

INFLUÊNCIA DO ATRITO EM REVESTIMENTOS ASFÁLTICOS NA OCORRÊNCIA DE ACIDENTES RODOVIÁRIOS: UMA ABORDAGEM GEOESTATÍSTICA

Fernanda Santana Carvalho¹, Cláudia Soares Machado¹, Orlando Yesid Esparza², José Alberto Quintanilha¹, Liedi Legi Bariani Bernucci¹

¹Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Transportes da Escola Politécnica, Av. Prof. Almeida Prado, 83 - Travessa 2 - Edifício Engenharia Civil, CEP: 05508-070 São Paulo - SP - Brasil

email: fernanda.santanacarvalho@usp.br

²Universidade de São Paulo, Departamento de Estatística do Instituto de Matemática e Estatística, Rua do Matão, 1010 CEP 05508-090 São Paulo - SP - Brasil

Sumário

O objetivo deste artigo é o estudo da relação entre coeficiente de atrito de superfícies de revestimento asfáltico e a ocorrência de acidentes viários. A metodologia adotada para desenvolvimento das análises utiliza a ferramenta de Geoestatística Krigagem para dados de atrito do pavimento. A pesquisa foi desenvolvida na Rodovia Régis Bittencourt, que interliga as cidades de São Paulo e Curitiba no Brasil. Os resultados obtidos indicam a forte relação entre atrito e acidentes, com uma tendência de redução significativa da frequência de acidentes em regiões onde o pavimento apresenta elevado coeficiente de atrito, principalmente em condição de pista molhada.

Palavras-chave: Acidentes Viários; Geoestatística; Krigagem; Revestimentos Asfálticos; Atrito.

1 INTRODUÇÃO

Os acidentes viários caracterizam um dos problemas mais preocupantes dos sistemas de transporte, pois impõem sérios danos à sociedade, e os seus custos (humanos, sociais e financeiros) são extremamente elevados. A cada ano, cerca de 1,25 milhão de pessoas morrem e outras 50 milhões são feridas em acidentes de tráfego. Por esse motivo, esses eventos devem ser considerados um problema crônico de saúde pública, caracterizando uma epidemia global. Os acidentes viários são a principal causa de morte de jovens entre 15 e 29 anos e consomem, em média, 3% do Produto Interno Bruto (PIB) dos países. Apesar deste enorme e, em grande medida, evitável problema humano, social e econômico, as ações para combater este desafio global ainda são insuficientes. As pesquisas da Organização Mundial de Saúde indicam que os países de baixa e média renda são os mais atingidos, com o dobro das taxas de mortalidade dos países de alta renda e 90% das mortes no tráfego rodoviário global ([1], [2] e [3]). Portanto, uma ampla compreensão da distribuição espacial e temporal dos acidentes viários fornece uma considerável contribuição para o desenvolvimento de programas de redução de acidentes, bem como para intervenções na infraestrutura viária que minimize a frequência e a severidade dos acidentes.

Os acidentes são eventos complexos, afetados por diversos fatores, tais como as características geométricas da via, condições da superfície do pavimento, comportamento dos usuários, condições de tráfego e condições climáticas e meteorológicas. Dentre esses fatores contribuintes para a ocorrência de acidentes rodoviários, destaca-se neste estudo, o papel do atrito dos revestimentos asfálticos, pois um coeficiente de atrito inadequado pode ocasionar na falha da aderência pneu-pavimento, principalmente em condições meteorológicas adversas (com pista molhada), que podem levar a perda do controle dos veículos, derrapagem, e em algumas situações até a hidroplanagem, culminando na ocorrência de acidentes. Diante disto, este trabalho se propõe a analisar a influência do atrito do pavimento nos eventos de acidentes. Para tanto, utilizou-se a ferramenta de geoestatística “krigagem” para estimar, quantificar e determinar a distribuição espacial dos valores de atrito em um trecho rodoviário.

2 ANÁLISES ESPACIAIS APLICADAS A PAVIMENTOS

Vários estudos científicos vêm sendo conduzidos no sentido de estabelecer a associação entre a textura da superfície do pavimento (devido sua relação com o atrito resultante e a dirigibilidade) e a segurança viária. [4], por exemplo, estudaram a correlação das condições da superfície do pavimento de uma rodovia da Austrália com os dados de geometria, tráfego e taxas de acidentes em pista seca e molhada. Através de suas pesquisas, os autores notaram uma relação exponencial entre as taxas de acidentes e a macrotextura do pavimento.

No que se refere à necessidade de manutenção do revestimento asfáltico, [5] foram pioneiros no uso de análises espaciais de dados de atrito para este propósito. Através da aplicação da krigagem em dados de atrito da pista de pouso e decolagem do Aeroporto Internacional de Congonhas em São Paulo, Brasil, o estudo resultou na determinação das áreas com maior necessidade de intervenção e reabilitação.

Ferramentas geoestatísticas não são comumente empregadas no estudo de pavimentos asfálticos, como ressalta [6]. Apesar de muitas vezes as medições serem realizadas em intervalos de tempo e de espaço determinados, a dependência espacial é ignorada. Entretanto, muitas vantagens podem ser obtidas dessa aplicação, como o uso da interpolação para obtenção de pontos que não puderam ser amostrados e determinação da amplitude espacial de correlação entre amostras. Com base nesses dados é possível, por exemplo, determinar as condições gerais de um pavimento mesmo com uma amostragem pequena de dados, reduzindo custos e tempo empregado na coleta de informações [7].

Uma das maiores razões para o estudo da aplicação de ferramentas geoestatísticas a dados amostrais de pavimentos se dá por conta da redução no número de medições ocasionada pela introdução de técnicas de interpolação espacial. Por esse motivo, [8] aplicaram a krigagem em dados de deflexão de pavimentos, que ocorre em camadas mais profundas dos mesmos. Os autores obtiveram resultados satisfatórios, comprovando que a ferramenta possibilitava uma redução de 90% no número de coleta de dados.

[9] não obtiveram bons resultados com a aplicação das técnicas de análise espacial em dados mecânicos obtidos para camadas de pavimentos, nem na interpolação de dados de espessura dessas camadas. Entretanto, os mesmos autores obtiveram melhores resultados ao aplicarem a krigagem em dados de elevação de uma superfície de revestimento asfáltico. Como conclusão, além da confirmação da aplicabilidade de ferramentas geoestatísticas no trecho em estudo, foram dadas sugestões para o emprego dos resultados obtidos, como em métodos computacionais de modelagem de elementos finitos com a finalidade de estimar parâmetros como de deformação dos pavimentos [6].

Existem ainda outros estudos de caráter exploratório que lidam também com a superfície de pavimentos. Nesse sentido, [10] realizaram novas investigações da aplicabilidade da interpolação espacial baseada nesses dados. Para tanto, foram utilizadas as localizações das amostras de defeitos superficiais e irregularidades em pavimentos. Após a determinação da krigagem de tais dados, os autores concluíram que é possível, por relações espaciais, estimar os defeitos de regiões não amostrados sem prejuízos.

3 KRIGAGEM

Krigagem é uma família de algoritmos de regressão generalizada de mínimos quadrados para interpolação espacial que fornece estimativas em locais desconhecidos com base em um conjunto de observações disponíveis, caracterizando e quantificando a variabilidade espacial da área de interesse.

De acordo com [5] os principais conceitos geoestatísticos necessários ao entendimento da krigagem são os de variável regionalizada e variograma. Variáveis regionalizadas são aquelas que podem ter seus valores assumidos dado suas posições em relação aos pontos obtidos por amostragem. Busca-se, assim, estimar o valor $Z(t)$ nos pontos t não obtidos na amostragem. Para tanto, assume-se que essas variáveis sejam aleatórias e procura-se conhecer a distribuição conjunta das mesmas por meio do variograma. Deste modo, na krigagem determina-se a esperança condicional de $Z(t)$ com o auxílio dos valores conhecidos de Z .

As variáveis regionalizadas podem ser descritas como atributos que não podem ser representados por funções matemáticas, dado que se aproximam mais de superfícies estocásticas. Portanto, a interpolação geoestatística, conhecida como krigagem, se faz útil para determinação desse atributo em locais não amostrados [11].

Para aplicação da krigagem alguns passos, apresentados a seguir, foram seguidos. O primeiro deles se dá na observação das tendências amostrais a fim de que sejam feitas transformações quando necessário [11]. Para [12], algumas premissas precisam ser assumidas para a aplicação da krigagem, sendo elas a ideia de estacionariedade e de que o número de ocorrências observadas é suficiente para a geração do variograma. [11] afirmam que, além da hipótese de estacionariedade, deve-se assumir também a hipótese intrínseca e a normalidade dos dados.

Entretanto, [14] destacam que uma distribuição normal dos dados se faz necessária apenas para criação dos mapas de probabilidade, ou seja, para determinação dos intervalos de confiança. Como provado por [15], a hipótese da estacionariedade se faz a mais importante, sendo a distribuição normal dos dados apenas uma forma de melhorar essa hipótese. Sendo assim, independente da distribuição dos dados, a krigagem irá prover o melhor estimador linear não viesado.

Segundo [11] a determinação dos variogramas é o passo principal para que sejam determinados os pesos dados às amostras no processo de interpolação caracterizado pela krigagem. Para seu cálculo é preciso conhecer a distâncias entre amostragens, denominada h . Conhecendo-se o número n de amostras dispostas a uma mesma distâncias h , e seus valores medidos, é possível determinar o valor do variograma $\gamma^*(h)$ pela Equação 1.

$$\gamma^*(h) = \frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n (z(x_i) - z(x_i + h))^2 \quad (1)$$

Onde: $z(x_i)$ e $z(x_i + h)$ são os valores medidos da variável regionalizada z em pontos localizados a uma distância h entre si.

A partir de então, calcula-se o valor do variograma para várias distâncias h obtendo-se ao fim um gráfico de $\gamma^*(h)$ por h . Através dele é possível avaliar os padrões e a autocorrelação espacial dos dados amostrados, como pode ser observado na Figura 1.

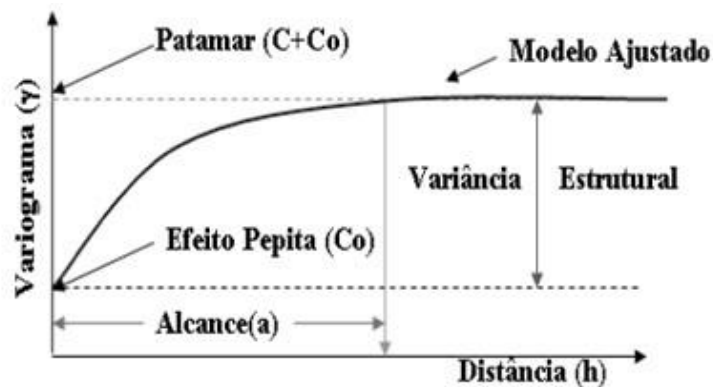


Fig. 1 Modelo de Variograma Experimental [16]

A fim de melhor compreender os variogramas experimentais deve-se ajustá-los a modelos, sendo os mais aplicados os modelos esférico, exponencial e gaussiano. Há de se observar também o efeito pepita o qual, segundo [5], representa o ruído na amostragem, sendo afetado pelo distanciamento mínimo entre amostras e podendo também ser relacionado à capacidade de medição dos aparelhos utilizados. Para [14] se o valor do efeito pepita for muito alto considera-se que a interpolação não será sensível. Já o patamar e o alcance representam o ponto em que as amostras perdem correlação espacial, sendo o patamar dado em distância e influenciando nas distâncias máximas entre pontos de amostragem.

Faz-se necessária também a identificação de características isotrópicas ou anisotrópicas das amostras, ou seja, é preciso observar se a variável regionalizada apresenta uma direção preferencial. Para tanto, devem ser calculados variogramas em várias direções.

Uma vez ajustado o variograma experimental é possível dar prosseguimento à krigagem. Sendo o próximo passo a determinação da vizinha de busca, etapa na qual se escolhe a direção e a quantidade de amostras para o processo de interpolação, para que se realize a validação cruzada.

Segundo [17] a validação cruzada é um processo no qual se comparam os erros dos valores estimados durante a krigagem. Primeiramente, define-se o variograma a ser utilizado, em seguida, os valores amostrados e já conhecidos são retirados individualmente e recalculados pelo processo de interpolação. Então, a diferença entre os valores é dada pelo valor real da amostra menos o valor calculado pela krigagem. É calculada em seguida a média desses erros, com valor esperado próximo a zero. Calcula-se a razão entre a média dos erros e a média da variância dos erros. Quanto mais perto do valor 1, melhores os resultados.

4 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo é a rodovia federal “Rodovia Régis Bittencourt - BR116” (Figura 2), concessionada e administrada pela empresa “Autopista Régis Bittencourt”, filiada ao grupo ARTERIS, onde a ABERTIS espanhola tem participação juntamente com o grupo Brookfield, que recebeu em 2008 a concessão do Governo Federal brasileiro para administrar a rodovia por um período de 25 anos. A rodovia liga as cidades de São Paulo e Curitiba. São Paulo é a capital do Estado de São Paulo, é a maior cidade brasileira com 12,18 milhões de habitantes, representa 11% do Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro (194,9 bilhões de dólares em 2015) e o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) é de 0,805. Por sua vez, Curitiba, capital do estado do Paraná, tem uma população de 1,92 milhão de habitantes, representando 1,4% do PIB brasileiro (25,2 bilhões de dólares em 2015) e IDH de 0,823 [18]. Essa rodovia é o principal elo rodoviário entre a região sul do Brasil e o restante do país. É uma das rodovias com maior volume de tráfego no Brasil, com uma extensão de 496 quilômetros, um percentual muito alto de veículos comerciais pesados, topografia acidentada (região montanhosa) em várias regiões ao longo de sua extensão e, devido à sua localização geográfica, está constantemente sujeita a condições climáticas adversas, como chuva, chuvisco e neblina. Essa combinação de fatores resulta em uma grande quantidade de acidentes de trânsito.

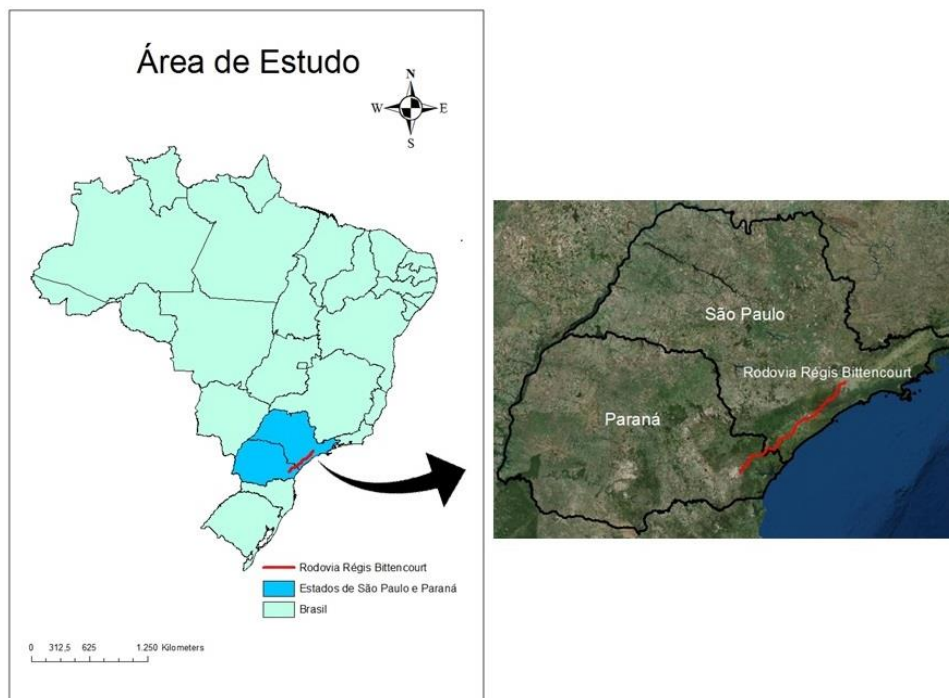


Fig. 2: Área de Estudo

Desde 2015 um projeto de pesquisa sobre segurança viária vem sendo desenvolvido na “Rodovia Régis Bittencourt”, com o apoio da empresa ARTERIS e da ANTT (Agência Nacional de Transporte Terrestre – órgão regulador das rodovias no Brasil). Durante a condução dos estudos, identificaram-se os segmentos mais críticos

quanto à ocorrência de acidentes (principalmente em condição de pista molhada), e então foram selecionados quatro trechos experimentais (dois de cada sentido da via), que receberam intervenções no pavimento, com soluções asfálticas visando o aumento do atrito, e consequente melhoria na aderência pneu-pavimento, objetivando a redução da frequência dos acidentes. Neste estudo, analisou-se um dos trechos experimentais da pista sentido norte da via.

Para a identificação dos segmentos críticos e posterior seleção dos trechos experimentais da rodovia (pista norte) foram analisados os registros de ocorrência de acidentes compreendidos no período de 2008 até 2016, bem como os volumes de tráfego (VDM – Volume Diário Médio) do mesmo período. Para melhoria do atrito do pavimento, e visando também uma boa drenagem superficial, um novo projeto de mistura asfáltica, com granulometria de faixa descontínua, foi definido para a camada de revestimento. Para tanto, adotou-se uma mistura do tipo Gap-graded com tamanho nominal máximo de 9,5 mm.

5 DESCRIÇÃO DOS DADOS

O equipamento empregado para as medições de atrito da rodovia em estudo é denominado Grip Tester. Esse equipamento foi desenvolvido na Inglaterra, e é projetado para aferir o coeficiente de atrito longitudinal entre o pavimento e um pneu normalizado liso que se localiza em um trailer puxado por um veículo, como poder ser visto na Fig. 3. O trailer é projetado de forma a garantir uma taxa de deslizamento mais lenta para a roda de teste, parcialmente bloqueada (fixa em 14,5%), do que para as outras duas rodas do equipamento, criando uma força de frenagem. Essa força de frenagem é medida no eixo da roda, gerando o denominado Grip Number (GN) [19]. Além disso, durante as medições o pavimento é aspergido de forma a criar uma película de água entre 0,2 e 1,0 mm [20]. O equipamento realiza medições a uma velocidade constante e próxima a 50 km/h a fim não causar interrupções no tráfego da rodovia.



Fig. 3. Imagem ilustrativa do equipamento de Grip Tester.

Os dados de atrito utilizados na krigagem foram coletados em um dos trechos experimentais da pista sentido norte da rodovia, em meados do mês de dezembro de 2016. Ressalta-se que a intervenção para mudança do revestimento superficial nesse trecho ocorreu no final do mês de junho de 2016, e desta forma, a mistura asfáltica já tinha seis meses de utilização.

O equipamento percorreu os seis quilômetros de via (km 518 - km 512), e os dados emitidos foram aferidos a cada 10 metros, buscando sempre manter a roda de teste do trailer localizada na trilha de roda da pista, ou seja, no ponto da pista que sofre mais desgaste devido ao deslizamento dos pneus dos veículos. Além disso, são feitas medições de atrito nas duas faixas de rolamento da pista. No Brasil enumeram-se as faixas da rodovia de acordo com seu posicionamento na pista. Num mesmo sentido de tráfego, a faixa 1 é aquela que se encontra mais à

esquerda e onde trafegam veículos leves e conseqüentemente a maiores velocidades, enquanto que na faixa 2 trafegam os veículos comerciais pesados e a menores velocidades. Na Fig. 3, apresentada anteriormente, o teste está sendo realizado na faixa 2 da rodovia.

Como salientado anteriormente, os dados são coletados a cada 10 metros, porém, após análises iniciais percebeu-se que a krigagem obtida para tal distanciamento não era representativa, pois criava bandas estreitas de atrito que não apresentam influência na distância de frenagem do veículo. A fim de criar uma melhor superfície de krigagem, foram então criadas faixas de textura de acordo com a distância de frenagem para a rodovia em questão.

Segundo [21], a distância necessária para que um veículo trafegando a uma velocidade de 80 km/h consiga parar completamente é de aproximadamente 73 metros. Como as medições são feitas a cada 10 metros, agrupou-se essas medidas em grupos de 70 metros, criados a partir da média dos 7 valores de atrito aferidos nesse intervalo.

6 METODOLOGIA

A ferramenta computacional empregada para obtenção da superfície de krigagem foi o software livre de modelagem geoestatística 3D Stanford Geostatistical Modeling Software (SGeMS) versão Beta X64. A primeira fase da krigagem constitui o ajuste do variograma dos dados em estudo. Foram feitos dois variogramas, uma para a faixa 1 de rolamento (conforme explicado anteriormente) e outro para a faixa 2, conforme apresentados nas Figuras 4 e 5. Para a faixa 1 o modelo que apresentou melhor ajuste foi o esférico (Figura 4), para a faixa 2 o modelo de ajuste foi dividido em duas partes. Na primeira o ajuste foi esférico, até o valor de distância de aproximadamente 0,1, e na segunda gaussiano (Figura 5).

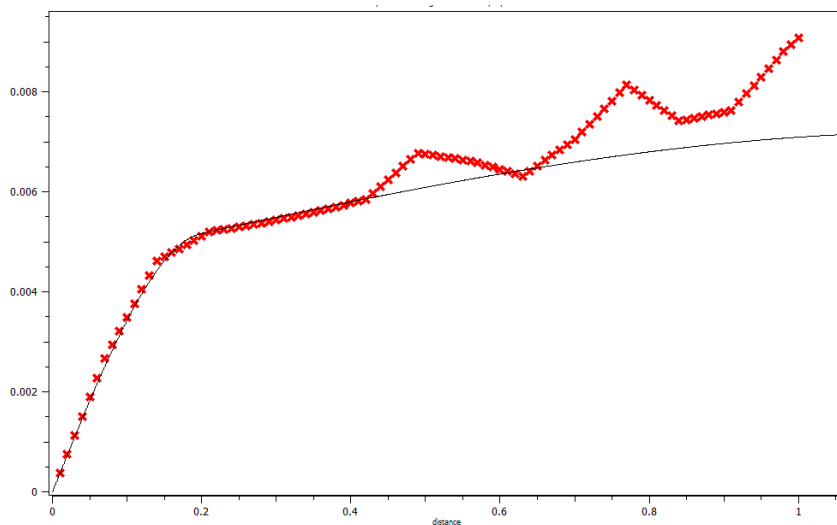


Fig. 4. Variograma para a faixa de rolamento 1

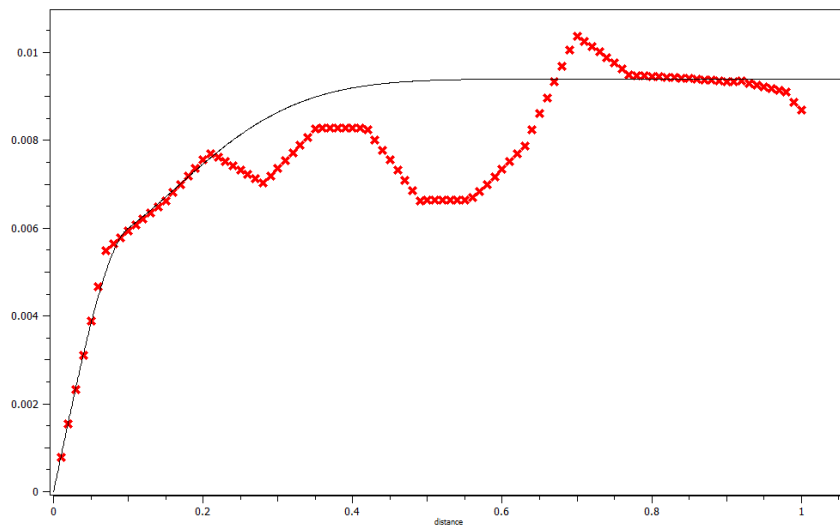


Fig. 5. Variograma para a faixa 2

Em seguida, procedeu-se na validação cruzada, através da qual se avalia o modelo empregado na confecção do variograma. Nessa técnica são removidos pontos amostrados e os mesmos são calculados pelo modelo ajustado no variograma. A partir de então, faz-se um gráfico de valores amostrados e valores estimados pelo modelo. Quanto mais próximo de 1 o valor de correlação apresentado no gráfico, melhor o ajuste.

Para a faixa 1, o gráfico de validação cruzada apresentou um valor de correlação igual a 0,98, ou seja, um ajuste muito bom, conforme a Figura 6. Para a faixa 2 o ajuste foi um pouco inferior, porém ainda muito satisfatório, de 0,95, conforme a Figura 7.

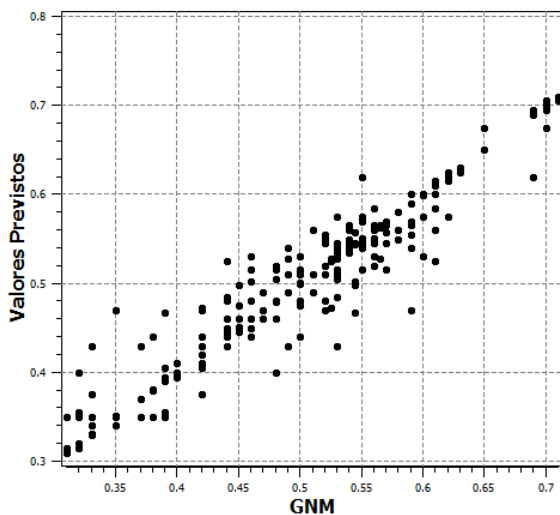


Fig. 6. Validação cruzada para a faixa 1

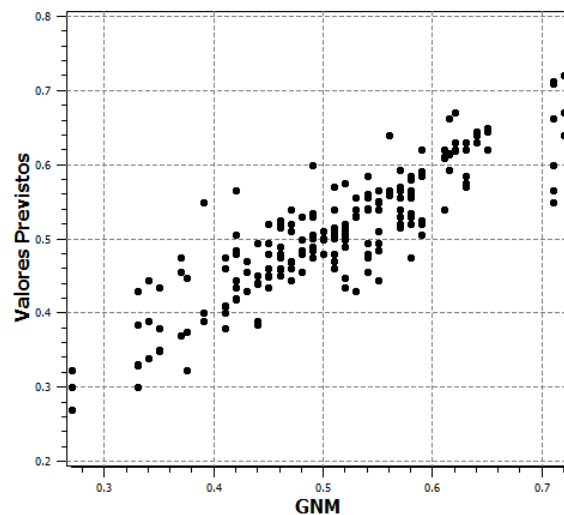


Fig. 7. Validação cruzada para a faixa 2

Como a finalidade deste artigo é verificar a relação entre atrito do pavimento e ocorrência de acidentes viários, utilizou-se o histórico de registros de ocorrências de acidentes abrangendo 6 meses antes da execução das intervenções no pavimento com a adoção de solução asfáltica para aumento do atrito e 6 meses após. Ou seja, foram calculados os histogramas das frequências de acidentes nesses dois períodos. No entanto, o trecho experimental analisado (que recebeu o novo pavimento) é menor do que o trecho onde o atrito foi medido. Enquanto que o atrito foi medido, pelo equipamento Grip tester, do km 518 ao km 512 (6 quilômetros de

medição), o trecho experimental com Gap-graded foi do km 518 ao km 517+530 m (extensão de 470 metros - o trecho experimental está contido dentro do trecho onde o atrito foi medido). É importante salientar que a pista sentido norte da rodovia (de Curitiba para São Paulo – vide Figura 2), tem a numeração dos marcos quilométricos em ordem decrescente em relação ao sentido de tráfego.

7 RESULTADOS

Os resultados obtidos são apresentados na Figura 8. Na parte superior estão os histogramas de acidentes, com a cor azul, as frequências antes da realização da intervenção no pavimento visando aumento do atrito (registros de ocorrências de janeiro/2016 até junho/2016), e em verde após a implementação da solução asfáltica (registros de ocorrências de julho/2016 até dezembro/2016). Na parte inferior está representado o atrito após a intervenção. Quanto mais vermelha a cor da representação pior o atrito. A cor amarela representa os maiores valores de atrito. Em tracejado está delimitado o trecho experimental analisado. É possível verificar no histograma de antes da intervenção que esse era o trecho com o maior número de acidentes, e que após as obras esse número diminuiu drasticamente, chegando a quase zerar completamente.

Cabe ressaltar que as regiões com o melhor coeficiente de atrito correspondem às menores frequências de acidentes, e o contrário, nas regiões de pior atrito, ocorrem muitos acidentes, notadamente com pista molhada. A relação atrito/acidentes é inversamente proporcional.

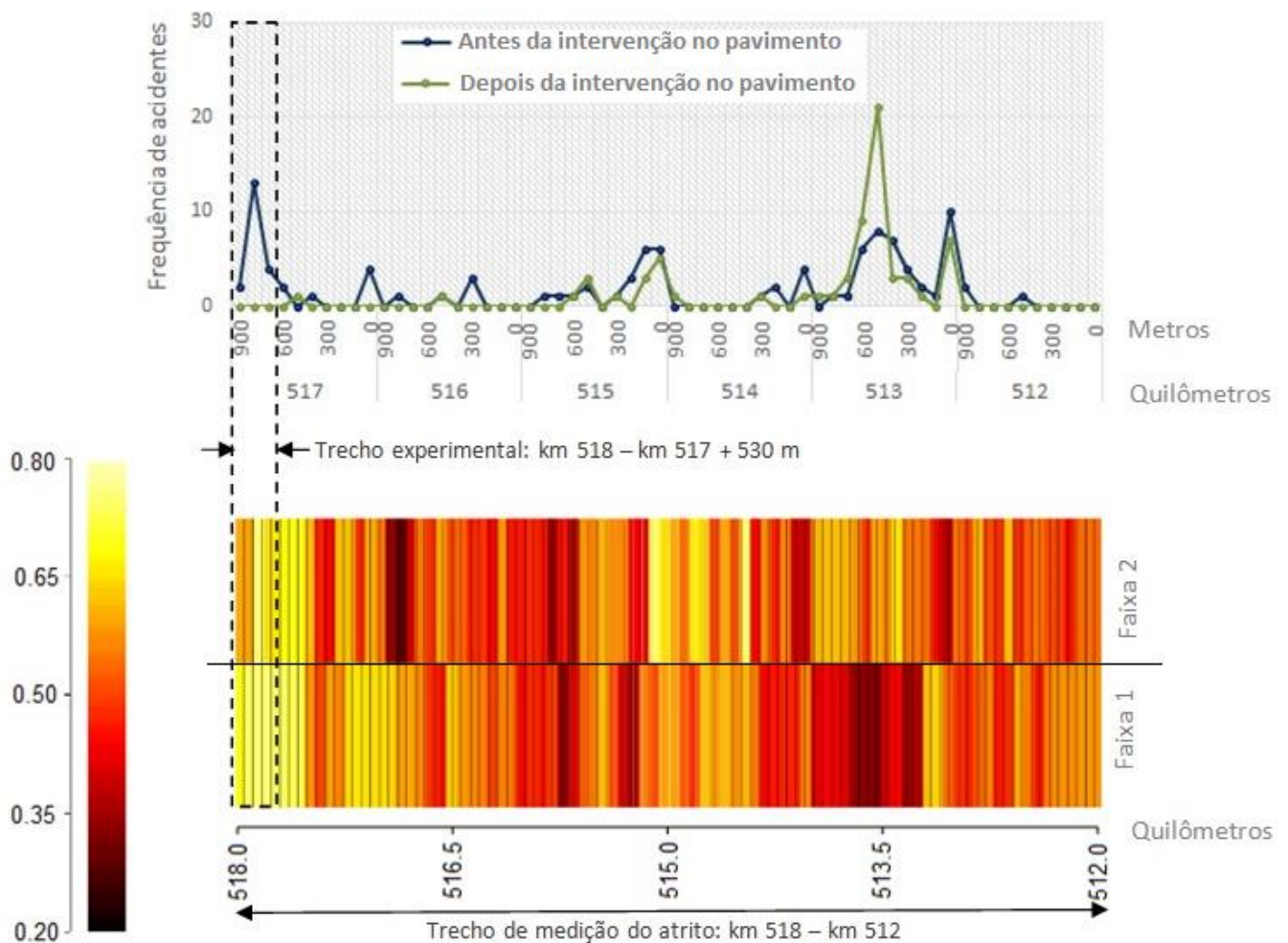


Fig. 8. Resultado da krigagem com dados de atrito e frequência de acidentes antes e após intervenções no pavimento.

8 CONCLUSÕES

A Krigagem realizada demonstrou a forte relação entre atrito e acidente, pois, ao analisar a figura 8, fica evidente que as regiões onde o coeficiente de atrito é maior, têm uma baixa incidência de acidentes, principalmente em pista molhada. Isto pode ser comprovado ao se observar o trecho experimental (km 518 – km 517 + 530 m) e a região dos quilômetros 513 e 512, onde não houve obras no pavimento para aumento do atrito, e as ocorrências de acidentes aumentaram significativamente, principalmente na faixa 1, onde os valores de atrito são muito baixos.

É importante ressaltar que as decisões da escolha dos trechos experimentais, bem como das soluções de pavimento adotadas, foram embasadas em rígidos critérios teóricos e técnicos, aliados a questões construtivas e de segurança da equipe que realiza as obras.

Os resultados da presente pesquisa se mostraram animadores, pois a quantidade de acidentes tende a diminuir dramaticamente quando o atrito do pavimento é melhorado, em especial sob condições climáticas adversas e presença de água na pista. Isto quer dizer que a solução adotada na pista sentido norte da rodovia, o Gap-graded, vem cumprindo satisfatoriamente seu papel, ao atingir a meta de reduzir os acidentes em pavimento molhado através da melhora do coeficiente de atrito. Entretanto, para análises mais aprofundadas da efetividade do efeito do tratamento na redução do número de acidentes devem ser feitas através de estudos Antes e Depois, segundo apresentado por [22].

A utilização prática dos resultados aqui apresentados para redução de acidentes (frequência) se traduz na apresentação de uma alternativa de revestimento asfáltico que ocasiona aumento do coeficiente de atrito, tomando a operação mais efetiva e eficiente da rodovia, melhorando o nível de serviço, aumento conforto, satisfação e segurança dos usuários, e o mais importante: salvando vidas.

9 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico-CNPq (processo n. 304037/2015-0), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001, à ARTERIS (“Autopista Régis Bittencourt”) pelo apoio e disponibilização dos dados e informações necessários para o desenvolvimento da pesquisa, e à ANTT (Agência Nacional de Transportes Terrestres) pelo programa RDT – Recursos de Desenvolvimento Tecnológico que financiaram a pesquisa.

10 REFERÊNCIAS

1. OMS – Organização Mundial de Saúde. *Global status report on road safety 2015*. Geneva, Switzerland, 340p., 2015
2. Luo, Z.; Li, J.; Zhong, M. Prediction of seasonal variation in traffic collisions on rural highways: A case study in the province of British Columbia. *IEEE 4th International Conference on Transportation Information and Safety (ICTIS)*, p. 23-26, 2017.
3. Rusli, R.; Haque, M. M.; King, M.; Voon, W. S. Single-vehicle crashes along rural mountainous highways in Malaysia: An application of random parameters negative binomial model. *Accident Analysis and Prevention*, 102 153-164, 2017.
4. Cairney, P.; Bennett, P. Relationship between road surface characteristic and crashes on Victorian rural roads. *23rd ARRB Conference – Research Partnering with Practitioners*, Adelaide, Australia, 9p, 2008.
5. Shinohara, E. J.; Filho, O. S. R.; Quintanilha, J. A.; Bernucci, L. L. B. Uso da ferramenta de análise da geoestatística para o estudo do atrito em pista de aeroporto. *Anais do XX Congresso da Associação Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes, ANPET*, Brasília, 10p., 2006.
6. Lea, J. D.; Harvey, J. T. A spatial analysis of pavement variability. *International Journal of Pavement Engineering*, 16(3) 256 – 267, 2015.

7. Zhang, S.; Lippitt, D. C.; Bogus, S. M. Pavement surface condition estimation based on geospatial modelling. *Annals of GIS*, 23(3) 167 – 181, 2017.
8. Albuquerque, F. S.; Núñez, W. P. Otimização do monitoramento de deflexão pelo uso da geoestatística. *Revista Transportes*, 20(1) 5-12, 2012.
9. Lea, J. D.; Harvey, J. T. Using spatial statistics to characterize pavement properties. *International Journal of Pavement Engineering*, 16(3) 239 – 255, 2015.
10. Lethanh, N.; Richmond, C.; Adey, B. T. Investigation of the ability to estimate values of road section condition indicators based on their spatial correlation. *Journal of Infrastructure Systems*, 22(3) 12p., 2016.
11. Burrough, P. A.; McDonnell, R. A. *Principles of geographical information system*, Oxford University Press, New York, NY, USA, 1998.
12. Detweiler, Z. R.; Ferris, J. B. Interpolation methods for high-fidelity three-dimensional terrain surfaces. *Journal of terramechanics*, 47(4) 209-217, 2010.
13. Ghasemi, A.; Zahediasl, S. Normality Tests for Statistical Analysis: A Guide for Non-Statisticians. *International Journal of Endocrinology Metabolism*, 10 486-489, 2012.
14. Smith, M. J.; Goodchild, M. F.; Longley, P. A. *Geospatial Analysis, A comprehensive guide to principles techniques and software tools*, The Winchelsea Press, Winchelsea, UK, 2015.
15. Bodaghabadi, M. B. Is it necessarily a normally distributed data for kriging? A case study: soil salinity map of Ghahab area, central Iran. *Desert*, 23(2) 285-294, 2018.
16. Wanderley, H. S.; Amorim, R. F. C.; Carvalho, F. O. Variabilidade espacial e preenchimento de falhas de dados pluviométricos para o Estado de Alagoas. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 27(3) 347 – 354, 2011.
17. Clark, I. The Art of Cross Validation in Geostatistical Applications. *19th Application of Computers and Operations Research in the Mineral Industry*, p. 211 – 220, 1986.
18. IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/>>, acesso em 28/janeiro/2019.
19. Chou, C.; Lee, C.; Chen, A.; Wu, C. Using a constructive pavement texture index for skid resistance screening. *International Journal of Pavement Research and Technology*, 10(4) 360–368, 2017.
20. Freitas E.; Pereira, P. Análise da qualidade funcional e do impacto ambiental de uma Rodovia urbana. *5º Congresso Luso-Moçambicano de Engenharia*, Maputo, Moçambique, 2008.
21. AASHTO - American Association of State Highway and Transportation Officials. *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets*, 6 ed., Washington, D.C., 2011.
22. Hauer, E. *Observational before-after studies in road safety - Estimating the Effect of Highway and Traffic Engineering Measures on Road Safety*. Pergamon Press, Oxford, 289p , 1997.