



INFLUÊNCIA DA VELOCIDADE DA MEDIÇÃO NOS RESULTADOS DE ATRITO COM O *GRIPTESTER*

Victória P. Ciolin¹, Israel K. Nascimento², Rafael V. Mota³, Felipe F. Camargo⁴, André F. Vale⁵

1. RoadRunner Engenharia Ltda, Engenheira Civil, victoria.ciolin@rrunner.com.br
2. RoadRunner Engenharia Ltda, Aux. de Engenharia Civil, israel.nascimento@rrunner.com.br
3. RoadRunner Engenharia Ltda, Engenheiro Civil, rafael.mota@rrunner.com.br
4. RoadRunner Engenharia Ltda, Gerente de Estudos e Projetos, felipe.camargo@rrunner.com.br
5. RoadRunner Engenharia Ltda, Diretor Técnico, andre.vale@rrunner.com.br

* **Corresponding author e-mail address:** victoria.ciolin@rruner.com.br

PAPER ID: SIT1239426

ABSTRACT

Operational safety at airports and on high-traffic runways depends on reliable friction coefficient measurements. This study evaluated the influence of GripTester operating speed (60, 80, and 100 km/h) on friction coefficient measurements in terms of the Grip Number (GN) across three roadway sections in the state of São Paulo, also representing different macrotexture conditions in terms of Mean Profile Depth (MPD) and longitudinal irregularity in terms of the International Roughness Index (IRI). Repeated passes were performed with two GripTester devices, and the coefficient of variation (COV) and relationships with surface parameters were analyzed using mean values integrated over each 100-meter segment. Results showed that average GN values remained consistent across speeds, with COV predominantly between 2% and 5%, indicating high repeatability of the evaluated devices. Minor variations occurred on more irregular sections at 100 km/h, but without statistically significant differences. Therefore, it is concluded that speed has little influence on GN measurements, with pavement comfort (IRI) being the main factor associated with variability in the results.

Keywords: *GripTester*, friction measurement, test speed, surface texture, *International Roughness Index*.

This research did not use generative AI.

INFLUÊNCIA DA VELOCIDADE DA MEDIÇÃO NOS RESULTADOS DE ATRITO COM O *GRIPTESTER*

1 INTRODUÇÃO

A segurança operacional em pistas de tráfego intenso e em aeroportos depende crucialmente das condições de aderência entre os pneus das aeronaves e o pavimento durante as operações de pouso, decolagem e frenagem. Em situações adversas, como pistas molhadas, contaminadas por borracha ou com desgaste excessivo da textura superficial, o risco de perda de controle da aeronave aumenta significativamente (*Federal Aviation Administration*, 1997). Um dos principais fatores que influenciam essa condição é o atrito disponível no pavimento, o qual depende da interação entre a textura da superfície e as características do pneu (*ASTM International*, 1998).

A medição do coeficiente de atrito é essencial para identificar áreas com desempenho abaixo do esperado e implementar ações corretivas antes que a segurança seja comprometida. Equipamentos como o *GripTester* são utilizados por operadores aeroportuários para medir o atrito sob diferentes condições de pista, simulando as interações pneu-pavimento em situações reais de frenagem (Duarte, 2021).

Organizações internacionais como a Organização da Aviação Civil Internacional (OACI) e a *Federal Aviation Administration* (FAA) estabelecem limites mínimos de atrito e recomendam a realização periódica dessas medições como parte da gestão de segurança operacional. No Brasil, a Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) também determina diretrizes sobre o monitoramento da superfície de pistas em seu Regulamento Brasileiro da Aviação Civil (RBAC), incluindo a obrigatoriedade da avaliação do atrito em pistas molhadas e da condição da macrotextura, conforme estabelecido pelo RBAC nº 153 da ANAC, que trata da manutenção da condição de atrito e da macrotextura das pistas de pouso e decolagem. Dessa forma, a medição de atrito não se restringe a um procedimento técnico pontual, mas configura-se como um elemento estratégico para a prevenção de acidentes, a otimização das operações aeroportuárias e a manutenção da confiabilidade do sistema de transporte aéreo, especialmente em condições meteorológicas adversas.

Diversos fatores podem influenciar diretamente a medição do atrito em pavimentos aeroportuários, tornando esse processo sensível a variações operacionais (Åström & Wallman, 2001). Destaca-se, principalmente, a presença de contaminantes, condições climáticas e textura superficial do pavimento, características que afetam a interação pneu-pavimento. Além desses, a velocidade de deslocamento do equipamento é um fator relevante, pois influencia o regime de escoamento da lâmina d'água, a formação de hidroplanagem e a dinâmica pneu-pavimento durante a medição.

Pesquisas recentes confirmam essa relação. Wilson, Jacobsen e Chan (2013) demonstraram que a variação da velocidade impacta diretamente os valores de atrito obtidos em pista molhada, podendo levar a interpretações distintas sobre a condição funcional do pavimento. De forma complementar, Kouchaki *et al.* (2018) evidenciaram que a textura superficial e a irregularidade longitudinal do pavimento exercem influência sobre os resultados, com possíveis variações associadas ao comportamento dinâmico do equipamento e à estabilidade da medição.

Diante desse contexto, o presente estudo tem como objetivo avaliar a influência da velocidade nas medições de atrito realizadas com o *GripTester*, comparando os resultados obtidos em três faixas de velocidade (60 km/h, 80 km/h e 100 km/h). A análise abrange tanto a variação nos valores absolutos do coeficiente de atrito quanto a repetibilidade dos resultados em diferentes trechos de pista, buscando subsidiar práticas mais assertivas de monitoramento e manutenção de pavimentos aeroportuários.

2.1 Local do Estudo

Para a realização do estudo, foram selecionados três trechos distintos de uma rodovia localizada no estado de São Paulo, cada um com extensão de 2.000 metros. A opção pela execução dos ensaios em segmentos rodoviários justifica-se, em primeiro lugar, pela maior facilidade operacional, uma vez que a realização de medições em rodovias envolve menor complexidade logística e não requer coordenação com rígidos protocolos de segurança aeronáutica. Ademais, a utilização de pistas aeroportuárias implicaria custos significativamente mais elevados e severas restrições de acesso, já que intervenções nesse tipo de infraestrutura demandam paralisações parciais ou totais das operações aéreas, tornando inviável a condução de campanhas de ensaio em maior escala. Outro fator relevante refere-se à diversidade de condições encontradas em pavimentos rodoviários, que possibilitam a avaliação do desempenho em cenários mais variados e representativos das situações enfrentadas cotidianamente pelos usuários. Assim, a escolha por rodovias amplia a aplicabilidade prática dos resultados, ao mesmo tempo em que assegura a viabilidade técnica e operacional do estudo. A escolha dos segmentos considerou critérios técnicos voltados à minimização de variáveis externas que pudessem interferir nas medições, como rampas acentuadas ou trechos de serra. Assim, priorizaram-se locais com traçado predominantemente plano, ausência de curvas de raio reduzido e variações altimétricas pouco expressivas, criando condições mais homogêneas para a coleta dos dados.

Os trechos avaliados apresentaram valores de profundidade média de macrotextura, expressa em termos do parâmetro *Mean Profile Depth* (MPD) variando entre 0,7 mm e 1,2 mm, faixa considerada adequada para analisar a influência da textura superficial sobre as leituras de atrito. Paralelamente, os segmentos foram selecionados de forma a contemplar diferentes níveis de condição de conforto ao rolamento, expresso por meio do *International Roughness Index* (IRI) em m/km. Os valores de MPD e IRI foram obtidos por meio de levantamentos realizados com o equipamento PavScan, que utiliza sensores LCMS (*Laser Crack Measurement System*) para a caracterização contínua e de alta precisão da superfície do pavimento. Esse sistema permite a obtenção detalhada de parâmetros como macrotextura e irregularidade longitudinal, com elevado nível de resolução e confiabilidade. Essa abordagem possibilitou investigar a influência da irregularidade longitudinal e da macrotextura na estabilidade e repetibilidade das medições realizadas com o dispositivo *GripTester*.

A Figura 1 apresenta os valores médios dos parâmetros MPD e IRI calculados a cada 100 metros ao longo de cada trecho analisado. Observa-se que os segmentos avaliados apresentaram maior variação nos valores de IRI entre si, com a presença de picos localizados que podem estar associados a defeitos pontuais na superfície do pavimento, como afundamentos ou remendos. Em contrapartida, os valores de macrotextura, representados pelo MPD, apresentaram comportamento mais estável, indicando uma textura superficial relativamente uniforme ao longo da extensão dos trechos avaliados.

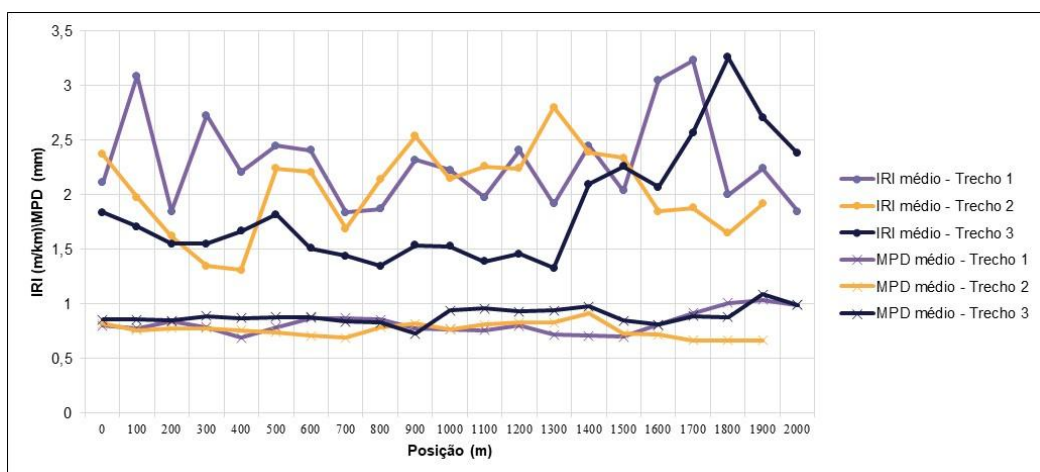


Figura 1: Gráfico do IRI e MPD referente aos trechos teste

2.2 Equipamentos utilizados

Foram utilizados dois equipamentos do tipo *GripTester*, ambos devidamente calibrados e seguindo os procedimentos recomendados pelo fabricante e alinhados com as boas práticas de levantamento de atrito em pavimentos.

Os ensaios foram realizados em três velocidades de deslocamento distintas: 60 km/h, 80 km/h e 100 km/h. Cada equipamento foi configurado para operar com um sistema de aplicação contínua de água, simulando condições de pista molhada conforme exigido pelas normas de avaliação de pistas aeroportuárias. A vazão de água utilizada seguiu as recomendações normativas para atingir uma lâmina d'água mínima de 1,0 mm à frente do pneu de teste. A Figura 2 ilustra o modelo do equipamento *GripTester* utilizado.



Figura 2: Exemplo de equipamento *GripTester* empregado na pesquisa

2.3 Número de passadas e repetibilidade

Em cada segmento de análise, foram realizadas quatro passadas para cada velocidade de operação, totalizando doze passadas por trecho. Esse número permitiu uma avaliação adequada da repetibilidade dos dados e da consistência estatística dos resultados. A repetibilidade é um fator essencial na avaliação do desempenho de equipamentos de medição, principalmente quando se busca analisar a variabilidade dos resultados em condições operacionais distintas.

As passadas foram realizadas em sequência, com intervalo mínimo entre elas, visando manter as condições climáticas constantes. As coletas foram distribuídas em quatro dias distintos, sempre com a pista seca, sem ocorrência de chuvas ou presença de lâminas de água além daquela artificialmente aplicada pelo sistema de irrigação do equipamento.

2.4 Processamento dos dados

Os dados coletados em campo foram processados em segmentos de 100 m, seguindo a metodologia adotada em estudos de avaliação funcional de pavimentos. Para cada intervalo de 100 m, foram determinados os seguintes parâmetros estatísticos:

- Média do coeficiente de atrito obtido nas passadas realizadas;
- Desvio padrão das leituras de atrito em cada passada, como indicador da variabilidade local.

A análise conjunta dessas variáveis possibilita correlacionar o comportamento do atrito com as características superficiais do pavimento, principalmente em termos de textura e irregularidade longitudinal. Além disso, permite investigar a influência da velocidade de operação do equipamento nos resultados, fundamental para a validação dos ensaios e para a interpretação de variações observadas em campo.

2.5 Análise de dados

A análise estatística dos dados foi conduzida utilizando o Coeficiente de Variação (COV), aplicado sobre os valores de atrito obtidos nas passadas realizadas em três velocidades distintas, nos três locais de teste previamente definidos. O COV foi calculado para cada conjunto de passadas, permitindo uma avaliação da consistência e da homogeneidade dos resultados em cada situação.

Essa abordagem permite verificar a estabilidade das medições de atrito e identificar eventuais variações sistemáticas associadas à velocidade de operação ou às características do pavimento em cada trecho. Além disso, os resultados do COV foram comparados entre os diferentes locais de ensaio, possibilitando uma análise espacial da repetibilidade e da sensibilidade do equipamento em distintas condições de superfície.

Adicionalmente, utilizou-se o coeficiente de determinação (R^2) como métrica estatística para avaliar a qualidade do ajuste dos modelos de regressão. Esse parâmetro quantifica a proporção da variabilidade total dos dados observados que é explicada pelo modelo ajustado. Valores de R^2 próximos de 1 indicam excelente ajuste, demonstrando que a maior parte da variação dos dados pode ser explicada pela variável independente considerada.

2.6 Resultados e discussões

A Figura 3 apresenta os valores de GN obtidos no Trecho 1, distribuídos em intervalos de 100 metros. Os dados revelam que o COV variou entre 2% e 11%, com maior dispersão observada entre 800 m e 1.200 m. Em contrapartida, no segmento entre 1.300 m e 2.000 m, a dispersão caiu para níveis próximos a 2%–4%, indicando uma maior homogeneidade do pavimento.

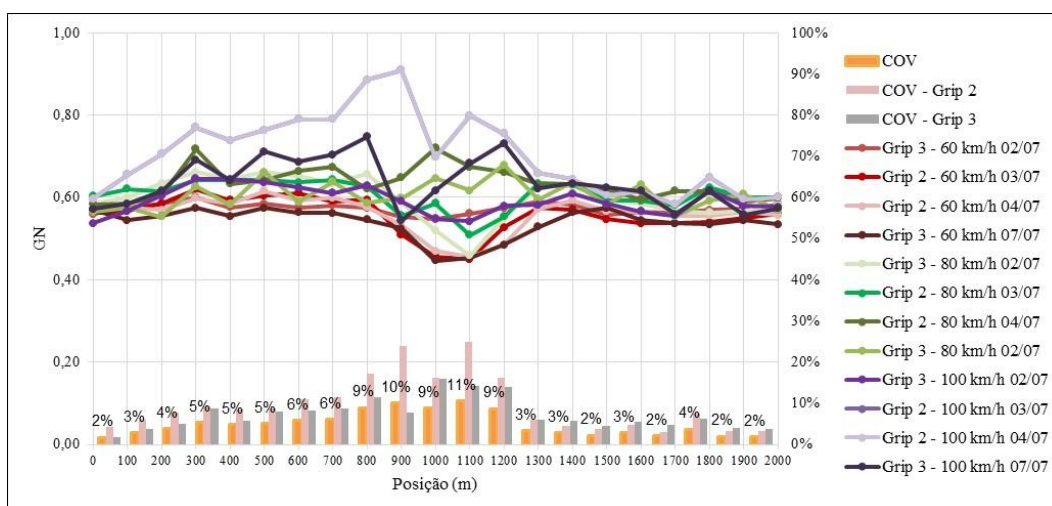


Figura 3: Variação do GN ao longo do Trecho 1

Comparando as velocidades de ensaio, observou-se que os valores médios de GN apresentaram comportamento muito semelhante entre 60 km/h, 80 km/h e 100 km/h. Essa estabilidade sugere que a velocidade não exerceu influência estatisticamente significativa sobre os resultados, corroborando a consistência do equipamento.

A Figura 4 apresenta os resultados dos valores médios de GN e do desvio padrão ao longo do trecho para cada velocidade analisada.

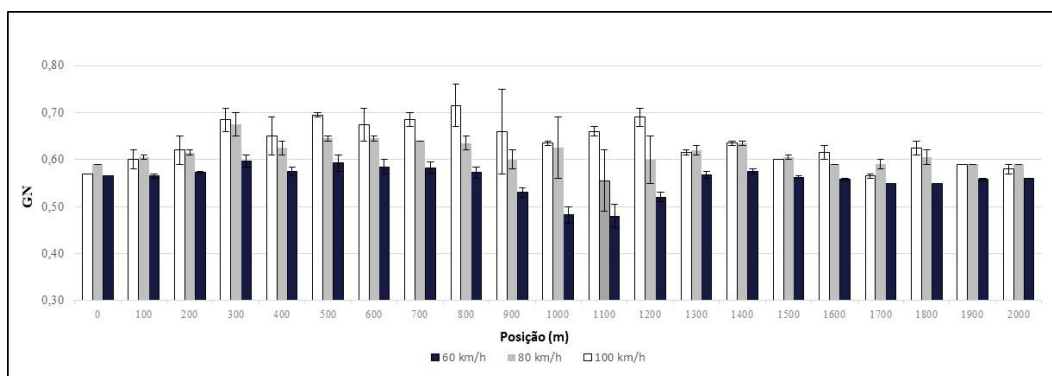


Figura 4: GN médio e desvio padrão ao longo do Trecho 1

Para o Trecho 2, o coeficiente de determinação R^2 igual a 0,981, indicando que 98,1% da variação dos dados observados é explicada pelo modelo ajustado. Esse resultado reflete pouca dispersão dos dados em relação à curva estimada.

Ao avaliar os parâmetros GN, IRI e MPD em conjunto (Figura 5), verificou-se que os maiores picos de COV coincidem com oscilações mais acentuadas do IRI. O MPD apresentou comportamento estável, variando pouco ao longo do trecho e, portanto, com influência secundária sobre o atrito.

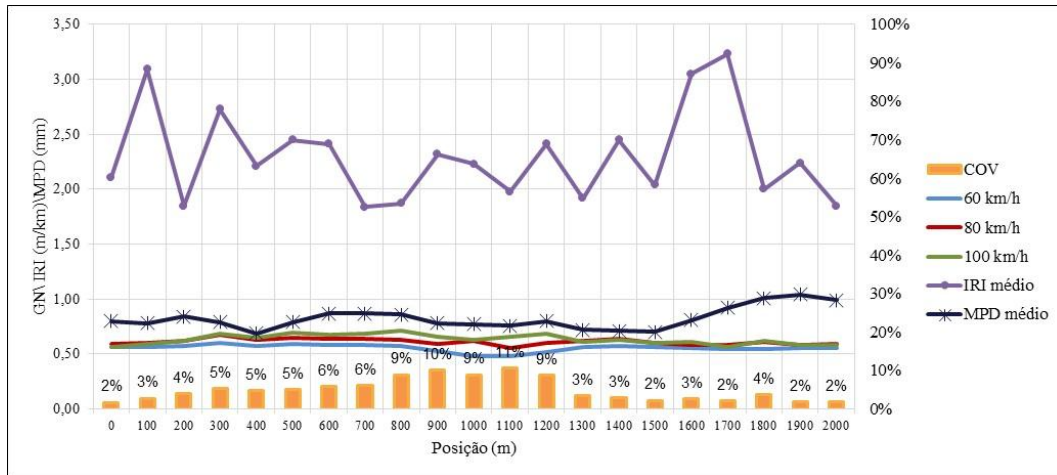


Figura 5: Comparativo entre GM, IRI, MPD e COV no Trecho 1

Para os resultados dos levantamentos no Trecho 2, apresentados na Figura 6, os valores de GN mantiveram-se em faixa compatível com pavimentos em condições satisfatórias, variando entre 0,50 e 0,65. Observou-se apenas um pico isolado próximo ao ponto 1.200 m, quando o GN atingiu cerca de 0,70.

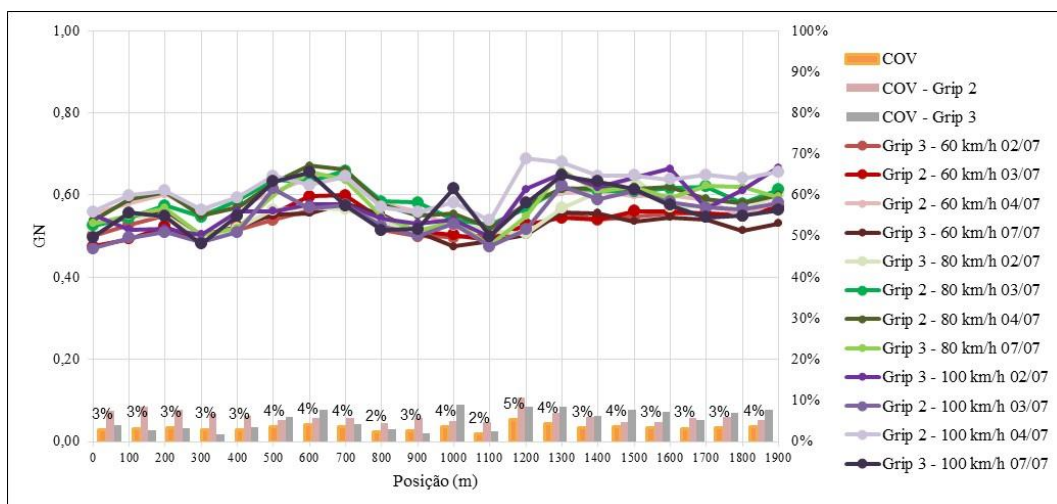


Figura 6: Variação do GN ao longo do Trecho 2

A comparação entre velocidades indicou que, em média, as medições realizadas a 60 km/h apresentaram valores de GN ligeiramente menores que as obtidas a 80 km/h e 100 km/h. Esse comportamento está alinhado à teoria de que velocidades mais elevadas podem reduzir o contato pneu-pavimento em superfícies com macrotextura acentuada. Entretanto, a diferença observada foi pequena e não alterou o padrão global do atrito, mantendo-se estável em toda a extensão do trecho. O COV neste trecho variou entre 2% e 5%, demonstrando boa repetibilidade.

A Figura 7 apresenta os resultados dos valores médios de GN e do desvio padrão ao longo do trecho para cada velocidade analisada.

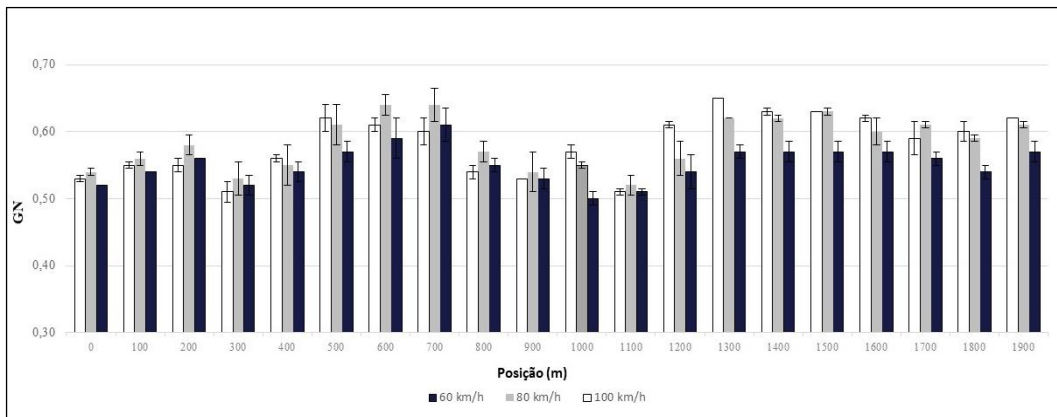


Figura 7: GN médio desvio padrão ao longo do Trecho 2

Para o Trecho 2, o coeficiente de determinação R^2 igual a 0,995, indicando que 99,5% da variação dos dados observados é explicada pelo modelo ajustado, evidenciando a mínima dispersão dos dados em relação à curva ajustada.

Ao se considerar os diferentes parâmetros da superfície do pavimento desse Trecho (Figura 7), observa-se que as maiores oscilações nos valores médios de IRI coincidem com leves variações no GN. Esse comportamento sugere que a irregularidade longitudinal do pavimento pode influenciar a medição do atrito, ainda que de maneira menos acentuada quando comparado ao Trecho 1.

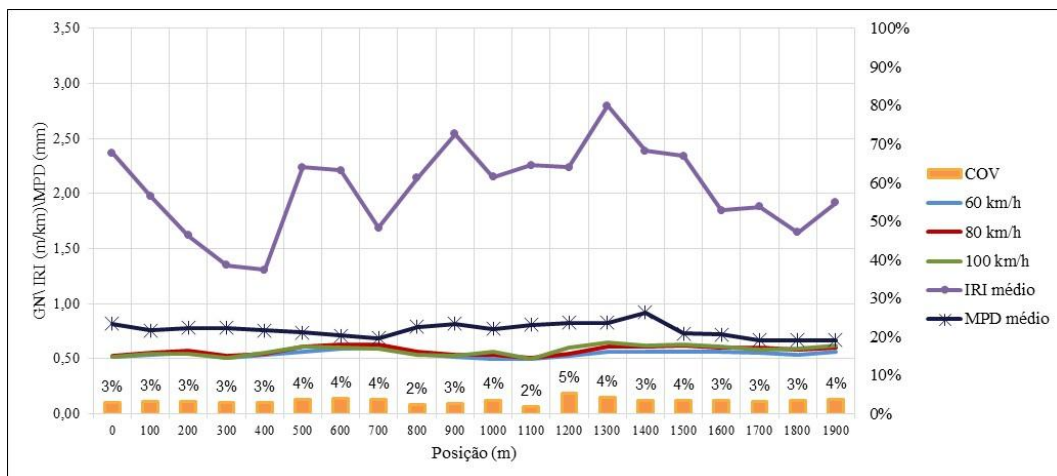


Figura 8: Comparativo entre GM, IRI, MPD e COV no Trecho 2

No Trecho 3, os valores de GN mantiveram-se entre 0,55 e 0,70 (Figura 9), indicando condições adequadas de atrito para pista seca, sem quedas críticas. Os dados coletados pelo equipamento 1, operando a 80 km/h, apresentaram os maiores valores médios (em torno de 0,70), sugerindo que essa condição de ensaio foi mais sensível para identificar áreas com melhor textura superficial ou menor grau de polimento. As medições realizadas a 60 km/h exibiram valores ligeiramente inferiores.

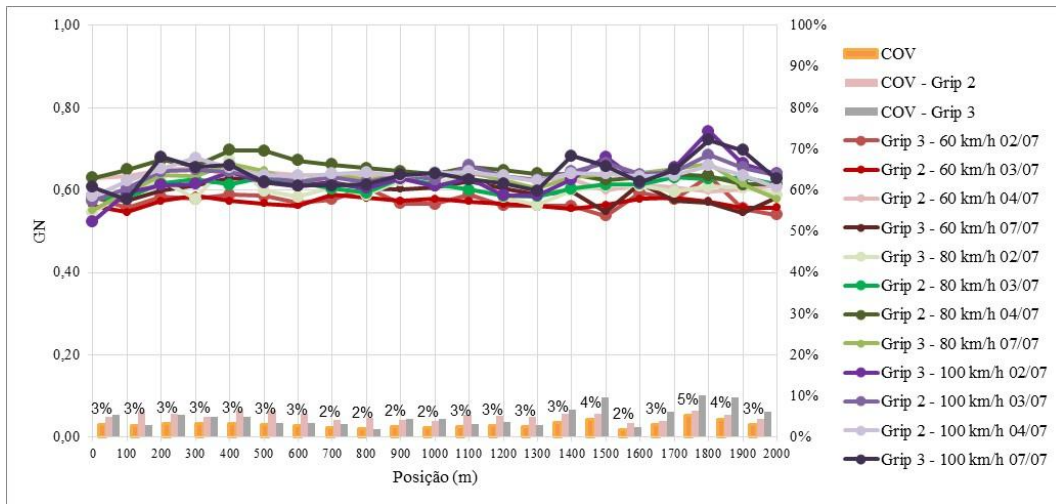


Figura 9: Variação do GN ao longo do Trecho 3

A Figura 10 apresenta os resultados dos valores médios de GN e do desvio padrão ao longo do trecho para cada velocidade analisada.

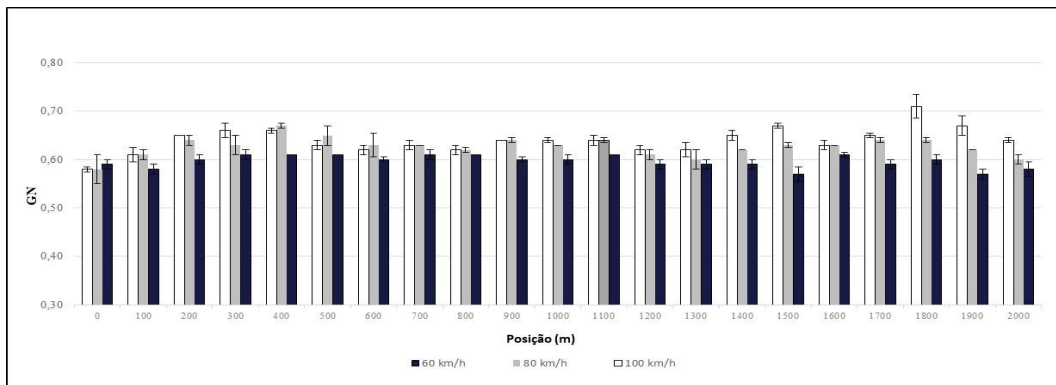


Figura 10: GN médio e desvio padrão ao longo do Trecho 3

Para o Trecho 3, o coeficiente de determinação R^2 igual a 0,995, indicando que 99,5% da variação dos dados observados é explicada pelo modelo ajustado. Esse resultado demonstra alta confiabilidade dos dados para representar o comportamento do atrito em função das diferentes velocidades analisadas. Além disso, observa-se que houve pouca variação nos valores de atrito para esse trecho, mesmo considerando levantamentos realizados com equipamentos distintos e em datas diferentes.

Ao se considerar os diferentes parâmetros da superfície do pavimento desse trecho (Figura 11), tem-se que o IRI médio apresentou variações mais expressivas, oscilando entre aproximadamente 1,2 e 3,2, m/km com picos mais acentuados após 1.600 metros, enquanto o MPD manteve-se estável, próximo de 0,8 ao longo de todo o trecho. Essa diferença de comportamento indica que o IRI é o principal fator relacionado às oscilações do GN, uma vez que as variações de atrito coincidem com os pontos de maior irregularidade do pavimento. Já o MPD, por apresentar menor variação, não se mostrou determinante para as flutuações observadas.

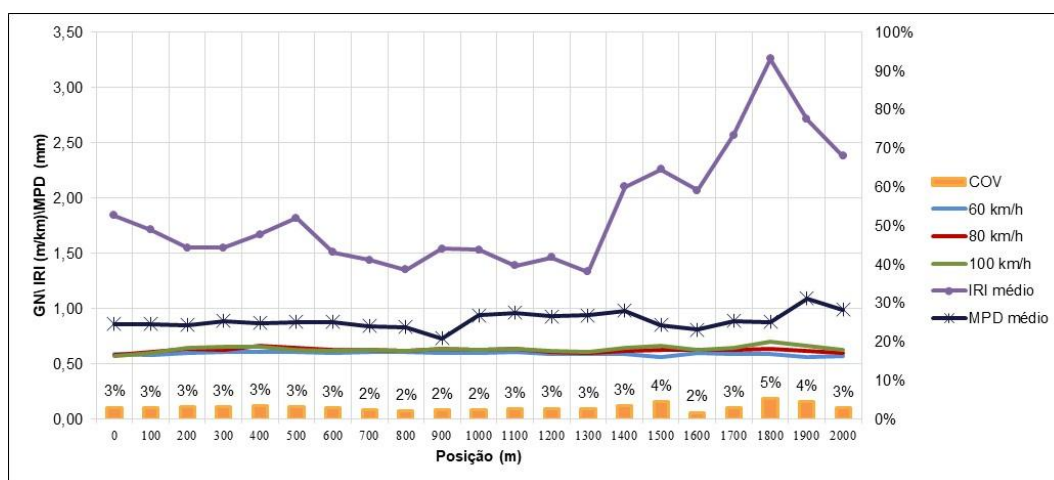


Figura 11: Comparativo entre GM, IRI, MPD e COV no Trecho 3

A correlação entre os valores obtidos evidencia que a textura superficial da pista (MPD) exerce influência secundária sobre o atrito longitudinal, enquanto a irregularidade (IRI) se apresenta como o fator mais relevante para eventuais oscilações do GN. Além disso, a estabilidade dos valores de GN nas diferentes velocidades e equipamentos confirma que a metodologia aplicada foi confiável, gerando dados consistentes e de baixa dispersão entre passadas.

A avaliação dos resultados permitiu uma análise abrangente do comportamento do coeficiente de atrito (GN) ao longo dos trechos, considerando diferentes condições de operação, equipamentos de medição e características do pavimento.

A análise comparativa entre os equipamentos (1 e 2) reforça a confiabilidade do método, já que não foram observadas diferenças significativas entre os resultados obtidos por cada dispositivo de ensaio, mesmo em medições realizadas em dias distintos. Da mesma forma, a variação de velocidade (60, 80 e 100 km/h) não alterou de forma expressiva o GN por trecho, sugerindo que o atrito se manteve estável em diferentes condições operacionais.

3 CONCLUSÕES

O presente estudo avaliou o efeito da velocidade de medição do atrito utilizando o equipamento *GripTester* em três trechos de rodovia com diferentes condições superficiais. De forma geral, os resultados demonstraram que os valores de GN se mantiveram consistentes e estáveis, independentemente do equipamento ou da velocidade adotada, reforçando a confiabilidade do método de coleta. A baixa variabilidade entre as passadas (COV entre 2% e 11%) reforça a confiabilidade dos resultados e valida a metodologia adotada. E os coeficientes de determinação (R^2) superiores a 0,98 nas regressões realizadas indicam forte aderência dos modelos aos dados coletados, com dispersão residual mínima.

A análise das curvas de atrito revelou que a velocidade de operação do *GripTester* não influenciou de forma significativa a variabilidade do GN. Entretanto, observou-se ligeira dispersão dos dados em medições a 100 km/h, especialmente com o Equipamento 2, enquanto as medições realizadas a 60 km/h apresentaram os resultados mais estáveis. Em trechos com maior irregularidade longitudinal, verificou-se um aumento da variabilidade do GN, sugerindo que rugosidades e imperfeições do pavimento contribuem para a variabilidade do atrito medido.

De maneira específica, a análise por trecho reforçou os seguintes pontos:

- Trecho 01: Maior variabilidade entre 700 m e 1.200 m, associada a picos de IRI. A velocidade teve pouca influência, mas a dispersão foi mais evidente a 100 km/h (GN maior que 0,80 em pontos isolados e COV até 11%).

- Trecho 02: Resultados mais homogêneos, com curvas de GN próximas em todas as velocidades e COV entre 2% e 5%. O IRI seguiu como principal variável associada às pequenas oscilações.
- Trecho 03: Maior consistência geral, com curvas praticamente paralelas e mínima dispersão, mesmo a 100 km/h. A uniformidade do pavimento favoreceu a repetibilidade das medições.

Por fim, conclui-se que, para os trechos analisados, o *GripTester* demonstrou alta confiabilidade na medição do atrito longitudinal, com baixa sensibilidade à velocidade de operação e forte relação do GN com a irregularidade longitudinal (IRI). Já a macrotextura (MPD) exerceu influência secundária.

Embora os resultados obtidos nesta pesquisa tenham sido consistentes e reforcem a influência significativa da velocidade de medição nos valores de atrito, ressalta-se que os ensaios foram conduzidos em rodovias. Dessa forma, a aplicação direta dos resultados em pavimentos aeroportuários deve ser feita com cautela, considerando as diferenças de carga, especificações construtivas e exigências de segurança entre os dois ambientes. Assim, este estudo fornece uma base sólida e metodologicamente consistente, mas reforça-se a necessidade de validação em condições reais de operação aeroportuária para consolidar sua aplicabilidade.

Nenhuma ferramenta de IA generativa foi utilizada na elaboração deste artigo.

4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANAC. (2016). *RBAC n° 153: Aeródromos – Operações, manutenção e resposta à emergência*. <https://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/rbha-e-rbac/rbac/rbac-153>

Åström, H., & Wallman, C.-G. (2001). *Friction measurement methods and the correlation between road friction and traffic safety: A literature review (VTI meddelande 911A)*. Swedish National Road and Transport Research Institute.

ASTM International. (1998). *Standard practice for calculating international friction index of a pavement surface (ASTM E1960-98)*. <https://doi.org/10.1520/E1960-98>

ASTM International. (2022). *Standard guide for evaluation, calibration, and correlation of E274 friction measurement systems and equipment (ASTM E2793-22)*. ASTM International.

Duarte, Y. Y. (2021). *Estudo e avaliação das características da textura de um trecho de pavimento rodoviário com utilização de metodologias pontuais e contínuas* [Trabalho de conclusão de curso, Universidade de Brasília]. Universidade de Brasília.

Federal Aviation Administration. (1997). *Advisory circular AC 150/5320-12C: Measurement, construction, and maintenance of skid-resistant airport pavement surfaces*. U.S. Department of Transportation.

Kouchaki, S., Roshani, H., Prozzi, J. A., Zuniga-Garcia, N., & Hernandez, J. B. (2018). Field investigation of relationship between pavement surface texture and friction. *Transportation Research Record*, 2672(40), 395–407. <https://doi.org/10.1177/0361198118777384>

The Transtec Group. (n.d.). *GripTester measuring airport runway friction levels*. Retrieved September 15, 2025, from <https://www.thetranstecgroup.com/resources/case-studies/griptester-measuring-airport-runway-friction-levels>

Wilson, D. J., Jacobsen, B., & Chan, W. (2013). *The effect of road roughness (and test speed) on GripTester measurements (NZ Transport Agency Research Report 523)*. NZ Transport Agency.