

VISÃO GERAL DE NOVAS TECNOLOGIAS EMPREGADAS NA CONDUÇÃO AUTÔNOMA DE VEÍCULOS AUTOMOTORES

Danilo Neves¹, Eugênio Borsatti²

¹SENAI-CIMATEC/Ford Motor Company Brasil, E-mail: danilogtn@gmail.com

¹SENAI-CIMATEC/Ford Motor Company Brasil, E-mail: eugenio.borsatti@fieb.org.br

RESUMO

Este artigo apresenta um estudo acerca do desenvolvimento tecnológico referente aos veículos automotores autônomos, especificamente carros de passeio. Este inclui características técnicas, princípios básicos de funcionamento, histórico de desenvolvimento, diferenciação, barreiras, vantagens e desvantagens da implementação, além das previsões futuras de implantação destas tecnologias.

Palavras-chaves: *autônomo; tecnologia; veículos; sistemas*

ABSTRACT

This article presents a study of technological development related to self-driving vehicles, specifically passenger cars. It includes technical specifications, basic working principles, historical development, differentiation, deployment barriers, implementation advantages and disadvantages, and also predictions of future operation of these technologies.

Keywords: *self-driving; driverless; technology; vehicles; systems*

INTRODUÇÃO

Diante da crescente evolução tecnológica, aliada a necessidade mundial de redução do número de acidentes automotivos, principalmente em decorrência de erro humano, a condução autônoma de veículos tem sido um tema largamente abordado.

O carro autônomo propriamente dito seria um veículo capaz de suprir as capacidades de transporte de um carro tradicional, por meio dos princípios de reconhecimento, avaliação e atuação (processo de tomada de decisão e ação realizada) de funções da condução automotiva, também definidos através do design "sense, plan, act" [1].

A autonomia total da condução dos veículos automotores comerciais atualmente se encontra em fase de testes de protótipos, em casos até de avaliações assistidas com autorização de circulação em rodovias. A SAE (*Society of Automotive Engineers*) classifica níveis de automação dos veículos, conforme apresentado na *Figura 3 - Classificação da condução autônoma segundo SAE*, a seguir.

10 e 11 de setembro de 2015 / Salvador, Bahia, Brasil



Figura 3 - Classificação da condução autônoma segundo SAE^[3]

A NHTSA (*National Highway Traffic Safety Administration*), agência americana do departamento de transportes, responsável pelo estabelecimento de padrões e regulação de veículos automotores nos Estados Unidos, também possui uma classificação, conforme comparação exibida na *Figura 4* em relação à SAE.



Figura 4 - Comparação classificações SAE x NHTSA^[10]

No intuito de se obter a operação de um veículo totalmente autônomo em situações urbanas com tráfego imprevisível, diversos sistemas em tempo real devem interoperar, incluindo o planejamento e o controle da percepção do ambiente. Além disso, uma plataforma robusta com o sensoriamento apropriado, infraestrutura computacional de hardware, software e rede é essencial^[1]. Desta forma, um veículo pode atingir a capacidade de realizar uma condução autônoma quando controlar as funções básicas independentes de navegação, análise ambiental, planejamento de movimento e controle de trajetória, executando reações baseadas nas informações de entrada^[4]. Com o objetivo da detecção do meio ambiente circundante, os veículos autônomos em testes utilizam uma combinação de sensores, normalmente incluindo o LIDAR (*Light Detection and Ranging*), radar, câmeras, ultrassom, complementando um ao outro e compensando eventuais deficiências de qualquer sensor. Para o sistema de localização, são utilizados mapas digitais, a combinação do GPS (*Global Positioning System*), com o INS/IMU (*Inertial Navigation Systems / Inertial Measurement Unit*), além do DGPS (*Differential Global Positioning System*)^[1]. Em conjunto com os sistemas, são adicionados controladores/atuadores de direção, câmbio, aceleração e frenagem, que recebem comandos a partir do processamento das entradas sensoriais e de localização do veículo.

Através dos próximos tópicos, este artigo irá apresentar uma visão geral de algumas das inovações tecnológicas embarcadas nos atuais projetos e protótipos em testes dos veículos autônomos, além de um breve histórico no mundo e no Brasil, princípios básicos, funcionalidades, empecilhos, benefícios e previsões de implantação.

METODOLOGIA

A pesquisa acerca das tecnologias dos veículos autônomos foi realizada utilizando a bibliografia presente em trabalhos que abordam o tema, principalmente através da busca por artigos indexados na base de dados da *ScienceDirect* - www.sciencedirect.com, pesquisas universitárias, informações de fabricantes e revistas tecnológicas como a *IEEE Spectrum*.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

HISTÓRICO

Nos Estados Unidos, de 1980 a 2003, centros universitários trabalharam em duas visões de automação veicular. A primeira visão foi baseada em sistemas de rodovias automatizadas, na qual a infraestrutura das rodovias coordenava veículos sem inteligência artificial. Outros grupos trabalharam na visão de veículos sem a necessidades de rodovias especiais. De 2003 a 2007, a Agência de Projetos de Pesquisa Avançada do departamento de defesa dos Estados Unidos (DARPA) realizou três “Grandes Desafios” que contribuíram para a aceleração dos avanços na tecnologia autônoma. Cada desafio incentivou times universitários a desenvolver tecnologia, como equipes das universidades *Stanford* e *Carnegie Mellon*^[1].

Na Europa, a pesquisa e o desenvolvimento de veículos autônomos vêm sendo feitos desde a década de 80. Um dos pioneiros nessa área foi o pesquisador alemão Ernst Dickmanns no projeto PROMETHEUS (*PROgraMme for a European Traffic of Highest Efficiency and Unprecedented Safety*) e o VaMoRs de 1985.

Os desenvolvimentos brasileiros de pesquisas acerca dos veículos terrestres autônomos são recentes, existindo poucos grupos de pesquisa acadêmicos, governamentais e empresariais. As primeiras ações foram dos grupos da UFMG (Lab. CORO/ DEE) com o veículo CADU e da UNIFEI (projeto *Driving4You*), e datam de meados de 2007. Além deles, existem projetos em andamento como o VERO - CTI/Campinas, o AutoLab - FEM/UNICAMP, o IARA na UFES, o SENA na EESC/USP e o CaRINA no ICMC/ USP. Destes, o projeto CaRINA é o pioneiro na realização de navegação autônoma em vias urbanas e vem sendo desenvolvido pelo Laboratório de Robótica Móvel - ICMC/USP com o suporte da FAPESP, CNPq e INCT-SEC. Em 2013, o mesmo já realizou seus primeiros testes de navegação autônoma nas ruas da cidade de São Carlos, com a autorização e o apoio das Secretarias Municipais de Transporte e Trânsito, e de Desenvolvimento Sustentável, Ciência e Tecnologia de São Carlos^[5]. É apresentada na Tabela 6 um histórico das principais pesquisas internacionais sobre os veículos autônomos.

Tabela 6 - Principais pesquisas internacionais referentes aos veículos autônomos^[6]

Nome do Veículo	Grupos de Pesquisa	Ano	Velocidade de navegação em modo autônomo
Shakey	SRI (EUA)	1966- 1972	-
Veículo Inteligente	Universidade de Tsukuba (Japão)	1977	30 km/h máx.
VaMoRs	Universitat der Bundeswehr Munchen (Alemanha)	1985	100 km/h máx.
PVS	Nissan e Fujitsu (Japão)	1987	60 km/h máx.
VaMP	Universitat der Bundeswehr Munchen (Alemanha)	1994	130 km/h máx.
VaMoRs-P	Universitat der Bundeswehr Munchen (Alemanha)	1995	160 km/h máx.
ARGO	Universidade de Parma (Itália)	1997-2001	123 km/h máx.
ALV	DARPA	Década de 1980	3 km/h a 21 km/h máx.
NavLab	Universidade Carnegie-Mellon	1984 - atualmente	32 km/h a 144 km/h máx.
Stanley	Universidade de Stanford	2005	Limitada a 80 km/h pelo DARPA
Boss	Universidade Carnegie-Mellon/GM	2007	Média de 22 km/h

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Nesta seção serão apresentados algumas das novas aplicações de tecnologia implementadas nos veículos autônomos. Como implementação atual, veículos comerciais já utilizam dispositivos e sistemas com níveis intermediários de automação, em alguns casos até o nível 2, como o Assistente de Tráfego, conforme pode ser observado na *Figura 5*, no fluxograma de definições acerca de características e funções inerentes a cada nível de automação, considerando a graduação definida pela SAE.

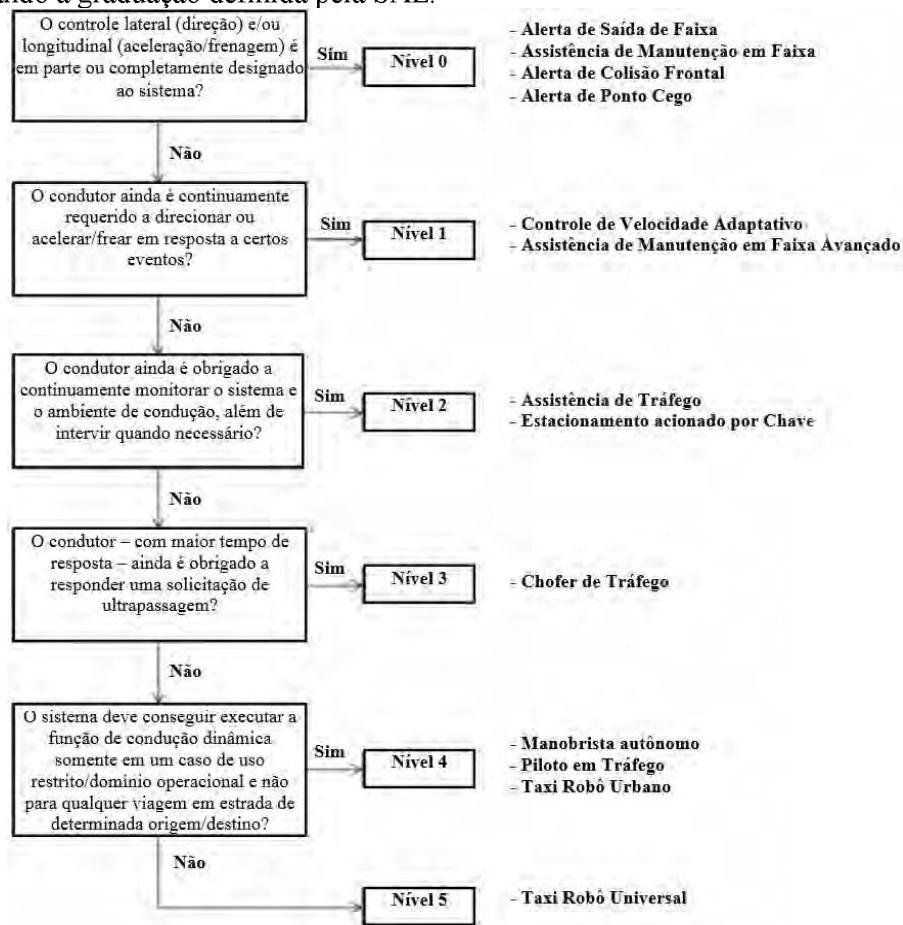


Figura 5 - Fluxograma de definição entre funções e níveis de automação^[3]

Um veículo autônomo deve integrar hardware e software de modo que operem com diferentes sensores e atuadores. Assim, aplicações de veículos autônomos requerem o desenvolvimento de diferentes módulos de hardware e software, além de interfaces que conectem usuários, sistemas de controle robótico e componentes embarcados^[7]. Uma arquitetura computacional deve ser definida de modo a prover as funções e permitindo a comunicação entre os diferentes módulos (neste caso considerando uma arquitetura distribuída e orientada a serviço). A *Figura 6* apresenta a arquitetura considerado no veículo autônomo protótipo CaRINA.

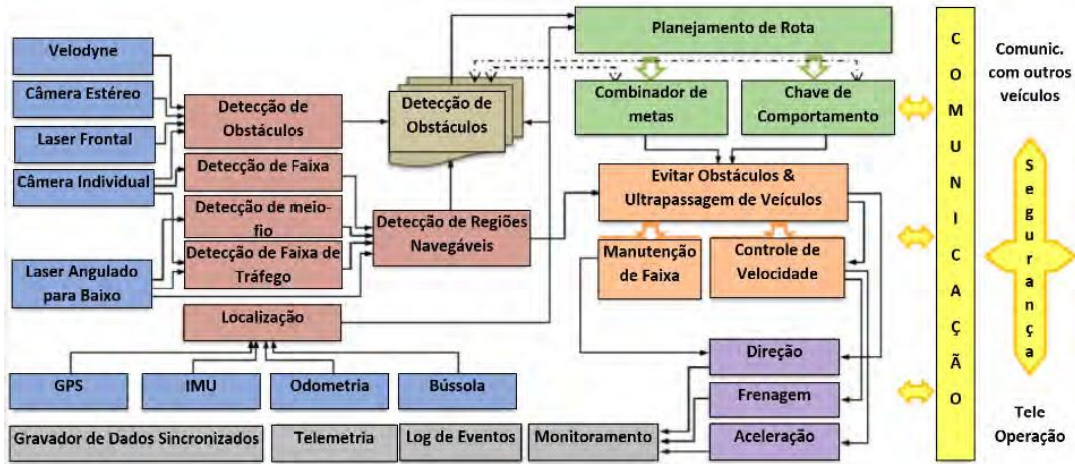


Figura 6 - Exemplo de arquitetura de veículo autônomo (Caso CaRINA)^[7]

Neste caso, os módulos foram separados da seguinte forma: Em azul, sensoriamento; em vermelho, extração e fusão de informações; em verde, processamento; em laranja, comportamental, em roxo, atuação; e em cinza sistema de segurança.

Outro exemplo que é de importante abordagem é a arquitetura do veículo protótipo SatAnt, mostrada na Figura 7.

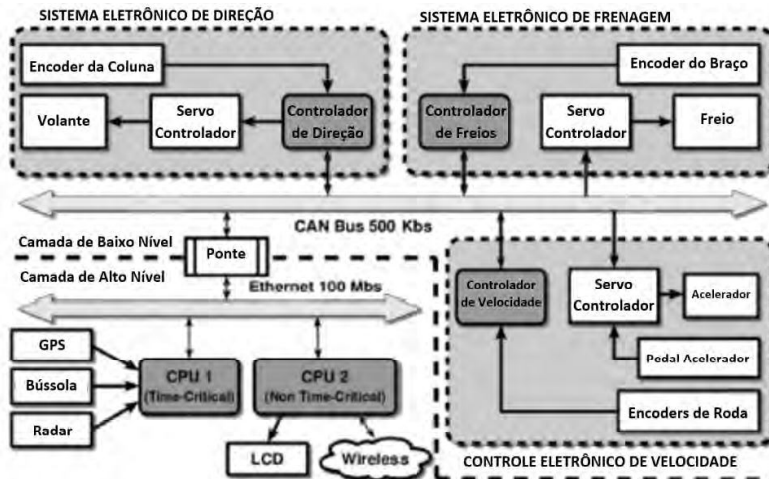


Figura 7 – Exemplo Arquitetura veículo SatAnt^[12]

A mesma é organizada em duas camadas, nas quais eletrônicos embarcados e controladores de baixo nível comunicam através de um barramento CAN operando a 500 Kbps, enquanto a eletrônica de alto nível comunica através de um barramento Ethernet de 100Mbps. Este projeto foca na modularização e escalabilidade, de forma que adicionando um novo módulo não interfere nos já existentes^[12]. Pode-se observar também a relação de comunicação entre os controladores de velocidade, frenagem e direção com o barramento de comunicação CAN, permitindo o controle eletrônico da atuação no veículo.

SISTEMA DE SENSORIAMENTO - ANÁLISE AMBIENTAL

O RADAR (*Radio detection and ranging*) é outro sensor chave para os veículos autônomos. O mesmo utiliza o mesmo princípio básico de medida do tempo de emissão/reflexão dos sinais para determinar o alcance de objetos. No entanto, neste caso ondas de radiofrequência são o meio utilizado nos transmissores/receptores, o que dá ao radar diferentes capacidades e limitações. Para a aplicação em veículos autônomos, são utilizados sistemas radar de curto/médio e longo alcance. Os de curto/médio alcance, são voltados para sistemas de “Alerta de Tráfego Cruzado”, “Alerta de “Colisão Traseira”, “Assistente de Troca de Faixa”, “Assistente de estacionamento” e “Detecção de Ponto Cego”. Os mesmos normalmente utilizam a faixa de 24 GHz de frequência, com distâncias de detecção máximas em média de 50 a 70 metros aproximadamente, com proporcional redução de ângulo de detecção com aumento da distância. Os de longo alcance são utilizados principalmente nos sistemas “Controle Adaptativo de Velocidade de Cruzeiro”, “Sistemas anti-colisão”, com alcance máximo de em média 200 metros, utilizando a banda W, com frequência de 77 GHz. As limitações do radar são a necessidade de linha de visada, sensibilidade em relação do sinal recebido, limitação de alcance devido a ruído e interferência eletromagnética e maior limitação de refletividade de materiais (quando comparado ao LIDAR), principalmente para objetos não metálicos.

CÂMERAS

As câmeras são importantes sensores principalmente utilizadas nos sistemas de “Aviso de Saída de Faixa”, “Reconhecimento de Placas de Trânsito”, além da detecção de objetos como outros veículos, pedestres, placas e luzes. Estas conseguem captar longas distâncias (até 130 metros – a depender do tipo de câmera utilizada) e prover informações importantes para a automação automotiva. Câmeras estéreo podem ser principalmente utilizadas na detecção de obstáculos (pedestres – 40 metros, veículos – 200 metros), além de estimar distâncias do ambiente (em até 60 metros e 45° de ângulo de visão aproximadamente) e profundidade, promovendo robustez por redundância de informações. Desta forma estas podem ser usadas em técnicas de mapeamento, por exemplo reconstrução tridimensional de ambientes ou objetos. O processamento da câmera estéreo consiste em: reconstrução (25 Hz – método SGM) de imagem estéreo, computação de pixels, mapeamento em relação ao tempo para estimativa de movimento e segmentação final do objeto^[4]. As câmeras monoculares, normalmente grande-angulares, podem ser utilizadas na captura de imagens coloridas, de modo a identificar faixas, placas, semáforos e luzes, em alguns casos até 500 metros^{[4][20]}.

ULTRASSOM

Os sensores ultrassom são utilizados basicamente nos sistemas de assistência de estacionamento, com a detecção de proximidade de objetos em baixa velocidade. Estes operam através do princípio de emissão de pulsos acústicos, com a medida do intervalo de tempo de retorno de cada sinal refletido, calculando a distância do objeto. Os sensores ultrassônicos propiciam dados apurados até 10 metros^[1].

NAVEGAÇÃO

GPS / DGPS

10 e 11 de setembro de 2015 / Salvador, Bahia, Brasil

O DGPS (*Differential Global Positioning System*) ou GPS Diferencial é a evolução do GPS, proporcionando um aumento de precisão de uma margem de 10 metros para aproximadamente 10cm^[16]. O GPS tem o funcionamento a partir da localização via satélite, e em decorrência da criticidade da precisão de localização dos veículos autônomos este sistema é crucial para o planejamento de trajeto e tomada de decisões. Com a melhoria de localização através do método diferencial (na qual existe a utilização de uma rede de estações base de referência de posicionamento fixo e conhecido), a definição da posição dos veículos é aumentada de forma a contribuir na condução autônoma. No entanto, o GPS ainda possui limitações nas falhas temporárias do sinal por prédios, túneis e mal tempo.

INS/IMU

O INS/IMU (*Inertial Navigation System*) é composto por acelerômetros e giroscópios, possibilitando o constante cálculo de posição, orientação e velocidade do veículo sem a necessidade de referências externas^[1]. O INS é utilizado para melhorar a precisão do GPS colaborando durante as falhas do mesmo devido aos obstáculos urbanos aos seus sinais. Possui como limitação a propagação de erro agregada em valores consideráveis durante a indisponibilidade do GPS por longos períodos.

PROTÓTIPOS E TESTES

Esta seção apresenta um resumo, na Tabela 7, dos atuais desenvolvimentos de carros autônomos por parte dos fabricantes até o ano de 2014.

Tabela 7 - Fabricantes e desenvolvimentos de veículos autônomos^[8]

Fabricante Automotivo	Produtos	Desenvolvimentos
Audi	<i>Piloted Driving</i>	1) Pesquisa com a <i>Volkswagen Group Electronics Research Lab</i> e <i>Stanford University</i> . 2) 2010 - Carro de pesquisa autônomo Audi TTS no circuito da montanha <i>Pikes Peak</i> . 3) Sensor laser de menor tamanho (tamanho de um punho). 4) Licença para testar no estado de Nevada, USA, em 2013.
BMW	<i>Electronic co-pilot system</i>	1) Parceria com fornecedor automotivo Continental 2013-2014. 2) 2011 - Protótipo de pesquisa com mais de 10.000 milhas autônomas. 3) <i>BMW TrackTrainer</i> – Mapa digital, GPS, dados de vídeo para navegação autônoma em circuito de corrida.
Ford	<i>Automated Fusion Hybrid</i>	1) <i>Fusion Hybrid</i> autônomo é a atual plataforma de pesquisa para futuros veículos totalmente autônomos. 2) Plano de mobilidade Ford (soluções interligadas até 2050), que vislumbra um futuro de funcionalidade autônoma e tecnologias avançadas após 2025. 3) Parceria com a <i>University of Michigan</i> e <i>State Farm</i> .
GM	<i>Super Cruise</i> <i>Chevy EN-V</i>	1) <i>GM-Carnegie Mellon University</i> : Pesquisa Colaborativa em Condução Autônoma – parceria venceu o DARPA em 2007. 2) <i>Super Cruise</i> na Cadillac: Sistema semiautônomo de direção. 3) <i>Chevy EN-V</i> autônomo e elétrico que combina GPS com comunicações V2V (vehicle-to-vehicle) e tecnologias de sensoriamento de distância.
Lexus	<i>Advanced Active Safety Research Vehicle</i>	Veículo de pesquisa, Lexus LS460 com LIDAR.
Mercedes-Benz	<i>Mercedes-Benz Intelligent Drive</i>	1) <i>Intelligent Drive</i> autônomo utiliza GPS e câmera traseira com rota pré-programada. 2) <i>Intelligent Drive</i> completou 100 km em estradas reais na Alemanha.
Nissan	<i>Autonomous Drive</i>	Nissan 360 - test drive do Nissan Leaf com scanners a laser, câmeras e atuadores de inteligência artificial avançada.
Tesla	<i>Auto Pilot</i>	Meio de 2013: Desenvolvimento em andamento para a introdução de Sistema de sensores com custo mais baixo.
Volkswagen	<i>Temporary Auto Pilot</i>	1) Parceria com <i>Stanford</i> e <i>ERL - VW Electronics Research Laboratory</i> . 2) Demonstração de piloto autônomo em 2011.
Volvo	<i>Drive Me</i>	Projeto piloto público <i>Drive Me</i> - parceria da Volvo Car group com a Administração de

V WORKSHOP DE PESQUISA TECNOLOGIA E INOVAÇÃO (PTI)

I SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE INOVAÇÃO E TECNOLOGIA (SIINTEC)

10 e 11 de setembro de 2015 / Salvador, Bahia, Brasil

Fabricante Tecnologia	Produtos	Desenvolvimentos
Google	<i>Driverless Car Project</i>	1) Mais de 700.000 Milhas autônomas dirigidas autorizadas em 4 estados Americanos. 2) Protótipos em operação utilizando LIDARs retrabalhados (modelos Lexus e Prius) 3) Desenvolvimento de protótipos próprios sem volantes, pedais de freio e acelerador. 4) Experiência de pesquisadores das universidades <i>Stanford</i> e <i>Carnegie Mellon</i>
Bosch	<i>Autonomous vehicle</i>	1) Fornece tecnologia para funções de assistência ao motorista como Controle adaptativo de velocidade de cruzeiro e sistemas de assistência de alta performance. 2) Parceiro do <i>Stanford Center</i> para Pesquisa automotiva e <i>Stanford Law</i> .

VANTAGENS, DESVANTAGENS, BARREIRAS E DESAFIOS

A entrada em operação da condução autônoma deve trazer uma revolução no meio de transporte urbano e no panorama de mobilidade mundial. Como possíveis vantagens com a operação de veículos autônomos podemos citar: Maior segurança com menor número de acidentes e redução de mortes devido à redução da condução humana e consequentes erros (os erros humanos são responsáveis por 90% dos acidentes^[16]) – A Organização Mundial da Saúde estima que 1,2 milhões de pessoas morrem no trânsito por ano no mundo, com 50 milhões de feridos^[21]; Redução de custos decorrentes de acidentes de trânsito e consequências dos mesmos; Menor tráfego e tempo de trânsito, além de menores custos correlatos; Eficiência no consumo de combustível; Desenvolvimento econômico e aumento do mercado do setor tecnológico autônomo; Acesso à mobilidade aos não aptos fisicamente a dirigir um veículo.

Por outro lado, podem ser identificadas as seguintes oportunidades de melhoria com a entrada da automação automotiva: Revisão no modelo de negócios dos setores de seguros e de cuidados com a saúde relacionados ao setor automotivo, os mesmos devem sofrer impacto considerando o atual modelo; Otimização do custo de manutenção dos veículos (com o maior valor agregado da tecnologia autônoma); Reestruturação dos setores relacionados à condução humana (ex.: motoristas de coletivos, particulares, etc.) e seus resultados, com possíveis propostas de incentivo da necessidade de observação humana nas conduções autônomas.

Dentre as barreiras e desafios dos veículos autônomos pode-se listar: Necessárias revisões de legislação para operação, além de definição de responsabilização; Limitações de algumas tecnologias ainda em desenvolvimento e condução em condições climáticas adversas (neve/chuva pesada); Custo necessário de investimento para implementação da tecnologia de modo viável; Complexidade da validação e homologação da tecnologia; Segurança digital dos dispositivos embarcados.

PREVISÕES

Atualmente, a maior parte das empresas da área automotiva tem projetos relacionados ao desenvolvimento de navegação autônoma ou de direção assistida no exterior. Atualmente encontram-se disponíveis no mercado carros capazes de estacionar sozinhos, frear quando próximos a outros veículos e notificar o motorista quando o mesmo está saindo de sua faixa. No entanto, no sentido comercial de implementação, empresas como a GM, Mercedes-Benz, Audi, Nissan, BMW, Renault, Tesla, Toyota e Google esperam comercializar carros completamente autônomos em 2020^[5]. Em outros casos de montadoras (Ford, Daimler), a estimativa chega a 2025 para comercialização. Não existe previsão para implementação específica no Brasil.

CONCLUSÃO

O crescente desenvolvimento e aplicação das tecnologias voltadas para os veículos autônomos nas últimas décadas e os esforços dos fornecedores e fabricantes de veículos são evidentes e cada vez maiores neste campo de pesquisa. Isto é devido, principalmente, ao grande potencial de profundos impactos econômicos e sociais na mobilidade urbana, eficiência energética, de tráfego, qualidade de vida, nos acidentes e vítimas do trânsito. Com o aumento da aplicação de sistemas parcialmente automatizados e assistidos, vem sendo observada uma revolução da maneira na qual os veículos auxiliam os condutores. Desta forma, fica evidente a motivação socioeconômica na criação deste novo nicho de mercado, apesar das complexas questões associadas à infraestrutura de implementação, supervisão humana, campo legal e de responsabilização. O futuro de um maior desenvolvimento do carro autônomo é certo, e uma das mais importantes questões é a disponibilidade de tais tecnologias para o consumidor.

REFERÊNCIAS

¹Anderson, J. M.; Kalra, N.; Stanley, K. D.; Sorensen, P.; Samaras, C.; Oluwatola, O. A.; *Autonomous Vehicle Technology - RAND Corporation*, 2014.

²Meeshika A., Priya K., Tanvi G. *Autonomous Driven Car - Banasthali University, Jaipur (Rajasthan)*. 2nd International Conference on Emerging Trends in Engineering and Management, ICETEM, 2013.

³Bartels, A.; Eberle, U.; Knapp, A. *Deliverable D2.1 - System Classification and Glossary, AdaptIVe Consortium*, 2014.

⁴Ziegler, J.; Dang, T.; *et al.* Making Bertha Drive — An Autonomous Journey on a Historic Route – *IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine*, vol. 6, no. 2, pp. 8-20, 2014.

⁵Wolf, D. F.; Osório, F. S. Veículos Terrestres Autônomos – Computação Brasil – Revista da Sociedade brasileira de Computação – n24, p137 – p145 – 01/2014.

⁶Pissardini, R. S.; Wei, D. C. M.; Fonseca Júnior, E. S. Veículos Autônomos: Conceitos, Histórico e Estado-da-arte - Departamento de Engenharia de Transportes, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2013.

⁷Fernandes, L. C.; Souza, J. R.; Pessin, G.; Shinzato, P. Y.; *et al.* *CaRINA Intelligent Robotic Car: Architectural design and applications - Journal of Systems Architecture JSA* – 60, 2014.

⁸Lari, A.; Douma, F.; Onyiah, I. Self-Driving Vehicles: *Current Status of Autonomous Vehicle Development and Minnesota Policy Implications. Preliminary White Paper - Minnesota Journal of Law, Science & Technology*, 2014.

⁹Heutger, M. *Self-Driving Vehicles in Logistics: A DHL perspective on implications and use cases for the logistics industry - DHL Customer Solutions & Innovation*, 2014.

¹⁰Dokic, J.; Müller, B.; Meyer, G. *European Roadmap Smart Systems for Automated Driving – EpoSS*, **2015**.

¹¹Araujo, L.; Mason, K.; Spring, M. *Self-driving cars - A case study in making new markets. Lancaster University*, **2012**.

¹²Martínez-Barberá, H.; Herrero-Pérez, D. *Multilayer distributed intelligent control of an autonomous car. Transportation Research Part C*, 39 p94–112, **2014**.

¹³Mujica, F. *Scalable electronics driving autonomous vehicle technologies – Texas Instruments*, **2014**.

¹⁴Couto, L. N. Sistema para localização robótica de veículos autônomos baseado em visão computacional por pontos de referência. Instituto de Ciências Matemáticas e Computação – ICMC-USP, **2012**.

¹⁵Guizzo, E. *How Google's self-driving car works. IEEE Spectrum*, **2011**.

¹⁶Hudda, R.; Kelly, C.; Long, G.; Luo, J.; Pandit, A.; Phillips, D.; Sheet, L.; Sidhu, I. *Self Driving Cars, College of Engineering - University of California, Berkeley*, **2013**.

¹⁷*Driverless Car*. Disponível em: <<http://www.driverlesscar.com>>. Acesso em: 30 de maio de 2015.

¹⁸*Velodyne Lidar*. Disponível em: <<http://www.velodynelidar.com>>. Acesso em: 30 de maio de 2015.

¹⁹Delphi. Disponível em: <<http://www.delphi.com>>. Acesso em: 30 de maio de 2015.

²⁰Continental. Disponível em: <<http://www.conti-online.com>>. Acesso em: 30 de maio de 2015.

²¹Knights, W. *Driverless Cars are Further Away Than You Think - MIT Technology Review* **2013**.