ANÁLISE EXPLORATÓRIA DO DESEMPENHO DO COEFICIENTE DE ATRITO EM PAVIMENTO AEROPORTUÁRIO

Lucas Aguiar Feitosa
Universidade Federal do Ceará – Departamento de Engenharia de Transportes - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes
Campus do Pici, Bloco 703, Fortaleza-CE, (85)98754-0107, lucasaguiar@det.ufc.br

Paulo de Souza Lima Neto
Universidade Federal do Ceará – Departamento de Engenharia de Transportes - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes
Campus do Pici, Bloco 703, Fortaleza-CE, (85)98101-3346, paulodesouza@det.ufc,br

Fernando Henrique Domingues dos Santos
Faculdade Cristo Rei –Programa de Especialização em Engenharia Rodoviária
PR-160, Km 04, Cornélio Procópio-PR, (18) 99789-6155
fernando.domingues18@hotmail.com

Francisco Heber Lacerda de Oliveira
Universidade Federal do Ceará – Departamento de Engenharia de Transportes - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes
Campus do Pici, Bloco 703, Fortaleza-CE, (85)3366-9488, heber@det.ufc.br

RESUMO

A segurança das operações de pouso e decolagem gera responsabilidades aos operadores aeroportuários e aos órgãos de controle. Conforme a *International Civil Aviation Organization* (ICAO), o coeficiente de atrito é um dos critérios de segurança mais avaliados em pavimentos aeroportuários. Este trabalho busca analisar, exploratoriamente, o coeficiente de atrito da pista de pouso e decolagem do Aeroporto Estadual de Presidente Prudente, em São Paulo, entre de 2013 e 2017. Verificaram-se diferenças das áreas da pista com e sem *grooving* e o desempenho das operações anuais, além das alterações por ocasião dos serviços de remoção dos depósitos de borracha.

Palavras-chave: Aeroporto, Atrito, Pavimento, *Grooving*.

1. INTRODUÇÃO

Com o incremento do transporte aéreo na última década, aumentou-se a facilidade de deslocamento de pessoas e mercadorias. Dessa forma, proporcionou-se o desenvolvimento de regiões que antes teriam uma maior dificuldade de acesso.

O Brasil, por ser um país de grande extensão territorial, necessita de meios de transportes que possibilitem uma maior facilidade de movimentação num curto período de tempo, sendo o modo aeroviário a alternativa mais indicada para população e para mercadorias de alto valor agregado. Estas infraestruturas, que eram utilizadas por aeronaves com uma menor quantidade de passageiros e dimensionadas para equipamentos mais leves e com uma menor frequência de operação, passam a demandar maiores solicitações que devem ser estudadas de modo a garantir maior segurança das operações

O Aeroporto Estadual de Presidente Prudente, localizado no Estado de São Paulo, foi um dos aeroportos regionais que passou a operar voos comerciais a partir de 2013. Devido a essa nova realidade, aumentaram-se as operações de pouso e decolagem, sendo o operador aeroportuário obrigado a tomar medidas para manter a segurança operacional, como a verificação do atrito gerado entre pneu e pavimento e a remoção periódica de borracha acumulada.

O aumento de borracha de pneus acumulada nas pistas de pouso e decolagem é um problema para qual a *International Civil Aviation Organization* (ICAO) recomenda maior atenção, visto que este material é considerado um contaminante que diminui a vida útil do pavimento e causa danos às aeronaves. Deste modo, segundo a ICAO (2004), a borracha depositada nas pistas contribui para a diminuição da aderência pneu- pavimento, principalmente quando molhado, colocando em risco as operações das aeronaves, favorecendo a ocorrência de aquaplanagem. Uma das formas de se evitar essas ocorrências é a execução de *grooving* no revestimento de forma que a água seja escoada mais rapidamente das pistas.

Por ser importante para o sistema de aviação civil, a infraestrutura aeroportuária necessita de uma manutenção rigorosa, de forma a assegurar qualidade às necessidades impostas, por meio de um acompanhamento periódico e intervenções de manutenção e reabilitação. Assim sendo, é imprescindível a implantação de um Sistema de Gerência de Pavimentos Aeroportuários (SGPA), para que seja possível ter um maior controle das intervenções, tanto a nível de rede como a nível de projeto.

Por meio dos dados obtidos com equipamentos de medida contínua de coeficiente de atrito no decorrer dos anos, é possível analisar o seu comportamento ao longo da vida útil do pavimento. Desta forma, pode-se verificar as variações de desempenho da pista e da segurança das operações de pouso e decolagem.

Diante do exposto, o presente artigo tem como objetivo analisar o coeficiente de atrito nas áreas da pista com e sem *grooving*, durante os anos de 2013 a 2017, na pista de pouso e decolagem do Aeroporto Estadual de Presidente Prudente, para determinar qual o impacto das operações de pouso e decolagens e das alterações por ocasião dos serviços de remoção dos depósitos de borracha

2. O COEFICIENTE DE ATRITO

O atrito é a resistência ao movimento que se gera no contato entre duas superfícies e pode ser expresso pelo seu coeficiente, que é a relação entre uma força paralela aplicada

na superfície de contato, neste caso pneu, oposta ao movimento que se pretende realizar, e uma força normal a essa superfície. O valor do coeficiente de atrito pode variar entre 0, para condições de aderência nula e valores superior a 1 para condições ideais (PIARC, 2003).

Segundo Bernucci *et al.* (2008), através desse contato pode-se garantir o atrito, que é mobilizado quando uma das superfícies está em movimento em relação à outra. Quando o atrito fica reduzido, pode-se perder o controle da direção e ter sua frenagem prejudicada. Um fator que interfere consideravelmente na redução do atrito é o aumento da velocidade de deslocamento de uma das superfícies (no caso os pneus) em relação à outra (no caso os pavimentos). O contato de um pneu com um pavimento é uma interação complexa, dependendo de fatores como adesão entre a borracha e o pavimento e histerese decorrente da deformação do pneu provocada principalmente pelos agregados presentes na superfície.

Conforme Duarte (2011), em termos de medição, o coeficiente de atrito pode ser obtido de duas formas, a primeira longitudinalmente (CAL) e a segunda transversalmente (CAT). O primeiro está relacionado com a distância que um veículo necessita para frenar totalmente e tem grande interesse no estudo de infraestruturas aeroportuárias, já o segundo tem uma maior influência na segurança em curvas horizontais, sendo mais utilizado em interesse rodoviário. Existem várias técnicas que podem ser adotadas para elevar esse coeficiente, sendo uma delas o *grooving*.

Segundo Nascimento (2009), a técnica de *grooving,* presente na Figura 1, consiste no estriamento do pavimento por meio da criação de ranhuras transversais no revestimento, a fim de melhorar as características de drenagem superficial resistindo assim a possíveis derrapagens. Esta técnica é preferencialmente feita em pavimentos de pistas de rolamento, saídas de velocidade e em pistas de pouso e decolagem, evitando ser feita em pistas com baixa declividade transversal e elevada declividade longitudinal por conta do acúmulo de água e contaminantes nas ranhuras.



Figura 1 – *Grooving* em pista aeroportuária (Sousa, 2017).

Há um aumento eficaz na resistência à derrapagem em pistas onde são aplicadas a técnica de *grooving*. Podem-se utilizar métodos computacionais para validar, aplicar a técnica e garantir a manutenção da pista, com relação às condições de depósito de borracha nas ranhuras (LEE, CHOU and LI, 2009).

O coeficiente de atrito de um pavimento, no entendimento de Duarte (2011), sofre variações durante seu período de vida útil, podendo variar em um curto e em um maior período de tempo; o primeiro caso ocorre por mudanças nas condições climáticas, já o segundo pela própria degradação que o pavimento sofre no decorrer do tempo. A duração dos períodos secos e de chuva vai influenciar diretamente o coeficiente de atrito de um pavimento, visto que em períodos secos ocorre acúmulos de detritos na superfície do pavimento, como poeiras e borracha, ocupando vazios na textura e reduzindo ligeiramente o coeficiente, já em períodos chuvosos a água irá ocupar os vazios e diminuir de uma forma mais drástica o coeficiente. Desta forma,

devido às variações do coeficiente de atrito e sua importância para as condições de rolagem, é importante que as avaliações deste sejam feitas sob condições de superfície molhada, pois é nesta condição que o atrito vai apresentar valores mais baixos e, consequentemente, será mais prejudicial.

Após a sua concepção o pavimento apresenta um valor relativamente alto de coeficiente de atrito e este vai diminuindo lentamente e gradualmente de acordo com o maior ou menor volume de tráfego de veículos pesados, gerando variações sazonais, até que em um determinado momento em uma fase mais adiantada da vida do pavimento o atrito tende a aumentar ajudado pelo aumento da macro textura causado pela degradação da camada asfáltica (PEREIRA e MIRANDA,1994).

Na visão de Rodrigues Filho (2006), o atrito das superfícies dos pavimentos aeroportuários se deteriora ao longo do tempo devido a diversos fatores, dentre os quais se destacam, o desgaste mecânico e o polimento dos agregados causados pela ação de rolamento e frenagem das aeronaves, além do acúmulo de borracha em sua superfície, proveniente do desgaste dos pneus.

Nos pavimentos aeroportuários, além do desgaste, existem os depósitos de acúmulo de borracha proveniente do pneu das aeronaves. Um fator de grande relevância, sendo este diretamente associados ao volume de tráfego e tipo de aeronaves utilizadas nas pistas. A maior liberação de borracha ocorre no momento em que o pneu da aeronave na aterrissagem entra em contato com o pavimento, pois, a aeronave opera em alta velocidade e entra em contato com a superfície do pavimento e inicia-se a frenagem. Com isso, gera uma brusca mudança de movimentação da roda, elevadas tensões e temperaturas na interface pneu-pavimento, proporcionando uma deposição de borracha na pista. Com o tempo e uma significativa quantidade de pousos, a borracha depositada acaba por ficar rija resultando uma superfície vitrificada e bastante escorregadia, ou seja, com um baixo coeficiente de atrito e sendo inapropriada para a segurança aeroportuária (DUARTE, 2011).

Para Bernucci *et al.* (2008), além da borracha acumulada, um dos fatores que mais interfere no atrito de um pavimento é a macrotextura. Portanto, qualquer defeito de superfície que promova o fechamento da textura do revestimento é prejudicial e compromete a utilização da mesma.

Ao longo do tempo, a borracha acaba por preencher a macrotextura, o que não só prejudica a mobilização de atrito, mas também vai dificultar a drenagem da água sobre a superfície do pavimento, tornando-o perigoso. Neste sentido, deve-se ter especial atenção a esse tipo de problemas pois, devido à própria natureza da borracha, um pavimento pode apresentar níveis aceitáveis de coeficiente de atrito sem, no entanto, ser seguro para que seja operacional (PAVESTECH, 2007).

Os ensaios de medição do coeficiente de atrito devem ser realizados com os equipamentos de medida contínua preconizados pela ICAO (ICAO, 2004). A Agência Nacional de Aviação Civil – ANAC (2012) apresenta esses equipamentos e seus respectivos níveis de planejamento de manutenção, aquele no qual se devem planejar ações corretivas que não permitam sua redução, e nível de atrito mínimo.

Para o Brasil, a ANAC (2016) especifica a utilização de diversos equipamentos para os operadores de aeródromos. As medições são realizadas com o equipamento acoplado em um veículo rebocador que imprimi uma velocidade constante de 65 km/h ou 95 km/h, com a presença de uma lâmina d’água, em toda a

extensão da pista, sendo capaz de realizar pelo menos quatro linhas de medição de irregularidade para cada faixa de 3m de pavimento, a partir do eixo.

Caso os coeficientes de atrito obtidos pelos ensaios sejam menores que o nível planejado para manutenção, ações corretivas e de restauração devem ser adotadas, visando trazer o pavimento para a forma necessária de maior segurança. Para que seja possível corrigir a problemática de depósitos de borrachas e permitir o retorno da sua funcionalidade ideal, é necessário que o operador aeroportuário, utilizando o auxílio de um SGPA, realize remoções periódicas. Segundo a ANAC (2016), esse procedimento deve ser feito de acordo com a quantidade de pousos diários, cada cabeceira deve ser avaliada separadamente, considerando-se, para fins de remoção do acúmulo de borracha, a situação que resultar em maior frequência de remoção.

Segundo Oliveira (2015) a retirada da borracha pode ocorrer através dos seguintes métodos: solventes químicos, ar comprimido quente, jato de água de alta pressão (hidrojateamento), solventes químicos e jato de água de alta pressão concomitantemente. No Brasil, tem-se aplicado mais comumente a técnica de remoção por hidrojateamento a alta pressão. Esse método tem se mostrado, na maioria dos casos, eficaz em áreas contaminadas, sendo a técnica economicamente e ambientalmente recomendada pela FAA (2004).

Para a execução do processo, antes é verificada quais áreas estão necessitando da remoção de borracha. Após determinar as áreas, podem ser utilizados dois tipos de equipamentos para a remoção, o primeiro e mais convencional é um veículo adotado de um reservatório d'água que aplicando uma alta pressão para um equipamento de hidrojateamento manual na Figura 2, o segundo é o hidrojateamento mecanizado, feito por um veículo próprio para esta finalidade na Figura 3.



Figura 2- Hidrojateamento manual (Quinto, 2007).



Figura 3– Hidrojateamento mecânico (AEROEXPO,2018).

Segundo Oliveira (2009), uma problemática do hidrojateamento é o carreamento e desgaste do material presente no revestimento do pavimento, como mostrado na Figura 4. Com a pressão exercida pela água, além da retirada de borracha, é possível perceber também a retirada de agregados da mistura asfáltica, proporcionando uma deterioração da superfície.

A quantidade de borracha acumulada em um pavimento aeroportuário, bem como os processos de remoção, pode influenciar na medição do coeficiente de atrito. Pode-se ressaltar que mesmo com a remoção do contaminante, o revestimento poderá não voltar ao seu estado de atrito original, visto que a estrutura estará sendo desgastada

durante os anos de utilização e as operações de pouso e decolagem.



Figura 4 - Deterioração do pavimento devido a remoção de borracha (OLIVEIRA, 2008).

3. OBTENÇÃO DOS DADOS

O Aeroporto Estadual de Presidente Prudente localiza-se no estado de São Paulo, à 5km do centro da cidade e a 559 km da capital. Referenciado na ICAO com o código SBDN, o aeroporto tem como operador o Departamento Aeroviário do Estado de São Paulo (DAESP) e possui uma pista de pouso e decolagem, como a Figura 5 pode demonstrar.

A pista possui de 2.200m de extensão e 30m de largura, cabeceiras 12 e 30 e, de acordo com a Tabela 1, projetada para operar aeronaves de categoria B, conforme indicado por ANAC (2012).

O levantamento de coeficiente de atrito é executado anualmente, durante o segundo semestre, e a leitura é auferida a partir do aparelho Grip Tester que opera na velocidade de 65km/h, com um acompanhamento de um técnico responsável que executa leituras nos dois sentidos da pista de pouso e decolagem, promovendo uma caracterização de ambas as cabeceiras. Esse tipo de análise facilita o controle em relação a anormalidades que possam ser encontradas na pista, sendo um ponto positivo para a segurança dos envolvidos nas operações do aeroporto.

ANAC (2012) sugere que, em função da frequência de pousos e decolagens, haja intervenção para remoção de borracha a cada 720 dias. A última remoção foi realizada no ano de 2015 e tem suas consequências registradas no histórico de levantamento. Outra característica importante de se reportar é que o aeroporto possui sua pista de pouso e decolagem com grooving em 1700m da pista após os 200 metros iniciais da cabeceira 12.



Figura 5 – Vista aérea do Aeroporto (Google Maps – 2017)

Tabela 1: Código de Referência do Aerodromo (Adaptado ANAC, 2012).

Categoria	Envergadura	Distância entre as rodas externas do trem de pouso principal
A	Inferior a 15m.	Inferior a 4,5m
B	De 15m a 24m exclusive.	De 4,5m a 6m exclusive.
C	De 24m a 36m exclusive.	De 6m a 9m exclusive.
D	De 36m a 52m exclusive.	De 9m a 14m exclusive.
E	De 52m a 65m exclusive.	De 9m a 14m exclusive.
F	De 65m a 80m exclusive	De 14m a 16m exclusive.

4. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Com os dados disponíveis buscou-se obter a correlação do coeficiente de atrito presente na pista ao longo do tempo, frequência de pouso e decolagem e presença ou não de *grooving*.

Realizou-se uma comparação do parâmetro coeficiente de atrito em relação aos critérios limites que são adotados para necessidade de manutenção (0,53) e nível mínimo aceitável (0,43), segundo ANAC (2012). Este comparativo deu-se por meio do gráfico apresentado na Figura 6 em que se considerou os valores médios de medição, ou seja, a média aritmética entre os lados direito e esquerdo, a 3m do eixo da pista, e os sentidos 12 para 30 e 30 para 12.

A partir do gráfico da Figura 6, verifica-se também que o coeficiente de atrito, em nenhum dos levantamentos, apresentou valores inferiores aos níveis de manutenção e, por consequência, também esteve sempre acima do nível mínimo necessário para segurança operacional. Todavia, deve-se levar em consideração que a liberação da pista para as operações de pouso e decolagem, desde 2013, promoveu níveis reduzidos de coeficiente de atrito ao longo do tempo. As médias de 2017 apresentaram uma diminuição do coeficiente de atrito em comparação com anos anteriores e uma recuperação pequena após serviço de remoção de borracha, entre os anos de 2015 e 2016.

Além disso, pode-se notar nos primeiros trechos de levantamento até seus 200m uma condição que, historicamente, possui comportamento bem mais variado que nos outros trechos. Essa seção coincide com a área de *grooving* existente e motivou o detalhamento do gráfico da Figura 7 entre esses dois trechos de propriedades diferentes, com e sem *grooving*.

Observando o gráfico da Figura 7 detecta-se, tanto no trecho com *grooving* quanto no sem *grooving*, uma tendência de aumento no coeficiente de atrito após a limpeza que ocorreu em agosto de 2015. É importante notar o aspecto de variabilidade a que os trechos estão susceptíveis, podendo se afirmar que, principalmente após a queda das operações de pousos e decolagens do ano de 2015, Figura 7, a região com maior variabilidade continuou sendo a de início da cabeceira 12, que não possui as ranhuras. Outro aspecto importante foi que a região com

grooving sempre apresentou valores médios superiores a região sem *grooving* e iguais ou superiores à média total.

Sobre a redução de coeficiente de atrito significativa de 2015 em relação a 2014, pode-se interpretar que a zona onde há *grooving* é a zona de toque de quase todas as aeronaves.

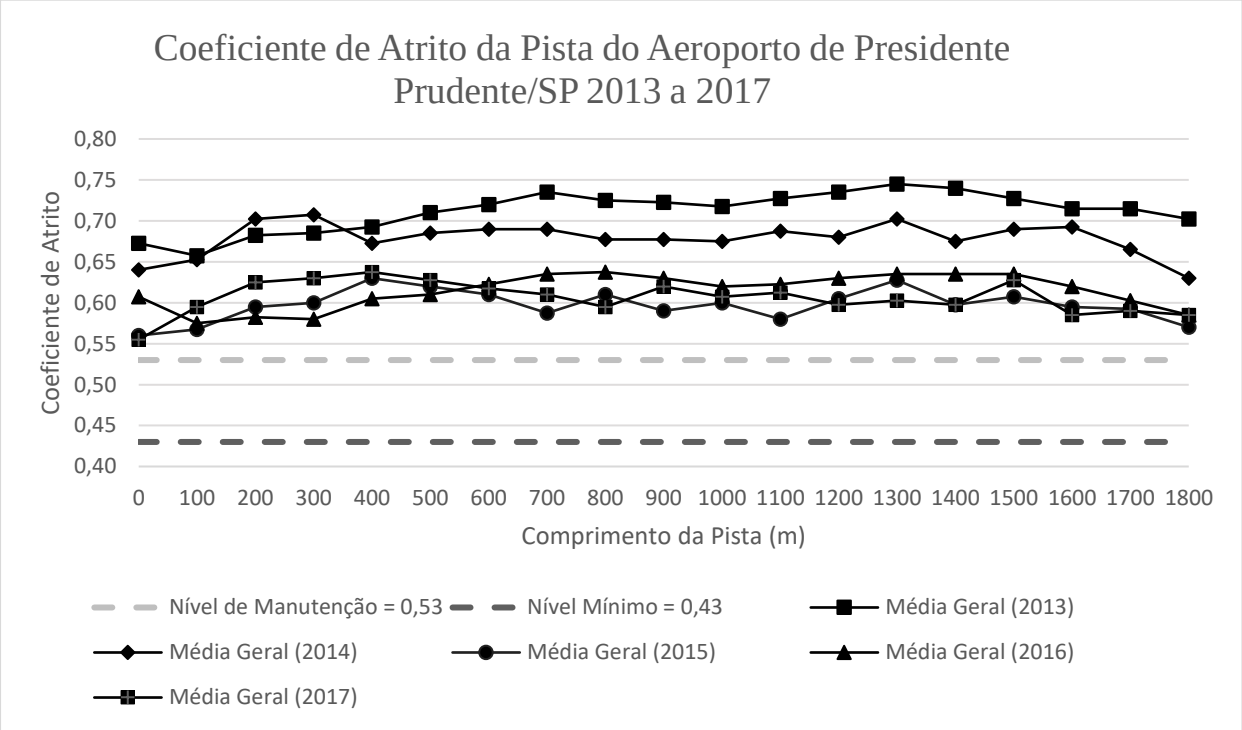
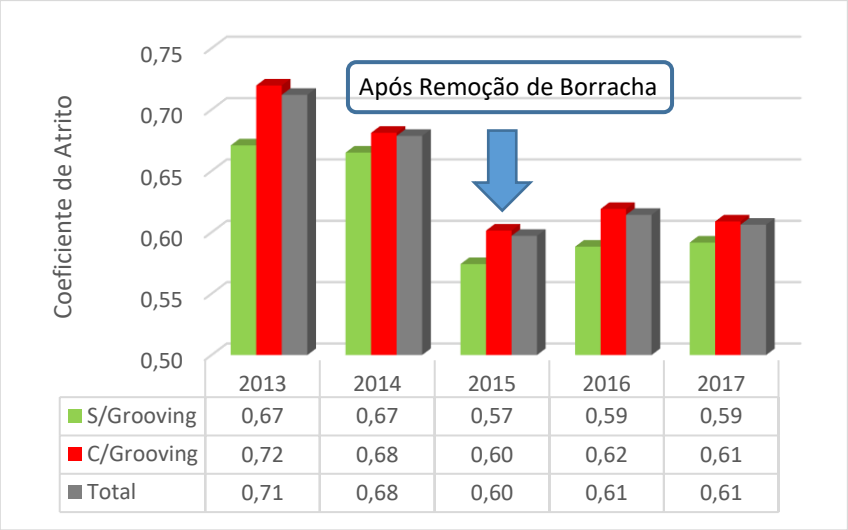


Figura 6 – Coeficiente de atrito segregado por ano e trecho de pista.



	2013	2014	2015	2016	2017
S/Grooving	0,67	0,67	0,57	0,59	0,59
C/Grooving	0,72	0,68	0,60	0,62	0,61
Total	0,71	0,68	0,60	0,61	0,61

Figura 7 – Análise comparativa do coeficiente de atrito entre trechos com e sem Grooving.

Percebe-se que a partir de 2015 os coeficientes de atrito em ambas as áreas apresentaram redução no seu valor. Isso poderia ser indicativo de que aeronaves de maior porte estejam usando o trecho como área de toque e influam na performance do indicador de coeficiente de atrito devido a um maior depósito de resíduos de borracha.

Em continuidade a análise, buscou-se avaliar com mais detalhes a variação de atrito ao longo do tempo e estudar sua linearidade de comportamento perante os anos, como se expõe no gráfico da Figura 9. Esse tipo de fator induz uma melhor compreensão dos impactos pré e pós intervenções e/ou modificações de padrão de uso do aeroporto.



Figura 8 – Quantidade de Voos por Ano.

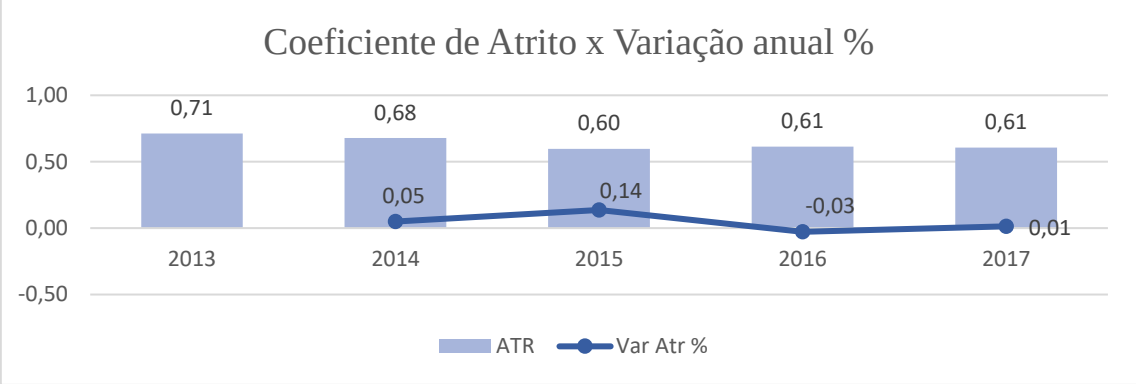


Figura 9 – Análise coeficiente de atrito x variação anual.

De acordo com o gráfico da Figura 8, que indica a variação de pousos e decolagens, pode-se notar que existiu uma redução na demanda ao longo do tempo. Após a comparação do gráfico da Figura 9 é possível inferir que o comportamento da variação do coeficiente de atrito ao longo do tempo não possui linearidade. A variação percentual plotada pela reta compara o atual nível de coeficiente de atrito com o nível anterior.

Assim, no ano de 2013, por não possuir os dados de 2012, não é possível obter esse indicador de variação. No ano de 2016, houve uma mudança na orientação de tendência apresentando um valor negativo (-0,03) consistindo, exatamente, no período de remoção do acúmulo de borracha que foi realizado no ano de 2015. Já em 2017 pode-se notar uma recuperação da orientação de sentido da reta com a continuidade do acúmulo de borracha.

Buscando avaliar uma correlação na dispersão dos dados do coeficiente de atrito médio ao longo de cada trecho da pista, foram calculadas as dispersões (R^2) em busca de melhores ajustes possíveis dos valores a uma distribuição de dados e seguem plotadas no gráfico da Figura 10 e Tabela 2.

Para a realização da análise, as amostras foram segregadas entre trechos com presença ou não de *grooving*.

Ao testar equações foi observado que o modelo que mais se adapta é o linear, demonstrando maior adequação no trecho sem *grooving*, talvez por possuir menos amostras.

Nota-se que, nos primeiros 400 metros de pista a partir da cabeceira 12, onde acontecem majoritariamente os pousos e nos últimos 200m de pista, visualmente tende a haver uma maior variação nos dados em comparação aos trechos medianos, indicando possível correlação com uma maior volatilidade dos índices coletados devido o maior, no caso de início de pista, ou menor, no final de pista, ao longo do trecho.

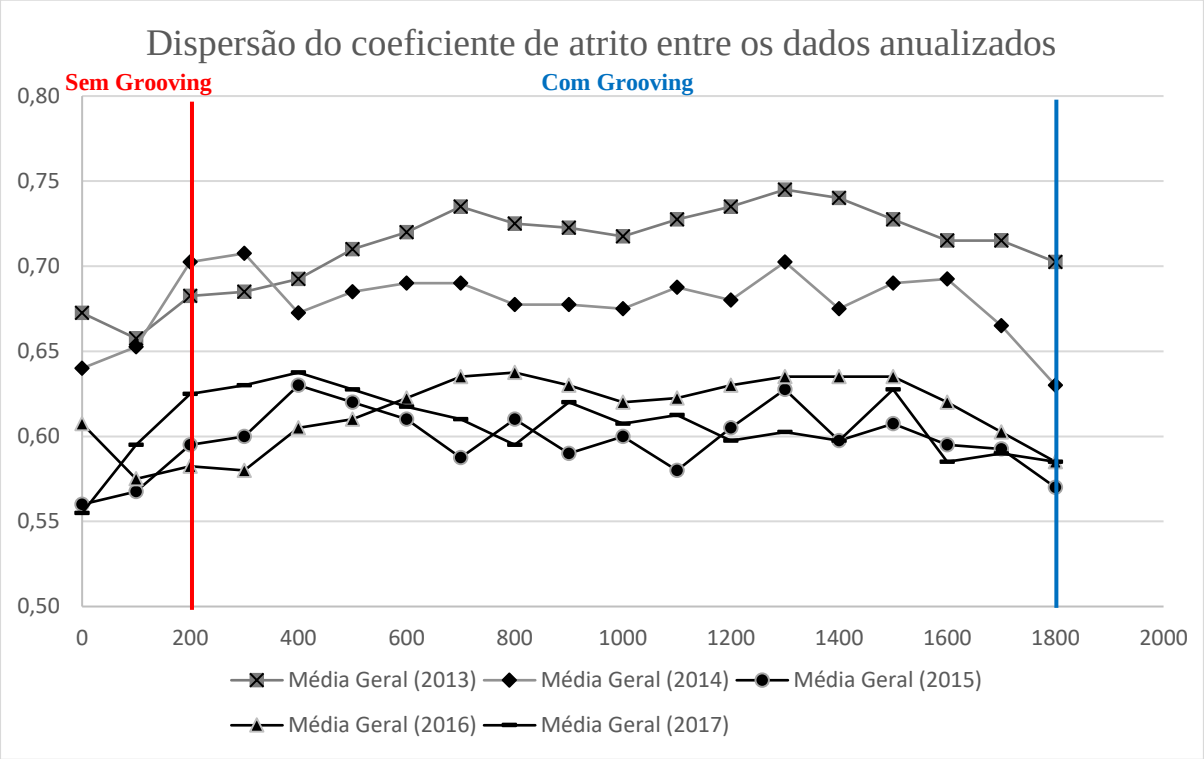


Figura 10 – Comparação R² do indicador coeficiente de atrito

Tabela 1: Código de Referência do Aerodromo (Adaptado ANAC, 2012).

Análise do R² / Ano	2013	2014	2015	2016	2017
Sem GROOVING	0,1579	0,8929	0,9018	0,5396	0,9932
Com GROOVING	0,2419	0,2655	0,1387	0,0707	0,578

5. CONCLUSÕES

Foi possível entender que o coeficiente de atrito é um indicador que pode atuar como diretriz para outros tipos de análise como estudos referentes a degradação contínua do pavimento aeroportuário, correlações com macro textura e auxiliando, principalmente, como parâmetro de segurança das operações nas pistas de pouso e decolagem. Apesar de entender que o coeficiente de atrito sempre se

apresentou com maiores resultados na região de *grooving* não foi possível identificar diferenças significativas de desempenho entre a região com e sem *grooving* após a remoção de borracha acumulada.

Em relação a frequência de pousos e decolagens observa-se que a hipótese inicial, onde a variação da demanda e do coeficiente de atrito teriam correlação negativa, não pôde ser evidenciada no estudo pois, mesmo com a redução anual na frequência de pousos e decolagens, o indicador de atrito no pavimento não apresentou decréscimo anual. Esse efeito pode abrir precedentes para novas hipóteses nas quais outros parâmetros como a macro textura da pista e o clima local podem estar influenciando no fenômeno estudado.

É importante ressaltar que se tentou correlacionar os dados do coeficiente de atrito ao longo dos levantamentos anuais, entre 2013 – 2017 e, ao longo dos trechos em um mesmo ano. Todavia, os resultados obtidos após a análise não foram devidamente satisfatórios, pois a dispersão nos indicadores de correlação, por meios do R^2, não conseguiu identificar um padrão satisfatório às funções mais conhecidas, gerando uma nuvem de resultados sem maiores ganhos a alguma possível proposição de modelagem matemática.

6. REFERÊNCIAS

Aero Expo, O Salão Online da Aeronáutica, Cyclone Technology, Máquina de Limpeza Montada em Caminhão. <http://www.aeroexpo.online/pt/prod/nilfisk-cyclone-technology/product-168842-5330.html> Acessado em 13 Mar 2018.

ANAC-Agência Nacional De Aviação Civil - RBAC Nº 153 "Aeródromos – Operação, Manutenção e Resposta à Emergência". Resolução nº 382 de 14 de junho de 2016.

ANAC-Agência Nacional De Aviação Civil - RBAC Nº 154 "Projeto de Aeródromos". Resolução nº 238 de 12 de junho de 2012.

ANAC-Agência Nacional De Aviação Civil - Resolução nº 236 "Requisitos de Aderência para Pistas de Pouso e Decolagem". Reunião Deliberativa da Diretoria realizada em 5 de junho de 2012

BERNUCCI, L. B et al. "Pavimentação Asfáltica. Formação Básica para Engenheiros". Petrobras. Abeda. Rio de Janeiro, 2008.

DUARTE, J. P. S. "Avaliação de Coeficiente de Atrito em Aeroportos Portugueses: O caso do aeroporto de Lisboa". Dissertação submetida ao Programa de Mestrado em Engenharia de Civil da Universidade Técnica de Lisboa – 2011.

FAA – Federal Aviation Administration. "Advisory Circular Nº 150/5320-12C. Change 4. Measurement, Construction, and Maintenance of Skid-Resistant Airport Pavement Surfaces". U.S. Departament of Transportation, 2004.

ICAO – International Civil Aviation Organization. "Annex 14 to the Convention on International Civil Aviation. Volume I. Aerodrome Design and Operarations". 4th Edition. – ICAO. Montreal, Canada. 2004.

LEE, M. et al. "Automatic Measurement of Runway Grooving Construction for Pavement Skid Evaluation". Automation in Construction, v.18, Taiwan, 2009.

IVO SOUZA, "Notícia: Pista do Aeroporto do Pico vai ter grooving." <http://www.caisdopico.pt/2017/09/pista-do-aeroporto-do-pico-vai-ter.html>, Acessado em 26 de Setembro de 2017.

NASCIMENTO, R. R. "Restauração de pavimento aeroportuário – Estudo de caso Aeroporto Internacional de São Paulo / Guarulhos". Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Anhembi Morumbi, São Paulo, 2009.

OLIVEIRA, F. H. L. "Considerações Sobre a Prática Dos Serviços de Remoção de Borracha E[em Pavimentos Aeroportuários". Artigo exposto na 39ª RAPv/13º ENACOR – Recife, Pe,2008.

OLIVEIRA, F. H. L. "Proposição de Estratégias de Manutenção de Pavimentos Aeroportuários Baseadas na Macrotextura e no Atrito: Estudo de Caso do Aeroporto Internacional de Fortaleza". Dissertação submetida ao Programa de Mestrado em Engenharia de Transportes da Universidade Federal do Ceará (UFC)– Fortaleza, CE, 2009.

OLIVEIRA, F. H. L. "A Evolução da Sustentabilidade na Prática da Remoção de Borracha Acumulada em Pistas de Pouso e Decolagem". Artigo exposto no Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia CONTECC' 2015 Centro de Eventos do Ceará - Fortaleza - CE -2015

PAVESTECH,<http://www.pavestech.com/images/PTID026-Airport-Runways.pdf> acessado em 10 de Dezembro de 2017.

PEREIRA, P. et al. "Gestão da Conservação dos Pavimentos Rodoviários". Braga: Universidade do Minho, 1994.

PIARC. Road Safety Manual. Route2Market, 2003,

QUINTO, A. C. "Método Sugere Ações Mais Precisas de Manutenção de Pistas De Aeroportos". Notícia publicada na Agência USP de Notícias em 2007, (http://www.usp.br/agen/?p=6951).

RODRIGUES FILHO, O. S. "Características de Aderência de Revestimentos Asfálticos Aeroportuários – Estudo de Caso do Aeroporto Internacional de São Paulo/Congonhas". Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.