

---

## ANÁLISE DE MACROTEXTURA DE PISTA DE POUSO E DECOLAGEM POR MEIO DA GEOESTATÍSTICA

Antonia Fabiana Marques Almeida\*, Francisco Heber Lacerda de Oliveira  
Universidade Federal do Ceará, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes

\* E-mail do autor de correspondência: [fabiana@det.ufc.br](mailto:fabiana@det.ufc.br)

---

**PAPER ID: SIT139**

### RESUMO

A macrotextura é uma importante variável de segurança operacional de pousos e decolagens, pois permite conhecer a aderência pneu-pavimento e o consequente risco de derrapagem ou aquaplanagem em situação de superfície molhada. Esse parâmetro também é responsável por facilitar a drenagem superficial por meio do escoamento das águas pluviais. A macrotextura pode ser classificada de acordo com a profundidade da textura, em mm, em uma escala de cinco categorias que varia de muito fechada a muito aberta. A redução desse parâmetro em pistas de pouso e decolagem (PPD) também é afetada pelo acúmulo de borracha oriundo dos pneus dos trens de pouso das aeronaves, além de outros contaminantes, que preenchem a superfície dos revestimentos, tornando sua textura mais fechada. Essas medidas são tomadas em pontos especializados ao longo da PPD e, portanto, podem ser analisadas com o uso de Geoestatística. Diante do exposto, este artigo tem o objetivo de verificar padrões de macrotextura e sua modelagem por meio do método geoestatístico denominado Krigagem Ordinária. Para tanto, foram georreferenciados os pontos de análise de macrotextura na PPD de um aeroporto brasileiro coletados em 2018. Analisou-se a hipótese de existência de padrão espacial da macrotextura e modelaram-se valores de profundidade das regiões onde não foram realizados levantamentos de campo. O resultado deste estudo é um mapa de calor com os valores estimados de macrotextura para toda a extensão da PPD analisada. Espera-se, com esses resultados, auxiliar a tomada de decisão dos operadores de aeródromos quanto às ações de manutenção e reabilitação que devem ser adotadas para garantir a macrotextura adequada da PPD, priorizando a segurança operacional da aviação civil.

**Palavras-chave:** Macrotextura, Pavimento, Geoestatística, Krigagem Ordinária.

## 1. INTRODUÇÃO

Com o dinamismo econômico, a demanda por deslocamentos pelo modo aéreo aumentou nas últimas duas décadas, tanto para transporte de passageiros como de cargas, com exceção ao período de restrições sanitárias devido à pandemia da Covid-19. Conforme ANAC (2022), comparando Junho/2021 a Junho/2022, houve um acréscimo de 68,0% na demanda doméstica e 292,1% da demanda internacional em RPK (*Revenue Passenger-Kilometers* - Passageiros pagos transportados). Também houve um acréscimo de 16,6% e de 20,3% em cargas domésticas e internacionais transportadas em toneladas, respectivamente.

Esse aumento na demanda gera maior frequência de operações de pousos e decolagens nos aeródromos brasileiros. Assim, o controle do pavimento para garantir a segurança das operações deve ser periódica. Um dos parâmetros que garantem essa segurança em pavimentos aeroportuários é a textura da superfície, representada pela macrotextura.

A macrotextura é um parâmetro importante em pavimentos rodoviários e aeroportuários, pois auxilia na resistência à derrapagem e à aquaplanagem (Ahammed & Tighe, 2008, Zieja *et al.*, 2021). Em aeroportos, a macrotextura é uma das variáveis mais verificadas e controladas. Nas pistas de pouso e decolagem (PPD), há um agravante que pode resultar na redução da profundidade de macrotextura, que é o acúmulo de borracha decorrente dos contatos dos trens de pouso nas aterrissagens. Além disso, outros contaminantes, como detritos, óleos e lubrificantes, dentre outros, podem proporcionar deficiências à macrotextura.

Quanto maior a quantidade de operações em uma PPD, maior o acúmulo de borracha oriundo do contato pneu-pavimento e desgaste do revestimento. Assim, a frequência mínima de medições de macrotextura depende da média de pousos diários de aeronaves. Quando realizado o levantamento de campo, por meio do ensaio da Mancha de Areia, devem ser considerados cada terço de pista para classificação de acordo com ANAC (2020).

A medição da macrotextura é realizada pontualmente, com localização conhecida. Considerando a PPD, todos os pontos de coleta podem ser georreferenciados, podendo essas

informações serem utilizadas para estimar os valores de profundidade da macrotextura nas demais regiões da PPD. Um método de modelagem possível é com a Geoestatística com a Krigagem Ordinária.

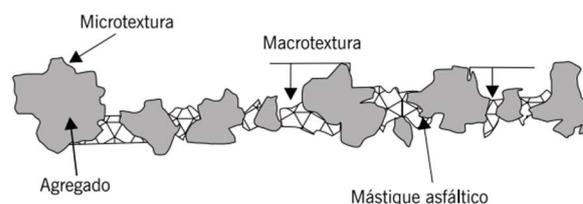
Em pavimentos rodoviários têm sido conduzidos estudos que buscam modelar valores médios de macrotextura com base em outros parâmetros, como Chen *et al.* (2017) e Praticò *et al.* (2021) que utilizaram a composição dos materiais constituintes do revestimento e Dan *et al.* (2022) que usaram os carregamentos do tráfego. No âmbito dos pavimentos aeroportuários, a modelagem da macrotextura tem sido estudada em menor escala, sendo mais utilizada para prever outros parâmetros, como por exemplo o coeficiente de atrito.

Registram-se, em aeroportos, trabalhos como os de Ghaderi & Abedini (2021) que buscaram estimar com processamento digital de imagens, e Chou & Chu (2022) que identificaram que a macrotextura reduz significativamente com as operações de pouso. Não foram identificados estudos que utilizaram a Geoestatística como ferramenta de modelagem da macrotextura. Assim, este trabalho tem como objetivo analisar o uso da Krigagem Ordinária na modelagem Geoestatística da macrotextura em uma PPD brasileira.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1. Macrotextura

De acordo com Bernucci *et al.* (2022, p. 668), a textura de um pavimento é um parâmetro de possível intervenção por parte dos especialistas, por isso é constantemente avaliado. Ainda segundo esses autores, a textura é dividida em microtextura (depende da superfície dos agregados) e macrotextura (depende da rugosidade formada pelo mástique e os agregados) (Figura 1).



**Figura 1** Micro e macrotextura de uma superfície asfáltica. Fonte: Bernucci *et al.* (2022).

A medição da macrotextura de pavimentos aeroportuários no Brasil é regulamentada por ANAC (2020), que indica que deve ser medida em toda a extensão da pista. Devem ser realizadas em áreas localizadas a 3 m do eixo da PPD, de forma alternada a cada 100 m em ambos os lados – direito e esquerdo.

ANAC (2020) também recomenda que a profundidade média da macrotextura deve ser igual ou superior a 0,60 mm. Valores inferiores a 0,40 mm indicam macrotextura que tendem à fechada ou muito fechada, assim como valores superiores a 0,80 mm, aberta ou muito aberta, considerando-se a respectiva classificação de ANAC (2020). O ensaio para realizar a medição do parâmetro é o Método da Mancha de Areia, que consiste no espalhamento de um volume de areia de 24 cm<sup>3</sup>, com granulometria controlada, estando entre as peneiras N<sup>o</sup> 50 e 100. Mede-se então o diâmetro da areia espalhada e, com isso, determina-se a profundidade média da macrotextura no revestimento.

A macrotextura de cada medição é calculada pela Equação (1). Devem ser realizadas 3 medições, e o resultado da profundidade da textura da região é a média aritmética, conforme Equação (2). A Equação (3) apresenta a forma de calcular o parâmetro para cada terço de pista.

$$M_i = \frac{4 \times V}{D^2 \times \pi} \times 10 \quad (1)$$

$$M_{\text{área}} = \frac{\sum_{i=1}^3 (M_i)}{3} \quad (2)$$

$$M_{\text{média}} = \frac{\sum_j^N M_{\text{área}}}{N} \quad (3)$$

Onde,

$M_i$  é a profundidade da macrotextura de uma medição (mm);

$V$  é o volume de areia correspondente a 24 cm<sup>3</sup>;

$D$  é o diâmetro da areia espalhada no ensaio (cm);

$M_{\text{área}}$  é a profundidade média de 3 medidas de macrotextura (mm);

$M_{\text{média}}$  é a macrotextura média do terço de pista (mm); e

$N$  é a quantidade de  $M_{\text{área}}$  calculados em cada terço de pista.

## 2.2. Geoestatística

A geoestatística pode ser definida, segundo Chilès & Delfiner (2012), como uma aplicação de métodos probabilísticos em variáveis regionalizadas, que possuem dependência espacial, permitindo quantificar incertezas no espaço por meio de modelagem. Tem como objetivo determinar o modelo de correlação espacial dos pontos de dados para estimativas e simulações estocásticas, que reflete o padrão de distribuição espacial dos dados e de frequências (Yamamoto, 2020, p. 100).

Para identificar o comportamento da variável analisada segundo uma direção, é utilizada uma função estruturada, o variograma ( $\gamma_h$ ), que considera a variabilidade de um parâmetro de acordo com a distância entre os pontos analisados (Bárdossy, 2019). Nos variogramas são definidos o vetor de distância (*lag distance* -  $h$ ) entre dois pontos que possuam correlação em determinadas direções a serem definidas.

Na etapa de modelagem são definidas a estrutura, se há presença do efeito pepita (que ocorre quando há uma descontinuidade no início do gráfico), dado por  $C_0$ , o modelo matemático que melhor se adequa ao conjunto de dados, a amplitude ( $a_1$ ), que é a distância a partir da qual os dados não apresentam correlação espacial e a covariância espacial ( $C_h = C_0 + C_1$ ) (Chilès e Delfiner, 2012). Caso não exista efeito de pepita, então  $C_0 = C_1 =$  variância da amostra.

Com a determinação dessas informações, podem ser realizadas as estimativas de informações dos locais não amostrados. Uma possibilidade muito utilizada é a Krigagem Ordinária (KO) (Wackernagel, 1995, Kiš, 2016, Yamamoto, 2020). A KO, segundo Matheron (1963), é um método de interpolação que considera a suposição de estacionaridade e não requer o conhecimento do valor esperado da média ( $m(x)$ ) dos valores.

Na interpolação por KO, deseja-se estimar o valor ( $Z^*$ ) da variável analisada num ponto  $x_0$  (Figura 2), localizado próximo aos demais pontos com valores conhecidos. O valor é então calculado com base nos valores ( $Z(x_a)$ ) dos  $n$  pontos vizinhos amostrados combinados linearmente ao peso ( $w_a$ ), conforme Equação (4).

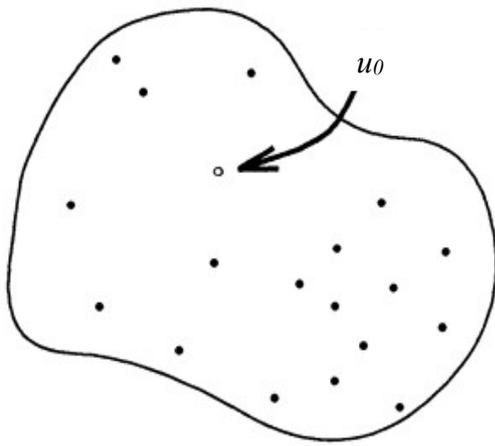


Figura 2 Pontos irregularmente espaçados e o ponto de interesse  $u_0$ . Fonte: Wackernagel (1995).

$$Z_{KO}^*(u_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i^{KO} Z(u_i) \quad (4)$$

Onde,

$Z_{KO}^*(u_0)$  é o valor da variável no ponto que se deseja estimar,

$\lambda_i^{KO}$  são os pesos atribuídos aos dados amostrados, e

$Z(u_i)$  é a variável regionalizada amostrada, em que  $i = 1, 2, \dots, n$ .

### 3. MÉTODO DE PESQUISA

Para analisar os dados de macrotextura e realizar a estimativa desses valores, foi escolhida uma pista de pouso e decolagem (PPD) brasileira com cerca de 2.545 m de extensão, 45 m de largura, designação de cabeceiras 13-31, executada com revestimento em Concreto Asfáltico (sem *grooving*), sendo cumpridas as seguintes etapas: (i) Coleta de dados de macrotextura, definição do polígono limite (extensão da PPD) e análise descritiva das informações de profundidade obtidas; (ii) Definição de variogramas para identificação das direções e do modelo teórico ideais; e (iii) Interpolação com Krigagem Ordinária e validação cruzada dos dados, considerando a *Root Mean Square Error* (RMSE), o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e o índice I de Moran (e sua significância) como indicadores de desempenho. Dos resíduos da regressão linear para obter o  $R^2$  foram testadas: distribuição normal (teste Jarque-Bera), heterocedasticidade (teste Breusch-Pagan) e robustez do modelo (teste White).

Para a interpolação foi definido um polígono externo à malha dos pontos amostrados como área limitante, com o intuito de minimizar possíveis erros oriundos da distância. Esse limite estabelecido é a própria PPD (2.545 m x 45 m). Para a interpolação foi definida uma malha com tamanho de *pixel* (1 m x 1 m). Como ferramentas computacionais foram utilizados:

- QGIS, versão 3.16.14, para gerar o arquivo *shapefile* da PPD e georreferenciamento dos pontos de medição da macrotextura;
- Biblioteca *Matplotlib* do Python, para apresentar a distribuição espacial dos pontos, e os gráficos de *boxplot*, histograma e de linhas;
- Biblioteca *Scikit GStat* do Python e *geoMS*, para calcular e apresentar os variogramas;
- *Plugin Smart-Map* do QGIS para a interpolação dos dados de macrotextura da PPD por Krigagem Ordinária e validação cruzada.

## 4. RESULTADOS E ANÁLISE

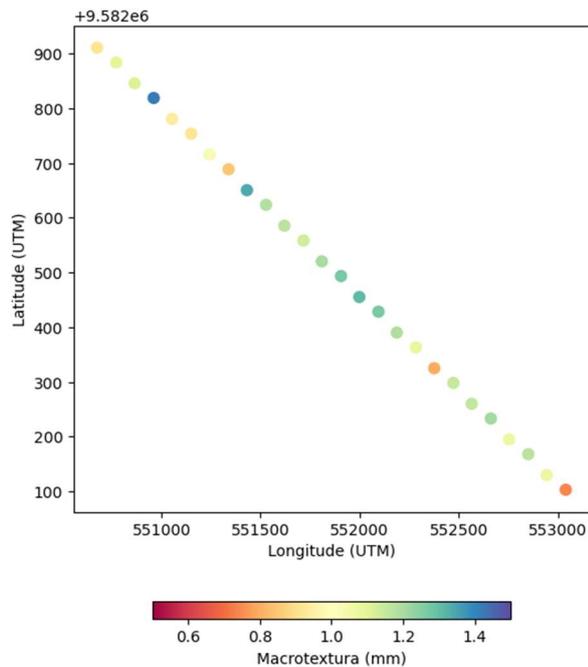
### 4.1. Coleta e caracterização dos dados

Os dados de medição de macrotextura da PPD de estudo indicam que, à época do levantamento (Maio de 2018), a cabeceira mais demandada foi a 13, com 70 dos 71 pousos de aeronaves. O levantamento para medição de profundidades de macrotextura foi realizado até a distância de 2.500 m.

Considerando a cabeceira 13 como ponto de partida da PPD, os valores de profundidade da macrotextura nos terços de pista foram 1,07 mm, 1,21 mm e 1,09 mm. A Tabela 1 apresenta a estatística descritiva das informações de macrotextura e a Figura 3, a espacialização dos pontos verificados na medição.

Tabela 1 Estatística descritiva dos dados de macrotextura medidos em Maio de 2018 na PPD de estudo.

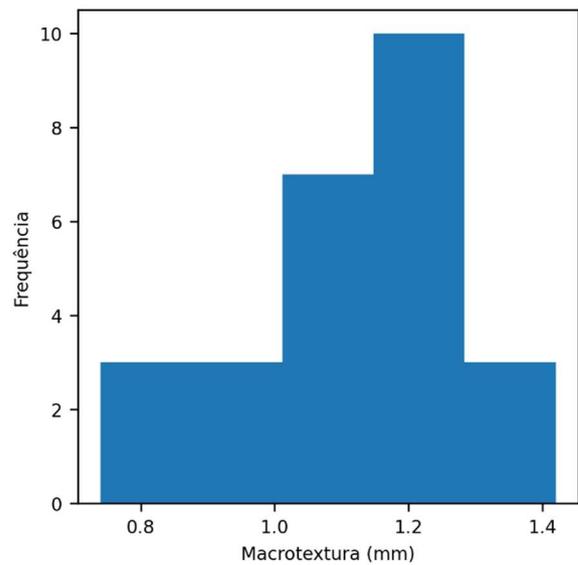
| Parâmetro estatístico    | Valores |
|--------------------------|---------|
| Quantidade de pontos     | 26      |
| Média                    | 1,11 mm |
| Mediana                  | 1,14 mm |
| Mínimo                   | 0,74 mm |
| Máximo                   | 1,42 mm |
| Desvio Padrão            | 0,17 mm |
| Variância                | 0,03 mm |
| Coefficiente de variação | 0,15    |
| Assimetria               | -0,44   |



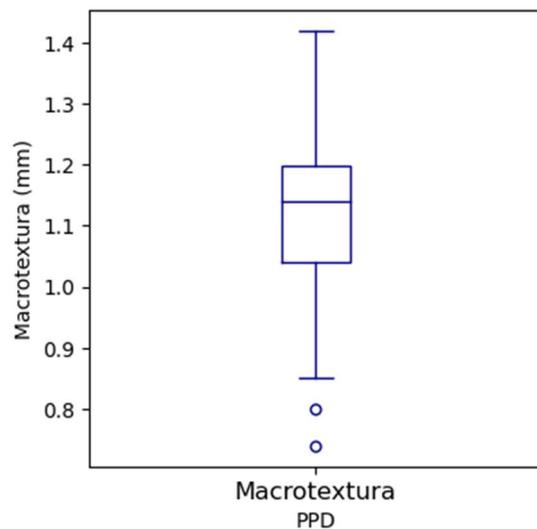
**Figura 3 Pontos de realização da medição de macrotextura na PPD de estudo.**

Verifica-se, a partir da Tabela 1, que a dispersão de informações de macrotextura calculadas é baixa, dado um coeficiente de variação ( $cv$ ) de 0,15 e uma variância de 0,03. A assimetria negativa indica que a distribuição é enviesada à esquerda, ou seja, os dados estão mais presentes nas classes de maiores valores.

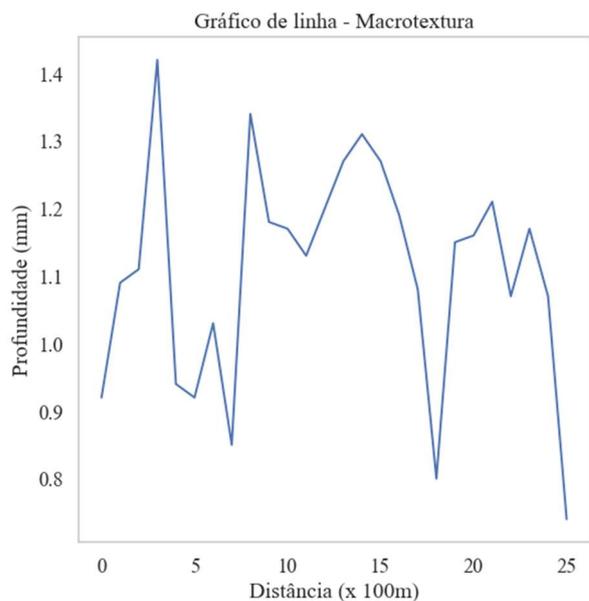
Da Figura 3 nota-se que, embora o  $cv$  seja baixo, há poucas repetições de valores. Todos os valores obtidos atenderam ao valor mínimo de 0,60mm. Foi calculado, no QGIS, o I de Moran de 0,60 e o p-valor do teste de 0,15 indicando que não há autocorrelação espacial a um nível de significância de 5%. As figuras 4, 5 e 6 apresentam o histograma, o *boxplot* e um gráfico de linhas dos dados obtidos de macrotextura.



**Figura 4 Histograma dos valores de macrotextura.**



**Figura 5 *Boxplot* dos valores de macrotextura.**



**Figura 6 Gráfico de linhas dos valores de macrotextura.**

Da Figura 4 pode-se confirmar o viés da distribuição calculado pela assimetria (Tabela 1). Foram definidas 5 classes, sendo as duas primeiras e a última com a mesma quantidade de elementos.

Na Figura 5 observa-se a indicação de existência de valores discrepantes (*outliers*). Assim, foi conduzido o Teste de Grubbs em que não foram detectados *outliers*. Assim, todos os dados serão utilizados nas análises espaciais.

Pela Figura 6 observa-se que os menores valores de macrotextura estão próximos à marca de 1.900 m e de 2.500 m. Embora nenhuma medição tenha resultado em valores inferiores ao mínimo requerido, essas regiões podem indicar a necessidade prioritária de intervenção para melhoria da sua textura superficial, de modo a proporcionar maior aderência pneu-pavimento.

#### 4.2. Definição dos variogramas

Embora a espacialização dos pontos siga uma direção em que o azimute é de 130°, essa orientação não foi testada, uma vez que não estão no mesmo alinhamento (devido à alternância na

amostragem para medição da macrotextura). Além disso, os resultados obtidos nas simulações considerando essa direção não foram satisfatórios. Foi utilizada somente a análise na direção omnidirecional, uma vez que o intuito do estudo é estimar os valores de macrotextura em toda a extensão da PPD.

A Figura 7 apresenta os variogramas experimentais considerando seis modelos teóricos e os respectivos valores de *Root Mean Square Error* (RMSE) calculados. Para a construção dos variogramas omnidirecionais foram considerados os dados apresentados a seguir. Após a definição dos variogramas, serão informados os dados calculados como ideais para sua construção:

- Direção = de 0° a 360° (omnidirecional);
- Distância máxima de corte (*cut distance*) = 1.250 m (metade do comprimento do trecho medido de 2.500 m);
- *Lag distance* ( $h$ ) = 110 m.

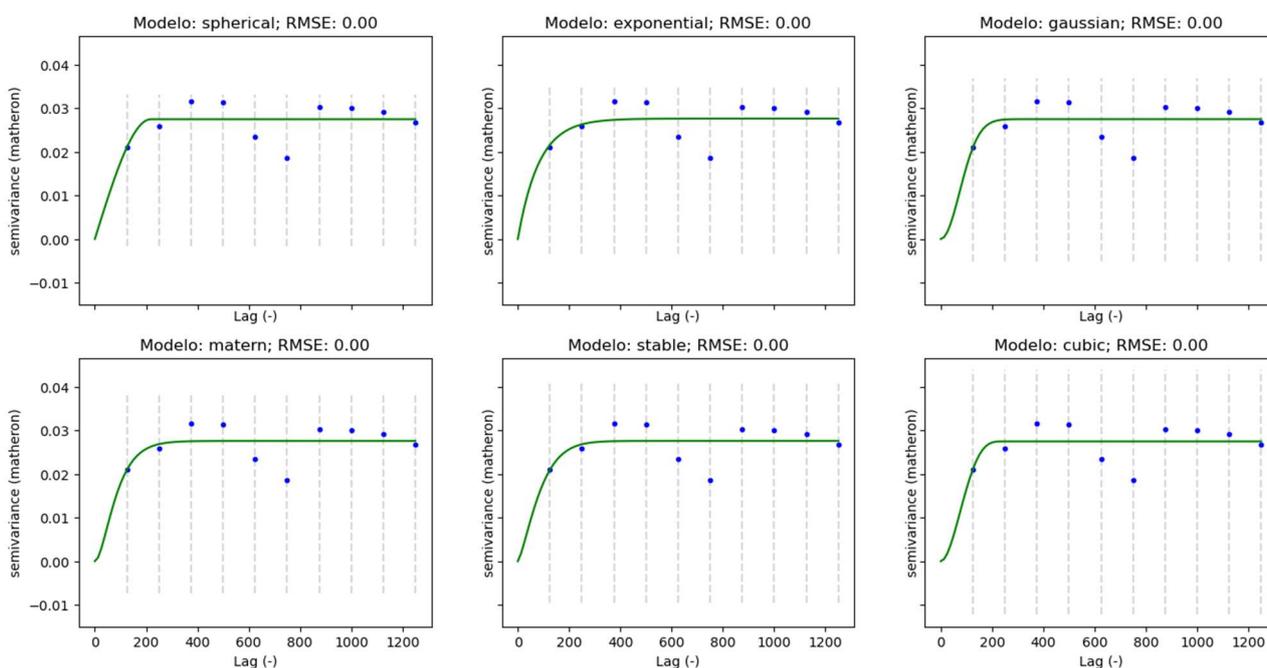


Figura 7 Variogramas experimentais omnidirecionais dos dados de macrotextura da PPD de estudo.

Ao analisar os variogramas da Figura 7, verificou-se que a RMSE foi nula em todos os modelos teóricos testados. Além disso, os variogramas apresentados não apresentaram efeito de pepita, mesmo assim foi realizada uma simulação considerando um valor de  $C_0$  não nulo.

O modelo teórico do tipo esférico foi o adotado para a modelagem. As figuras 8 e 9 apresentam os variogramas com os parâmetros ajustados.

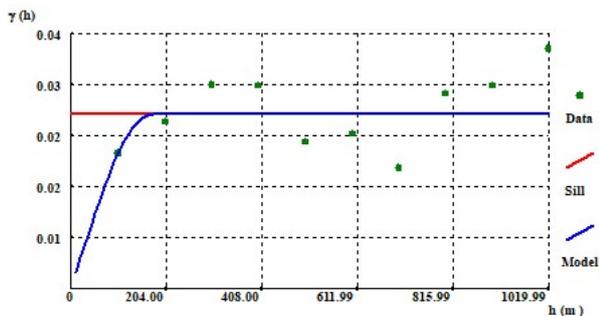


Figura 8 Variograma esférico omnidirecional ( $C_0 = 0$ ).

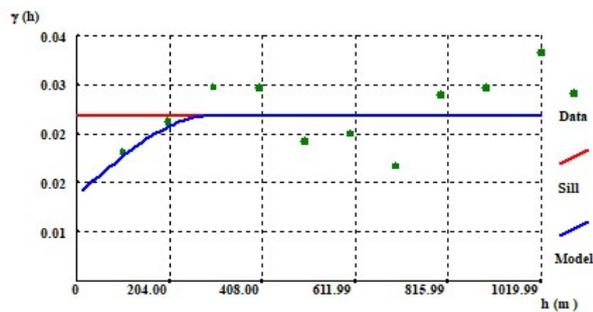


Figura 9 Variograma esférico omnidirecional ( $C_0 \neq 0$ ).

O variograma da Figura 8, que não considerou o efeito de pepita ( $C_0$  nulo), teve o valor de  $C_1$  igual ao da variância da amostra ( $sill = 0,027$ ). A amplitude verificada ( $a_1 = 172,76 m$ ) do ajuste foi superior a  $h$  considerada inicialmente (110 m).

O variogramas da Figura 9, com efeito de pepita teve  $C_0 = 0,14$  e  $C_1 = 0,13$ . A amplitude verificada ( $a_1 = 299,654 m$ ) do ajuste também foi superior a  $h$  considerada inicialmente. As informações dos dois variogramas foram utilizadas na interpolação para comparação.

### 4.3. Interpolação

A interpolação por Krigagem Ordinária (KO) foi realizada considerando 4 vizinhos. O raio de busca foi o respectivo valor de amplitude fornecido pelos variogramas. As figuras 10 e 11 apresentam os mapas interpolados dos valores de macrotextura na PPD de estudo calculados em 114.527 pontos ao longo da sua extensão considerando o modelo esférico.

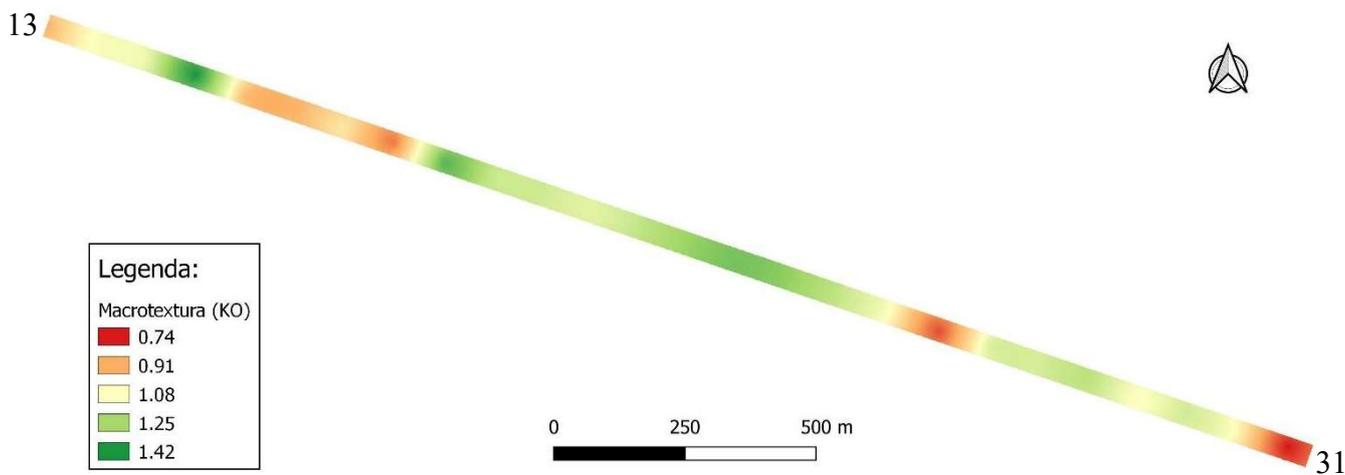


Figura 10 Mapa da PPD com valores de macrotextura interpolados pela KO sem considerar o efeito de pepita.

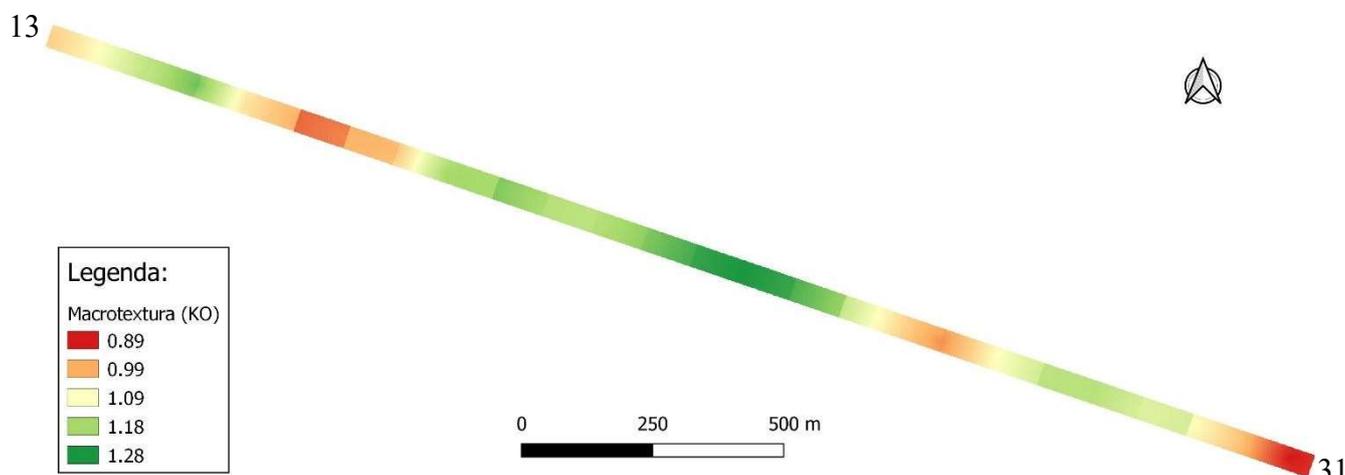


Figura 11 Mapa da PPD com valores de macrotextura interpolados pela KO com efeito de pepita.

Os mapas interpolados das figuras 10 e 11 apresentam algumas diferenças. A primeira, mais visual, mostra um efeito mais suave de interpolação quando não se considerou efeito de pepita (Figura 10). A amplitude dos dados estimados quando o efeito de pepita foi incorporado é inferior (0,39). Os resultados oriundos da interpolação para macrot textura indicam um padrão de concentração de valores mais baixos e altos.

Ainda sobre os mapas de calor (figuras 10 e 11), as regiões que apresentaram os menores valores de macrot textura (cores vermelha e laranja) correspondem às zonas de toque das aeronaves durante os pousos (áreas próximas ao 1º e 3º terços). O terço central apresenta valores maiores, indicados pela cor verde. Também foram identificados valores de macrot textura baixos no extremo correspondente à cabeceira 31, que pode ter sido originado pelo desgaste natural do revestimento, dadas as condições ambientais. A validação cruzada (*cross-validation*) tem os resultados apresentados na Tabela 2.

**Tabela 2 Resultados obtidos da validação cruzada com os valores previstos na etapa de interpolação.**

| Parâmetros | $C_0 = 0$ | $C_0 \neq 0$ |
|------------|-----------|--------------|
| $R^2$      | 0,024     | 0,004        |
| RMSE       | 0,17      | 0,17         |
| I de Moran | 0,62      | 0,67         |

Pode-se verificar, da Tabela 2, que a maior diferença entre as duas interpolações realizadas ocorreu no valor de  $R^2$ . No caso do índice I de Moran, embora a interpolação que considerou o efeito de pepita foi superior, o  $R^2$  foi mais baixo. Já os valores de RMSE foram iguais nas duas interpolações.

Os resíduos da regressão linear para obter os valores de  $R^2$  apresentaram distribuição normal, heterocedasticidade, robustez e não são dependentes espacialmente, tornando os valores preditos válidos nos dois casos. Quanto ao motivo dos baixos valores de  $R^2$  pode-se citar a forma como os dados de coleta de macrot textura são especializados (num único ponto por levantamento), não apresentando uma cobertura em toda a largura da PPD, concentrando-se mais na região central.

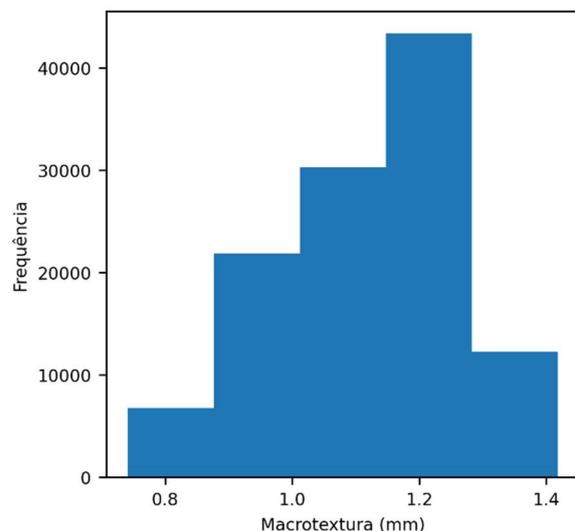
Entre as duas opções de interpolação analisadas, o modelo teórico que não incorporou

o efeito de pepita na sua formulação é o melhor a ser adotado para modelagem da profundidade da macrot textura considerando o aspecto espacial. A Tabela 3 apresenta um resumo dos dados estimados oriundos da interpolação por KO.

**Tabela 3 Estatística descritiva dos dados de macrot textura estimados na PPD analisada.**

| Parâmetro estatístico    | Valores |
|--------------------------|---------|
| Quantidade de pontos     | 114.527 |
| Média                    | 1,11 mm |
| Mediana                  | 1,14 mm |
| Mínimo                   | 0,74 mm |
| Máximo                   | 1,42 mm |
| Desvio Padrão            | 0,14 mm |
| Variância                | 0,02 mm |
| Coefficiente de variação | 0,12    |
| Assimetria               | -0,54   |

Ao comparar os dados da Tabela 3 com os apresentados na Tabela 1, podem ser realizadas algumas constatações. Os valores de média, mediana, mínimo e máximo mantiveram-se iguais. Por sua vez, o desvio padrão, a variância e o *cv* foram reduzidos na modelagem. A assimetria ainda indica que o conjunto de informações apresenta uma distribuição com viés à esquerda. Ou seja, a modelagem gerou dados que seguem a mesma distribuição de frequências. As figuras 12 e 13 apresentam o histograma e o *boxplot* dessas informações.



**Figura 12 Histograma dos dados de macrot textura estimados na PPD de estudo.**

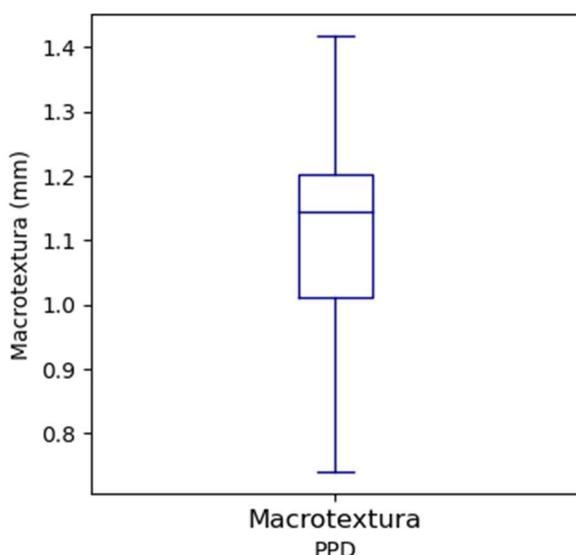


Figura 13 *Boxplot* dos dados de macrotextura estimados na PPD de estudo.

Pela Figura 12 observa-se que, embora a distribuição tenha mantido o comportamento, houve suavização das frequências de dados nas classes. Pelo *boxplot* observa-se que não há indicação da presença de *outliers* e, portanto, não foi necessária a aplicação de inferência para verificação.

## 5. CONCLUSÕES

O parâmetro macrotextura, por ser importante na segurança operacional de pousos e decolagens, é regularmente medido. São realizadas verificações em pontos específicos das pistas de pouso e decolagem (PPD) em toda a sua extensão longitudinal. Essas medidas são capazes de gerar um mapa georreferenciado com as informações de profundidade média da macrotextura.

Por tratar-se de um conjunto de pontos distribuídos espacialmente, com uma variável quantitativa, podem ser analisados com a Geoestatística. Este trabalho buscou realizar essa análise e, com as informações obtidas, estimar as informações nos pontos não amostrados com a Krigagem Ordinária.

Embora com coeficiente de determinação baixo ( $R^2 = 0,023$ ), o mapa de calor estimado de macrotextura da PPD de estudo pode ser utilizado como apoio para análise da condição superficial da pista. Esse valor do  $R^2$  reduzido pode ter ocorrido devido à forma como os pontos

são levantados em campo, abrangendo mais a região próxima ao eixo da PPD.

Os dados estimados ao longo da área considerada limite tiveram, estatisticamente, valores próximos aos reais, porém, com menor variabilidade, desvio padrão e variância, o que permite concluir que a estimativa ocorreu dentro de uma amplitude esperada. Assim, espera-se que mapas produzidos a partir de análises que considerem a distribuição espacial de informações importantes possam ser utilizados pelos operadores de aeródromos brasileiros em tomadas de decisões para intervenção de manutenção e reabilitação da macrotextura nas pistas de pousos e decolagens com o objetivo de garantir a segurança das operações.

Pode-se inferir, portanto, que a variável macrotextura, apresentada em forma de profundidade média (em mm), medida pelo método da Mancha de Areia, pode ser analisada espacialmente com a Geoestatística. A Krigagem Ordinária permitiu gerar um mapa de calor com as informações estimadas desse parâmetro nas regiões em que não houve medidas.

## Referências

- Ahammed, M. A., & Tighe, S. L. (2008). Pavement Surface Mixture, Texture, and Skid Resistance: A Factorial Analysis. *Airfield and Highway Pavements*. DOI: 10.1061/41005(329)32.
- ANAC. (2020). Agência Nacional de Aviação Civil. Monitoramento da irregularidade longitudinal, atrito e macrotextura do pavimento da pista de pouso e decolagem. IS Nº 153.205-001, Revisão B.
- ANAC. (2022). Demanda e oferta do transporte aéreo. Passageiros e carga. Disponível em: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiM2UzMGE2ZmQtOTBkMy00ZjMzLTk2MjAtMWE0MDI0YzkzYjFiIiwidCI6ImI1NzQ4ZjZiZWV0YTQtNGIyYi1hYjYjLWVmOTUyMjM2ODM2NiIsImMiOiR9>, Acesso em 12 de agosto de 2022.
- Bárdossy, A. (2019). Introduction to Geostatistics. Institute of Hydraulic Engineering, University of Stuttgart. Disponível em: <https://osf.io/6jzpn/>. Acesso em: 30 jul. 2022.
- Bernucci, L. B., Motta, L. M. G., Ceratti, J. A. P., & Soares, J. B. (2022). Pavimentação

- Asfáltica: Formação Básica para Engenheiros. Rio de Janeiro, Petrobras, ABEDA. 2ª ed.
- Chen, D., Han, S., Ling, C., & Su, Q. (2017). Prediction of asphalt mixture surface texture level and its distributions using mixture design parameters. *International Journal of Pavement Engineering*. 20(5). DOI: 10.1080/10298436.2017.1316644.
- Chilès, J. P., & Delfiner, P. (2012). *Geostatistics - Modeling Spatial Uncertainty*. 2nd edition. John Wiley & Sons, Inc. New Jersey.
- Chou, C., & Chu, Y. C. (2022). Application of friction-speed model to evaluate runway surface microtexture and macrotexture: a case study. *International Journal of Pavement Engineering*. DOI: 10.1080/10298436.2022.2044034.
- Dan, H., Gao, L., Wang, H., & Tang, J. (2022). Discrete-Element Modeling of Mean Texture Depth and Wearing Behavior of Asphalt Mixture. *Journal of Materials in Civil Engineering*, Vol. 34, Issue 4. DOI: 10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0004165.
- Ghaderi, O., & Abedini, M. (2021). Evaluation of the airport runway flexible pavement macro-texture using digital image processing technique (DIPT). *International Journal of Pavement Engineering*. DOI: 10.1080/10298436.2021.1968393.
- Kiš, I. M. (2016). Comparison of Ordinary and Universal Kriging interpolation techniques on a depth variable (a case of linear spatial trend), case study of the Šandrovac Field. *The Mining-Geology-Petroleum Engineering Bulletin*. DOI: 10.17794/rgn.2016.2.4.
- Matheron, G. (1963). *Traité de géostatistique appliquée*. Tome II – Le Krigeage. Paris, BRGM. 171 p.
- Praticò, F. G., Briante, P. G. & Celauro, C. (2021). Modelling pavement surface characteristics for noise prediction through Bailey-related indicators. *International Journal of Pavement Research and Technology*. 14, 222–231. DOI: 10.1007/s42947-020-0095-z.
- Wackernagel, H. (1995). Ordinary Kriging. In: *Multivariate Geostatistics*. Springer, Berlin, Heidelberg. DOI: 10.1007/978-3-662-03098-1\_11.
- Yamamoto, J. K. (2020). *Estatística, análise e interpolação de dados geoespaciais*. Gráfica Paulos, São Paulo.
- Zieja, M., Wesołowski, M., Blacha, K., & Iwanowski, P. (2021). Analysis of the Anti-Skid Properties of New Airfield Pavements in Aspect of Applicable Requirements. *Coatings*, 11 (778). DOI: 10.3390/coatings11070778.