

MONITORAMENTO DE PAVIMENTOS COM SMARTPHONES

Danilo Rinaldi Bisconsini¹

José Leomar Fernandes Júnior²

Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)¹

Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo (EESC-USP)^{1,2}

RESUMO

A busca por novas tecnologias aplicadas na obtenção de dados para alimentação de Sistemas de Gerência de Pavimentos (SGP) em nível de rede, para os quais as informações precisam ser simples, a fim de reduzir custos e proporcionar o monitoramento contínuo de pavimentos, é de extrema importância. Neste estudo, investiga-se a avaliação da irregularidade longitudinal de pavimentos com dados de smartphones, a partir de sua aplicação como um medidor do tipo resposta e por meio de coleta colaborativa de usuários para a geração de um modelo de aprendizagem de máquina. A partir dos resultados, será realizada análise comparativa com valores de IRI - *International Roughness Index* (Índice Internacional de Irregularidade Longitudinal) obtidos a partir equipamentos de referência (Nível e Mira e do Perfilômetro Inercial a Laser). Espera-se desenvolver um sistema de avaliação da condição funcional de pavimentos eficaz e com custo reduzido.

1. OBJETIVOS

Neste estudo, pretende-se analisar a avaliação da irregularidade longitudinal de pavimentos com o uso de smartphones como medidores do tipo resposta e investigar um experimento, em cenário realista, de coleta de dados colaborativa para a avaliação da condição funcional de rodovias, tomando como referência a irregularidade longitudinal de pavimentos.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A maioria das rodovias brasileiras ainda não oferece condições adequadas aos usuários, com problemas de infraestrutura, sinalização e geometria, decorrentes da falta de recursos destinados às atividades básicas de Sistemas de Gerência de Pavimentos (SGP), sobretudo para a coleta de dados que auxiliam os processos de tomadas de decisão, importantes na otimização dos recursos destinados à manutenção e reabilitação de pavimentos. O monitoramento das rodovias deve ser uma atividade constante, por fornecer informações utilizadas como parâmetros de desempenho, critério de aceitabilidade de obras e para definição de novas intervenções.

Dentre os defeitos monitorados por organismos rodoviários, a irregularidade longitudinal de pavimentos é tida como a mais importante em rodovias. Isso porque a irregularidade, representada principalmente pelo IRI - *International Roughness Index* (Índice Internacional de Irregularidade), é um dos mais apropriados para a obtenção dos Custos Operacionais dos Veículos (COV), da qualidade de rolamento global, da carga dinâmica das rodas e dos limites de segurança em manobras em curvas e frenagens (SAYERS e KARAMIHAS, 1998).

De acordo com Sayers *et al.* (1986), os medidores de irregularidade são classificados em quatro classes, de acordo com o intervalo de amostragem e capacidade de medir diretamente o IRI. Os sistemas da classe 1 medem diretamente o perfil de pavimentos com alta acurácia (Nível e Mira, *Dipstick*, perfilômetro do TRL - *Transportation Research Laboratory*, perfilômetro da ARRB - *Australian Road Research Board*). A classe 2 inclui outros métodos perfilométricos (sensores a laser, infravermelho ou ultrassom, APL francês - *Longitudinal Profile Analyser*). Os dispositivos estáticos, como o Nível e Mira e o *Dipstick*, são pouco práticos para coletas em grandes extensões, importantes na gerência em nível de rede, que trabalha com informações agregadas. Já os sistemas sofisticados, como os perfilômetros inerciais a laser e equipamentos do tipo scanner, envolvem um alto custo de compra, operação e tratamento de dados.

Os equipamentos da classe 3 são conhecidos como medidores do tipo resposta (Integrador IPR/USP, *Maysmeter*, MERLIN, *TRL Bump Integrator*). Neste caso, os sistemas não medem o perfil dos pavimentos e só podem fornecer valores de IRI após serem calibrados a partir de medições de referência. Atualmente, a norma brasileira prevê a calibração de medidores do tipo resposta a partir do método de Nível e Mira (DNER-ES 173/86), que exige o uso de vinte trechos de calibração (bases) de 320 metros, com um intervalo de amostragem de 50 cm. Estima-se que a calibração desse sistema levaria em torno de um a dois meses para ser finalizada (BISCONSINI, 2016). As avaliações subjetivas (painel de avaliadores) são consideradas a classe 4. Neste grupo, os Levantamentos Visuais Contínuos (LVC) e a Avaliação da Serventia Atual (VSA) apresentam a subjetividade como principal desvantagem.

Recentemente, tem-se investigado a coleta de dados com smartphones para a avaliação da condição funcional de rodovias, especialmente pela necessidade de redução de custos que permita um monitoramento periódico, aliada ao avanço tecnológico contínuo desses dispositivos. A abordagem é baseada na correlação da irregularidade longitudinal de pavimentos com sinais de aceleração verticais fornecidos pelo acelerômetro desses aparelhos, enquanto a localização é indicada pelo GPS (latitude e longitude). Os dados são coletados mediante fixação dos smartphones ao corpo de veículos, de forma que um dos eixos do aparelho esteja posicionado perpendicularmente ao perfil longitudinal da rodovia. Tem-se buscado desenvolver um sistema com baixo custo, facilidade de utilização e procedimentos e dados que possam ser aplicáveis na prática de monitoramento de rodovias.

No Brasil, há poucos estudos sobre o uso de dispositivos móveis para a avaliação da condição de pavimentos, alvo de desenvolvimentos em diversos países. Mesmo em pesquisas internacionais, há uma lacuna de informações acerca de experimentos com o uso simultâneo de acelerômetros e smartphones na avaliação da irregularidade longitudinal de pavimentos, com um comparativo entre os sinais de ambos os dispositivos em coletas de campo, assim como do monitoramento da condição funcional de pavimentos a partir de uma coleta de dados colaborativa (*crowdsourcing*) em um cenário realista, a partir de informações fornecidas por usuários com diferentes modelos de smartphones, tipos de veículos e velocidades. Processos como esse tem sido objeto de estudo na área da comunicação, sendo conhecidos como um tipo de “ação coletiva” que pode ser aplicada em prol de um bem público (BIMBER *et al.*, 2005).

3. MÉTODO

3.1. Calibração de um medidor de irregularidade do tipo resposta com smartphones

Para investigar a capacidade de um sistema de avaliação da irregularidade longitudinal de pavimentos baseado em dados coletados por smartphones, serão realizados levantamentos topográficos, com Nível e Mira, em três trechos de pavimentos com 500 metros de extensão e diferentes níveis de irregularidade: um perfil pouco irregular (IRI de até 2 m/km), um intermediário e um irregular (IRI acima de 4 m/km). Os valores de IRI serão calculados por meio do software ProVAL (*Profile Viewing and Analysis*), que utiliza os valores das cotas acumuladas e o intervalo de amostragem utilizado, de 50 cm no caso deste estudo. O resultado é dado pela média aritmética do IRI calculado nas trilhas de roda externas e internas de cada segmento, considerando-se trechos com 100 m de extensão, comum na gerência de pavimentos.

Nos mesmos trechos serão obtidos sinais de aceleração verticais fornecidos por um smartphone e um acelerômetro. O smartphone será fixado ao painel de um veículo, que irá trafegar sobre

os trechos com velocidades de 40 e 60 km/h. Não serão utilizadas velocidades menores, por apresentarem menor correlação com o IRI, nem velocidades maiores, por serem impraticáveis nos segmentos urbanos utilizados nesta pesquisa. Com isso, será obtida a calibração do sistema (modelo de smartphone, veículo e velocidade), para que seja utilizado em etapas posteriores como um medidor de irregularidade do tipo resposta. O acelerômetro a ser utilizado juntamente com o smartphone é do tipo MMA845X, com resolução de 14 bits, configurável para amplitudes 2G, 4G ou 8G, com taxas de transferência de 1,56 Hz até 800 Hz. O sensor servirá como referência para a análise da qualidade dos sinais do smartphone.

Também serão analisados dados de smartphones coletados por veículos de fiscalização de órgãos rodoviários sobre trechos avaliados a partir de medições de perfilômetros ou avaliações subjetivas. Nos mesmos trechos, serão coletados dados com o veículo calibrado. Essa etapa servirá tanto para um comparativo entre os valores de IRI fornecidos pelo sistema calibrado com os resultados de outras avaliações e com os dados coletados pelos veículos de fiscalização, como para a obtenção de mais pontos para a curva de calibração do sistema. Os resultados também servirão de base para a indicação de sugestões de uso de smartphones como uma medida complementar de métodos tradicionais de avaliação funcional de pavimentos. Em resumo, esta etapa envolve a análise da *i*) Regressão Linear Múltipla (RLM) entre o IRI (variável dependente) e os dados fornecidos pelos smartphones, *ii*) RLM entre o IRI (variável dependente) e os dados fornecidos pelos acelerômetros; *iii*) correlação entre os dados fornecidos pelo smartphone em relação aos fornecidos pelo acelerômetro; *iv*) calibração de um sistema medidor de irregularidade do tipo resposta baseado em smartphones.

3.2. Utilização de dados de smartphones de usuários para avaliação funcional

Esta etapa contempla a coleta de dados colaborativa a partir de informações fornecidas voluntariamente por usuários. Investiga-se a possibilidade de aproveitar o potencial de uma frota de veículos para o monitoramento da condição de pavimentos por meio da integração de novos participantes no sistema de coleta. O principal desafio é a heterogeneidade das informações. Veículos de órgãos rodoviários e de usuários fornecerão dados de entrada para a alimentação de um algoritmo de aprendizagem de máquina, que funcionam como uma aplicação prática da inteligência artificial que possibilita a busca de um conhecimento a partir de informações obtidas a partir de uma determinada base de dados (LUGER, 2004).

Os dados de smartphones de usuários serão fornecidos por alunos e funcionários de uma universidade, coletados em rodovias que dão acesso à universidade. Ainda não se tem o número exato de participantes, embora sejam esperados por volta de 30 a 50 voluntários. As amostras serão segmentadas em trechos de 100 metros, assim como no processo de calibração descrito anteriormente. Serão armazenados sinais de aceleração vertical, tempo, velocidade e localização. Para os dados de aceleração, será utilizada a maior taxa de aquisição possível, a qual varia de acordo com a capacidade de processamento do smartphone. Essa escolha é justificada pela redução da probabilidade de atenuação dos picos de aceleração ou problemas de *aliasing* (dobra espectral), já que, no segundo caso, os dados podem receber um pré-tratamento no domínio da frequência. A ideia é que se possa extrair um novo banco de dados com menos informações não relacionadas à condição dos pavimentos (ruídos).

A partir dessas informações, serão extraídas características de interesse para a investigação de modelos gerados por algoritmos de aprendizagem, etapa denominada como mineração de dados. Serão avaliadas informações como o modelo do smartphone, modelo e quilometragem

do veículo, velocidade e aceleração vertical. Será verificada a significância das variáveis dos modelos. Os sinais de aceleração verticais serão utilizados de três formas distintas como dados de entrada: diferença entre picos, magnitude em função da frequência do sinal e sua média quadrática. Os resultados serão interpretados de modo a se chegar a um conhecimento a respeito da coleta colaborativa para avaliação da condição funcional de pavimentos. A abordagem pode ser aplicada aos sistemas de gerência de organismos rodoviários a partir de um banco de dados que pode ser realimentado com informações de usuários ou do próprio órgão, a fim de aumentar a precisão do algoritmo. A compilação dos dados e sua modelagem servirão como base para a estimativa da condição de pavimentos. Os resultados serão analisados tanto com valores absolutos de IRI, quanto em termos de grupos de classificação, subdivididos em cinco níveis (muito ruim, ruim, regular, bom e muito bom), em três níveis (ruim, regular e bom) e dois níveis (aceitável e não aceitável). Assim, avalia-se a equivalência dos resultados, mesmo com valores absolutos distintos, com foco na gerência de pavimentos em nível de rede.

4. ESTÁGIO ATUAL DA PESQUISA E RESULTADOS ESPERADOS

Até o momento, foi desenvolvido o aplicativo para a coleta de dados com usuários, assim como o sistema de aquisição com um acelerômetro de referência. Foram selecionados três trechos de pavimentos para a etapa de calibração. Também estão sendo coletados dados com cinco usuários para uma análise preliminar de modelagem com alguns algoritmos como *Support Vector Machine* (SVM), Regressão Linear Múltipla (RLM) e Redes Neurais Artificiais (RNA). Serão apresentadas sugestões para o monitoramento de rodovias com smartphones na atual prática da avaliação de pavimentos. Na coleta por usuários, espera-se que os dados possam servir como um indicativo de trechos de pavimentos com condições prioritárias de manutenção (nível de rede), que poderá ser complementada por medidas de equipamentos de referência realizadas nos trechos críticos (nível de projeto). Por outro lado, na coleta de dados por órgãos rodoviários, há um ambiente de maior controle na aquisição dos dados, a ser realizada por profissionais. Como os veículos de fiscalização normalmente são padronizados, há menor variabilidade nos sinais obtidos. Em monitoramentos de uma mesma região, o sistema pode ser utilizado simultaneamente, sem prejudicar o serviço do engenheiro. Destaca-se, finalmente, que com informações coletadas periodicamente, obtém-se uma medida de desempenho da rodovia.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bimber, B.; A. J. Flanagan e C. Stohl (2005) *Reconceptualizing collective action in the contemporary media environment*. Communication Theory, n. 15, p. 365-388.
- Bisconsini, D. R. (2016) *Avaliação da Irregularidade Longitudinal dos Pavimentos com Dados Coletados por Smartphones*. Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos da USP. São Carlos - SP.
- DNER-ES 173 (1986) *Método do Nível e Mira para Calibração de Sistemas Medidores de Irregularidade Tipo Resposta*. DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. Ministério Transportes.
- Luger, G. F. (2013) *Inteligência artificial* (6ª ed.). XVII Pearson Education do Brasil, São Paulo, 614 p.
- Sayers, M.W.; T. D. Gillespie e W. D. O. Paterson (1986) *Guidelines for Conducting and Calibrating Road Roughness Measurements*. World Bank Technical Paper Number 46, 87 p.
- Sayers, M. W. e S. M. Karamihas (1998) *The little book of profiling*. Ann Arbor: Transportation Research Institute, University of Michigan, USA.

Danilo R. Bisconsini, Departamento Acadêmico de Construção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, campus Pato Branco (UTFPR-PB), Via do Conhecimento, Km 01, 85503-390, Pato Branco, PR, bisconsini@utfpr.edu.br/danilorbisconsini@usp.br.

José L. F. Júnior, Departamento de Engenharia de Transportes, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, Av. Trabalhador São-carlense, 400, 13560-970, São Carlos, SP, leomar@sc.usp.br.