



19 a 22 de Setembro de 2023
Foz do Iguaçu - PR
www.rapvenacor.com.br



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

ANÁLISE DA RESISTÊNCIA À DERRAPAGEM DE PISTA DE POUSO E DECOLAGEM PRÉ E PÓS-OBRA DE REABILITAÇÃO

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

*Camila Lima Maia¹; Maria Izabel de Mesquita Rocha¹; Antonia Fabiana Marques Almeida¹;
Madalena Osório Leite²; Francisco Heber Lacerda de Oliveira¹*

RESUMO

A segurança de pousos e decolagens pode ser afetada negativamente caso os revestimentos não apresentem resistência à derrapagem satisfatória. Essa resistência pode ser caracterizada por meio da aderência pneu-pavimento. Nesse sentido, as condições de aderência são de fundamental importância para a tomada de decisão em pavimentos aeroportuários. Sendo assim, este trabalho tem o objetivo de analisar as condições de resistência à derrapagem de pistas de pouso e decolagem (PPD), antes e após processo de reabilitação, a fim de verificar o efeito dessa intervenção nos parâmetros de coeficiente de atrito e macrotextura. Para isso, foram analisados, entre os anos de 2020 e 2021, os parâmetros supramencionados para uma PPD brasileira que passou pela reabilitação do seu revestimento asfáltico. Os dados utilizados nessa pesquisa foram obtidos de relatórios técnicos disponibilizados pela Agência Nacional de Aviação Civil. Foi realizada uma análise estatística por meio de medidas de tendência central e dispersão. Os resultados mostraram que, após a obra de reabilitação, o coeficiente de atrito apresentou um aumento, enquanto a macrotextura não apresentou melhores condições pós-obra, apesar de sua conformidade com os limites estabelecidos pela regulamentação brasileira vigente. Ainda, foi identificado um comportamento cíclico no coeficiente de atrito e uma diminuição ao longo do tempo para a macrotextura. Diante do exposto, o trabalho pretende contribuir para o incremento da segurança operacional em aeroportos brasileiros por meio da melhoria da resistência à derrapagem em pistas de pouso e decolagem.

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

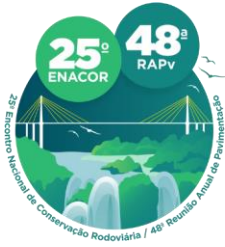
ABSTRACT

The safety of landings and takeoffs can be negatively affected if the coatings do not show satisfactory skid resistance. This resistance can be characterized using tire-pavement adherence. In this sense, adherence conditions are of fundamental importance for decision-making on airport pavements. Therefore, this paper aims to analyze the skid resistance conditions of the takeoff and landing runway before and after the rehabilitation process to verify this intervention's effect on the coefficient of friction and macrotexture parameters. For this, between the years 2020 and 2021, the aforementioned parameters were analyzed for a Brazilian runway that underwent rehabilitation of its asphalt coating. The data used in this research were obtained from technical reports made available by the National Civil Aviation Agency. Furthermore, a statistical analysis was performed using central tendency and dispersion measures. The results showed that, after the rehabilitation work, the friction coefficient increased, while the macrotexture did not show better post-work conditions, despite its compliance with the limits established by current Brazilian regulations. Also, a cyclical behavior was identified in the coefficient of friction and a decrease over time for the macrotexture. Given the above, the paper intends to contribute to the increase of operational safety in Brazilian airports by improving skid resistance in landing and takeoff runways.

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

¹Departamento de Engenharia de Transportes, Bloco 703, Campus do Pici, Universidade Federal do Ceará (UFC), camilalima@det.ufc.br; rizabelmaria@gmail.com; fabiana@det.ufc.br; heber@det.ufc.br.

²Universidade de Fortaleza (UNIFOR), madalenaosorioleite@unifor.br.



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

www.rapvenacor.com.br



INTRODUÇÃO

De acordo com ANAC (2021a), 22,5% dos acidentes aéreos registrados entre os anos de 2016 e 2020, no Brasil, estão relacionados à excursão em pista (*runway excursion*). Ela ocorre quando uma aeronave se afasta das extremidades ou da lateral da pista durante as fases de pouso ou decolagem. Um dos fatores que contribuem para a saída da aeronave da pista de pouso e decolagem (PPD) é a infraestrutura aeroportuária irregular (CENIPA, 2020), manifestada pela ausência da resistência à derrapagem do revestimento da PPD.

Desse modo, ANAC (2021b) determina que operador de aeródromo deve planejar e executar os serviços de manutenção e reabilitação (M&R) da PPD e das demais infraestruturas aeroportuárias, para manter a sua segurança. O pavimento aeroportuário deve, portanto, cumprir duas funções básicas: conforto ao rolamento e segurança. Tais funções são verificadas por meio da avaliação da condição funcional dos pavimentos, que abrange a análise da irregularidade longitudinal, do atrito, da macrotextura e da ocorrência de defeitos (ANAC, 2017).

Em relação à segurança operacional, segundo Aps (2006), as condições de aderência de pavimentos aeroportuários são fatores importantes para a tomada de decisão em relação às manutenções, principalmente da PPD. Para Sales *et al.* (2021a), a aderência efetiva pode ser alcançada por meio do controle da macrotextura e do coeficiente de atrito, combinados de eficientes processos de drenagem superficial no pavimento e de remoção do acúmulo de borracha sobre os revestimentos.

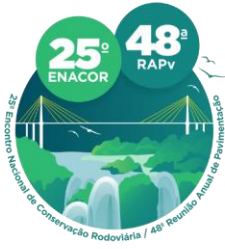
Oliveira (2009) destaca que as práticas de M&R dos pavimentos aeroportuários contribuem positivamente para a segurança, garantindo que os parâmetros mínimos sejam atendidos. Dessa forma, o objetivo deste trabalho é analisar as condições de resistência à derrapagem de um pavimento aeroportuário, antes e após processo de reabilitação do revestimento asfáltico, com foco na segurança das operações de pousos e decolagens. Para isso, foi realizado um estudo do coeficiente de atrito e da macrotextura da PPD de um aeroporto brasileiro entre os anos de 2020 e 2021.

REFERENCIAL TEÓRICO

A aderência da pista de pouso e decolagem (PPD) é uma propriedade física que representa a força de contato entre os pneus da aeronave e o pavimento. Uma aderência adequada garante resistência à derrapagem e controle direcional para as aeronaves durante sua operação. De acordo com ANAC (2021b), o atrito e a macrotextura são os principais parâmetros utilizados para a definição das condições de aderência.

Couchinho (2011) destaca que o grau de desgaste, a pressão e o tipo dos pneus, a velocidade de tráfego dos veículos, a temperatura, o clima e a presença de água ou outros tipos de contaminantes como a borracha, são fatores que influenciam as condições de aderência de um pavimento. Nesse sentido, a segurança operacional deve ser assegurada principalmente em dias chuvosos.

A falta de aderência pode ocasionar hidroplanagem, que é a perda de contato entre o pneu e o pavimento, possibilitando a ocorrência de graves acidentes em PPD. Oliveira (2016) destaca que em superfícies rugosas, melhores são as condições de macrotextura e coeficiente de atrito, proporcionando drenagem superficial na pista e a aderência do pneu com o pavimento, embora o



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

www.rapvenacor.com.br



conforto da aeronave possa ser prejudicado quanto ao rolamento. Porém, há um limiar que deve assegurar ambos os parâmetros.

Em relação ao coeficiente de atrito, ICAO (2002) o define como a relação entre a força tangencial (que mantém os pneus da aeronave e a superfície do pavimento em um movimento relativo uniforme) e a força perpendicular que as mantém em contato. Essa força perpendicular representa o peso distribuído do avião sobre a área dos pneus. Para Young e Wells (2011), o atrito da superfície das pistas aeroportuárias é o que permite que as aeronaves desacelerem e acelerem de modo seguro durante os procedimentos de pouso e decolagem.

A Tabela 1 apresenta os parâmetros do coeficiente de atrito obtidos com o uso do *Grip Tester*, equipamento utilizado para a medição dos dados que foram utilizados neste estudo. Há uma tolerância de 2,5% sobre os valores do coeficiente de atrito, segundo ANAC (2020).

Tabela 1. Parâmetros de coeficiente de atrito obtidos com o *Grip Tester* (Adaptado de ANAC, 2020).

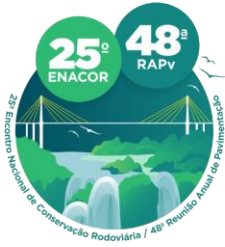
Pressão do pneu (kPa)	Velocidade do ensaio (km/h)	Profundidade da lâmina d'água simulada (mm)	Coeficiente de atrito	
			Nível de manutenção	Nível mínimo
140	65	1,0	0,53	0,43
140	95	1,0	0,36	0,24

Conforme ANAC (2020), se o coeficiente de atrito apresentar valor inferior ao nível de manutenção da Tabela 1, o operador de aeródromo deve informar à Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) quais ações foram ou serão adotadas para que os valores atendam ao nível de manutenção definido. Isso também ocorre se os valores encontrados forem menores do que o nível mínimo apresentado na Tabela 1.

No caso da macrotextura, ela pode ser definida como um tipo de textura de superfície que está relacionada ao ligante que compõe o revestimento asfáltico, aos agregados e ao espaço entre suas partículas. Ela contribui com a drenagem de água superficial, reduzindo o efeito da aquaplanagem dinâmica nos pneus de aeronaves ao proporcionar o escoamento da água na PPD (ICAO, 2002).

ANAC (2020) recomenda o ensaio volumétrico tipo mancha de areia para medir e monitorar a profundidade da macrotextura do pavimento. No Brasil, este ensaio é normalizado por ABNT (2016). Os valores de medição obtidos no ensaio de mancha de areia são a divisão do volume de areia utilizado no ensaio pela área coberta pela areia. ANAC (2020) indica que a profundidade média da macrotextura deve ser maior ou igual a 0,60 mm para PPD brasileiras. No caso de valores inferiores a 0,60 mm, o operador de aeródromo deve informar o órgão fiscalizador sobre quais ações serão tomadas para atender à regulamentação e garantir a segurança das operações.

Pinheiro Neto *et al.* (2015) buscaram estabelecer uma correlação linear entre parâmetros de aderência de pavimentos aeroportuários, por meio da análise da macrotextura e do coeficiente de atrito. O estudo utilizou dados levantados em 2014 no Aeroporto Internacional de Fortaleza. Os autores encontraram correlações fracas e moderadas. Devido à imprecisão na avaliação da macrotextura, que utilizou o ensaio de mancha de areia, foi observada uma grande variação nas correlações geradas.



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

www.rapvenacor.com.br



Um estudo realizado por Oliveira *et al.* (2016) buscou conhecer as relações existentes entre a aderência e o conforto ao rolamento em PPD. Os autores utilizaram dados de macrotextura, coeficiente de atrito e Índice de Irregularidade Internacional (IRI), obtidos entre 2013 e 2014 no Aeroporto Internacional de Fortaleza. Os resultados mostraram que em alguns trechos da PPD, sobretudo no segmento central, os parâmetros apresentaram uma tendência divergente.

Outro estudo foi realizado por Quariguasi *et al.* (2018) que analisaram os parâmetros de aderência pneu-pavimento de uma PPD composta por Camada Porosa de Atrito (CPA), entre os anos de 2015 a 2018. Os autores observaram variações cíclicas nos valores de macrotextura e coeficiente de atrito. No entanto, não foi possível afirmar, do ponto de vista estatístico, se houve uma tendência de crescimento ou diminuição desses parâmetros.

Por fim, Sales *et al.* (2021b) analisaram a efetividade da remoção de borracha em pistas de pouso e decolagem por meio de medições de coeficiente de atrito e da macrotextura usando testes de hipóteses entre amostras pareadas. Os resultados indicaram que a frequência de execução da remoção de borracha é eficiente, uma vez que não foram observados muitos períodos com redução nos valores.

MÉTODO DE PESQUISA

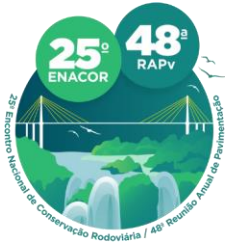
Para a análise dos parâmetros de coeficiente de atrito e de macrotextura, foi escolhida a pista de pouso e decolagem (PPD) de um aeroporto brasileiro. A PPD possui as cabeceiras denominadas 13 e 31, sendo a cabeceira 13 predominante em operações, com 70 pousos diários na época do estudo. O aeroporto passou por obras de reforma da sua infraestrutura, para as quais pode-se destacar a ampliação do comprimento da PPD e a reabilitação do seu revestimento asfáltico. Além disso, o pavimento da PPD passou por essas intervenções com obras realizadas entre outubro e dezembro de 2020.

Segundo Correia (2022), a reabilitação da PPD consistiu na melhoria do revestimento asfáltico e foi realizada ao longo de 2.531 m de extensão, em faixas que variaram entre 14 e 21 m de largura. A obra contemplou, também, prolongamentos na cabeceira 13, acessos às pistas de taxiamento, fresagem do revestimento existente com espessura entre 4 e 9 cm, reabilitação em concreto asfáltico modificado por polímeros e sinalização horizontal.

Foram utilizados dados obtidos a partir de relatórios técnicos fornecidos pela Superintendência de Infraestrutura Aeroportuária da Agência Nacional de Aviação Civil (SIA/ANAC) para levantamentos realizados da seguinte forma:

- a. Para o coeficiente de atrito, foram feitas medições ao longo da PPD em trechos de 100 m às distâncias de 3 m e 6 m do seu eixo para o lado esquerdo e para o lado direito. O equipamento utilizado foi o *Grip Tester* a uma velocidade de 65 km/h;
- b. Para a macrotextura, o método da mancha de areia considerou a distância de 3 m do eixo da PPD para trechos de 100 m, revezando-se entre lado esquerdo e lado direito. Neste estudo foi utilizada a profundidade média dividida por terço da PPD, a partir da cabeceira predominante, como recomenda ANAC (2020).

Ao todo foram analisados 12 relatórios técnicos, sendo 8 relatórios de coeficiente de atrito e 4 relatórios de macrotextura, conforme Tabela 2, entre fevereiro de 2020 a junho de 2021.



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

www.rapvenacor.com.br



Tabela 2. Quantidade de relatórios em relação ao período de medição (Autoria Própria, 2023).

Período	Coefficiente de Atrito	Macrot textura
Fevereiro/2020	1	-
Maiο/2020	1	1
Agosto/2020	1	-
Novembro/2020	1	1
Dezembro/2020	1	-
Março/2021	1	1
Abril/2021	1	-
Junho/2021	1	1
Total	8	4

Para a compreensão dos dados dos levantamentos, foram utilizadas medidas de tendência central e de dispersão, como média, desvio padrão e coeficiente de variação (CV). Por meio do CV, foi possível realizar a comparação dos dados entre relatórios e demonstrar o quanto eles variaram entre si em relação à sua média. De forma complementar, foi utilizado o Teste de Grubbs para identificar os possíveis valores atípicos, ou *outliers*, e recalculou os valores de média e tendência central, visto que alguns relatórios apresentaram maior CV em relação aos demais. Todas as análises foram realizadas utilizando o *software* Microsoft Excel ®.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Análise do Coeficiente de Atrito

A Tabela 3 apresenta um resumo dos valores encontrados para as médias e medidas de dispersão de cada lado da pista de pouso e decolagem (PPD), para o coeficiente de atrito, de acordo com a distância de medição, pré-obra de reabilitação.

Tabela 3. Resultados dos relatórios de coeficiente de atrito pré-obra (Autoria Própria, 2023).

Relatório	Distância	Lado	Média	Desvio Padrão	CV (%)
Relatório 1 (10/02/2020)	3m	Esquerdo	0,82	0,09	11,08
		Direito	0,80	0,10	11,96
	6m	Esquerdo	0,82	0,05	6,63
		Direito	0,79	0,09	12,02
Relatório 2 (08/05/2020)	3m	Esquerdo	0,77	0,09	11,59
		Direito	0,76	0,10	13,75
	6m	Esquerdo	0,76	0,07	8,71
		Direito	0,74	0,10	13,19
Relatório 3 (03/08/2020)	3m	Esquerdo	0,71	0,07	9,63
		Direito	0,70	0,07	9,74
	6m	Esquerdo	0,70	0,05	6,88
		Direito	0,70	0,04	6,25
Relatório 4 (01/11/2020)	3m	Esquerdo	0,65	0,09	14,22
		Direito	0,69	0,11	15,53
	6m	Esquerdo	0,70	0,08	11,42
		Direito	0,68	0,08	11,77

Os resultados da Tabela 3 indicam que os valores encontrados para o coeficiente de atrito variaram de forma semelhante em relação ao lado, pois os lados direito e esquerdo apresentaram CV e o



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

www.rapvenacor.com.br



desvio padrão com valores próximos, para as medições realizadas a 3 m e 6 m do eixo, principalmente para os relatórios 3 e 4. Em relação ao lado, o esquerdo apresentou as melhores médias em relação ao lado direito, que obteve resultado melhor apenas no Relatório 4, na medição realizada a 3 m do eixo da PPD. A Tabela 4 apresenta os mesmos valores de médias e medidas de dispersão para as medições realizadas pós-obra de reabilitação da PPD.

Tabela 4. Resultados dos relatórios de coeficiente de atrito pós-obra (Autoria Própria, 2023).

Relatório	Distância	Lado	Média	Desvio Padrão	CV (%)
Relatório 5 (17/12/2020)	3m	Esquerdo	0,75	0,06	7,43
		Direito	0,80	0,06	7,97
	6m	Esquerdo	0,78	0,04	5,59
		Direito	0,80	0,04	5,08
Relatório 6 (10/03/2021)	3m	Esquerdo	0,68	0,07	10,45
		Direito	0,64	0,07	10,97
	6m	Esquerdo	0,72	0,06	8,54
		Direito	0,67	0,03	4,97
Relatório 7 (20/04/2021)	3m	Esquerdo	0,65	0,05	8,40
		Direito	0,64	0,07	11,51
	6m	Esquerdo	0,63	0,04	5,80
		Direito	0,63	0,08	12,28
Relatório 8 (07/06/2021)	3m	Esquerdo	0,79	0,10	12,55
		Direito	0,82	0,09	11,19
	6m	Esquerdo	0,79	0,07	8,75
		Direito	0,79	0,04	5,29

Para os resultados da Tabela 4, em relação ao lado, o esquerdo apresentou as melhores médias nos relatórios 6 e 7; o lado direito apresentou as melhores média do coeficiente de atrito nos relatórios 5 e 8. Assim como aconteceu para as medições pré-obra, os valores de CV e de desvio padrão apresentaram valores próximos para o lado esquerdo e direito, principalmente no relatório 5 e nos relatórios 6 e 8 para as medições realizadas a 3 m do eixo. A Figura 1 apresenta a média geral de cada relatório considerando todas as medições realizadas para as duas distâncias e ambos os lados.

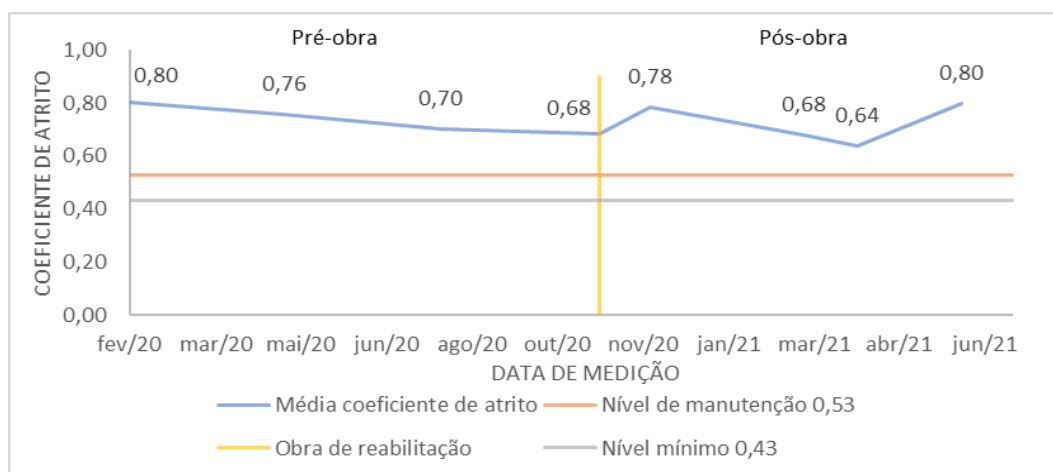
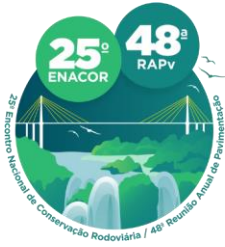


Figura 1. Média geral do coeficiente de atrito – Pré e pós-obra (Autoria Própria, 2023).



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

www.rapvenacor.com.br



Percebe-se, pela análise da Figura 1, que os valores do coeficiente de atrito pré-obra apresentavam uma tendência de redução, em função da idade do revestimento (cerca de 10 anos), do desgaste da PPD com as operações de pouso e decolagem e das condições climáticas e ambientais. Após a obra, a média geral aumentou, mas apresentou decréscimo nas outras duas medições posteriores e acréscimo no último relatório, levantado em junho de 2021. Essa redução nos valores pode ter ocorrido por se tratar de um revestimento novo, que ao longo do tempo foi adquirindo melhor resistência à derrapagem quando considerado o coeficiente de atrito.

Outro fator que pode explicar esse comportamento é a estabilização da mistura asfáltica ao longo do tempo conforme Skerritt (1993). Segundo o autor, o atrito em pavimentos novos está relacionado à macrotextura, pois os agregados estão recobertos por uma película de asfalto. Conforme há tráfego pela via, essa película desaparece e os agregados ficam expostos ao polimento, sofrendo desgastes ao longo do tempo até atingir uma condição de equilíbrio.

Nota-se, ainda pela Figura 1, um comportamento cíclico entre as medições, com uma redução do coeficiente de atrito de 0,80 para 0,68 em um período de 8 meses antes da obra de reabilitação (entre fevereiro de 2020 e outubro de 2020). Desempenho semelhante ocorreu pós-obra, quando o coeficiente de atrito apresentou um aumento de 0,68 para 0,80 também em um período de 8 meses (entre outubro de 2020 e junho de 2021). Esse comportamento cíclico também foi observado por Quariguasi *et al.* (2018). Vale destacar que não foi verificada a ocorrência de remoção acúmulo de borracha no período analisado (pós-obra), pois essa informação não constava nos relatórios técnicos analisados neste trabalho.

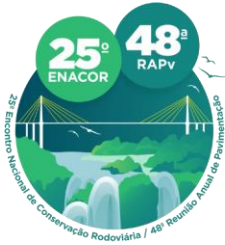
Análise da Macrotextura

A Tabela 5 mostra os resultados encontrados para a média e as medidas de dispersão dos dois levantamentos da macrotextura realizados pré-obra de reabilitação. Os dados estão separados por terço e por lado da PPD.

Tabela 5. Resumo dos resultados de medição da macrotextura pré-obra (Autoria Própria, 2023).

	Terço	Lado	Média (mm)	Desvio Padrão (mm)	CV (%)
Relatório 1 (08/05/2020)	1°	Esquerdo	1,37	0,20	14,84
		Direito	1,46	0,32	21,73
	2°	Esquerdo	1,47	0,20	13,48
		Direito	1,48	0,19	12,53
	3°	Esquerdo	1,18	0,52	44,15
		Direito	1,25	0,21	16,80
Relatório 2 (05/11/2020)	1°	Esquerdo	1,02	0,24	23,89
		Direito	1,13	0,30	26,87
	2°	Esquerdo	0,90	0,09	9,46
		Direito	0,87	0,07	7,58
	3°	Esquerdo	0,80	0,07	8,78
		Direito	0,93	0,06	6,21

Analisando os dados da Tabela 5, nota-se que o CV variou de 12,53% a 44,15%, para o Relatório 1, e de 6,21% a 26,87% no Relatório 2, considerando todos os terços da PPD. O valor do desvio padrão também apresentou valores elevados, com o máximo de 0,52 mm. Devido a essa variação



19 a 22 de Setembro de 2023
Foz do Iguaçu - PR
www.rapvenacor.com.br



nos valores de macrotextura, foi verificada a possível existência de *outliers* utilizando, para isso, o teste de Grubbs. O resultado do teste mostrou que não foram identificados a presença de *outliers*. Isso também pode ser verificado no *boxplot* da Figura 2.

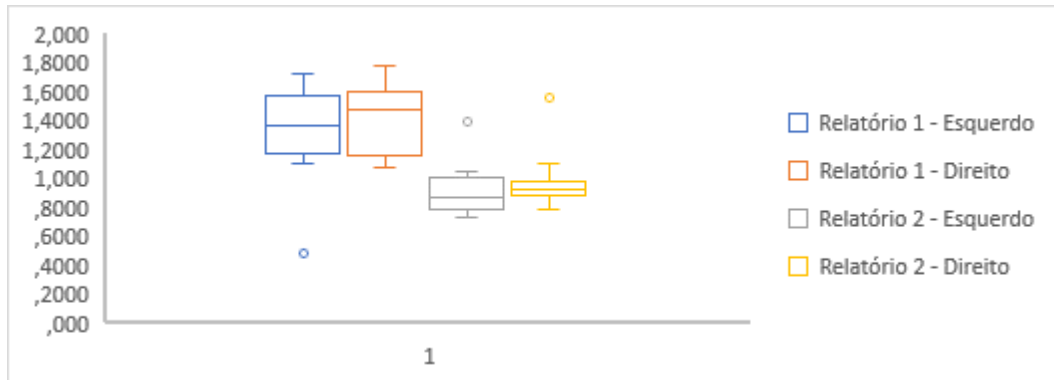


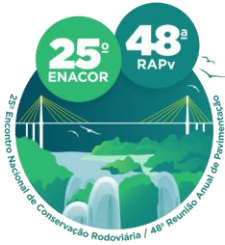
Figura 2. *Boxplot* dos dados de macrotextura pré-obra (Autoria Própria, 2023).

Pela Figura 2 é possível perceber que as variações foram menores no lado esquerdo. Também pode-se observar que os valores de média diminuíram entre as medições de maio de 2020 e de novembro de 2020, representando um possível desgaste da PPD. As médias de profundidade de macrotextura tiveram valores acima do limite mínimo de 0,60 mm. Todavia, na medição realizada em maio de 2020, encontrou-se o valor de 0,48 mm no trecho de 2.200 m à esquerda, que, posteriormente, apresentou valor de 0,75 mm na medição seguinte, de novembro de 2020.

Esse comportamento pode ter ocorrido por diversos fatores, inclusive pela imprecisão do método de medição da macrotextura, que utilizou o ensaio de mancha de areia e, também, pelo desgaste da mistura asfáltica (do ligante e dos agregados), tendenciando o revestimento a uma textura aberta. Além disso, pode ter ocorrido alguma remoção de acúmulo de borracha nesse período. Contudo, essa informação não estava disponível nos relatórios analisados. A Tabela 6 apresenta os valores médios de profundidade da macrotextura e as medidas de dispersão, para os resultados encontrados nos levantamentos pós-obra de reabilitação da PPD, em 2021.

Tabela 6. Resumo dos resultados de medição da macrotextura pós-obra (Autoria Própria, 2023).

	Terço	Lado	Média (mm)	Desvio Padrão (mm)	CV (%)
Relatório 3 (12/03/2021)	1°	Esquerdo	0,83	0,08	9,18
		Direito	0,77	0,10	12,54
	2°	Esquerdo	0,87	0,13	14,63
		Direito	0,79	0,10	12,59
Relatório 4 (10/06/2021)	3°	Esquerdo	0,85	0,05	5,60
		Direito	0,81	0,05	6,53
	1°	Esquerdo	0,76	0,12	16,36
		Direito	0,80	0,15	18,46
	2°	Esquerdo	0,87	0,15	17,48
		Direito	0,71	0,08	11,39
3°	Esquerdo	0,75	0,14	18,60	
		Direito	0,75	0,08	10,04



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

www.rapvenacor.com.br



Verifica-se que os CV da Tabela 6, apresentaram variação de 5,60% a 14,63% no Relatório 3 e de 10,04% a 18,60% no Relatório 4, variando menos do que nos relatórios anteriores, pré-obra de reabilitação. O desvio padrão também apresentou valores inferiores, com valor máximo de 0,15 mm. Assim, após o processo de reabilitação, a macrotextura apresentou resultados mais homogêneos. Pelo teste de Grubbs, não foram identificados *outliers*, como mostrado no *boxplot* da Figura 3.

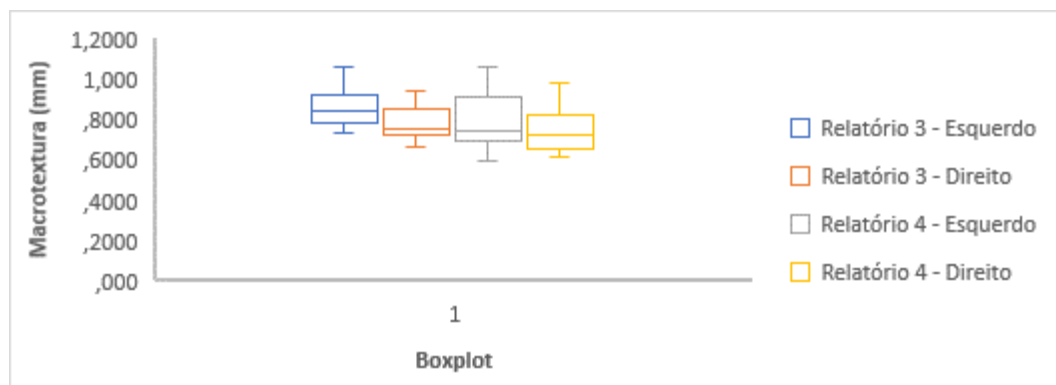


Figura 3. *Boxplot* dos dados de macrotextura pós-obra (Autoria Própria, 2023).

O lado esquerdo apresentou melhores médias na medição realizada em março de 2021 ao longo da PPD. No entanto, na medição de junho de 2021 os dois lados apresentaram resultados semelhantes, cada um com 50% dos melhores valores de profundidade média da macrotextura. Todas as médias tiveram valores acima do valor limite de profundidade média de macrotextura de 0,60 mm e todos os trechos individualmente. A Tabela 7 apresenta um resumo com as médias gerais da profundidade média da macrotextura para cada terço da PPD considerando os dois lados e a sua classificação, conforme ANAC (2021b).

Tabela 7. Profundidade média da macrotextura em mm (Autoria Própria, 2023).

Data da medição	Terço da PPD			Classificação
	1°	2°	3°	
08/05/2020	1,41	1,47	1,21	Muito aberta
05/11/2020	1,07	0,89	0,87	Aberta
12/03/2021	0,80	0,83	0,83	Aberta
10/06/2021	0,78	0,79	0,75	Média

Da Tabela 7, pode-se observar que a macrotextura da PPD foi classificada como muito aberta na medição de maio de 2020 e aberta nas medições posteriores. Os valores para este parâmetro estão acima do limite determinado por ANAC (2020), que é de 0,60 mm. A Figura 4 apresenta a média geral da macrotextura por terço da PPD pré e pós-obra de reabilitação.



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

www.rapvenacor.com.br

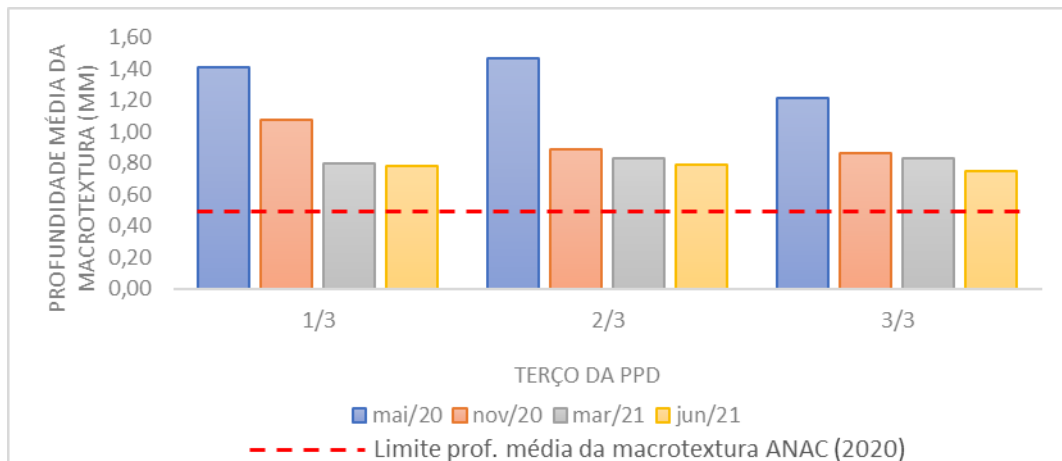


Figura 4. Média geral da profundidade da macrotextura por terço de PPD – Pré e pós-obra (Autoria Própria, 2023).

Da Figura 4 é possível perceber que as profundidades médias da macrotextura diminuíram ao longo do tempo e apresentaram valores menores mesmo pós-obra. Desse modo, constata-se que não houve melhora desse parâmetro. A macrotextura está relacionada aos agregados que compõem o revestimento asfáltico, aos espaços (profundidade) entre eles e ao ligante da mistura asfáltica.

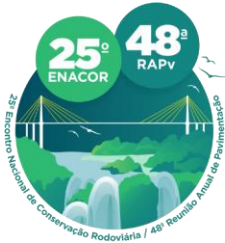
Nesse sentido, durante a utilização da PPD e processo de desgaste do revestimento, é possível que os agregados fiquem mais expostos, logo, com uma textura muito rugosa ou aberta. Como a medição da macrotextura foi realizada pouco tempo após o processo de reabilitação, com o revestimento novo, essa melhora pode não ter sido identificada. Além disso, pode ter ocorrido um processo de micro exsudação causado pela temperatura do revestimento e um processo de consolidação da mistura asfáltica, deixando a textura com tendência a estar aberta ou média, com o tempo.

CONCLUSÕES

A análise das condições de resistência à derrapagem em pista de pouso e decolagem (PPD) é fator importante para a determinação da segurança operacional em pavimentos aeroportuários. Por meio dos parâmetros de coeficiente de atrito e de macrotextura é possível realizar essa avaliação. Para a PPD estudada neste trabalho, verificou-se que após a sua obra de reabilitação do revestimento asfáltico, o parâmetro de coeficiente de atrito melhorou o seu índice em comparação com os resultados encontrados pré-obra.

No entanto, para a macrotextura, a PPD não apresentou resultados melhores pós-obra, embora os resultados encontrados indiquem que esse parâmetro atende aos critérios estabelecidos pela Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC). Dessa forma, maiores esclarecimentos são necessários em relação a macrotextura, devendo ser observado se esse comportamento se repete em outras PPD e como esse parâmetro se comporta ao longo do tempo, pois foi analisada apenas a situação quase imediatamente pós-obra de reabilitação (6 meses depois).

Conclui-se, portanto, que a PPD apresenta segurança operacional adequada, no contexto da resistência à derrapagem, pois cumpriu, em todos os parâmetros, os limites estabelecidos pela autoridade de aviação civil no Brasil. A obra de reabilitação realizada foi eficiente para garantir as



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

www.rapvenacor.com.br



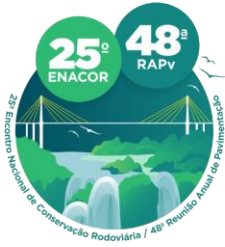
condições de aderência pneu-pavimento necessárias para as operações de pouso e decolagem, mesmo sem a melhoria das condições da macrotextura pré-obra.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP) pelo apoio financeiro concedido para realização desta pesquisa e à Superintendência de Infraestrutura Aeroportuária da Agência Nacional de Aviação Civil (SIA/ANAC) pela disponibilização dos dados utilizados.

REFERÊNCIAS

- ANAC (2017). Manual de Sistema de Gerenciamento de Pavimentos Aeroportuários – SGPA. Brasília: Agência Nacional de Aviação Civil, 2017. 61 p.
- ANAC (2020). Instrução Suplementar – IS Nº 153.205-001. Brasília: Agência Nacional de Aviação Civil, 2020. 23 p
- ANAC (2021a). Análise Qualitativa dos Relatórios Finais das ocorrências com aeronaves de matrícula brasileira nos últimos 10 anos (2010-2019) classificadas como Excursão de Pista (RE). [S. l.]: Agência Nacional de Aviação Civil, 2021. Disponível em: https://www.gov.br/anac/pt-br/assuntos/seguranca-operacional/relatorios-de-analises-de-ocorrencias/Relatorio_RE_VersaoFinal.pdf. Acesso em: 24 maio 2022.
- ANAC (2021b). Regulamento Brasileiro de Aviação Civil Nº 153, de 15 de março de 2021. Agência Nacional de Aviação Civil. Secretaria de Aviação Civil. Brasília, DF, 2021.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2016). ABNT NBR 16504 – Misturas asfálticas – Determinação da profundidade média da macrotextura superficial de pavimentos asfálticos por volumetria – Método da mancha de areia, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2016.
- APS, Marcia (2006). Classificação da Aderência Pneu-Pavimento pelo Índice Combinado IFI – International Friction Index para Revestimentos Asfálticos. Tese de Doutorado, Escola Politécnica – USP, São Paulo, 2006.
- CENIPA (2020). Saída de Pista na Aviação Civil Brasileira Dados: 2004 – 2013. Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos, 2020. Disponível em: http://sistema.cenipa.aer.mil.br/cenipa/paginas/arquivos/Saida_de_Pista_2004_a_2013.pdf. Acesso em: 24 maio 2022.
- CORREIA, Calebe Lira (2022). Análise de obra de reabilitação de pavimentos aeroportuários: um estudo de orçamento, planejamento e controle de obras. Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Civil, Fortaleza, 2022.
- COUCHINHO, Rui Pedro dos Santos (2011). Medição do coeficiente de atrito da superfície de pavimentos: estudo do equipamento Grip Tester. Lisboa: Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, 2011. Dissertação de mestrado.
- 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.
- SALES, R. S.; MAIA, A. O.; OLIVEIRA, F. H. L. de (2021b). Análise da influência da remoção de borracha na aderência pneu-pavimento de pistas de pouso e decolagem. Anais do 35º Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes da ANPET, 2021.
- SALES, R. S.; OLIVEIRA, F. H. L. de; PRADO, L. A (2021a). Performance of tire-asphalt pavement adherence according to rubber removal on runways. INTERNATIONAL JOURNAL OF PAVEMENT ENGINEERING 2022, VOL. 23, NO. 10, 3566–3576 <https://doi.org/10.1080/10298436.2021.1907577>. (2021).
- SKERRITT, W. H (1993). Aggregate type and traffic volume as controlling factors in bituminous pavement friction. Transportation Research Record, n. 1418, p. 22–29, 1993. ISSN 03611981.
- OLIVEIRA, Francisco Heber Lacerda de (2009). Proposição de estratégias de manutenção de pavimentos aeroportuários baseadas na macrotextura e no atrito: Estudo de caso do Aeroporto Internacional de Fortaleza. 2009. Dissertação de Mestrado. Dissertação de Mestrado, Programa de Mestrado em Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, 178 pág.
- OLIVEIRA, F. H. L. de, ALMEIDA, L. C. de, RAMOS, S. P. (2016). Estudo do comportamento da aderência e do conforto ao rolamento em pistas de pouso e decolagem. TRANSPORTES, 24(2), 27–33. <https://doi.org/10.14295/transportes.v24i2.1059>.



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

www.rapvenacor.com.br



OLIVEIRA, Francisco Heber Lacerda de (2016). Desenvolvimento de um modelo de gerenciamento de pavimentos aeroportuários como apoio à tomada de decisão sobre estratégias de manutenção e reabilitação. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia de Transportes, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes, Fortaleza, 2016.

PINHEIRO NETO, J. C.; OLIVEIRA, F. H. L. de; AGUIAR, M. F. P. de (2015). Análise da correlação linear de parâmetros de aderência em pavimentos aeroportuários: Estudo de caso do Aeroporto Internacional Pinto Martins. Anais do 44ª Rapv – REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO E 18º ENACOR – ENCONTRO NACIONAL DE CONSERVAÇÃO RODOVIÁRIA. Foz do Iguaçu, Paraná, 2015.

QUARIGUASI, J. B. F.; ALMEIDA, L. C.; OLIVEIRA, F. H. L. de (2018). Análise da aderência pneu-pavimento aeroportuário em revestimento de camada porosa de atrito. Anais do 32º Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes da ANPET. Gramado, Rio Grande do Sul, 2018.

YOUNG, S. B., e WELLS, A (2011). Airport Planning & Management. 6th Edition. McGraw-Hill. New York, USA. 2011.