

Classificação de Qualidade de Superfície de Pista Baseado em Sensoriamento Inercial e Lógica Fuzzy

Jeferson Menegazzo¹, Juliano T. Brignoli², Aldo von Wangenheim¹

¹Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)
Florianópolis – SC – Brasil

²Instituto Federal Catarinense (IFC)
Rio do Sul – SC – Brasil

jef.menegazzo@gmail.com, juliano.brignoli@ifc.edu.br, aldo.vw@ufsc.br

Abstract. *The quality of terrestrial transport infrastructure has social, economic and environmental implications. Consequently, the continuous monitoring of your conservation status is necessary. Among the evaluative methodologies developed are the response type methods, represented especially by the inertial sensors. However, the wide adoption of this approach is limited by the inadaptability of current models. Thus, in this paper an adaptive modeling was developed to infer qualitative concepts concerning the road surface irregularity, using signal processing and Fuzzy Logic. Preliminary results demonstrate the good effectiveness of the model.*

Resumo. *A qualidade da infraestrutura de transporte terrestre possui implicações sociais, econômicas e ambientais. Por conseguinte, o contínuo monitoramento do seu estado de conservação se mostra necessário. Dentre as metodologias avaliativas desenvolvidas estão os métodos do tipo resposta, representados especialmente pelos sensores inerciais. Contudo, a ampla adoção desta abordagem é limitada pela inadaptabilidade dos modelos atuais. Desta forma, neste estudo desenvolveu-se uma modelagem adaptativa para inferir conceitos qualitativos referentes à irregularidade de superfície da via, utilizando-se de processamentos de sinais e Lógica Fuzzy. Os resultados preliminares demonstram a boa efetividade do modelo.*

1. Introdução

O transporte terrestre constitui atualmente o principal modal para movimentação de cargas e circulação de pessoas no Brasil. De acordo com a pesquisa de rodovias realizada pela Confederação Nacional do Transporte [CNT 2017a], a infraestrutura rodoviária brasileira possui participação em 61% da matriz de transporte de cargas e de 95% na de passageiros. Contudo, apesar de sua intrínseca relevância, a densidade da malha rodoviária brasileira é muito pequena, com apenas 12,3% de vias pavimentadas. Do total avaliado, 50,0% apresentam problemas em relação ao pavimento, não sendo consideradas adequadas para o tráfego de pessoas e bens [CNT 2017a].

A qualidade da superfície das vias de tráfego terrestre impacta diretamente em fatores socioeconômicos e ambientais. O inadequado estado de conservação do pavimento produz, em média, elevação de 27,0% dos custos operacionais dos serviços

de transporte. As anomalias do pavimento afetam o conforto e segurança dos seus usuários, uma vez que aumentam o número de acidentes. Parte destes envolve substâncias contaminantes, as quais geram danos ao meio ambiente e à saúde humana em decorrência de vazamentos, derramamentos, incêndios e explosões [CNT 2017a].

Neste contexto, mostra-se essencial que se disponha de instrumentos de avaliação que permitam o monitoramento contínuo das condições da infraestrutura de transporte terrestre, produzindo dados para suporte à tomada de decisões. Estes dados podem auxiliar na elaboração de rotas com melhor trafegabilidade para circulação de pessoas ou escoamento de produção, planejamento de manutenções preventivas e corretivas, ser integrado à sistemas de suporte à condução, entre outros.

As inspeções para avaliação da superfície de pista podem ser realizadas através de métodos computacionais intrusivos e não intrusivos [Menegazzo e Wangenheim 2018]. Dentre as técnicas não intrusivas, estão sistemas de medição do tipo resposta, os quais se baseiam na reação do veículo em relação a superfície da via. Desta forma, é possível aferir a irregularidade longitudinal, correspondente ao conjunto dos desvios da superfície, como buracos e ondulações, em relação a um plano de referência [CNT 2017b]. Através dessa medida, são estabelecidos índices ou conceitos qualitativos referentes à via.

Os sistemas de medição do tipo resposta podem ser desenvolvidos através de sensoriamento inercial. Estes sensores, representados por giroscópio e acelerômetro, são facilmente encontrados em *smartphones*, os quais com sua ampla disseminação se mostram ideais no monitoramento contínuo de vias, através de soluções colaborativas. Contudo, os métodos atuais do tipo resposta são dependentes do contexto no qual foi desenvolvido e experimentado, como veículo, via e velocidade aplicada. Desta forma, neste estudo foi proposto uma metodologia adaptativa para inferir conceitos qualitativos de superfície de pista, de modo que possa ser utilizada em conjunto de um sistema de *mobile crowdsensing* com sensoriamento oportunista.

2. Trabalhos Relacionados

Através da revisão sistemática da literatura, observou-se nos últimos anos metodologias distintas para avaliar a qualidade da superfície de via. A primeira delas visa identificar e georreferenciar eventos transientes ao percurso, tais como buracos e lombadas. A segunda, por sua vez, busca estabelecer índices ou conceitos qualitativos referentes à todo o trecho avaliado, considerando estes eventos de forma genérica [Menegazzo e Wangenheim 2018]. Conforme o objetivo deste trabalho, são discorridos nesta seção apenas pesquisas na segunda forma, embora esta apresente uma quantidade de estudos consideravelmente menor quando comparado à primeira.

Nos estudos de Lima et al. (2016) e Li e Goldberg (2018) desenvolveu-se Heurísticas Baseadas em Limiares para avaliar, no domínio do tempo, a superfície do via. Os trabalhos utilizaram do sensor acelerômetro e provedor GPS embarcados em *smartphones*. Li e Goldberg (2018) estimaram o índice *IRI-proxy* através da normalização de *Root Mean Square* (RMS) da aceleração vertical, classificando trechos da via conforme a qualidade da superfície, sendo ela excelente/boa, regular, má, ruim/péssima. Lima et al. (2016), por sua vez, além da aceleração vertical, utilizaram da velocidade veicular para estabelecer níveis de condição para as vias através de cálculo de desvio padrão, estimadas em boa, normal, ruim, péssima ou problema transiente.

Em contraste às heurísticas apresentadas, técnicas mais elaboradas foram propostas. Efetuando análise no domínio do tempo, Nalavde e Surve (2015) utilizaram dados de aceleração e localização provindos de *smartphones*. Parametrizando média e desvio padrão de cada eixo de aceleração à uma *Support Vector Machines* (SVM) e a um *K-Means Clustering*, o estudo classificou a via em irregular ou regular. No estudo de Alqudah e Sababha (2017) efetuou-se análises no domínio tempo, com aplicação de *Dynamic Time Warping* (DTW) e sensores em *smartphones*. Desta forma, foram empregados dados do giroscópio para calcular a variância móvel simples, parametrizada ao DTW com o objetivo de classificar a via em com ou sem anomalia.

Embora todos os estudos tenham obtido bons resultados, independente do domínio de análise, os modelos mostram-se limitados ao contexto no qual foram desenvolvidos. Desta forma, nenhum deles mantém sua efetividade aferida se alterado componentes como sensor, propriedades do veículo ou mecânicas veiculares. De fato, especialmente em abordagens mais simples, como as Heurísticas Baseadas em Limiares, tende-se a apresentar uma grande divergência dado o contexto. Isto decorre dos modelos utilizarem apenas algumas variáveis contextuais, sendo elas dados de aceleração e, ocasionalmente, de velocidade.

Para que o modelo possa ser portado e utilizado em diferentes condições, determinadas variáveis devem ser consideradas. Dentre as principais estão o amortecimento do pneu e do sistema de suspensão, velocidades e acelerações aplicadas, além da sensibilidade do sensor, representada pela sua resolução e faixa de medição. Contudo, poucos estudos consideram esta necessidade, constituindo um fator importante para a disseminação de um sistema colaborativo de ampla adoção tal como proposto. Sendo assim, este trabalho objetiva o desenvolvimento de uma abordagem adaptativa ao contexto com aplicação de Lógica *Fuzzy*, no reconhecimento de irregularidade longitudinal da superfície de pista para inferência de conceitos qualitativos.

3. Metodologia

Diversas abordagens foram propostas nos últimos anos para avaliar a condição de superfície de pista, classificando-se sumariamente entre técnicas de caixa preta e métodos com inserção de conhecimento especializado. Nos modelos de caixa preta, para se atingir adaptabilidade do modelo, mostra-se necessário um treinamento intensivo e contínuo em condições distintas [Singh et al. 2017], sejam elas físicas da mecânica, de propriedades veiculares e sensoriais, ou ainda de infraestrutura da via. Deste modo, considerando-se conjuntamente a existência de formalismos físicos que descrevem as relações entre variáveis do modelo, mostra-se uma abordagem imprópria. Desta forma, métodos com inserção de conhecimento especialista tornam-se ideais.

Nos estudos correlatos, dentre as abordagens com modelagem de conhecimento do domínio da aplicação, situam-se Heurísticas Baseadas em Limiares e DTW. As heurísticas, embora amplamente adotadas, são igualmente inapropriadas dada a inflexibilidade do modelo atrelado à parâmetros constantes. Desta forma, os modelos elaborados são considerados obsoletos, sendo intrinsecamente dependentes de variáveis como a via, veículo e sensor no qual foi experimentado [Singh et al. 2017]. A aplicação de DTW embora adequada para cobrir grande parte das condições do modelo, é limitada ao reconhecimento de problemas transientes, devido ao seu custo computacional.

Abordagens através de Lógica *Fuzzy*, embora não encontradas em estudos correlatos, mostram-se como a técnica mais adequada para aplicação. Contextualizado em um sistema dinâmico baseado nas leis da mecânica clássica, o emprego de Lógica *Fuzzy* permite o tratamento de incertezas, especialmente relacionadas à quantização dos sensores. Desta forma, a dispersão de valores através de pertinência a conjuntos difusos permite uma flexibilidade em relação aos erros de medição. Por sua vez, ao contrário da quantificação numérica por índices de irregularidade, a inferência de conceitos qualitativos pelo modelo mostra-se eficiente e prática quando aplicada como suporte à tomada de decisão humana.

Neste contexto, desenvolveu-se um modelo de Lógica *Fuzzy* considerando variáveis contextuais de impacto na adaptabilidade. Para isto, efetuou-se uma análise no domínio do tempo sobre dados de aceleração em três graus de liberdade, além da velocidade longitudinal e propriedades veiculares. Optou-se pelo emprego do sensor acelerômetro por este ser mais facilmente encontrado nos *smartphones* que giroscópios. Nas próximas seções são detalhadas a fase de amostragem, processamentos aplicados e modelo de reconhecimento proposto.

3.1. Amostragem e Pré-Processamento de Dados

Os dados fornecidos ao modelo de inferência foram amostrados através de um sensor acelerômetro e um provedor GPS, com aplicação de pré-processamentos. Em uma taxa de amostragem de $10Hz$, considerado valor ideal para manter confiabilidade dos reconhecimentos e o uso eficiente de recursos [Singh et al. 2017], obteve-se do acelerômetro a força de aceleração aplicada em seus três eixos físicos (m/s^2). Com o GPS, em uma taxa aproximada de $1Hz$, foram obtidas as coordenadas geodésicas e velocidade veicular longitudinal (m/s).

Após a captação de dados, uma vez que os sensores inerciais possuem sistemas de coordenadas próprios, e as análises de dados neste contexto são efetuadas no sistema de coordenadas em relação ao veículo tal como ilustra a Figura 1, torna-se necessária a reorientação dos eixos do acelerômetro, alinhando-os com os do veículo. Desta forma, evitando o comprometimento dos dados, estes podem ser analisados independente do posicionamento do sensor. Sendo assim, a aceleração vertical a ser avaliada deve ser perpendicular ao veículo e, por sua vez, ao plano da terra.

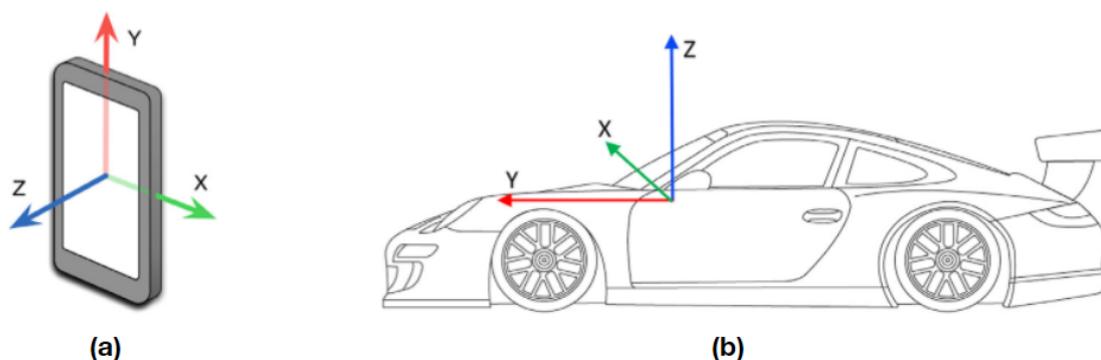


Figura 1. Sistemas de coordenadas referente ao (a) sensor e (b) veículo [Singh et al. 2017].

Com o propósito de reorientar os eixos entre os sistemas de coordenadas, empregou-se fórmulas baseadas em ângulos de Euler, os quais constituem meios de representar a orientação espacial tridimensional de qualquer referencial como uma composição de três rotações elementares. A orientação de referência pode ser tomada como uma orientação inicial a partir da qual o sistema de coordenadas gira para alcançar sua orientação real [Singh et al. 2017]. Desta forma, estabelecendo como orientação inicial um estado estacionário alinhado ao sistema de coordenadas do veículo, tem-se os valores de aceleração $a_x = 0m/s^2$, $a_y = 0m/s^2$ e $a_z = 9.81m/s^2$.

Sendo assim, a rotação em torno do eixo x pode ser representada por um ângulo α (ângulo de rotação), um ao redor do eixo y por β (ângulo de inclinação) e um ao redor do eixo z por γ (ângulo de inclinação) [Astarita et al. 2012]. Nestas condições, dois dos três ângulos de Euler podem ser estabelecidos pelas Equações 1 e 2. Aplicando-os nas Equações 3, 4 e 5, os valores das acelerações não orientadas a_x , a_y e a_z são reorientados, representados respectivamente por a'_x , a'_y e a'_z [Singh et al. 2017; Li e Goldberg 2018].

$$\alpha = \tan^{-1}\left(\frac{a_y}{a_z}\right) \quad (1)$$

$$\beta = \tan^{-1}\left(\frac{-a_x}{\sqrt{a_y^2 + a_z^2}}\right) \quad (2)$$

$$a'_x = \cos(\beta)a_x + \sin(\beta)\sin(\alpha)a_y + \cos(\alpha)\sin(\beta)a_z \quad (3)$$

$$a'_y = \cos(\alpha)a_y - \sin(\alpha)a_z \quad (4)$$

$$a'_z = -\sin(\beta)a_x + \cos(\beta)\sin(\alpha)a_y + \cos(\beta)\cos(\alpha)a_z \quad (5)$$

Uma vez que a taxa de amostragem do acelerômetro é maior que a do GPS, são criados segmentos de via correspondentes às amostras de localização, nos quais há o agrupamento dos dados de aceleração vertical entre duas localizações. Em cada segmento, aplicou-se o cálculo de desvio padrão sobre as amostras de aceleração vertical, através de uma janela móvel. Desta forma, obteve-se a média de desvios da superfície em relação a um plano de referência, situado como uma via sem irregularidade, onde o valor de aceleração aferido é de $9.8196 m/s^2$, correspondente à força de aceleração gravitacional.

Desta forma, após pré-processamentos, são parametrizados ao modelo de Lógica Fuzzy segmentos de via com respectiva velocidade veicular longitudinal e desvio padrão de força de aceleração vertical. Adicionalmente, é acrescido um parâmetro referente ao amortecimento na força de aceleração vertical, devido às propriedades veiculares, como pneu e sistema de suspensão. Esta variável é baseada no modelo *Quarter-Car*, no qual dispõe-se um acelerômetro acima e outro abaixo da suspensão veicular, para cálculo de diferencial. No modelo proposto, é parametrizado uma variável de proporcionalidade, correspondente a força medida pelo sensor suspenso dividida pela mesma aferida no sensor não suspenso.

3.2. Modelagem em Lógica Fuzzy

A Lógica *Fuzzy* foi desenvolvida com o intuito de permitir a realização de raciocínios aproximados, em contraste à lógica clássica, a qual produz um raciocínio exato. Desta forma, na teoria clássica de conjuntos as relações de pertinência são totais, onde um determinado valor pertence ou não a um conjunto, sendo representado pelos valores 0 ou 1. Neste raciocínio, determinada sentença deve ser verdadeira ou falsa. Em contrapartida, nos conjuntos difusos as relações de pertinência são parciais, onde um determinado valor pode pertencer a um ou mais conjuntos, com um certo grau de pertinência $u(x)$. Sendo assim, uma sentença pode ser parcialmente verdadeira e parcialmente falsa. Esta forma de raciocínio mostra-se especialmente útil quando o contexto envolve imprecisão e vagueza [Marro et al. 2010].

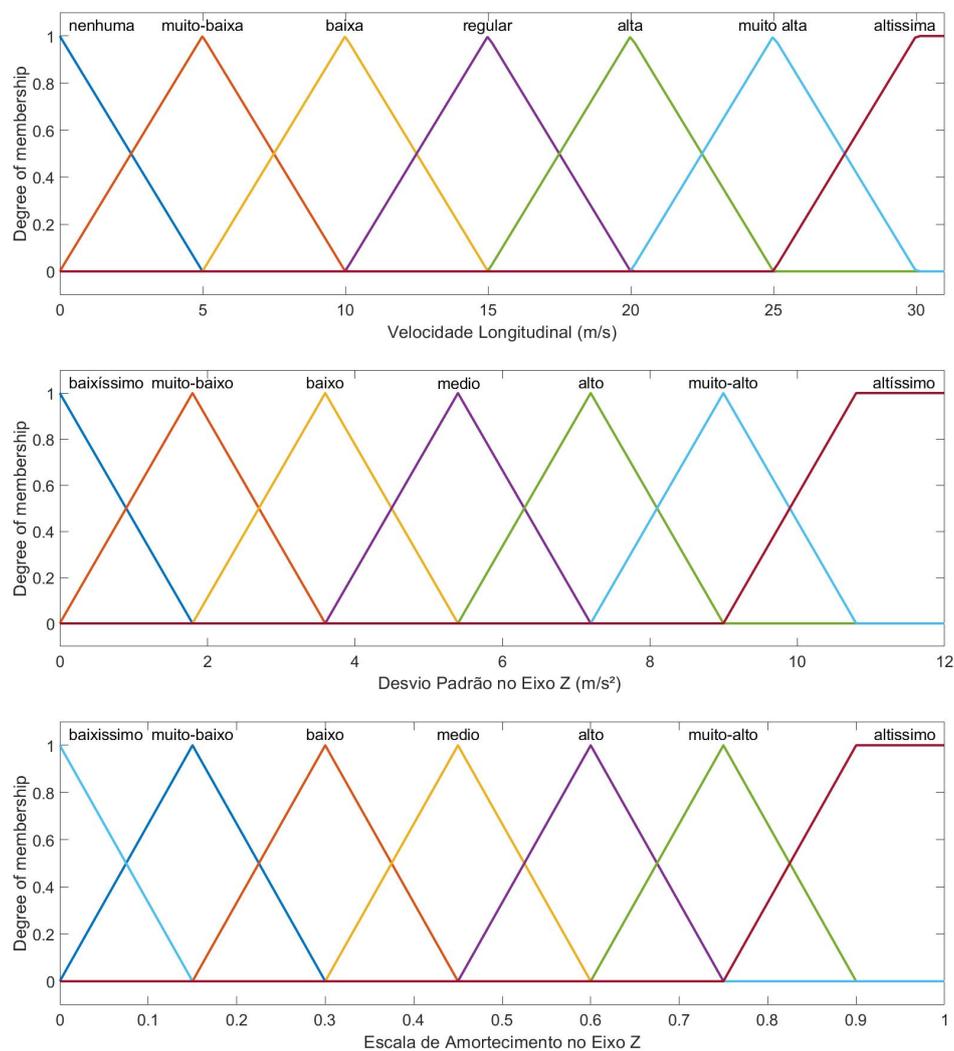


Figura 2. Variáveis linguísticas de entrada

Ao definir os conjuntos difusos, é necessário estabelecer suas funções de pertinência. Dado o contexto deste estudo, utilizou-se de funções lineares triangulares e trapezoidais para modelar os conjuntos difusos das variáveis linguísticas. Definiu-se

como variáveis de entrada do modelo a velocidade longitudinal do veículo, o desvio padrão da força de aceleração vertical e a proporção de amortecimento da força de aceleração. Como saída, o sistema infere conceitos qualitativos referentes à irregularidade de superfície de pista. As variáveis, seus respectivos conjuntos difusos e valores de suporte são detalhados nas Figuras 2 e 3.

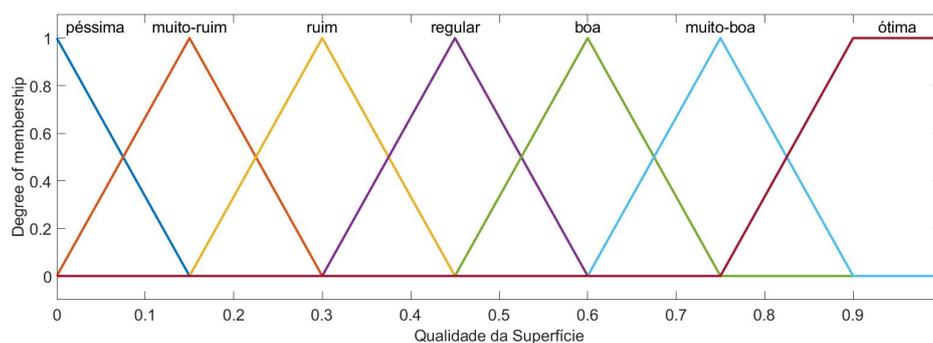


Figura 3. Variável linguística de saída

A definição dos valores de suporte dos conjuntos difusos das variáveis de desvio padrão e amortecimento foram obtidos através de análise exploratória de dados em testes de pré-condição. Já os valores dos conjuntos da variável de velocidade longitudinal foram modelados conforme a velocidade máxima permitida no Brasil, de 110 km/h [Brasil 1997]. Após a definição das variáveis e conjuntos difusos, torna-se necessário estabelecer as regras de inferência com as quais o sistema irá operar, com o intuito de obter consequentes. Para isto, deve-se avaliar o antecedente da regra e aplicar o resultado no consequente [Marro et al. 2010]. As regras de inferência foram formuladas conforme as seguintes premissas:

1. Quanto maior a proporção de amortecimento na aceleração vertical, maior é o impacto original recebido pelo veículo em comparação a aceleração medida pelo acelerômetro. Por conseguinte, maior é a amplitude original do desvio padrão do eixo;
2. Quanto menor o amortecimento na aceleração vertical, mais próximos estão os valores aferidos pelo acelerômetro e o impacto original recebido pelo veículo. Por conseguinte, a modificação na amplitude original do desvio padrão do eixo é mínima;
3. Uma vez que ao passar por irregularidades, como buracos e solavancos, existe a produção de uma aceleração centrífuga, na qual um de seus componentes agrega-se ao eixo z , a magnitude da velocidade deve ser considerada. Contudo, como a aceleração centrífuga vertical não pode ser calculada corretamente com o acelerômetro, deve-se estimá-la. Desta forma, quanto maior a velocidade, maior a aceleração vertical e seu desvio padrão original.
4. Quanto menor for o desvio padrão original obtido através da relação com os demais conjuntos, melhor a qualidade de superfície de pista, e vice-versa.

O sistema *Fuzzy* proposto é do tipo mandani, com método AND min, OR max, implicação min, agregação max e defuzzificação centroid.

4. Experimentos e Resultados

Para avaliar a efetividade do modelo proposto, foram conduzidos testes com variações contextuais. Desta forma, captou-se coordenadas geodésicas e sinais de aceleração em sensores com diferentes resoluções, aplicando-se variações em acelerações, velocidades e superfícies de via. Os dados captados foram armazenados em arquivos *Comma Separated Values* (CSV), posteriormente importados e analisados através da ferramenta MatLab.

Na captação de dados foi utilizado de um veículo Volkswagen Saveiro, amostrando-se sinais em três vias com diferentes superfícies, sendo elas pavimentação asfáltica, em paralelepípedo e não pavimentada. A extensão analisada foi de aproximadamente 2.0 km, 1.5 km e 1.0 km, respectivamente. A Figura 4 ilustra o ambiente do experimento.



Figura 4. Vias analisadas nos experimentos.

Objetivando analisar as diferentes formas de condução e seu impacto na aceleração vertical, em cada uma das vias captou-se conjuntos de dados em três faixas de velocidade média, delineados conforme a máxima permitida em cada uma. A Tabela 1 detalha os valores utilizados.

Tabela 1. Configurações de velocidade para os conjuntos de dados.

Via	Velocidade		
	Baixa	Média	Alta
Não pavimentada	10 km/h	20 km/h	40 km/h
Paralelepípedo	10 km/h	20 km/h	40 km/h
Asfáltica	20 km/h	40 km/h	60 km/h

Para captação e armazenamento de dados das vias empregou-se três *smartphones* Android. A Tabela 2 detalha os dispositivos empregados e suas respectivas configurações referentes aos sensores de aceleração, especialmente quanto à sua resolução e faixa de medição, relacionados aos níveis de quantização. Para avaliar a normalização de sinais entre os sistemas de coordenadas, posicionou-se os três dispositivos fixos no painel do veículo, em diferentes alinhamentos à aceleração vertical.

Tabela 2. Dispositivos de captação.

Modelo	(2) Samsung Galaxy J5	(1) LG Leon
Resolução (m/s^2)	0,0383072271943092	0,019140625372529
Faixa de Medição (m/s^2)	39,2266006469727	39,2400016784668

Após captados, os dados armazenados nos dispositivos foram analisados *offline*. Na aplicação do pré-processamento proposto, com o intuito de manter uma uniformidade na segmentação de dados na entrada para aprimorar a comparação de resultados, empregou-se as localizações apenas do *smartphone* mais preciso, de forma a criar os mesmo segmentos de via para todos os dispositivos testados. Com a criação dos segmentos, foi calculado o desvio padrão da aceleração vertical e velocidade longitudinal no respectivo deslocamento, sendo parametrizados ao modelo de Lógica *Fuzzy*. O valor de amortecimento veicular foi estimado em 0.45. Em aplicações de *mobile crowdsensing* convém disponibilizar uma base de dados anexa à aplicação, com as configurações do veículo tal qual a proporção de amortecimento, de modo que o usuário possa selecionar o seu correspondente.

Na inferência dos conceitos qualitativos pelo sistema *Fuzzy*, na maior parte dos segmentos, a via pavimentada obteve classificação ótima em todos os níveis de velocidade, com alguns alguns pequenos trechos classificados como ruim, em decorrência de alguns buracos no pavimento. Por sua vez, a pavimentação em paralelepípedo obteve conceito ruim, evidenciado pelo desnivelamento dos blocos. Contudo, alguns trechos menos irregulares obtiveram qualidade muito boa. Por fim, o trecho sem pavimentação, demonstrando-se mais irregular, obteve conceito péssimo na quase totalidade do trajeto, com alguns trechos pontuais de via regular. O sistema aferiu o mesmo conceito, independente do provedor do conjunto de dados.

5. Considerações Finais

A produção de dados referentes à qualidade de superfície de pista e suas coordenadas geodésicas possuem grande aplicabilidade. No suporte à tomada de decisão humana, estes dados podem ser utilizados no delineamento de rotas para escoamento de produção, como critério para planejamento e manutenção das vias, auxiliar a mobilidade com sistemas de suporte à condução baseados em *mobile crowdsensing* ou ser empregado em sistemas de caixa preta veicular. Na tomada de decisão de máquina, pode auxiliar agentes autônomos, na forma de evidências, a reconhecer o ambiente no qual estão inseridos, convalidando suas hipóteses provindas de visão computacional e aprimorando o aprendizado de controle dos movimentos veiculares.

Neste contexto, o emprego de abordagens do tipo resposta com o intuito de produzir estes dados situacionais tem sido limitado, em razão especialmente da inadaptabilidade dos modelos de reconhecimento existentes, os quais implicam na produção de dados incorretos se aplicados em ambientes diferentes do qual foram experimentados. Desta forma, neste estudo fora proposto um modelo de Lógica *Fuzzy* em conjunto com uma série de processamentos de sinais, de forma que uma aplicação que o utilize seja capaz de operar corretamente em contextos diversos. Os resultados preliminarmente obtidos demonstram sua efetividade, embora testes com amostras maiores e mais representativas devam ser conduzidos para validar o modelo.

Em estudos futuros, deve-se aprimorar os dados fornecidos ao modelo, especialmente com a utilização conjunta de giroscópio, quando disponível, produzindo um sistema inercial completo. Se os dados forem obtidos de fontes diversas, a criação de um sistema de *crowdsensing* oportunista pode utilizar da junção destes, com a aplicação de aprendizados baseados em reforço, para aprimorar a confiabilidade dos

reconhecimentos. Por fim, o desenvolvimento de uma navegação inercial anexa, com a redução do tempo de amostragem de localização permitirá produzir segmentos de via menores, mais fáceis de gerenciar, nos quais também as deficiências do pavimento devem mostrar-se mais evidentes.

Referências

- Alqudah, Y. A. and Sababha, B. H. (2017). On the Analysis of Road Surface Conditions Using Embedded Smartphone Sensors. In *8th International Conference on Information and Communication Systems (ICICS)*, pages 177–181.
- Astarita, V., Caruso, M. V., Danieli, G., Festa, D. C., Giofrè, V. P., Iuele, T., and Vaiana, R. (2012). A Mobile Application for Road Surface Quality Control: UNIquALroad. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 54:1135 – 1144.
- Brasil (1997). Lei N. ° 9.503, de 23 de setembro de 1997. Institui o Código de Trânsito Brasileiro.
- CNT (2017a). Pesquisa CNT de Rodovias 2017: Relatório Gerencial. Brasília: CNT, SEST, SENAT. 403 p.
- CNT (2017b). Transporte Rodoviário: Por Que os Pavimentos das Rodovias do Brasil Não Duram? Brasília: CNT. 160p.
- Li, X. and Goldberg, D. W. (2018). Toward a Mobile Crowdsensing System for Road Surface Assessment. *Computers, Environment and Urban Systems*, 69:51 – 62.
- Lima, L. C., Amorim, V. J. P., Pereira, I. M., Ribeiro, F. N., and Oliveira, R. A. R. (2016). Using Crowdsourcing Techniques and Mobile Devices for Asphaltic Pavement Quality Recognition. In *VI Brazilian Symposium on Computing Systems Engineering (SBESC)*, pages 144–149.
- Marro, A. A., Souza, A. d. C., Cavalcante, E. d. S., Bezerra, G. S., and Nunes, R. O. (2010). Lógica Fuzzy: Conceitos e Aplicações. *Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN)*.
- Menegazzo, J. and Wangenheim, A. V. (2018). Vehicular Perception and Proprioception Based on Inertial Sensing: a Systematic Review. *Brazilian National Institute for Digital Convergence - Technical Reports*.
- Nalavde, R. and Surve, A. (2015). Driver Assistant Services Using Ubiquitous Smartphone. In *International Conference on Communications and Signal Processing (ICCSP)*, pages 0430–0434.
- Singh, G., Bansal, D., Sofat, S., and Aggarwal, N. (2017). Smart Patrolling: An Efficient Road Surface Monitoring Using Smartphone Sensors and Crowdsourcing. *Pervasive and Mobile Computing*, 40:71 – 88.