

ANÁLISE DE SENSORES PARA UM AMBIENTE DE TESTES AUTOMOTIVOS

FÁBIO O. DE PAULA*, ARTHUR N. ASSUNCAO*, RICARDO A. R. OLIVEIRA*

**Departamento de Computação
Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP)
Ouro Preto, MG, Brasil*

Emails: fabio.olp@gmail.com, arthur.xx92@gmail.com, rrabelo@gmail.com

Abstract— Automotive test environments has been contributed for the road traffic since the early developed prototypes. Nevertheless, the number of traffic accidents increases every year, making this environments essentials for road traffic and Advanced Driver Assistance Systems (ADAS) improvements. Furthermore, test environments allows projects cost reduction and a driver safety increase. Thus, through the instrumentation of a vehicle simulator, this article aims to increase automotive tests environments effectiveness and provides data analyzes to improve the choice of sensors for ADAS, defining the better sensor to acquire data from each simulator component. From tests and comparisons with inertials, ultrasonics, resistives and optical sensors, verifies which is the most suitable sensor to acquire direction and speed of a steering wheel and the positions of three pedals. The results shows a analysis of sensors showing the most suitable for each application in driver simulation and driver assistance systems.

Keywords— Instrumentation; Automotive System; ADAS

Resumo— Ambientes de testes automotivos têm contribuído para a viação desde os primeiros protótipos desenvolvidos. Apesar disso, acidentes de trânsito têm aumentado a cada ano, tornando esses ambientes essenciais para os avanços da viação e de Sistemas Avançado de Assistência ao Condutor (ADAS). Além disso, ambientes de testes permitem a diminuição de custos de projetos e, até, o aumento da segurança para condutores. Assim, por meio da instrumentação de um simulador, esse artigo objetiva aumentar a eficiência de ambientes de testes automotivos e oferece análises para melhorar a escolha de sensores para ADAS, definindo o melhor sensor para obter informações de cada componente do simulador. A partir de testes e comparações com sensores inerciais, ultrassônicos, resistivos e ópticos verifica-se qual o sensor mais adequado para a obtenção do sentido e velocidade de rotação do volante e das posições dos três pedais. Os resultados apresentam a análise dos sensores indicando o mais adequado a cada aplicação em simuladores de condução e, até, para sistemas de auxílio à condução.

Palavras-chave— Instrumentação; Sistema Automotivo; ADAS

1 Introdução

Atualmente, os veículos automotores são uma das invenções mais utilizadas. Com um aumento de 15% no número de veículos no mundo entre 2007 e 2010, tendo 84 milhões de novos veículos em 2013 (GHO et al., 2011) e (Voelcker, 2014). No entanto, um grande número de pessoas são mortas em acidente de viação a cada ano. De acordo com estatísticas analisadas, aproximadamente 1,24 milhões de pessoas morrem a cada ano nas estradas e 20 a 50 milhões de pessoas sofrem lesões não fatais devido a acidentes rodoviários, no mundo. Apenas no Brasil, mais de 35 mil morrem todos os anos (WHO et al., 2013).

Para resolver estes problemas, são desenvolvidos ambientes de testes e sistemas de auxílio, como os Sistemas Avançado de Assistência ao Condutor (ADAS - *Advanced Driver Assistance Systems*). Essas soluções obtêm dados por meio de sensores para a geração de informações da condução e seu funcionamento. Porém, soluções de ADAS, como (Assuncao, Camara, Janeiro, Vitor, de Paula and Oliveira, 2015) e (Kumar et al., 2014), não costumam definir os sensores que serão utilizados se baseando em análises e comparações entre eles. Além disso, métodos, como (McDonald et al., 2014) e (Assuncao, de Paula and Oliveira, 2015), também não costumam fazer

análises sobre os sensores que serão utilizados em sua metodologia, dessa forma não é possível afirmar se os sensores usados favorecem ou prejudicam tais métodos. Assim, nossa análise contribui fornecendo uma base para o teste e desenvolvimento de métodos e sistemas.

Além disso, sabe-se que os testes realizados na fase de desenvolvimento de projetos diminuem o custo total do desenvolvimento e que, por meio, de análise experimentais, ambientes de teste obtém efeito favorável e estatisticamente significativo sobre o produto final (Graham, 1991) e (Wellings et al., 2010).

Este artigo apresenta a instrumentação de um simulador de automóvel tornando-o um ambiente de testes automotivos mais adequado e indicando o sensor mais adequado para cada aplicação. Essa instrumentação abrange a leitura do sentido e velocidade de rotação do volante e as posições dos três pedais (acelerador, freio e embreagem). Para isso, são empregados diversos sensores, como acelerômetro, ultrassônico, encoder de quadratura e potenciômetro, para indicar quais as melhores formas de realizar cada medição.

Essa instrumentação permite o desenvolvimento de ambientes de testes a partir da escolha do sensor mais indicado para cada aplicação. Outra contribuição foi para os ADAS, pois tendo conhecimento do sensor ideal para obtenção dos da-

dos é possível criar sistemas mais eficientes, com menor custo devido a falta de necessidade em testar vários sensores para uma mesma aplicação. Assim evitando o teste de diversos sensores na fase de projeto do ADAS.

O documento está organizado da seguinte forma: Seção 2 apresenta os trabalhos relacionados, a Seção 3 apresenta a instrumentação proposta. Os resultados e a discussão são apresentados na Seção 4. Finalmente as conclusões e os trabalhos futuros são apresentados na Seção 5.

2 Trabalhos Relacionados

Ambientes de teste e métodos para testar sistemas veiculares, como os ADAS, são estudados há décadas e são foco de estudo, principalmente pela importância desses sistemas e ambientes para os avanços da viação, sendo explorados por alguns autores (Stellet et al., 2015).

Um ambiente de simulação *open-source* que compreende vários modelos de sensores idealizados, a dinâmica do veículo e situações de tráfego é apresentada por (Oko et al., 2014).

Para evitar várias variantes de simuladores de condução para ADAS, criando um ambiente reconfigurável, podendo ser configurado por alguém sem conhecimento, (Hassan and Gausemeier, 2014) desenvolveu um quadro de design para simulador de condução reconfigurável de tarefa específica. Esse quadro consiste em um modelo e uma ferramenta de configuração. A validação foi feita pelo desenvolvimento de três variantes de um simulador, resultando em uma solução para aumentar eficiência de ambientes de teste, os tornando configuráveis.

Baseando-se no princípio do pêndulo invertido, foi desenvolvido por (Torige, 2013) um protótipo de veículo auto-equilibrante, permitindo testes sobre esse tipo de veículo. Todo o ambiente, como estrutura mecânica, projeto eletrônico e sua construção, inclusive o algoritmo para que o protótipo se equilibre foi projetado. Os dados foram obtidos com sensores inerciais, como acelerômetro e giroscópio, e Arduino a partir da fusão dos dados com Filtro Kalman.

Por fim, (Weinberg and Harsham, 2009) apresenta o desenvolvimento de um ambiente de testes constituído por um simulador de condução, composto por banco, volante e pedais, conectados a um computador e um monitor. Seus resultados mostraram que seu sistema atingiu um nível de fidelidade comparado a ambientes mais caros.

Nosso trabalho tem como principal diferença a aquisição dos dados, onde (Weinberg and Harsham, 2009) realiza a aquisição por meio de software de simulação de direção. Além disso, realizamos uma comparação entre sensores e entre tamanhos de janela em um filtro de média móvel.

3 Proposta de Instrumentação

Nesta seção é descrita a proposta de instrumentação com os sensores: acelerômetro (IMU), ultrassônico, encoder de quadratura e potenciômetro.

3.1 Equipamento

É utilizado um simulador de baixo nível, constituído por um computador, um conjunto de monitores, um *cockpit* realista, um volante, caixa de marcha manual e pedais (embreagem, freio e acelerador), como ilustra a Figura 1.



Figura 1: Simulador de direção automotiva.

O uso de simuladores pode diminuir a percepção dos reais riscos, por isso, pesquisadores têm validado que simuladores podem criar um ambiente bastante semelhante ao real (Auberlet et al., 2012) e (Mayhew et al., 2011).

Para a obtenção dos dados foram utilizados os seguinte componentes na instrumentação:

- Arduino Mega
- Unidade de Medida Inercial MPU6050 (Acelerômetro e Giroscópio)
- Sensor Ultrassônico HC-SR04
- Encoder de quadratura
- Potenciômetro

O ambiente de testes automotivos foi montado no simulador de direção, como ilustra a Figura 2. Pode-se observar que para obter o sentido e velocidade de rotação do volante, foram instalados uma Unidade de Medida Inercial (IMU - *Inertial Measurement Unit*) no centro da região frontal do volante, indicada pela letra "A" e um encoder de quadratura na região traseira do volante, ao longo de seu eixo, indicado pela letra "B".

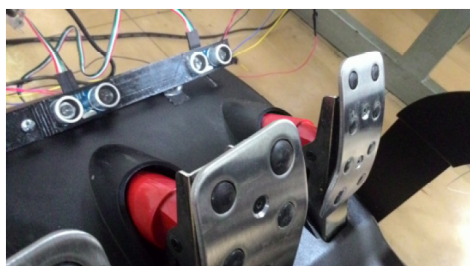
A mensuração do acionamento dos pedais foi feita pela instalação do IMU na superfície posterior do pedal, indicado pela letra "C". A letra "D" indica o sensor ultrassônico instalado no suporte dos pedais, de forma que o pedal trabalhe como barreira para a medição com o ultrassônico. Por fim, a letra "E" mostra a localização dos potenciômetros dos pedais, nos quais, por meio de um *jumper*, foram obtidos os sinais de suas leituras.



Figura 2: Esquema de montagem dos sensores no simulador.

3.2 Instrumentação dos Componentes no Simulador

A instrumentação ocorreu pela montagem e construção dos sensores sobre o simulador. Assim, é necessária uma correta fixação e suporte desses sensores para a leitura ideal. Para isso, foram projetados suportes em software CAD e impressos por impressora 3D. A Figura 3 ilustra alguns desses suportes nos pedais e no volante do simulador.



(a) Sensores ultrassônicos.



(b) Encoder e IMU

Figura 3: Suportes construídos em impressora 3D.

3.2.1 Instrumentação no Volante

Para instrumentar o volante e, assim, obter a velocidade e o sentido de rotação foram utilizados o encoder e a IMU. Esse encoder foi construído ao redor do eixo do volante por sua característica rotativa. O disco com o diagrama de setores transparentes e opacos foi fixado no eixo e o circuito com o foto-transistor e LED foi montado em uma placa de circuito impresso e fixado ao corpo fixo do volante. A IMU foi fixada no centro do volante

para que um de seus eixos de medição coincida com o eixo do volante.

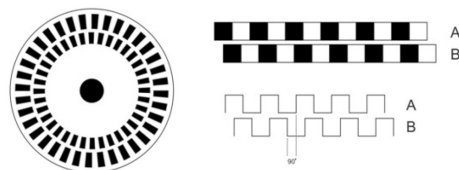


Figura 4: Variação de posição do encoder.

A obtenção do sentido de rotação é feita comparando a posição atual com a posição anterior, de acordo com as variáveis AB e seus valores booleanos (0 ou 1), como ilustra a Figura 4. E a velocidade de rotação é calculada pela fórmula da velocidade $V = \Delta d / \Delta t$ onde Δd é a distância entre duas listras e Δt é a variação do tempo decorrido para alteração do estado da variável. Os parâmetros do diagrama do disco do encoder são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: Parâmetros do diagrama do disco do encoder.

Parâmetro	Valor atribuído
Passos (ao redor da roda)	256
Bits (encoder de quadratura = 2 bits)	2
Raio interno (em pixels)	491.3
Largura de cada banda (em pixels)	50
Espaçamento entre bandas (em pixels)	30
Largura das fendas de fotodiodos, em porcentagem da largura de bit	25
Largura das fendas de fotodiodos, em porcentagem da largura de banda	50
Espaçamento de slots fotodiodo ao redor do disco	2
Número de slots desenhados acima de espaçamento	2

O cálculo do ângulo pelo IMU é feito utilizando os eixos do acelerômetro pela fórmula $\theta = \tan^{-1}(x/(z^2 + y^2)^{1/2})$.

3.2.2 Instrumentação nos Pedais

Para a instrumentação dos pedais foram utilizados três sensores: acelerômetro (IMU), ultrassônico e potenciômetro.

O acelerômetro foi fixado atrás do pedal para obter a aceleração do deslocamento. O ultrassônico foi montado na base dos pedais para que o pulso ultrassônico fosse refletido pelo pedal e retornasse ao módulo sensor. E, por fim, foi utilizado o potenciômetro localizado dentro do simulador.

A calibração do potenciômetro foi feita utilizando um régua graduada como padrão de medida e um voltímetro, observando centímetro a centímetro o valor da tensão de saída, de acordo com a aplicação de força sobre o pedal. A partir disso

foi obtida a curva característica do potenciômetro e a equação de calibração.

Para calibrar o acelerômetro foram realizadas medições, como com o potenciômetro, observando a leitura do sensor. O sensor ultrassônico permite medir distâncias entre 2 cm e 4 m, com precisão de 3 mm e ângulo de operação de 15° e obtém a distância pela equação conhecida $d = (v * t)/2$. A divisão por 2 ocorre, pois o tempo se refere a viagem de ida somada a de volta.

3.2.3 Filtro

Para tornar a precisão dos dados mais adequada e, assim, obter uma boa interpretação do "mundo real", é necessária a aplicação de algum filtro. Para isso, foi utilizado o filtro do tipo média móvel (Oppenheim, 2010), que constitui da média das últimas N amostras do sinal, sendo N o tamanho da janela. Essa média móvel deve ser ajustada à cada sensor, não tendo, assim, um valor padrão para obter um melhor sinal (Oppenheim, 2010), como ilustra a Equação 1.

$$nova_a_i = \frac{(a_i + a_{i-1} + a_{i-n-1})}{n} (i \geq n) \quad (1)$$

Onde a é uma amostra, $nova_a$ uma nova amostra, n é o tamanho da janela da média móvel, i é o número da nova amostra, iniciando no valor de n , ou seja, $i \geq n$. Testes foram feitos para verificar se ruídos foram removidos sem a geração de atrasos significativos no sinal.

4 Resultados e Discussão

Em versão final, todos os sensores apresentados foram montados no simulador, constituindo, assim, o ambiente de testes proposto neste trabalho.

Em um primeiro momento, por meio empírico, foi definido o tamanho da janela do filtro de média móvel para cada sensor.

Posteriormente, foram testados cada sensor. Para facilitar a discussão, esses resultados serão aqui apresentados em duas etapas. Num primeiro momento, os realizados obtidos através dos sensores do volante e posteriormente os resultados das análise dos dados dos pedais.

4.1 Definição do Tamanho das Janelas do Filtro de Média Móvel

Cada sensor utilizou um tamanho de janela que se adequou melhor ao tipo de sinal. Essa janela foi definida a partir da análise do sinal com tamanhos que variaram de 2 a 7, em que quanto menor for esse valor, menos informação será perdida e menor o atraso gerado no sinal. A definição do tamanho da janela do filtro de cada sensor foi baseada na relação entre atenuação dos ruídos provenientes

do sensor e atraso ou perda na informação do sinal. Desta forma escolhemos os tamanhos: 2 para o acelerômetro no volante e no pedal, 3 para o potenciômetro e 4 no sensor ultrassônico.

Os gráficos da Figura 5, Figura 6 e Figura 7 apresentam leituras com diversos tamanhos de janela em cada sensor.

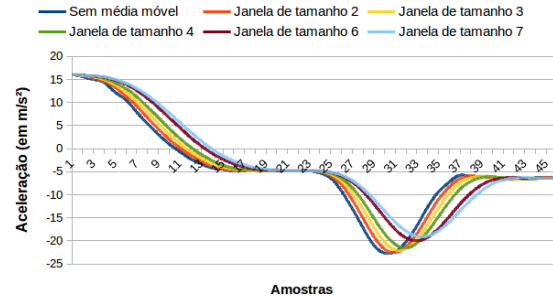


Figura 5: Gráfico de comparação da leitura do acelerômetro no volante sem média móvel e com média móvel com janelas de tamanhos 2, 3, 4, 6 e 7.

Pode-se ver, na Figura 5, que a curva sem média móvel apresenta certo ruído, sendo pouco suave, enquanto que a curva com a janela de tamanho 2 tem esse problema diminuído. Tamanhos de janela maiores, apesar de demonstrarem curvas mais suaves, acrescentam um atraso considerável, tornando-os menos interessante para o uso. Por isso, o tamanho 2 foi considerado melhor para o acelerômetro.

No potenciômetro, Figura 6, a curva com janela de tamanho 2 suaviza o sinal, porém pode ser visto que o sinal precisa ser ainda mais suave. Assim, a janela de tamanho 3 foi escolhida mesmo adicionando um pequeno atraso, pois tem uma curva mais suave. Tamanhos de janela maior geram um atraso muito maior com poucos benefícios na curva.

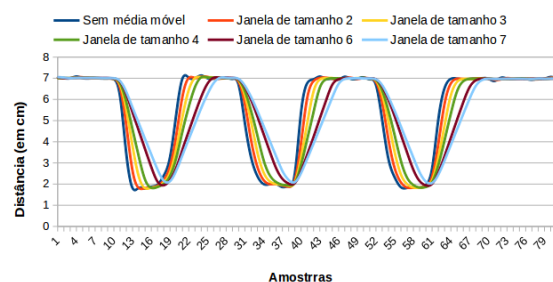


Figura 6: Gráfico de comparação da leitura do potenciômetro no pedal do freio sem média móvel e com média móvel com janelas de tamanhos 2, 3, 4, 6 e 7.

Por último, no ultrassônico, Figura 7, é possível perceber que a curva com tamanho de janela 4 é mais suave que as demais causando um pe-

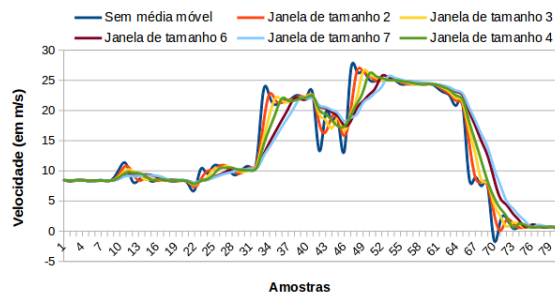


Figura 7: Gráfico de comparação da leitura do sensor ultrassônico no pedal do freio sem média móvel e com média móvel com janelas de tamanhos 2, 3, 4, 6 e 7.

queno atraso, algo que não ocorre com tamanhos de janela 6 e 7.

4.2 Resultados da Instrumentação do Volante

Por meio de sucessivos movimentos no volante, foram realizadas leituras que geraram o gráfico da Figura 8. A curva da posição do volante permite observar a variação da inclinação do volante em relação ao tempo. A variação é a diferença entre uma leitura e sua anterior e permite verificar momentos onde o movimento foi mais brusco.

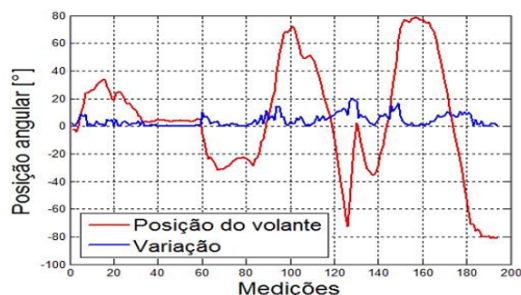


Figura 8: Leitura do acelerômetro aplicado ao volante.

Os testes do encoder foram realizados para observar o sentido de rotação do volante. A Figura 9 ilustra os estados do sensor óptico ao longo do tempo. Convencionou-se aqui que o sentido de rotação varia de -1 a 1, valores inteiros. Indicando um giro no sentido horário com 1, sentido anti-horário com -1 e 0 para parado. Esses valores foram escolhidos para facilitar a interpretação dos dados no gráfico.

É nítido, comparando as análises dos dois sensores, que o acelerômetro garante leituras muito mais precisas que o encoder, pois obtém dados num domínio muito maior que o encoder.

4.3 Resultados da Instrumentação dos Pedais

Como os três pedais são constituídos dos mesmos componentes e tem o mesmo funcionamento bá-

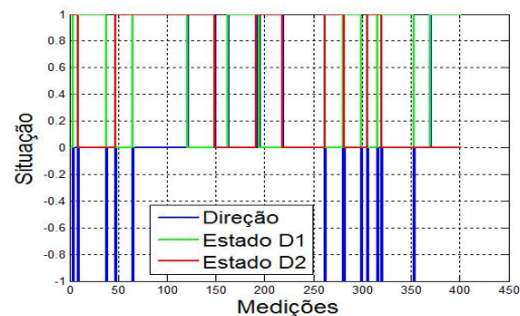


Figura 9: Resposta do encoder.

sico, os testes foram aplicados a um dos pedais, o do acelerador.

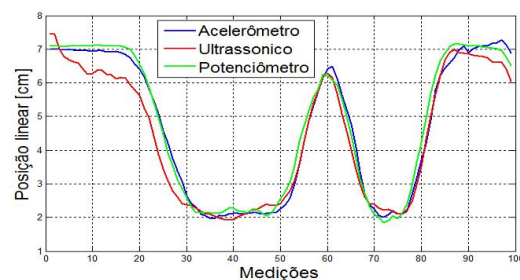


Figura 10: Curvas dos sensores do pedal.

O gráfico da Figura 10 apresenta algumas leituras dos sensores. Durante as leituras alguns movimentos foram realizados, como pressionar o pedal e manter pressionado. Podemos ver que o sensor ultrassônico obtém uma pior curva, apresentando mais ruído e mais atraso, não atingindo as regiões máximas e mínimas que os outros atingiram. Dentre os outros dois, o acelerômetro apresenta uma curva com pouco mais atraso, porém mais suave e com menos ruído. Além disso, o potenciômetro é mais suscetível a desgaste por utilizar elementos mecânicos.

5 Conclusão

A partir dos resultados da instrumentação do volante e dos pedais, podemos aumentar a eficiência de ambientes de testes por meio do conhecimento do melhor sensor e da curva característica, como na calibração com média móvel apresentada. Além disso, projetos de sistemas podem se basear nesse estudo e evitar a análise de diversos sensores para os cenários apresentados, escolhendo os que apontamos como melhores, assim diminuindo tempo e custo na fase de projeto, permitindo um foco maior em outras partes do projeto.

Em trabalhos futuros, serão realizadas análises de dados com outros sensores, além de realizar a instrumentação de outras áreas do simulador, como pressão exercida sobre o banco.

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer a UFOP, Laboratório iMobilis e a SEVA Engenharia pelo apoio a este trabalho.

Referências

- Assuncao, A. N., Camara, R., Janeiro, L., Victor, R., de Paula, F. O. and Oliveira, R. A. (2015). KITT - sistema de carro inteligente com apoio à segurança do motorista, *Anais do V Simpósio Brasileiro de Engenharia de Sistemas Computacionais (SBESC)*, Foz do Iguaçu, Brasil.
- Assuncao, A. N., de Paula, F. O. and Oliveira, R. A. (2015). Methodology to events identification in vehicles using statistical process control on steering wheel data, *Proceedings of the 13th ACM International Symposium on Mobility Management and Wireless Access*, ACM, pp. 1–4.
- Auberlet, J.-M., Rosey, F., Anceaux, F., Aubin, S., Briand, P., Pacaux, M.-P. and Plainchault, P. (2012). The impact of perceptual treatments on driver's behavior: From driving simulator studies to field tests—first results, *Accident Analysis & Prevention* **45**: 91–98.
- GHO, G. H. O. et al. (2011). Number of registered vehicles: Situation and trends, http://www.who.int/gho/road_safety/registered_vehicles/number_text/en/.
- Graham, D. R. (1991). Software testing tools: A new classification scheme, *Software Testing, Verification and Reliability* **1**(3): 17–34.
- Hassan, B. and Gausemeier, J. (2014). *A Design Framework for Developing a Reconfigurable Driving Simulator*, PhD thesis, Citeseer.
- Kumar, H., Ahmed, Z., Shetty, A., Bangera, N. and Bangera, V. (2014). i-car: An intelligent and interactive interface for driver assistance system, *Science, Technology and Arts Research Journal* **3**(2): 197–200.
- Mayhew, D. R., Simpson, H. M., Wood, K. M., Lonero, L., Clinton, K. M. and Johnson, A. G. (2011). On-road and simulated driving: Concurrent and discriminant validation, *Journal of safety Research* **42**(4): 267–275.
- McDonald, A. D., Lee, J. D., Schwarz, C. and Brown, T. L. (2014). Steering in a random forest ensemble learning for detecting drowsiness-related lane departures, *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society* **56**(5): 986–998.
- Okoye, A., Sato, T., Kume, H., Machida, T. and Yokoyama, N. (2014). Evaluation of image processing algorithms on vehicle safety system based on free-viewpoint image rendering, *Intelligent Vehicles Symposium Proceedings, 2014 IEEE*, IEEE, pp. 706–711.
- Oppenheim, A. V. (2010). *Sinais e sistemas*, Prentice-Hall.
- Stellet, J. E., Zofka, M. R., Schumacher, J., Schamm, T., Niewels, F. and Zollner, J. M. (2015). Testing of advanced driver assistance towards automated driving: A survey and taxonomy on existing approaches and open questions, *Intelligent Transportation Systems (ITSC), 2015 IEEE 18th International Conference on*, IEEE, pp. 1455–1462.
- Torige, G. L. (2013). Construção de um protótipo de um veículo auto-equilibrante, *Revista da Graduação* **6**(2).
- Voelcker, J. (2014). 1.2 billion vehicles on world's roads now, 2 billion by 2035: Report, http://www.greencarreports.com/news/1093560_1-2-billion-vehicles-on-worlds-roads-now_2-billion-by-2035-report/.
- Weinberg, G. and Harsham, B. (2009). Developing a low-cost driving simulator for the evaluation of in-vehicle technologies, *Proceedings of the 1st International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications*, ACM, pp. 51–54.
- Wellings, T., Williams, M. and Tennant, C. (2010). Understanding customers' holistic perception of switches in automotive human-machine interfaces, *Applied ergonomics* **41**(1): 8–17.
- WHO, W. H. O. et al. (2013). Global status report on road safety 2013: Supporting a decade of action, 2013, *WHO: Geneva*.