dessa forma, o módulo de resiliência (MR) do subleito foi obtido por meio da Equação 1, utilizada pela FAA no programa FAARFIELD.

$$MR = CBR \times 10,34$$

**Equação 1: Relação MR x CBR.**

No método PCR, ao se obter CDFs muito baixos, zero ou próximos de zero, e assim, valores de PCR muito altos, a recomendação é adotar como valor de PCR o maior ACR presente no *mix*, acrescido de 25%. Isso ocorreu nos estudos de caso 1 e 3.

Os dados de CDF de cada um dos métodos foram avaliados e comparados com a finalidade de verificar qual deles é mais restritivo e se haverá necessidade de restringir peso ou

frequência de alguma aeronave para os casos em tela.

#### 4. RESULTADOS

A análise dos quatro estudos de caso não mostrou a necessidade de restrição de carregamento ou operações. A Tabela 5 apresenta as etapas realizadas para a obtenção dos dois índices e dos seus fatores de dano acumulado.

Nos quatro estudos de caso realizados os pavimentos se mostraram superdimensionados para o tráfego previsto, para os vinte anos de operação. Todos eles apresentaram CDF inferior a 1,0, tanto pelo método ACN/PCN, como pelo método ACR/PCR.

Para o estudo de caso 1, em ambos os casos, o CDF do pavimento resultou em zero. Para obter o índice de PCN, foi necessário reduzir a resistência do subleito e a espessura da camada de base, de 400mm para 155mm, resultando em um CDF de 0,1659. O PCR foi obtido pelo valor do maior ACR do *mix*, multiplicado por 1,25.

A estrutura virtual, utilizada para o cálculo do PCN final do estudo de caso 1, foi analisada sob a metodologia do PCR. O CDF obtido (21,1320) mostrou que, embora a estrutura fictícia tenha sido adequada ao tráfego do *mix*, à luz do índice PCN, com CDF de 0,1659, quando analisada pelo PCR, resulta em uma vida de serviço de menos de um ano, como mostra a Tabela 6.

**Tabela 5: Etapas realizadas para o cálculo dos índices de PCN e PCR, com seus CDFs.**

| ESTUDO DE CASO | PCN          |                                   |                                   |        |        |             | PCR          |                           |           |         |         |             |                |
|----------------|--------------|-----------------------------------|-----------------------------------|--------|--------|-------------|--------------|---------------------------|-----------|---------|---------|-------------|----------------|
|                | RELAÇÃO P/TC | TRÁFEGO                           | ESTRUTURA CBR (mm)                | CBR    | CDF    | VALOR (PCN) | RELAÇÃO P/TC | TRÁFEGO                   | ESTRUTURA | CBR     | CDF     | VALOR (PCR) | CORREÇÃO (PCR) |
| 1              | 1            | Original                          | Original (993,2)                  | 14     | 0,0000 | -           |              |                           |           |         |         |             |                |
|                | 10           | Original                          | Original (993,2)                  | 14     | 0,0000 | -           |              |                           |           |         |         |             |                |
|                | 10           | X 10                              | Original (993,2)                  | 14     | 0,0000 | -           |              |                           |           |         |         |             |                |
|                | 10           | Máxima                            | Original (993,2)                  | 14     | 0,0000 | -           |              |                           |           |         |         |             |                |
|                | 1            | Original                          | Original (993,2)                  | 13     | 0,0000 | -           |              |                           |           |         |         |             |                |
|                | 1            | Original                          | redução de 100mm de P-209 (853,2) | 13     | 0,0000 | -           |              |                           |           |         |         |             |                |
|                | 1            | Original                          | redução de 200mm de P-209 (713,2) | 13     | 0,0045 | -           | 1            | Original                  | Original  | 14      | 0,0000  | 1045        | 852            |
|                | 1            | Original                          | redução de 260mm de P-209 (629,2) | 13     | 0,4496 | -           |              |                           |           |         |         |             |                |
|                | 1            | Original                          | redução de 230mm de P-209 (671,2) | 13     | 0,0543 | -           |              |                           |           |         |         |             |                |
|                | 1            | Original                          | redução de 240mm de P-209 (657,2) | 13     | 0,1157 | -           |              |                           |           |         |         |             |                |
| 1              | Original     | redução de 245mm de P-209 (650,2) | 13                                | 0,1659 | 76,3   | 1           | Original     | redução de 245mm de P-209 | 13        | 21,1320 | 481,1   | -           |                |
| 2              | 1            | Original                          | Original (480,8)                  | 20     | 0,0221 | -           | 1            | Original                  | Original  | 20      | 0,0040  | 1485,3      | 850,75         |
|                | 6,8          | Original                          | Original (480,8)                  | 20     | 0,1501 | 79,7        | 6,8          | Original                  | Original  | 20      | 2,5130  | 640,1       | -              |
| 3              | 1            | Original                          | Original (705,3)                  | 13     | 0,0014 | -           |              |                           |           |         |         |             |                |
|                | 10           | Original                          | Original (705,3)                  | 13     | 0,0136 | -           |              |                           |           |         |         |             |                |
|                | 10           | X 10                              | Original (705,3)                  | 13     | 0,1359 | -           | 1            | Original                  | Original  | 13      | 0,6630  | 608,5       | -              |
|                | 1            | X 100                             | Original (705,3)                  | 13     | 0,1359 | -           |              |                           |           |         |         |             |                |
|                | 1,15         | X 100                             | Original (705,3)                  | 13     | 0,1563 | 61,4        | 1,15         | x 100                     | Original  | 13      | 66,3430 | 484,5       | -              |
| 4              | 1            | Original                          | Original (458,7)                  | 15,2   | 0,8839 | 45,2        | 1            | Original                  | Original  | 15,2    | 0,7740  | 417,6       | -              |

**Tabela 6: Resumos de CDF e vida de serviço para os diferentes cenários.**

| Estudo de caso | PCN              |           |                |           | PCR              |           |                |           |
|----------------|------------------|-----------|----------------|-----------|------------------|-----------|----------------|-----------|
|                | Primeira análise |           | Última análise |           | Primeira análise |           | Última análise |           |
|                | CDF              | Vida útil | CDF            | Vida útil | CDF              | Vida útil | CDF            | Vida útil |
| 1              | 0,0000           | Infinito  | 0,1659         | 120,55    | 0,0000           | Infinito  | 21,1320        | 0,95      |
| 2              | 0,0221           | 904,98    | 0,1501         | 133,24    | 0,0040           | 5000,00   | 2,5130         | 7,96      |
| 3              | 0,0014           | 14285,71  | 0,1563         | 127,96    | 0,6630           | 30,17     | 66,3430        | 0,30      |
| 4              | 0,8839           | 22,63     | -              | -         | 0,7740           | 25,84     | -              | -         |

O estudo de caso 2 resultou na obtenção de um CDF maior que zero, porém bastante abaixo de 0,15 para ambos os métodos. Assim, como prevê o método PCN, a relação P/TC foi ajustada para 6,8, de forma a obter o CDF mais próximo de 0,15. Essa mesma relação P/TC foi utilizada para analisar o comportamento do CDF pelo método PCR. Com a nova relação P/TC, utilizada no método PCR, o pavimento não estaria adequado ao tráfego da análise, resultando em uma vida de serviço de pouco menos de oito anos, como mostrado na Tabela 6.

O CDF do terceiro estudo de caso teve também seu tráfego ajustado para o método PCN, chegando na última análise com uma relação P/TC de 1,15 e seu tráfego multiplicado por 100. Essa configuração de solicitações de tráfego gerou um CDF final de 0,1563. O PCR do terceiro estudo de caso obteve CDF adequado na primeira análise, com o valor  $0,15 < 0,663 < 1,00$ . No entanto, o tráfego ajustado à última análise de PCN foi utilizado no PCR para verificar o comportamento de seu CDF, que passou ao valor de 66,3430, gerando uma vida de serviço de menos de um ano.

Para o quarto e último estudo de caso não foi necessário ajuste algum, de estrutura ou de tráfego. O PCN obteve CDF de 0,8839, enquanto o CDF do PCR foi de 0,7740.

Os índices de PCN e PCR para cada um dos estudos de caso constam na Tabela 7.

**Tabela 7: Índices de resistência finais.**

| Estudo de caso | PCN        | PCR         |
|----------------|------------|-------------|
| 1              | 76/F/A/X/T | 852/F/B/X/T |
| 2              | 80/F/A/X/T | 851/F/A/X/T |
| 3              | 61/F/A/X/T | 609/F/B/X/T |
| 4              | 45/F/A/X/T | 418/F/A/X/T |

A classificação das resistências dos subleitos dos quatro estudos de caso estão agrupados na Tabela 7, junto com seus outros parâmetros. Nota-se que os estudos de caso 1 e 3 tiveram as classificações de resistência do subleito diferentes de um método para o outro. Isso ilustra a incompatibilidade entre as faixas de resistência de subleito presente nos dois métodos.

É intrínseco a ambos os métodos o aumento dos valores de ACN e ACR à medida que a resistência do subleito diminui. Assim, é possível que o desencontro entre faixas de resistência de subleito seja responsável por permitir cargas maiores no método ACR/PCR, apenas pela diminuição da categoria de resistência em que o subleito é classificado.

## 5. CONCLUSÕES

O trabalho analisou quatro pavimentos flexíveis aeroportuários, calculando seus índices de PCN e PCR. Em nenhum dos cenários a estrutura do pavimento original foi insuficiente à utilização pelo tráfego previsto.

Nos estudos de caso 1, 2 e 3, o cálculo do PCN exigiu ajuste do tráfego e/ou da estrutura para que o CDF da análise atingisse valores próximos a 0,15. Isso significa que as estruturas estão superdimensionadas para os tráfegos em questão. Desses estudos de caso, com respeito ao PCR, apenas o primeiro e o segundo também apresentaram tal excesso de dimensionamento da estrutura.

Ajustados esses três casos a um CDF de 0,15, para o método PCN, e replicadas essas condições de contorno para o cálculo do PCR, verificou-se que por meio do último método, o pavimento apresenta um desgaste acelerado. Isso significa que, se as estruturas de pavimento e os tráfegos fossem utilizados aos moldes da última análise do PCN, esse índice estaria adequado e

com CDF próximo de 0,15, enquanto o índice PCR deveria sofrer uma análise para restrição de carregamentos e/ou frequências de operação.

Chama a atenção o estudo de caso 2, no qual a primeira análise tem como índice de maior CDF o PCN, 0,0221, comparado à 0,0040 do PCR, relação que se inverte com o aumento da relação P/TC.

O estudo de caso 4 não necessitou de ajustes da estrutura ou do tráfego para o cálculo do PCN, resultando em um CDF abaixo, mas próximo de 1,00. O índice de PCR obteve um CDF próximo ao CDF do PCN.

Observa-se então, os mais diferentes comportamentos pela comparação dos dois índices de resistência para as estruturas de pavimento em questão:

- PCN e PCR com baixíssimo dano acumulado na primeira análise (estudos de caso 1 e 2);
- PCN com maior dano acumulado que o PCR (primeira análise do estudo de caso 2 e estudo de caso 4); e
- PCR com maior dano acumulado que o PCN (últimas análises dos estudos de caso 1, 2 e 3, utilizando tráfego modificado ou estrutura fictícia).

## Referências

FAA. (2014). *Guidelines and Procedures for Measuring Airfield Pavement Roughness*. Advisor Circular 150/5335-5C.

FAA. (2020). *Standardized Method of Reporting Airport Pavement Strength - PCR*. Advisor Circular 150/5335-5D.

FABRE, C, Varus, G. (2019). *Paradox: Why the Heaviest Commercial Airplane Remains the Most Pavement Friendly Aircraft at Large Hub Airports*. Airfield and highway pavements.

FABRE, C e BALAY, J M. (2013). *Toward a new ICAO Aircraft Classification Number (ACN) methodology*. Proceedings of the international conferences on the bearing capacity of roads, railways and airfields.

Acrescenta-se a esses fatos a incompatibilidade entre faixas de resistência do subleito, que pode influenciar na permissão de maiores carregamentos pela alteração na classificação da faixa de resistência.

Conclui-se que não é possível afirmar que o novo método de classificação de resistência de pavimentos aeroportuários, o ACR/PCR, será mais ou menos restritivo em termos de cargas ou frequências em comparação com o atual (ACN/PCN). No entanto, foi verificado que em todos os estudos de caso, a estrutura do pavimento existente era suficiente para comportar o tráfego do *mix*, com folga, para os dois métodos. Assim, mesmo havendo diferenças entre os métodos, muitos pavimentos aeroportuários podem vir a ser reclassificados sem que haja alteração na admissibilidade de frequências e cargas.

HAYHOE, G. (2006). *Alpha Factor Determination Using Data Collected at the National Airport Pavement Test Facility*. Technical Report.

ICAO. (2020). *Aerodromes - Aerodrome Design and Operations*. International Civil Aviation Organization.

ICAO. Doc 9157 (1983). *Aerodrome Design Manual*. Part 3.

ICAO. Doc 9157 (2022) *Aerodrome Design Manual*. Part 3.

LOIZOS, A. e CHARONITIS, G. (2004). *Bearing capacity and structural classification of flexible airport pavements*. Journal of Transportation Engineering, v. 130, n. 1, p. 34–42.

LOIZOS, Andreas e CHARONITIS, George e CHASIOTOU, Ioanna. (2000). *Classification of airport pavements: A simple methodology*. Public Works Management & Policy, v. 5, n. 2, p. 115–125.