



19 a 22 de Setembro de 2023  
Foz do Iguaçu - PR  
[www.rapvenacor.com.br](http://www.rapvenacor.com.br)



## 25º Encontro Nacional de Conservação Rodoviária (ENACOR) 48ª Reunião Anual de Pavimentação (RAPv)

### ANÁLISE DA CORRELAÇÃO ENTRE PARÂMETROS FUNCIONAL E DE ADERÊNCIA PNEU-PAVIMENTO EM PISTA DE POUSO E DECOLAGEM

DOI: (a ser preenchido após o envio do código DOI da publicação)

*Victor Cardoso Oliveira<sup>1,2</sup>; Camila Lima Maia<sup>1</sup>; José Levi Chaves de Sousa<sup>1</sup>;  
Verônica Teixeira Franco Castelo Branco<sup>1</sup>; Francisco Heber Lacerda de Oliveira<sup>1</sup>*

#### RESUMO

A qualidade funcional e de aderência pneu-pavimento adequada de uma Pista de Pouso e Decolagem (PPD) são importantes à segurança das operações aeroportuárias. Alguns parâmetros utilizados para avaliação dessas condições são o *Pavement Condition Index* (PCI), a macrotextura e o coeficiente de atrito. O PCI é um índice que mede o desempenho funcional do pavimento, a partir da presença de defeitos de superfície e suas respectivas severidades. A macrotextura e o coeficiente de atrito são parâmetros relacionados à resistência a derrapagem. Nesse sentido, este trabalho objetiva realizar uma análise estatística para verificar se existe uma correlação entre esses índices para futura aplicação em modelos de previsão de desempenho. Para isso, foram utilizados dados coletados em 2018 por meio de levantamentos realizados em uma pista de pouso e decolagem brasileira obtidos por meio de relatórios técnicos fornecidos pela Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC). Observou-se um comportamento distinto para os parâmetros investigados em função da distância em relação ao eixo da PPD. Além disso, as análises de correlação apresentaram baixa correlação entre as variáveis estudadas. Desse modo, não foi possível estabelecer uma previsão entre o comportamento funcional e as condições de aderência da PPD. Assim, verifica-se a importância de realizar ambos os levantamentos para aprimorar a avaliação e a manutenção dos pavimentos aeroportuários.

**PALAVRAS-CHAVE:** Pavimento; Aeroporto; PCI; Coeficiente de atrito; Macrotextura.

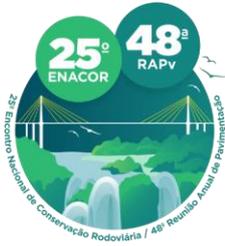
#### ABSTRACT

The functional quality and adequate tire-pavement adherence of a Runway (RWY) is important for the safety of airport operations. Some parameters used to evaluate these conditions are the *Pavement Condition Index* (PCI), macrotexture, and friction coefficient. The PCI is an index that measures the functional performance of the pavement based on the presence of surface defects and their respective severities. The macrotexture and friction coefficient are parameters related to skid resistance. In this sense, this study aims to perform a statistical analysis to verify if there is a correlation between these indices for future application in performance prediction models. For this purpose, data collected in 2018 through surveys conducted on a Brazilian runway were used, obtained from technical reports provided by the National Civil Aviation Agency (ANAC). A distinct behavior was observed for the investigated parameters according to the distance from the RWY centerline. In addition, correlation analyses showed a low correlation between the studied variables. Thus, it was not possible to establish a prediction between the functional behavior and the adherence conditions of the RWY. Therefore, the importance of conducting both surveys is verified to improve the evaluation and maintenance of airport pavements.

**KEY WORDS:** Pavement; Airfield; PCI; Coefficient of friction; Macrotexture.

<sup>1</sup> Departamento de Engenharia de Transportes, Bloco 703, Campus do Pici, Universidade Federal do Ceará (UFC), [victoroliveira@det.ufc.br](mailto:victoroliveira@det.ufc.br); [camilalima@det.ufc.br](mailto:camilalima@det.ufc.br); [levi.chaves@det.ufc.br](mailto:levi.chaves@det.ufc.br); [veronica@det.ufc.br](mailto:veronica@det.ufc.br); [heber@det.ufc.br](mailto:heber@det.ufc.br).

<sup>2</sup> Departamento de Construção Civil, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE) – Campus Fortaleza, [victor.cardoso@ifce.edu.br](mailto:victor.cardoso@ifce.edu.br).



19 a 22 de Setembro de 2023

Foz do Iguaçu - PR

[www.rapvenacor.com.br](http://www.rapvenacor.com.br)



## INTRODUÇÃO

A implementação de um Sistema de Gerência de Pavimentos Aeroportuários (SGPA) é importante à melhoria contínua do nível de serviço e da segurança da infraestrutura aeroportuária. O SGPA avalia a condição atual e prevê a condição futura do pavimento. Assim, para definição das intervenções de Manutenção e Reabilitação (M&R), a avaliação da condição funcional do pavimento se faz necessária. Essa avaliação abrange a análise da irregularidade longitudinal, do atrito, da macrotextura e dos defeitos no pavimento. Com esses parâmetros, ao prever a taxa de deterioração do pavimento, o SGPA ajuda a determinar a alternativa de M&R mais indicada para manter um nível de serviço adequado (ANAC, 2017).

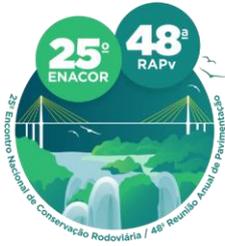
Para a determinação da condição funcional da Pista de Pouso e Decolagem (PPD), um método de avaliação recomendado no Brasil (ANAC, 2017), e em países como Estados Unidos, é a determinação do *Pavement Condition Index* (PCI). Estabelecido por ASTM (2020), o PCI tem como finalidade a caracterização da condição funcional de pavimentos flexíveis e rígidos a partir de inspeções de suas superfícies. Os defeitos avaliados são convertidos em valores numéricos que classificam e indicam sua integridade e severidade em valores que variam de 0 (representando a condição de ruptura) até o valor de 100 (representando a condição excelente).

Em relação às condições de aderência pneu-pavimento, que se refletem na segurança operacional, ANAC (2023) define a aderência como uma propriedade física caracterizada pela força de contato entre os pneus da aeronave e a superfície da camada de rolamento do pavimento, que assegura à aeronave resistência à derrapagem e controle direcional. As condições de aderência são fornecidas principalmente pela textura superficial e pelo atrito.

O atrito, representado pelo seu coeficiente, é o fenômeno que ocorre no momento em que duas superfícies em contato, estando uma delas ou ambas em movimento, tendem a cessar o movimento, por meio das forças de adesão que existem entre as superfícies. Alguns fatores influenciam diretamente no atrito entre os pneus das aeronaves e o pavimento, como tipo de revestimento, vida útil do pavimento, característica do tráfego, condições climáticas e acúmulo de borracha na pista (ANAC, 2023).

A macrotextura, por sua vez, é definida por ICAO (2002) como uma textura de superfície e está relacionada, principalmente, aos agregados que compõem o revestimento asfáltico e ao espaço entre eles. Sua função é contribuir na drenagem de água superficial no pavimento, reduzindo o efeito da aquaplanagem à medida que proporciona o escoamento da água.

Desse modo, tendo em vista a importância das avaliações para o conforto ao rolamento e a segurança das operações na PPD, este estudo objetiva realizar uma análise estatística para verificar se existe uma correlação entre os parâmetros de aderência (coeficiente de atrito e macrotextura) e a condição funcional do pavimento, por meio do PCI, para aplicação em modelos de previsão de desempenho. Os resultados obtidos poderão subsidiar a tomada de decisões na gestão de pavimentos, direcionando investimentos de manutenção de forma mais precisa e eficiente. Além disso, a compreensão mais aprofundada desses parâmetros permitirá o desenvolvimento de diretrizes e normas mais adequadas para avaliação e manutenção de pavimentos aeroportuários, contribuindo na melhoria contínua da qualidade e segurança das operações aeroportuárias.



19 a 22 de Setembro de 2023  
Foz do Iguaçu - PR

[www.rapvenacor.com.br](http://www.rapvenacor.com.br)



## REFERENCIAL TEÓRICO

Existem estudos que buscam estabelecer correlações entre parâmetros de avaliação funcional de pavimentos, como as pesquisas de Hasibuan e Surbakti (2019) e Wesołowski e Iwanowski (2020), que estudaram a correlação entre o PCI e o *Internacional Roughness Index* (IRI). Entretanto, esses estudos ainda são incipientes para pavimentos aeroportuários, sobretudo com a utilização de outros parâmetros, como o coeficiente de atrito e a macrotextura, que são fundamentais à segurança operacional de pousos e decolagens.

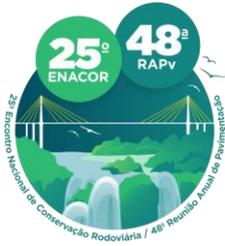
Nesse sentido, diferentes métodos de análise de pavimentos através do uso de parâmetros de superfícies foram estudados nos últimos anos. De Luca (2020) propôs um método de avaliação da capacidade de suporte estrutural dos pavimentos aeroportuários usando o IRI. Por meio de uma Rede Neural Artificial, foram desenvolvidos modelos usando técnicas de *Multivariate Analysis Model* (MVA) e *Artificial Neural Network Model* (ANN), sendo o modelo ANN o mais adequado. Posteriormente, foi gerado um ábaco em que, a partir do valor do IRI, é possível obter uma estimativa da capacidade de carga do pavimento.

Carvalho e Santos (2017) analisaram o PCI e o IRI a fim de se desenvolver modelos que identificassem uma otimização no processo de manutenção dos pavimentos. Os coeficientes de determinação ajustados para os modelos de regressão variaram entre 50 e 90% para o PCI e foram inferiores a 15% para o IRI. Assim, os resultados obtidos pelos autores mostraram o PCI pode ser usado para identificar a necessidade de intervenção no pavimento, enquanto não foi possível identificar uma tendência adequada com o IRI

Almeida e Oliveira (2022) estudaram a existência de autocorrelação espacial do PCI em pavimentos aeroportuários utilizando dados de defeitos em uma PPD e de PCI para um aeroporto brasileiro. Foi utilizado o I de Moran e, como variável explicativa do PCI, o afundamento de trilha de roda com baixa severidade, por ser o defeito de maior densidade. Os autores obtiveram uma regressão linear com um coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de 0,71 e concluíram que, para o caso do conjunto de dados analisado, a regressão linear foi mais eficiente na estimativa do PCI do que a estatística espacial.

Para as condições de aderência, Bezerra Filho e Oliveira (2013) analisaram a correlação entre o coeficiente de atrito e a macrotextura na PPD do Aeroporto Internacional de Fortaleza, no Ceará, com dados coletados entre 2011 e 2012. Os citados autores verificaram que existe uma correlação fraca entre a macrotextura e o coeficiente de atrito, com valores de  $R^2$  variando de 0,08% a 36,2% para as medições a 3 m do eixo da PPD e 2,10% a 13,80% para as medições a 6 m do eixo da PPD. Foi observada ainda uma grande variação nos valores analisados, o que pode caracterizar o resultado como insatisfatório.

Nascimento *et al.* (2014) estudaram a correlação entre as medidas de textura do revestimento asfáltico (macrotextura e microtextura) e o coeficiente de atrito na PPD do Aeroporto Internacional da Grande Natal, no Rio Grande do Norte. Para isso, foram calculados os parâmetros previstos pelo *International Friction Index* (IFI) e análise estatística dos dados. Os resultados mostraram que foi possível obter um modelo que relaciona as variáveis de textura e de atrito, com uma diferença média de 2,8% entre o número de atrito F60 real e o calculado.



19 a 22 de Setembro de 2023  
Foz do Iguaçu - PR

[www.rapvenacor.com.br](http://www.rapvenacor.com.br)



Pinheiro Neto *et al.* (2015) estabeleceram uma correlação linear entre dados de macrotextura e coeficiente de atrito na PPD do Aeroporto Internacional de Fortaleza. Os dados foram levantados durante o ano de 2014 pela Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária (INFRAERO). Os autores obtiveram correlações fracas e moderadas, com  $R^2$  variando de 0% a 26,67%. Além disso, observaram uma grande variação nos dados, o que pode ser atribuído a imprecisão do método de obtenção da macrotextura, em que foi utilizado o ensaio de mancha de areia recomendado por ANAC (2020).

Quariguasi *et al.* (2021) desenvolveram um modelo de previsão do coeficiente de atrito medido em uma PPD brasileira usando Redes Neurais Artificiais (RNA), obtendo um  $R^2$  de 77,5%. Assim, os resultados mostraram-se satisfatórios e com grande potencial de aplicação em um Sistema de Gerência de Pavimentos Aeroportuários. Observa-se, portanto, que houve, ao longo dos anos, uma tentativa de correlacionar dados que refletem as condições funcionais do pavimento, como o PCI, e de aderência, como o coeficiente de atrito e a macrotextura. No entanto, essas correlações nem sempre foram satisfatórias.

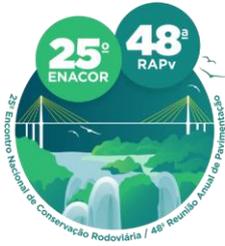
Por fim, Ribeiro e Oliveira (2022) desenvolveram modelos de previsão para o coeficiente de atrito de PPD brasileiras utilizando RNA, com  $R^2$  da ordem de 0,70. Os dados de coeficiente de atrito foram obtidos a partir de medições realizadas com diferentes equipamentos. Os resultados obtidos foram satisfatórios, evidenciando que tais modelos podem contribuir com a segurança das operações de pouso e decolagem de PPD brasileiras. Os autores ainda destacaram a necessidade de aprimoramentos futuros em relação aos modelos desenvolvidos.

## MÉTODOS DE PESQUISA

As atividades que compõem o escopo deste trabalho foram compostas por obtenção dos dados de macrotextura, coeficiente de atrito e PCI por meio de relatórios técnicos disponibilizados pela Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) para levantamentos realizados em 2018. O *Paviment Condition Index* (PCI) foi determinado para uma PPD de um aeroporto brasileiro. A metodologia de cálculo do PCI foi realizada conforme descrito em ASTM (2020). No levantamento, deve-se adotar um número mínimo de amostras a serem inspecionadas, a fim de garantir um nível de confiabilidade maior ou igual a 95% para o índice de amostragem. Para os cálculos deste estudo foram inspecionadas 100% das áreas.

A macrotextura foi obtida com medições realizadas a 3 m do eixo da PPD para os lados direito e esquerdo. Para definição da macrotextura foi utilizado o método da mancha de areia que é uma técnica volumétrica para obtenção da macrotextura de superfícies a partir de um volume conhecido de material espalhado sobre o pavimento (ANAC, 2020). A determinação do coeficiente de atrito foi realizada a 3 e 6 m do eixo da PPD para os lados direito e esquerdo. O coeficiente de atrito foi adquirido em medição contínua utilizando um equipamento denominado GripTester a uma velocidade de 65 km/h, conforme também especifica ANAC (2020).

De posse dos dados de PCI, coeficiente de atrito e macrotextura, foi realizada uma análise estatística para verificação da normalidade dos dados por meio do teste de Shapiro-Wilk. Em seguida, utilizou-se teste de hipóteses para o coeficiente de atrito e a macrotextura, com o objetivo de verificar se as amostras pertencem a mesma população, independentemente do lado e da distância do eixo no qual estas foram coletadas. Por fim, analisou-se a correlação entre as três



19 a 22 de Setembro de 2023  
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



variáveis utilizando as correlações de Pearson e Spearman. Todas as análises foram realizadas no *software* Past. A Figura 1 ilustra a sequência da análise estatística realizada. Utilizaram-se siglas descritas na Tabela 1 para representar os aspectos de coleta de cada variável.

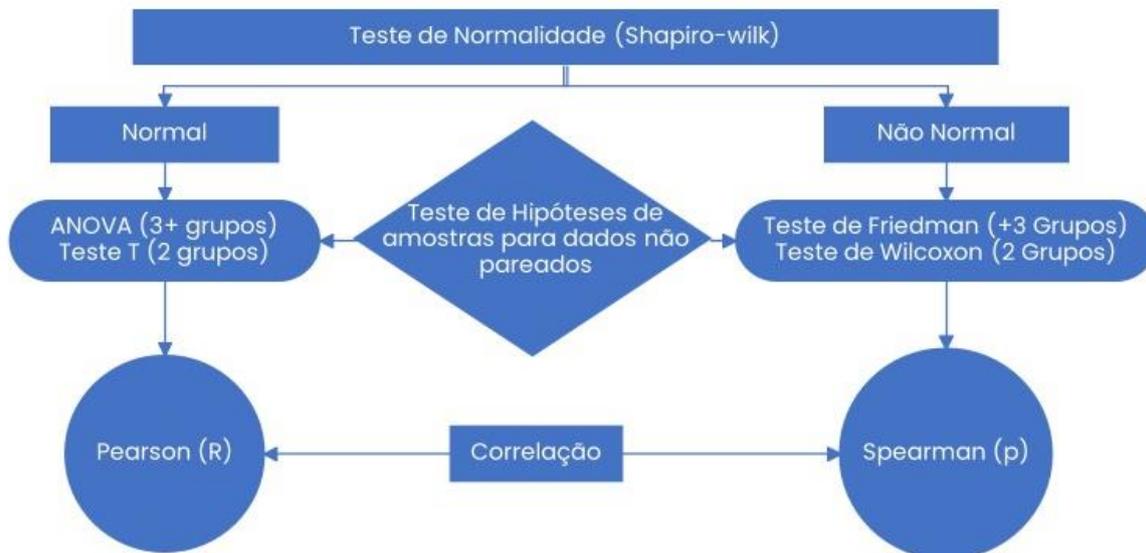


Figura 1. Sequência da análise estatística realizada.

Tabela 1 – Sigla das variáveis estudadas.

Parâmetro	Sigla
PCI	PCI
Atrito - 6m – Esquerda	A6E
Atrito - 3m – Esquerda	A3E
Atrito - 3m – Direita	A3D
Atrito - 6m – Direita	A6D
Macrotextura - 3m – Esquerda	M3E
Macrotextura - 3m – Direita	M3D

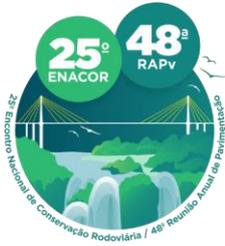
## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Inicialmente realizou-se uma análise estatística descritiva de todas as variáveis do presente estudo, como valores mínimos, máximos, média e desvio padrão amostral. A Tabela 2 apresenta esses resultados.

Tabela 2 – Análise descritiva das variáveis.

Variável	PCI	A6E	A3E	A3D	A6D	M3E	M3D
Mínimo	51,93	0,60	0,50	0,52	0,56	0,56	0,50
Máximo	62,55	0,81	0,78	0,84	0,70	1,39	1,34
Média	57,53	0,69	0,70	0,69	0,61	1,07	1,06
Desvio Padrão	3,77	0,05	0,06	0,08	0,04	0,28	0,22
N	9	24	24	24	24	13	13

A partir da Tabela 2, observou-se que os valores de média de coeficiente de atrito e macrotextura são próximos. Todavia, percebe-se que as amplitudes desses dados são diferentes, pois os valores



19 a 22 de Setembro de 2023  
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



mínimos e máximos são diferentes entre si. Para compreender como estão distribuídos os dados, realizou-se o teste de normalidade de Shapiro-Wilk (Tabela 3).

Tabela 3 – Teste de Normalidade Shapiro Wilk.

Variável	PCI	A6E	A3E	A3D	A6D	M3E	M3D
N. Teste	0,95	0,98	0,85	0,96	0,87	0,91	0,90
Valor-P	0,64	0,97	0,01	0,53	0,01	0,20	0,12
Normalidade	Sim	Sim	Não	Sim	Não	Sim	Sim

Constata-se a partir da Tabela 3 que as amostras seguem uma distribuição normal, exceto para A3E e A6D. Como alguns dados de coeficiente de atrito não seguiram uma distribuição normal, utilizou o teste não-paramétrico de Friedman para avaliar se os 4 grupos de dados pertencem à mesma população. O resultado é apresentado na Tabela 4.

Tabela 4 – Teste Friedman para os dados de coeficiente de atrito.

Teste	Valor da estatística	Valor-p	Resultado
Friedman	Chi <sup>2</sup> = 31,939	5,39.10 <sup>-7</sup>	Rejeita-se a H <sub>0</sub>

Nota-se pela Tabela 4 que os dados de coeficiente de atrito são diferentes entre si, ou seja, rejeita-se a hipótese que o valor de coeficiente de atrito é o mesmo, independente do lado ou da distância do eixo central da PPD. Por sua vez, para os dados de macrotextura não foi rejeitada a hipótese de uma distribuição normal, então realizou-se o teste T pareado para os dois grupos de dados estudados, ou seja, para os lados direito e esquerdo da PPD. Os resultados do teste estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 – Teste T pareado para os dados de macrotextura.

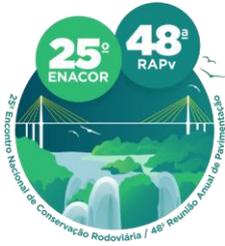
Teste	Valor da estatística	Valor-p	Resultado
T pareado	T = 0,141	0,888	Não se rejeita a H <sub>0</sub>

Pode-se concluir que não existe diferença significativa entre os resultados de macrotextura para os lados direito e esquerdo do eixo central da PPD (Tabela 5). Para compreender se as três variáveis estudadas (PCI, macrotextura e coeficiente de atrito) possuem correlação, utilizou-se a correlação de Spearman ( $\rho$ ), pois nem todos os dados analisados seguiram uma distribuição normal. Os resultados estão apresentados na Tabela 6.

Tabela 6. Resultados da correlação Spearman ( $\rho$ ).

	PCI	A6E	A3E	A3D	A6D	M3E	M3D
PCI		-0,11	-0,16	-0,51	0,05	0,03	0,27
A6E			0,60	0,44	0,54	0,64	0,01
A3E				0,17	0,38	-0,14	-0,31
A3D					0,03	-0,06	-0,02
A6D						-0,23	-0,12
M3E							0,30
M3D							

Percebe-se pela Tabela 6 que não há uma tendência de correlação entre as três variáveis. Quando se



19 a 22 de Setembro de 2023  
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



analisa o PCI com o coeficiente de atrito, as correlações são positivas em algumas observações e negativas em outras. Olhando às correlações das amostras de mesma variável, também não foi observada uma forte correlação entre elas. Para as duas amostras de macrotextura não foram obtidas fortes correlações, mesmo com a hipótese de as amostras pertencerem à mesma população.

Entende-se que amostras são coletadas de formas distintas ao longo da PPD, uma vez que os dados de coeficiente de atrito são medidos de forma contínua, enquanto os valores de PCI são obtidos em seções e os valores de macrotextura em pontos distintos e alternados entre os lados na PPD. Sendo assim, com o intuito de comparar se as variáveis possuem uma correlação mais forte, agruparam-se os dados de coeficiente de atrito e macrotextura nos mesmos pontos do PCI. Os resultados iniciais de valores mínimo, máximo, média e desvio padrão estão dispostos na Tabela 7.

Tabela 7 – Análise descritiva das variáveis agrupadas.

Variável	PCI	A6E	A3E	A3D	A6D	M3E	M3D
Mínimo	51,93	0,63	0,61	0,56	0,57	0,56	0,50
Máximo	62,55	0,76	0,73	0,77	0,68	1,36	1,26
Média	57,53	0,68	0,70	0,67	0,60	1,05	1,05
Desvio Padrão	3,77	0,04	0,04	0,07	0,04	0,26	0,23
N	9	9	9	9	9	9	9

A partir da Tabela 7 observou-se que a amplitude dos dados foi reduzida, ou seja, os valores mínimos e máximos estão mais próximos e não são diferentes entre as amostras das variáveis estudadas. Para compreender como estão distribuídos os dados, realizou-se o teste de normalidade de Shapiro-Wilk como mostra a Tabela 8.

Tabela 8 – Teste de Normalidade Shapiro Wilk às variáveis agrupadas.

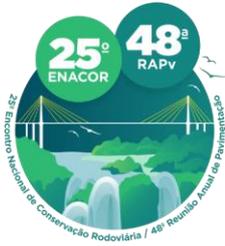
Variável	PCI	A6E	A3E	A3D	A6D	M3E	M3D
N. Teste	0,95	0,93	0,77	0,94	0,85	0,93	0,77
Valor-P	0,64	0,47	0,01	0,61	0,07	0,43	0,01
Normalidade	Sim	Sim	Não	Sim	Sim	Sim	Não

Pela Tabela 8 constata-se que a maioria das amostras segue uma distribuição normal, exceto a A3E e M3D. Como os dados de coeficiente de atrito e macrotextura não seguiram uma distribuição normal, utilizou o teste não-paramétrico de Friedman para avaliar se os quatro grupos de dados de coeficiente de atrito pertencem a mesma população e o teste de Wilcoxon para os dois grupos de dados de macrotextura. O resultado é apresentado na Tabela 9.

Tabela 9 – Teste não-paramétrico para os dados de coeficiente de atrito e macrotextura.

Variável	Teste	Valor da estatística	Valor-p	Resultado
Atrito	Friedman	Chi <sup>2</sup> = 11,03	0,012	Rejeita-se a H <sub>0</sub>
Macrotextura	Wilcoxon	W = 22,5	0,999	Não se rejeita a H <sub>0</sub>

Observando a Tabela 9, verificou-se que para os dados de coeficiente de atrito, o resultado apontou a rejeição da hipótese nula, ou seja, os dados de coeficiente de atrito são diferentes dependendo da distância do eixo da PDD. Contudo, à macrotextura pode-se concluir que não existe diferença significativa entre as observações à direita e à esquerda a 3m do eixo central da PPD.



19 a 22 de Setembro de 2023  
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



Para compreender se as três variáveis estudadas neste artigo, na forma como foram agrupadas, possuem correlação, utilizou-se a correlação de Spearman pois nem todos os dados seguiram uma distribuição normal. Os resultados estão apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 – Análise da correlação Spearman para os dados agrupados.

	PCI	A6E	A3E	A3D	A6D	M3E	M3D
PCI		-0,24	0,03	-0,81	0,47	0,11	-0,03
A6E			0,38	0,57	0,33	0,52	0,04
A3E				0,31	-0,24	-0,30	-0,57
A3D					-0,26	-0,07	0,10
A6D						0,43	0,20
M3E							0,61
M3D							

Nota-se que as correlações apresentadas na Tabela 10 com os dados agrupados foram maiores do que no cenário anterior (Tabela 6) sem o agrupamento dos dados. Entretanto, ainda não é possível observar uma tendência de correlação entre as três variáveis analisadas. Novamente, quando se analisa o PCI com o coeficiente de atrito, as correlações são positivas em algumas observações e negativas em outras. Para as correlações das amostras de mesma variável, também não foi encontrada forte correlação entre elas. As duas amostras de macrotextura obtiveram melhores correlações neste cenário. Para entender a diferença entre as amostras, elaborou-se um gráfico de dispersão dos dados. Na Figura 2 são apresentados os dados de PCI e coeficiente de atrito.

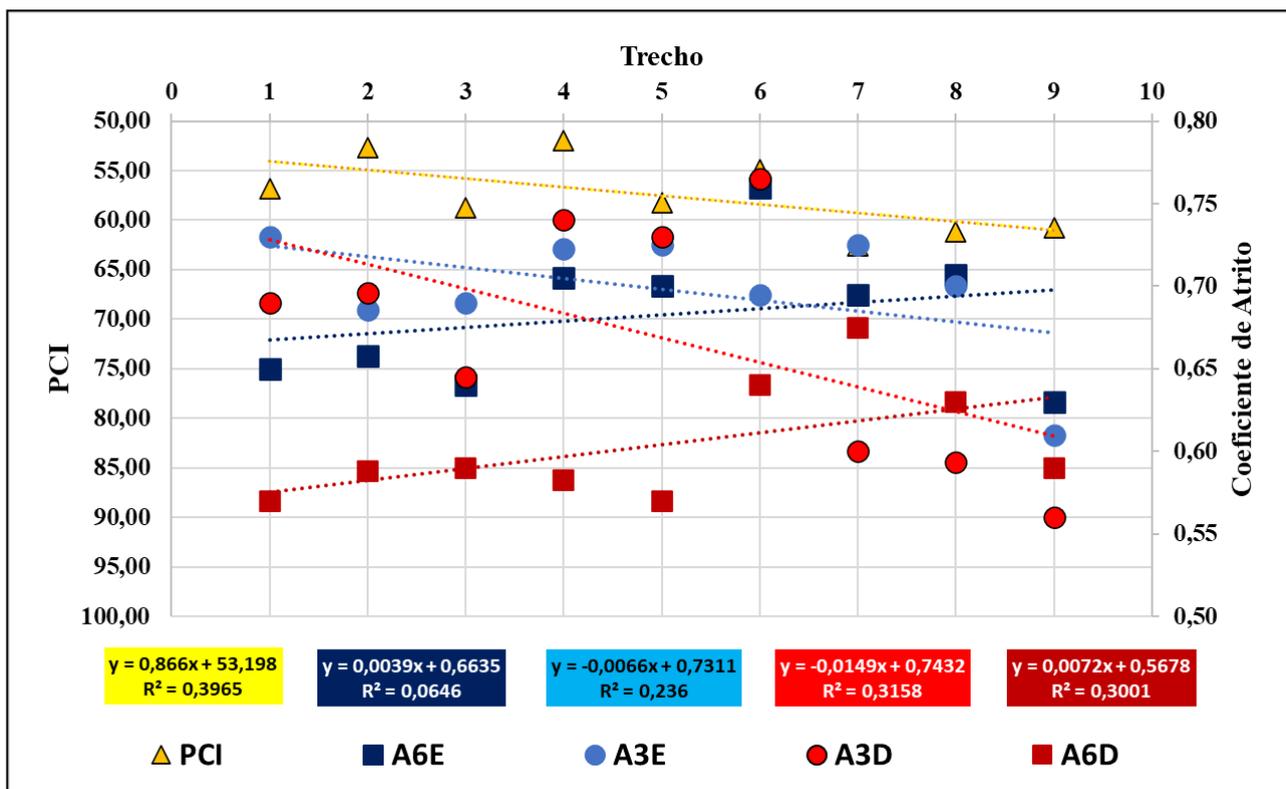
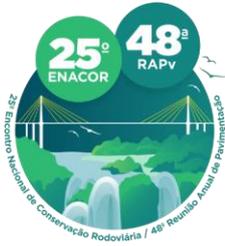


Figura 2. Gráfico de dispersão dos dados de PCI e coeficiente de atrito.



19 a 22 de Setembro de 2023  
Foz do Iguaçu - PR  
[www.rapvenacor.com.br](http://www.rapvenacor.com.br)



Pela Figura 2, observa-se uma relação inversa entre o PCI e o coeficiente de atrito nas medições realizadas a 6m do eixo da PPD para os lados direito e esquerdo, mostrando uma certa heterogeneidade do pavimento. Nas medições realizadas a 3m, o PCI e o coeficiente de atrito possuem uma relação direta, com uma redução do coeficiente do atrito à medida que reduz o PCI para os dois lados da PPD. Isso pode ter ocorrido devido a um maior acúmulo de borracha nesses locais. Ainda, o revestimento pode estar mais desgastado devido às operações de pouso e decolagem de aeronaves de porte médio, caracterizando menores valores de PCI e coeficiente de atrito nas medições a 3m do eixo. Enquanto a região a 6 m do eixo, devido ao menor número de aeronaves de grande porte operando nessa PPD, apresentou o comportamento inverso. Elaborou-se um gráfico de dispersão para os dados de PCI e macrotextura também, ilustrado na Figura 3.

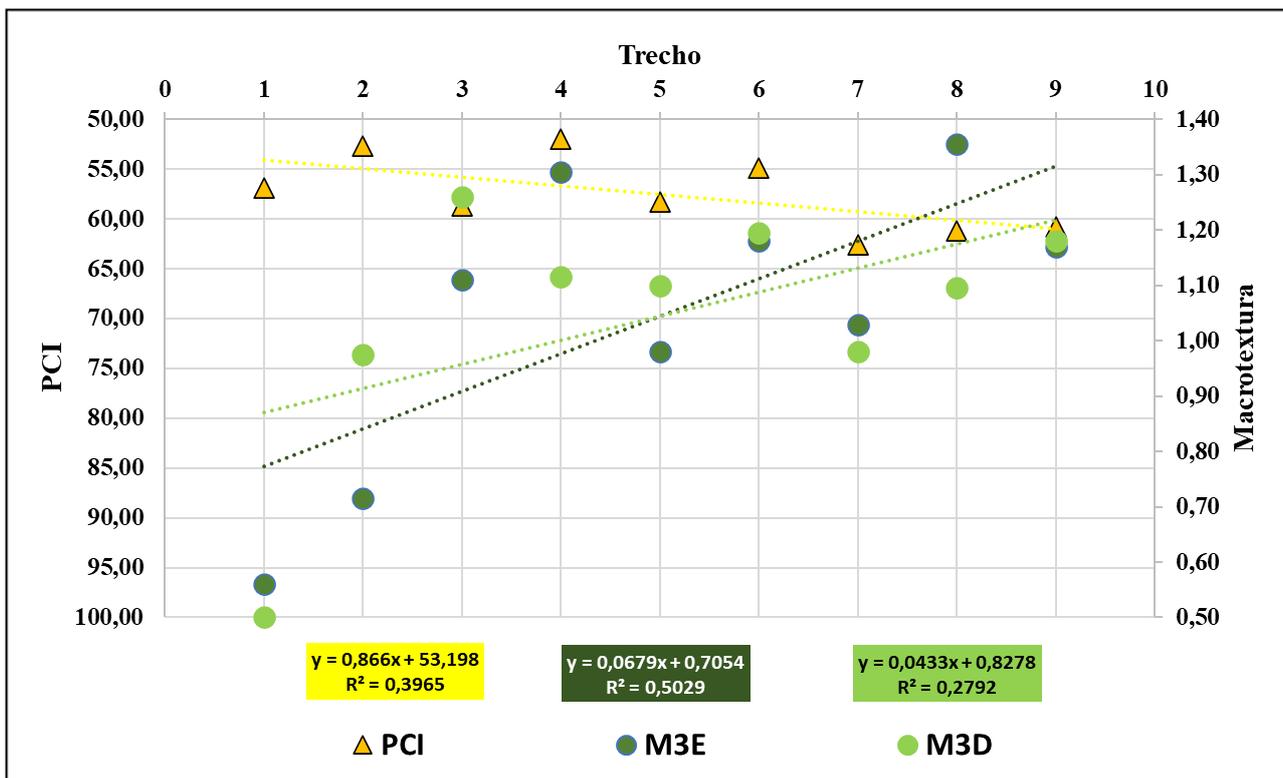
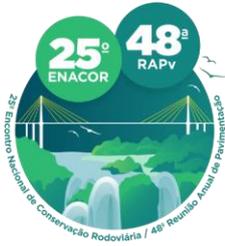


Figura 3. Gráfico de dispersão dos dados de PCI e macrotextura.

Observando a Figura 3, nota-se uma relação inversa entre o PCI e a macrotextura, com uma redução dos valores de PCI e aumento dos valores de macrotextura. Isso pode ter ocorrido pois alguns defeitos que são considerados no cálculo do PCI, como a desagregação e desgastes, podem contribuir para um aumento da textura superficial do pavimento, aumentando os valores de macrotextura de 0,50 mm para 1, 51 mm e caracterizando essa relação inversa.

## CONCLUSÃO

Esse trabalho investigou as relações entre parâmetros funcional e de aderência em pavimentos aeroportuários, por meio do estudo da correlação entre o PCI, o coeficiente de atrito e a macrotextura. Em relação ao PCI, foi constatado que nem todos os dados seguem uma distribuição normal, sendo considerada a correlação de Spearman para comparação das variáveis. Na comparação entre o PCI e o coeficiente de atrito, observou-se uma correlação maior para os dados



19 a 22 de Setembro de 2023  
Foz do Iguaçu - PR

[www.rapvenacor.com.br](http://www.rapvenacor.com.br)



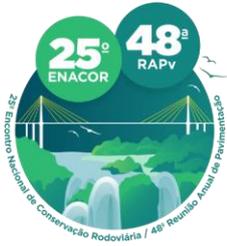
obtidos do lado direito da pista. Analisando apenas o coeficiente de atrito, verificou-se que há uma correlação maior entre os dados obtidos do lado esquerdo se comparados àqueles oriundos do lado direito. Para a macrotextura, foi encontrada uma correlação fraca em ambos os lados.

Dessa forma, é possível concluir que a correlação entre o PCI, o coeficiente de atrito e a macrotextura apresentaram, em geral, baixas correlações. Além disso, foi identificada uma relação inversa entre o PCI e a macrotextura. Assim, é importante que seja realizada a verificação tanto da condição funcional, quanto das condições de aderência da PPD, por meio de levantamentos de campo, pois não é possível, para os dados avaliados nesse estudo, prever o comportamento funcional e de aderência do pavimento baseado na correlação entre esses parâmetros.

Portanto, é importante garantir a segurança e a eficiência das operações de pousos e decolagens. Pavimentos em condições inadequadas podem resultar em desgaste excessivo dos pneus, menor capacidade de frenagem das aeronaves, perda do controle direcional, aumento do risco de aquaplanagem e outros problemas que comprometem a segurança dos tripulantes, passageiros e aeronaves.

## REFERÊNCIAS

- Almeida, A. F. M.; Oliveira, F. H. L. de. (2022). Análise do Pavement Condition Index aeroportuário com uso de estatística espacial. Anais do Air Transportation Symposium (SITRAER). São José dos Campos, São Paulo, 2022.
- ANAC (2017). Manual de Sistema de Gerenciamento de Sistema de Pavimentos Aeroportuários – SGPA. Agência Nacional de Aviação Civil. Secretaria de Aviação Civil. Brasília, DF, 2017.
- ANAC (2020). Instrução Suplementar – IS Nº 153.205-001. Brasília: Agência Nacional de Aviação Civil, 2020. 23 p.
- ANAC (2023). Regulamento Brasileiro de Aviação Civil Nº 153, de 17 de abril de 2023. Agência Nacional de Aviação Civil. Secretaria de Aviação Civil. Brasília, DF, 2023.
- ASTM (2020). D5340–20, Standard Test Method for Airport Pavement Condition Index Surveys, ASTM, West Conshohocken, PA, USA, 2020. <https://www.astm.org/d5340-20.html> (Accessed: April 2023).
- Bezerra Filho, C. I. F.; Oliveira, F. H. L. (2013). Análise da correlação entre a macrotextura e o coeficiente de atrito em pavimentos aeroportuários. In: CONGRESSO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTES, 27., 2013, Belém. Anais. Belém, 2013. p. 1-11.
- Carvalho, A. F. C.; Santos, L. G. P. (2017). Maintenance of airport pavements: the use of visual inspection and IRI in the definition of degradation trends. *International Journal of Pavement Engineering*, [S.L.], v. 20, n. 4, p. 425-431, 10 abr. 2017. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/10298436.2017.1309189>.
- De Luca, M. (2020). Evaluation of runway bearing capacity using international roughness index. *Transportation research procedia*, 45, 119-126. Doi: 10.1016/j.trpro.2020.02.096.
- Hasibuan, R. P.; Surbakti, M. S. (2019). Study of Pavement Condition Index (PCI) relationship with International Roughness Index (IRI) on Flexible Pavement. In: MATEC web of conferences. EDPO Sciences, 2019, p.03019. Disponível em: [https://www.matec-conferences.org/articles/mateconf/abs/2019/07/mate\\_cconf\\_scscsm2019\\_03019/mateconf\\_scscsm2019\\_03019.html](https://www.matec-conferences.org/articles/mateconf/abs/2019/07/mate_cconf_scscsm2019_03019/mateconf_scscsm2019_03019.html). Acesso em: 06 de maio. 2023.
- ICAO (2002). Manual de servicios de aeropuertos. Parte 2. Estado de la superficie de los pavimentos. Cuarta edición. Organización de Aviación Civil Internacional. Lima, Peru. 2002.
- Nascimento, F. A. C. do.; Batista, N. A.; Guimarães, A. C. R. (2014). Correlação entre as medidas de condição de textura e de atrito: Aplicação no caso da obra do novo complexo aeroportuário da Grande Natal. In: CONGRESSO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTES (ANPET), 2014, Curitiba, Paraná. Anais. Curitiba, 2014.
- Pinheiro Neto, J. C.; Oliveira, F. H. L. de.; Aguiar, M. F. P. (2015). Análise da correlação linear de parâmetros de aderência em pavimentos aeroportuários: Estudo de caso do Aeroporto Internacional Pinto Martins. Em Anais da 44ª



19 a 22 de Setembro de 2023  
Foz do Iguaçu - PR

[www.rapvenacor.com.br](http://www.rapvenacor.com.br)



RAPv – Reunião Anual de Pavimentação e 18º ENACOR – Encontro Nacional de Conservação Rodoviária. Foz do Iguaçu, Paraná, 2015.

Quariguasi, J. B. F.; De Oliveira, F. H. L.; Soares e Reis, S. D. (2021). Modelo de previsão do coeficiente de atrito para pista de pouso e decolagem com uso de redes neurais artificiais. TRANSPORTES, [S. l.], v. 29, n. 2, p. 2401, 2021. DOI: 10.14295/transportes. v29i2.2401. Disponível em: <https://www.revistatransportes.org.br/anpet/article/view/2401>. Acesso em: 5 maio. 2023.

Ribeiro, T. R. Oliveira, F. H. L. (2022). Desenvolvimento de modelos de previsão de coeficiente de atrito em pistas de pouso e decolagem brasileiras com Redes Neurais Artificiais. In: ANAIS DO 36º CONGRESSO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTES, 2022, Fortaleza. Anais eletrônicos... Campinas, Galoá, 2022. Disponível em: <<https://proceedings.science/anpet-2022/trabalhos/desenvolvimento-de-modelos-de-previsao-de-coeficiente-de-atrito-em-pistas-de-pou?lang=pt-br>> Acesso em: 23 Maio. 2023.

Wesołowski, M.; Iwanowski, P. (2020). APCI evaluation method for cement concrete airport pavements in the scope of air operation safety and air transport participants life. International Journal of Environmental Research and Public Health, 17(5), 1663. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1660-4601/17/5/1663>. Acesso em: 06 de maio. 2023.