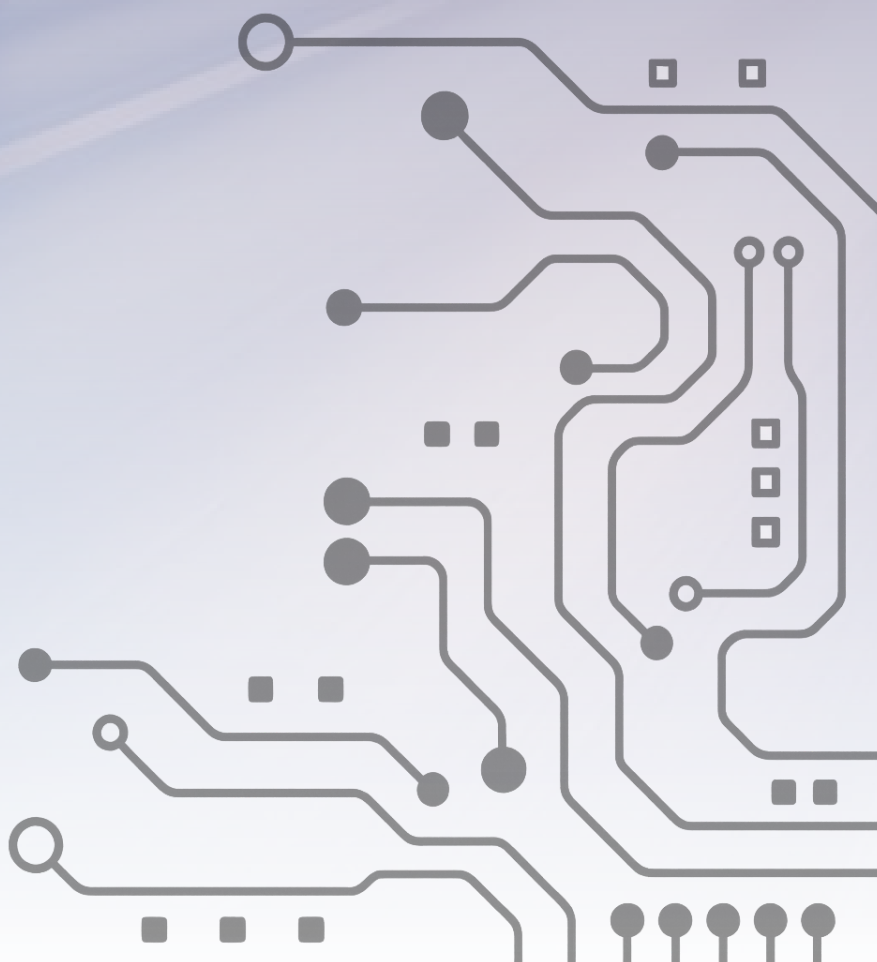


2025

INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL E CONECTIVIDADE EM SISTEMAS AUTOMOTIVOS CONTEMPORÂNEOS

WHITE PAPER



Este white paper explora como a convergência entre Inteligência Artificial (IA) e conectividade digital está transformando a indústria automotiva. Os principais pontos abordados incluem:

- Veículos Autônomos: Uso de sensores avançados (LiDAR, radar, câmeras) e algoritmos de IA para navegação segura e tomada de decisão em tempo real.
- Sistemas Avançados de Segurança (ADAS): Redução significativa de acidentes por meio de frenagem autônoma, alertas inteligentes e fusão de sensores.
- Arquiteturas Eletrônicas/Elétricas Conectadas: Integração de software, atualizações OTA e conectividade robusta para garantir eficiência e segurança contínuas.
- Novas Tecnologias Veiculares: Aplicação de big data, testes virtuais e materiais leves para otimização de desempenho e sustentabilidade.
- Experiência de Condução Aprimorada: Personalização via aprendizado de máquina integrando com cidades inteligentes e assistentes virtuais.
- Manutenção Preditiva: Diagnósticos avançados baseados em IA e big data para prever falhas e reduzir custos.
- Otimização de Motores e Redução de Emissões: Ajustes dinâmicos e monitoramento embarcado para atender padrões ambientais rigorosos.
- Veículos Definidos por Software (SDV): Arquiteturas modulares que permitem atualizações contínuas e integração rápida de novas funcionalidades.

Essas tecnologias voltadas a conectividade não apenas aumentam a segurança, eficiência e sustentabilidade, mas também redefinem a experiência do usuário e a mobilidade urbana, preparando o setor para um futuro conectado e autônomo.

Boa leitura!





SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	3
VEÍCULOS AUTÔNOMOS.....	4
SISTEMAS AVANÇADOS DE SEGURANÇA.....	5
ARQUITETURAS ELETRÔNICAS/ELÉTRICAS CONECTADAS.....	6
DESENVOLVIMENTO DE NOVAS TECNOLOGIAS VEICULARES.....	8
EXPERIÊNCIA DE CONDUÇÃO APRIMORADA.....	9
MANUTENÇÃO PREDITIVA E DIAGNÓSTICOS AVANÇADOS.....	10
OTIMIZAÇÃO DE MOTORES, EFICIÊNCIA E REDUÇÃO DE EMISSÕES....	11
VEÍCULOS DEFINIDOS POR SOFTWARE.....	12
CONCLUSÃO	14

INTRODUÇÃO

Os avanços recentes em conectividade digital e inteligência artificial impulsionaram progressos significativos nos sistemas automotivos. Os veículos modernos deixaram de ser simples estruturas mecânicas; eles evoluíram para sistemas complexos que integram algoritmos de software avançados, redes robustas de sensores, comunicação de dados em tempo real e unidades de processamento analítico.

Este artigo tem como objetivo explicar o conjunto de tecnologias presentes no cenário automotivo atual e fornecer exemplos de como essas inovações estão sendo aplicadas na prática.

No centro desses sistemas modernos está a implementação da inteligência artificial, que atua como a espinha dorsal de funções como manutenção preditiva e navegação autônoma. Por exemplo, os veículos atuais empregam rotineiramente modelos de aprendizado de máquina para processar sinais de sensores obtidos de câmeras de alta resolução, unidades de radar e sistemas LiDAR.

Paralelamente, os avanços em conectividade digital estão permitindo comunicações veículo-a-veículo (V2V) e veículo-a-infraestrutura (V2I) por meio de protocolos V2X (Vehicle-to-Everything).

Esses frameworks de comunicação facilitam a troca de dados operacionais, que podem alimentar algoritmos de gerenciamento de tráfego, sistemas de detecção de riscos e protocolos de rotas dinâmicas.

As arquiteturas elétricas automotivas também se tornaram mais sofisticadas, apresentando unidades de controle em rede e sistemas embarcados que suportam atualizações de software over-the-air (OTA). Essa capacidade é fundamental para manter a integridade dos sistemas e garantir conformidade com padrões de desempenho e requisitos regulatórios em constante evolução. Atualizações regulares de software, como as dos módulos de infotainment e segurança, ressaltam a capacidade do sistema de se adaptar a novos parâmetros operacionais sem necessidade de intervenções de hardware.

Além disso, a integração de tecnologias avançadas de sensores e sistemas de controle melhorou significativamente a dinâmica veicular e a experiência de condução. O monitoramento contínuo das condições ambientais e das ações do condutor facilita a operação de sistemas de controle adaptativo, como o controle de cruzeiro adaptativo e a assistência de manutenção em faixa.

IA E CONECTIVIDADE NO SETOR AUTOMOTIVO

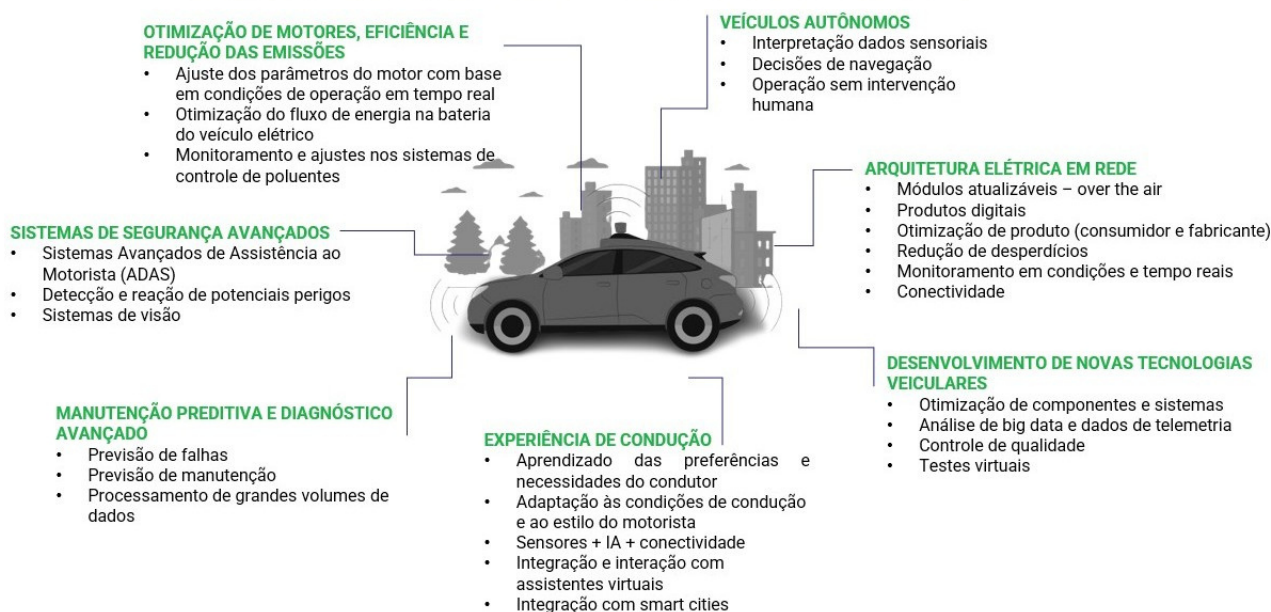


Figura 1. Roteiro de IA e Conectividade do Grupo de Tendências Tecnológicas da AEA [Autor]

VEÍCULOS AUTÔNOMOS

Os veículos autônomos (AVs) representam um avanço tecnológico significativo na indústria automotiva, redefinindo de forma profunda a operação veicular por meio da integração de conjuntos sofisticados de sensores e inteligência artificial. Pesquisas contemporâneas demonstram que o núcleo da funcionalidade dos AVs reside na capacidade de interpretar dados sensoriais com precisão e em tempo real.

Veículos modernos são equipados com uma variedade de sensores, incluindo LiDAR, radar e câmeras de alta resolução, todos projetados para capturar dados detalhados sobre o ambiente ao redor do veículo. De acordo com D. J. Yeong et al. [1], esses sensores são essenciais para gerar um mapa ambiental abrangente que algoritmos avançados podem analisar para detectar obstáculos e antecipar potenciais perigos. Esse processo não apenas aprimora a consciência situacional do veículo, mas também forma a base sobre a qual a navegação autônoma é construída.

SAE Level 0	SAE Level 1	SAE Level 2	SAE Level 3	SAE Level 4	SAE Level 5
NO AUTOMATION	DRIVER ASSISTANCE	PARTIAL AUTOMATION	CONDITIONAL AUTOMATION	HIGH AUTOMATION	FULL AUTOMATION
The human driver performs all driving aspects of driving tasks, e.g., steering, acceleration, etc.	The vehicle features a single automated system for driver assistance, such as steering or acceleration/deceleration and with the anticipation that the human driver performs all remaining aspects of the driving tasks.	ADAS. The vehicle can perform steering and acceleration/deceleration. However, the human driver is required to monitor the driving environment and can take control at any time.	The vehicle can detect obstacles in the driving environment and can perform most driving tasks. Though, human override is still required.	The vehicle can perform all aspects of the dynamic driving task under specific scenarios. Geofencing is required. Human override is still an option.	The vehicle performs all driving tasks under all conditions and scenarios without human intervention.
The human drivers monitor the driving environment			The automated system monitors the driving environment		

Figura 2. Níveis SAE de automação de direção [1]

Um aspecto fundamental da tecnologia de veículos autônomos é a tradução dos dados sensoriais em decisões eficazes de navegação. A integração entre dados de sensores e inteligência artificial permite que esses veículos determinem continuamente rotas ideais e se ajustem dinamicamente às mudanças nas condições da via.

Como destacado por Malik et al. [2], o uso de modelos de aprendizado de máquina permite que sistemas autônomos processem grandes

volumes de dados em tempo real, viabilizando uma tomada de decisão rápida – indispensável para uma navegação segura. Esses algoritmos de navegação, apresentados na Figura 3, consideram múltiplos fatores, como densidade de tráfego, movimentação de pedestres e riscos viários causados por condições climáticas. Assim, a lógica operacional do veículo se alinha de forma mais precisa às exigências do mundo real.

Desse modo, a resposta do veículo a padrões dinâmicos de tráfego e alterações ambientais torna-se mais confiável, demonstrando uma clara vantagem em relação aos sistemas tradicionais conduzidos por humanos.

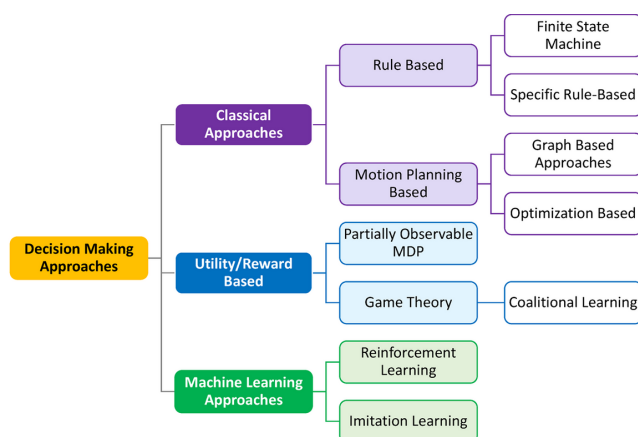


Figura 3. Abordagens de tomada de decisão em veículos autônomos [2]

O objetivo final do desenvolvimento de veículos autônomos é alcançar a operação sem intervenção humana. Ao combinar redes robustas de sensores com processamento inteligente de dados, os AVs estão cada vez mais capazes de executar tarefas de condução de forma independente.

Embora operações totalmente autônomas ainda estejam em desenvolvimento em vários mercados, as primeiras implementações têm apresentado resultados promissores. Por exemplo, testes experimentais demonstraram que veículos equipados com conjuntos completos de sensores e sistemas adaptativos de navegação

podem operar de maneira segura e eficiente em ambientes controlados (M. Ogunsina et al. [4]).

A promessa dos veículos totalmente autônomos vai além da melhoria de segurança e eficiência — ela envolve também a redefinição da mobilidade pessoal e pública. Essa evolução contínua sugere que a transição da direção assistida para a condução completamente autônoma é viável, desde que desafios relacionados a regulamentação e cibersegurança sejam

adequadamente enfrentados.

Em conclusão, a integração de instrumentos sensoriais avançados, inteligência artificial e algoritmos dinâmicos de navegação é essencial para o progresso dos veículos autônomos. À medida que líderes da indústria continuam a aprimorar essas tecnologias, a busca por operações totalmente seguras, confiáveis e sem motorista permanece no centro da inovação automotiva.

SISTEMAS AVANÇADOS DE SEGURANÇA

Os sistemas avançados de segurança são um pilar fundamental da inovação automotiva moderna, projetados para aprimorar a proteção de motoristas e passageiros por meio de estratégias tanto proativas quanto reativas. No centro desses sistemas estão os Sistemas Avançados de Assistência ao Condutor (ADAS), que integram uma variedade de tecnologias, incluindo controle de cruzeiro adaptativo, assistência de permanência em faixa e frenagem automática de emergência.

Os ADAS funcionam por meio da fusão de dados provenientes de múltiplos sensores — como radar, câmeras e dispositivos ultrassônicos — para monitorar continuamente o ambiente ao redor do veículo. Essa integração de dados sensoriais permite que o sistema alerte o motorista sobre perigos emergentes e, em situações críticas, inicie autonomamente ações corretivas para evitar possíveis colisões. Cicchino [3] observa que o alerta de colisão frontal (FCW) reduziu em 27% as taxas de colisões traseiras e em 20% as taxas de acidentes com lesão; a frenagem autônoma de emergência (AEB) em baixa velocidade reduziu em 43% as colisões traseiras e em 45% as colisões com lesão; e a combinação de FCW com AEB reduziu em 50% as colisões traseiras e em 56% as colisões com lesão — destacando o valor de incorporar redes avançadas de sensores no uso diário.

Complementando as funções centrais dos ADAS está a capacidade dos sistemas modernos de segurança de detectar e reagir a perigos em tempo real. Segundo Ogunsina [4], pesquisas recentes passaram de simplesmente alertar o motorista para permitir respostas automáticas rápidas impulsionadas por algoritmos de tomada de decisão em alta velocidade. Esses algoritmos são projetados para processar entradas em tempo real de câmeras e outros dispositivos de detecção, facilitando respostas imediatas como frenagem direcionada ou manobras evasivas. A evolução desses sistemas reativos é essencial em cenários nos quais o tempo de resposta humano pode ser insuficiente, reduzindo assim a probabilidade de colisões graves.

Outro componente vital dos sistemas avançados de segurança é o desenvolvimento de sistemas de visão de última geração. Pesquisas atuais enfatizam que câmeras de alta resolução e tecnologias avançadas de imagem não apenas capturam uma visão detalhada do entorno do veículo, mas também aumentam a precisão da detecção de riscos quando combinadas com técnicas de fusão de sensores. A fusão de sensores, que combina dados de fontes independentes para criar uma compreensão abrangente do ambiente de condução, demonstrou melhorar significativamente

reconhecimento de objetos e a consciência situacional. De acordo com Ogunsina [4], sistemas que utilizam fusão de sensores apresentaram uma melhoria notável na identificação de ameaças potenciais sob condições variáveis de iluminação e clima, um avanço significativo em relação à dependência anterior de dados de fonte única.

Em resumo, os sistemas avançados de segurança que combinam ADAS, detecção rápida de riscos e capacidades aprimoradas de visão estão transformando o cenário automotivo ao reduzir significativamente os riscos de acidentes e melhorar a segurança geral nas estradas. A convergência dessas tecnologias não apenas aborda preocupações tradicionais de segurança, mas também prepara a indústria para operações autônomas mais sofisticadas no futuro.

ARQUITETURAS ELETRÔNICAS/ELÉTRICAS CONECTADAS

As Arquiteturas Eletrônicas/Elétricas (E/E) Conectadas representam um elemento fundamental na transformação digital dos veículos modernos, onde a integração de sistemas avançados de software e hardware é essencial para alcançar desempenho ideal e conectividade aprimorada. À medida que os veículos evoluem de estruturas mecânicas tradicionais para plataformas digitais altamente integradas, a demanda por arquiteturas elétricas flexíveis e adaptáveis tem crescido significativamente.

Os desenvolvimentos recentes em arquiteturas elétricas/eletrônicas (E/E) têm se concentrado na integração de múltiplas funções de controle automotivo em sistemas consolidados, ao mesmo tempo em que lidam com o aumento da complexidade das topologias eletrônicas dos veículos. Um roteiro amplamente documentado descreve uma progressão por seis estágios principais: modular, integração, centralização, fusão, computador veicular e computação em nuvem veicular. Engenheiros têm discutido mudanças necessárias no design de redes, segurança e proteção, com alguns refinando ainda mais o modelo ao incorporar abordagens orientadas por zonas. Revisões de tecnologias de rede veicular — como LIN, CAN, FlexRay, Ethernet e MOST — destacam tanto os avanços quanto os

desafios na evolução dessas topologias, além de explorarem métodos avançados de modelagem e design para apoiar implementações futuras.

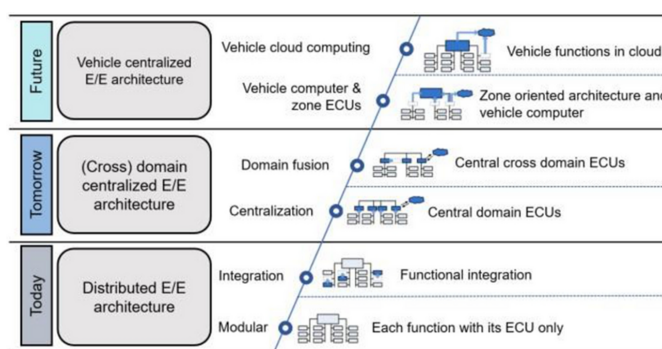


Figura 4. Evolução da arquitetura E/E [7]

A convergência entre atualizações over-the-air (OTA), integração de produtos digitais e conectividade aprimorada de sistemas forma a espinha dorsal dessa evolução, permitindo que os veículos se mantenham responsivos, seguros e eficientes em um cenário tecnológico em rápida transformação [7] (Rambus).

As atualizações over-the-air surgiram como uma inovação crítica na indústria automotiva. Essa tecnologia permite que os veículos recebam remotamente patches de software, melhorias de desempenho e atualizações de segurança sem exigir intervenção física em centros de serviço. Módulos OTA não apenas facilitam manutenção oportuna e correção de falhas, mas também

suportam a evolução contínua dos sistemas, garantindo que os veículos possam se adaptar a novas aplicações e normas regulatórias ao longo de seu ciclo de vida. Estudos recentes destacam que a implementação de atualizações OTA pode reduzir significativamente o tempo de inatividade e os custos de manutenção, contribuindo, assim, para a eficiência operacional dos veículos [5].

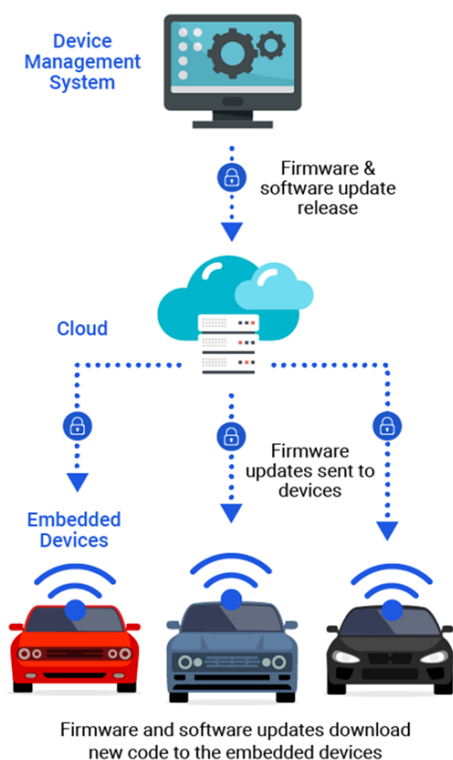


Figura 5. Esquema de atualizações OTA [9]

Em conjunto com as atualizações OTA, a integração de produtos digitais nos veículos desempenha um papel fundamental na modernização dos sistemas automotivos. A integração digital promove a otimização do produto ao simplificar funções do veículo e oferecer monitoramento de desempenho em tempo real. Essa integração beneficia tanto consumidores quanto fabricantes, ao permitir diagnósticos mais eficientes, reduzir desperdícios

e possibilitar estratégias adaptativas de gerenciamento do veículo. Por exemplo, painéis digitais e sistemas de infotainment conectados não apenas melhoram a experiência de condução, mas também fornecem dados essenciais que podem ser usados para ajustar o desempenho do motor e aprimorar a gestão de energia.

A conectividade aprimorada é outro pilar das Arquiteturas Avançadas (E/E). A comunicação entre subsistemas distintos do veículo — desde ferramentas de navegação e sistemas de infotainment até módulos avançados de segurança — é indispensável para garantir desempenho integrado e diagnósticos eficazes. As soluções modernas de conectividade garantem que os dados fluam sem obstruções entre sensores, unidades de controle e redes externas. Essa interconectividade apoia a consciência situacional em tempo real e facilita estratégias de manutenção preditiva, pois permite o monitoramento contínuo do desempenho dos sistemas.

As Arquiteturas Avançadas (E/E) representam uma abordagem transformadora no setor automotivo. Ao possibilitar atualizações remotas de software, promover inovação digital e garantir conectividade robusta entre os sistemas do veículo, essas arquiteturas são essenciais para alcançar os objetivos de eficiência e resiliência no design automotivo moderno.

Pesquisas futuras devem focar no aprimoramento da segurança dos sistemas OTA, na otimização da integração de produtos digitais e na exploração de protocolos avançados de conectividade para apoiar a próxima geração de tecnologias automotivas.

DESENVOLVIMENTO DE NOVAS TECNOLOGIAS VEICULARES

A inovação no setor automotivo é cada vez mais impulsionada por avanços tecnológicos contínuos que não apenas aprimoram o desempenho dos veículos, mas também promovem sustentabilidade e eficiência. Fabricantes e engenheiros estão direcionando seu foco para a otimização de componentes e sistemas veiculares, utilizando análise de big data e adotando metodologias de testes virtuais para aperfeiçoar projetos e protocolos operacionais. Esses esforços visam criar peças mais leves e eficientes, que funcionem de maneira sinérgica e contribuam para a redução do consumo total de energia.

Desenvolvimentos recentes destacam que a otimização de componentes e sistemas é uma área crítica em que melhorias incrementais se somam para gerar avanços significativos de desempenho. Conforme observado por Zhang e Xu [7], engenheiros têm empregado cada vez mais materiais avançados e técnicas de design para reduzir o peso dos componentes sem comprometer a integridade estrutural. Esse processo de otimização vai além de peças individuais e inclui a integração de sistemas, onde a compatibilidade e a interatividade entre componentes desempenham um papel decisivo. O desenvolvimento de redes interconectadas de sensores e algoritmos inteligentes de controle garante ainda que cada componente opere em conjunto com os demais, maximizando a eficiência geral do sistema.

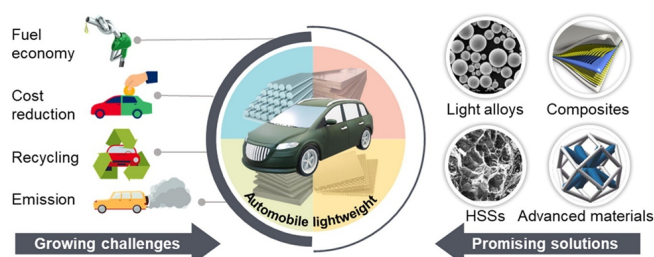


Figura 6: Cenário de alívio de peso automotivo [7]

Simultaneamente, a indústria automotiva está presenciando uma revolução dos dados, uma vez que veículos modernos geram quantidades massivas de telemetria, cobrindo diversos aspectos como desempenho do motor, eficiência de combustível e comportamento do motorista. Pesquisadores como Plantec et al. [8] demonstraram que a análise de big data pode revelar padrões ocultos que são cruciais para melhorar o controle de qualidade e a confiabilidade operacional. Ao analisar grandes conjuntos de dados, engenheiros podem identificar tendências que orientam o projeto de novos componentes, prever necessidades de manutenção e otimizar o desempenho em diferentes cenários de condução. Essa abordagem orientada por dados não apenas acelera o ciclo de inovação, mas também aprimora os processos de tomada de decisão ao longo de todo o ciclo de vida do produto.

Os testes virtuais e o controle de qualidade emergiram como ferramentas indispensáveis nesse cenário de desenvolvimento. Métodos de testes virtuais permitem que fabricantes simulem condições reais de operação em um ambiente digital controlado, prevendo o desempenho do veículo sob uma variedade de fatores de estresse. Tais simulações facilitam a prototipagem rápida e melhorias iterativas de design, minimizando a necessidade de testes físicos custosos. Conforme relatado por Schmidt et al. [9], os testes virtuais têm melhorado significativamente a precisão das medidas de controle de qualidade, resultando em maior confiabilidade e segurança dos produtos. Além disso, esses métodos permitem a avaliação contínua das interações entre componentes em condições dinâmicas, garantindo que os veículos estejam melhor preparados para enfrentar desafios operacionais diversos antes de chegar ao mercado.

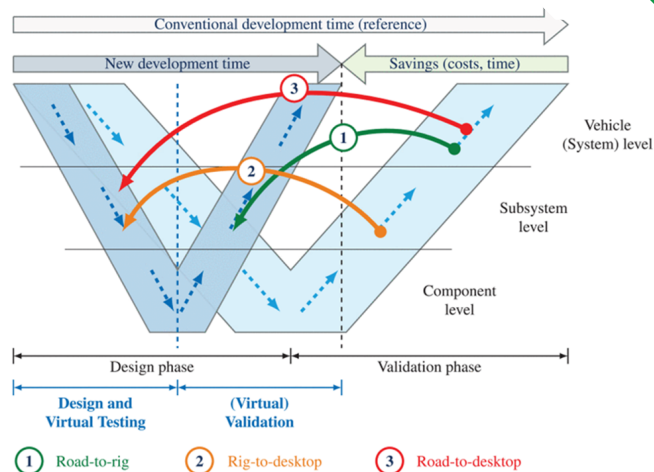


Figura 7: Tempo de desenvolvimento com testes virtuais [9]

EXPERIÊNCIA DE CONDUÇÃO APRIMORADA

A experiência de condução está passando por uma transformação significativa à medida que veículos modernos integram, de forma crescente, tecnologias personalizadas e responsivas que se adaptam tanto ao motorista quanto ao ambiente. A literatura acadêmica e estudos de campo recentes documentam que a incorporação de sistemas digitais avançados nos veículos está remodelando os paradigmas tradicionais de condução, aumentando assim o conforto e a segurança do ambiente de direção [10].

Um aspecto fundamental dessa evolução é a capacidade dos veículos de aprender as preferências do motorista. Sistemas contemporâneos utilizam algoritmos de aprendizado de máquina para analisar dados de uso coletados ao longo do tempo, permitindo ajustes automáticos em diversas configurações do veículo, incluindo posição do banco, controle climático e até preferências de rota personalizadas. Essa personalização não apenas adapta o ambiente de condução às necessidades individuais, mas também aumenta a satisfação e a segurança geral do motorista. Veículos que se ajustam aos hábitos específicos do condutor demonstram uma redução na carga cognitiva e maior engajamento, contribuindo para uma experiência de direção mais intuitiva.

Além de aprender as preferências do motorista,

veículos modernos empregam sensores avançados que monitoram continuamente as condições externas da via. Esses sistemas são capazes de adaptar dinamicamente o desempenho do veículo para garantir segurança e conforto ideais. Por exemplo, ajustes em tempo real na pressão dos pneus e nas configurações da suspensão têm demonstrado mitigar os efeitos adversos de superfícies irregulares e condições climáticas variáveis. Pesquisadores como Soliman e Kaldas [11] enfatizam que esses mecanismos adaptativos são essenciais para manter a estabilidade e o desempenho em diversas circunstâncias de condução. A integração desses sistemas responsivos não apenas melhora a confiabilidade do veículo, mas também reduz significativamente os riscos ao abordar preventivamente potenciais perigos.

Outro avanço importante na melhoria da experiência de condução é a integração dos veículos com assistentes virtuais e infraestrutura de cidades inteligentes. Veículos modernos agora são elementos-chave em um ecossistema digital mais amplo, capazes de interagir com a infraestrutura urbana para fornecer aos motoristas informações em tempo real sobre tráfego, disponibilidade de estacionamento e outros serviços baseados em localização. Essa conectividade expande a funcionalidade do veículo para além dos limites tradicionais,

permitindo comunicação fluida com assistentes virtuais e oferecendo uma experiência de usuário mais interativa e envolvente. Veículos conectados a estruturas de cidades inteligentes estão

posicionados para se beneficiar de otimização de rotas e maior consciência situacional, contribuindo tanto para a eficiência quanto para a mobilidade urbana.

MANUTENÇÃO PREDITIVA E DIAGNÓSTICOS AVANÇADOS

A manutenção preditiva e os diagnósticos avançados representam uma evolução crucial na indústria automotiva, aprimorando de forma significativa a confiabilidade e o desempenho dos veículos. Esta seção apresenta uma visão geral de como o uso de big data e inteligência artificial (IA) em tempo real pode prever falhas antes que elas evoluam para problemas críticos. Estudos recentes demonstram que, ao analisar continuamente os dados de sensores provenientes de vários sistemas do veículo, algoritmos de previsão de falhas podem identificar sinais iniciais de deterioração de componentes, permitindo intervenções oportunas [12]. Esse modelo proativo minimiza o tempo de inatividade do veículo e prolonga a vida útil de componentes essenciais, evitando que pequenos problemas se transformem em falhas catastróficas.

Os sistemas modernos de diagnóstico agora são capazes de processar grandes quantidades de dados operacionais quase instantaneamente, graças aos avanços em computação baseada em nuvem e análise de big data. Plataformas de tratamento de dados facilitam a rápida identificação de anomalias ao aproveitar capacidades de processamento de alto volume. Essa abordagem não apenas aumenta a precisão do monitoramento, mas também garante que os veículos permaneçam atualizados com as mais recentes informações diagnósticas. O fluxo contínuo de dados permite que os algoritmos de manutenção ajustem suas previsões dinamicamente com base no desempenho do veículo em tempo real, aprimorando a precisão geral da previsão de falhas e reduzindo a probabilidade de quebras inesperadas.

Outro aspecto fundamental da manutenção preditiva é a implementação de alertas de manutenção. Sistemas contemporâneos são projetados para gerar notificações oportunas tanto para motoristas quanto para centros de serviço, garantindo que a manutenção seja realizada em intervalos ideais. Esses alertas, acionados por desvios em relação aos parâmetros de desempenho estabelecidos, auxiliam na programação de reparos e procedimentos de serviço antes que problemas menores evoluam para falhas maiores. Intervenções oportunas contribuem diretamente para a redução dos custos de reparo de longo prazo e para a melhoria da segurança veicular, uma vez que diminuem a probabilidade de falhas em operação que possam comprometer a segurança do motorista.

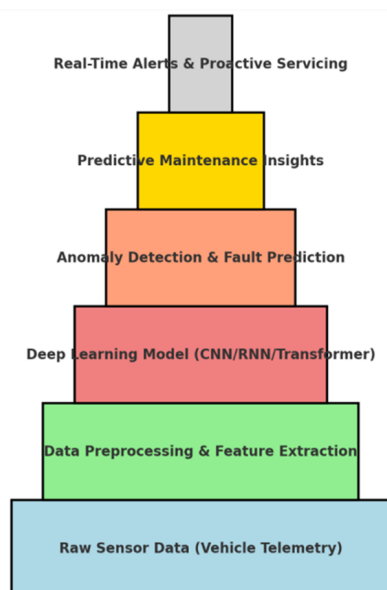


Figura 8: Estrutura de Deep Learning para Diagnóstico Preditivo da Saúde do Veículo [16]

OTIMIZAÇÃO DE MOTORES, EFICIÊNCIA E REDUÇÃO DE EMISSÕES

Garantir que os veículos operem de forma eficiente é fundamental não apenas para melhorar o desempenho, mas também para mitigar impactos ambientais. Os avanços nas tecnologias de otimização de motores têm permitido adaptações em tempo real às condições operacionais, melhor distribuição de energia em veículos elétricos e controle eficaz de poluentes. Esta seção apresenta uma visão abrangente dos métodos mais avançados empregados no ajuste de parâmetros do motor, na otimização do fluxo de energia da bateria e na redução de emissões, além de uma análise de suas implicações tanto no desempenho quanto na sustentabilidade ambiental.

O mercado atual, os consumidores e as legislações destacam a importância do ajuste em tempo real dos parâmetros do motor para otimizar o desempenho do veículo sob diferentes condições de condução. Sensores distribuídos por todo o sistema do motor monitoram continuamente parâmetros-chave, como temperatura, pressão e velocidade de rotação, permitindo ajustes dinâmicos que garantem eficiência ideal de combustão e entrega de torque. Por exemplo, sistemas adaptativos de controle do motor utilizam loops de feedback que modificam a mistura ar-combustível e o tempo de ignição em tempo real, resultando em maior eficiência de combustível e redução de emissões nocivas do escapamento.

No contexto de veículos elétricos (EVs), a otimização do fluxo de energia da bateria tornou-se uma tecnologia essencial. EVs dependem de algoritmos sofisticados para gerenciar a distribuição de energia proveniente da bateria, equilibrando a necessidade de potência imediata com o objetivo de longo prazo de estender a autonomia. Esses algoritmos analisam dados de telemetria em tempo real, ajustando a saída de

energia para acomodar diferentes cenários de condução – desde aceleração rápida até cruzeiro constante. Li e Zhao [13] mostram evidências de que sistemas otimizados de gerenciamento de bateria não apenas melhoram a eficiência geral do veículo, mas também reduzem a degradação da bateria, oferecendo suporte ao desempenho e à durabilidade ao longo do ciclo de vida do veículo.

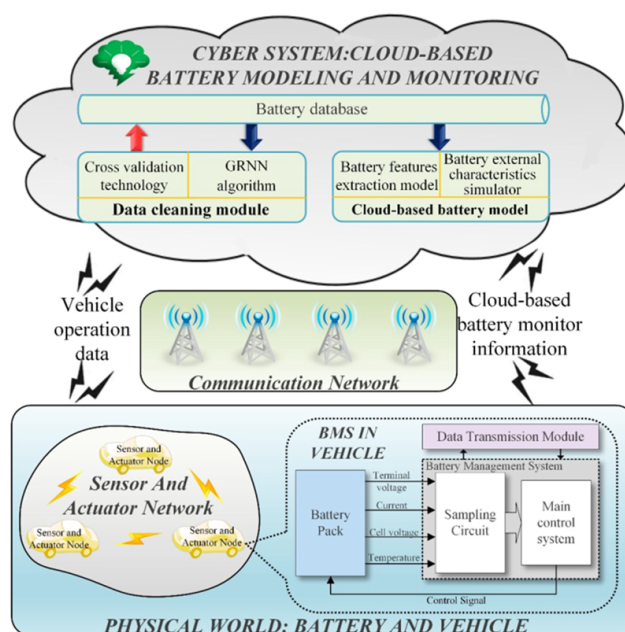


Figura 9: Estrutura do sistema ciberfísico de gerenciamento de bateria [13]

O controle de poluentes e a redução de emissões continuam centrais no desenvolvimento de novas tecnologias veiculares, especialmente com regulamentações ambientais cada vez mais rígidas. Veículos modernos empregam sistemas de monitoramento contínuo que ajustam dinamicamente as operações dos sistemas de escapamento e controle de emissões. Esses sistemas integram dados de múltiplos sensores para ajustar, em tempo real, as funções do conversor catalítico e os filtros de partículas, garantindo que as emissões permaneçam dentro dos limites legais enquanto preservam o desempenho do motor. Além disso, avanços no Monitoramento Embarcado (OBM) expandiram o

escopo do monitoramento para além do controle de emissões, passando a incluir parâmetros operacionais mais amplos do veículo [14].



Figura 10: Intenção do conceito OBM [15]

O Monitoramento Embarcado (OBM) assegura que os veículos mantenham emissões ultrabaixas durante operações em condições reais. Essa iniciativa exige o monitoramento remoto e em

tempo real das emissões do escapamento para múltiplos poluentes, comparando-as com os limites legais definidos. Esse sistema requer a integração de sensores e modelos preditivos que colem dados em tempo real tanto das emissões quanto das condições operacionais do motor e dos sistemas de pós-tratamento de gases. Essa coleta abrangente de dados é crucial para análises posteriores que garantem conformidade contínua. Isso representa uma mudança significativa nas responsabilidades regulatórias dos fabricantes (OEMs), passando da demonstração de conformidade em testes padronizados para a manutenção da conformidade em condições reais, independentemente de variáveis ambientais e operacionais [15].

No geral, esses avanços nas tecnologias OBM visam aumentar a responsabilidade ambiental dos veículos ao garantir que eles atendam continuamente a padrões rigorosos de emissões, contribuindo assim para tecnologias automotivas mais sustentáveis.

VEÍCULOS DEFINIDOS POR SOFTWARE

O conceito de Veículos Definidos por Software (Software-Defined Vehicles – SDVs) representa uma mudança de paradigma em relação aos sistemas tradicionais dominados por hardware, avançando para arquiteturas centradas em software que enfatizam modularidade, capacidade de atualização e funcionalidade dinâmica. Em uma estrutura SDV, o veículo é concebido como uma plataforma multinível que integra engenharia de trem de força e chassi, sistemas elétricos/eletrônicos, software e componentes orientados a serviços. Essa abordagem integrada aproveita tanto a confiabilidade de projetos mecânicos comprovados quanto a flexibilidade do software moderno, promovendo um sistema capaz de evoluir ao longo de seu ciclo de vida [16].

Uma característica fundamental dos SDVs é sua arquitetura em múltiplas camadas. T. S. Madhuri [16] demonstra como esse design permite a separação dos sistemas mecânicos essenciais das camadas digitais de software, promovendo um framework modular no qual cada componente pode ser atualizado ou otimizado de forma independente. Por exemplo, enquanto o trem de força e o chassi permanecem robustos e estáveis, os sistemas elétricos e as camadas de software podem ser continuamente aprimorados por meio de atualizações over-the-air e outras intervenções digitais. Essa configuração não apenas aprimora o desempenho do veículo, mas também simplifica a manutenção e facilita a integração rápida de novos avanços tecnológicos.

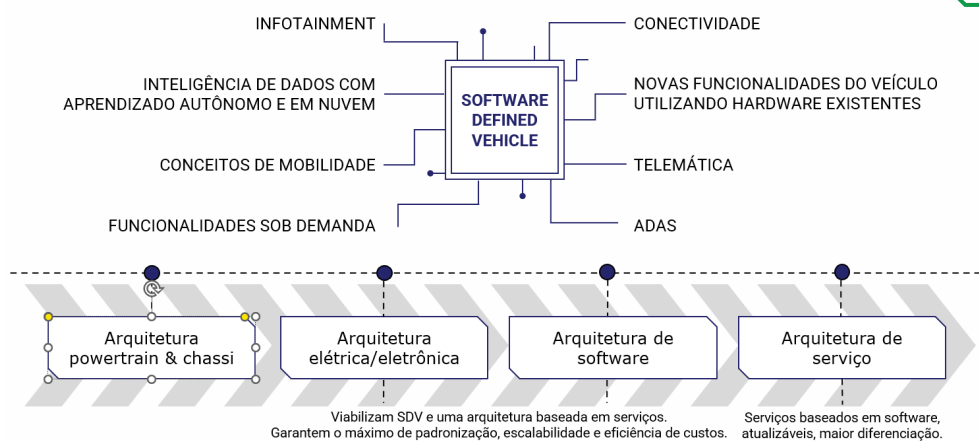


Figura 11. Veículos Definidos por Software [Autor]

A eficiência de custos e a padronização são outras vantagens significativas desse framework definido por serviços. A mudança para uma plataforma de software padronizada permite aos fabricantes reduzir custos de produção e simplificar protocolos de manutenção. A padronização não apenas facilita a integração de novos serviços e funcionalidades, mas também

promove interoperabilidade entre diferentes modelos de veículos e linhas de produção. Esse nível de eficiência é essencial para a sustentabilidade a longo prazo, permitindo que fabricantes respondam rapidamente às demandas de mercado e às mudanças regulatórias enquanto minimizam os custos ao longo do ciclo de vida [17].



CONCLUSÃO

A indústria automotiva está em uma fase de transformação acelerada, impulsionada pela integração de IA, conectividade e arquiteturas digitais. A evolução para veículos autônomos, sistemas de segurança inteligentes e plataformas definidas por software representa um salto estratégico rumo à mobilidade futura. As recentes evoluções nessa área incluem:

- A rápida evolução da IA tem viabilizado desde navegação autônoma até manutenção preditiva.
- A conectividade (V2X) e as atualizações OTA garantem que os veículos permaneçam seguros e atualizados.
- A combinação de big data, testes virtuais e integração digital acelera ciclos de desenvolvimento e reduz custos.
- A transição para SDVs promove escalabilidade, modularidade e interoperabilidade, essenciais para atender às demandas futuras.

O futuro da mobilidade será definido por sistemas inteligentes, conectados e sustentáveis. Fabricantes que adotarem essas tecnologias de forma estratégica estarão na vanguarda da inovação automotiva.



REFERÊNCIAS

- [1] D. J. Yeong, G. Velasco-Hernandez, J. Barry, and J. Walsh, "Sensor and sensor fusion technology in autonomous vehicles: A review," *Sensors*, vol. 21, p. 2140, 2021, doi: 10.3390/s21062140.
- [2] S. Malik, M. A. Khan, H. El-Sayed, J. Khan, and O. Ullah, "How do autonomous vehicles decide?," *Sensors*, vol. 23, p. 317, 2023, doi: 10.3390/s23010317.
- [3] J. B. Cicchino, "Effectiveness of forward collision warning and autonomous emergency braking systems in reducing front-to-rear crash rates," *Accid Anal Prev*, vol. 99, pt. A, pp. 142–152, 2017, doi: 10.1016/j.aap.2016.11.009.
- [4] M. Ogunsina, C. Efunniyi, O. Osundare, S. Folorunsho, and L. Akwawa, "Advanced sensor fusion and localization techniques for autonomous systems: A review and new approaches," *Int J Front Res Sci Technol*, vol. 2, pp. 51–60, 2024, doi: 10.56355/ijfret.2024.2.1.0022.
- [5] V. Vyasa and Z. Xu, "Maintenance in automotive and aerospace applications – An overview," *Int J Adv Sci Transact*, vol. 3, no. 2, pp. 349–361, 2024.
- [6] Rambus, "What is OTA in automotive? Over the air updates explained," Rambus Blog, 2024. [Online]. Available: <https://www.rambus.com/blogs/otaupdates-explained/>
- [7] W. Zhang and J. Xu, "Advanced lightweight materials for automobiles: A review," *Mater Des*, vol. 221, p. 110994, 2022.
- [8] Q. Plantec, et al., "Big data as an exploration trigger or problem-solving patch: Design and integration of AI-embedded systems in the automotive industry," *Technovation*, vol. 124, p. 102763, 2023. AEA – Brazilian Society of Automotive Engineering - SIMEA 2025 9
- [9] H. Schmidt, K. Büttner, and G. Prokop, "Methods for virtual validation of automotive powertrain systems in terms of vehicle drivability—A systematic literature review," *IEEE Access*, vol. 11, pp. 27043–27065, 2023.
- [10] H. Karacali, N. Donum, and E. Cebel, "AI-enhanced automotive navigation: Enriching driving experiences through intelligent contextual information delivery," *Eur J Res Dev*, vol. 4, no. 2, pp. 110–129, 2024.
- [11] M. A. Soliman and M. M. S. Kaldas, "Semi-active suspension systems from research to mass-market – A review," *J Low Freq Noise Vib Act Control*, vol. 40, no. 2, pp. 1005–1023, 2021.
- [12] L. Harris, "Telematics and big data: Revolutionizing fleet management in the automotive industry," 2024.
- [13] S. Li and P. Zhao, "Big data driven vehicle battery management method: A novel cyber-physical system perspective," *J Energy Storage*, vol. 33, p. 102064, 2021.
- [14] P. Götschl and K. Klumaier, "On-board monitoring (OBM) for EU7 – Challenges and possible approaches," *Int Motorenkongress*, pp. 195–207, Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2024.
- [15] V. Müller, et al., "On-board monitoring to meet upcoming EU-7 emission standards – Squaring the circle between effectiveness and robust realization," *Transp Eng*, vol. 10, p. 100138, 2022.
- [16] T. S. Madhuri and J. B. Vishnu, "Software-defined vehicles: The future of automobile industry," in *Proc. 17th Int. Conf. COMMunication Systems and NETWORKS (COMSNETS)*, IEEE, 2025.
- [17] A. Keskar, "Enhancing software-defined vehicles with service-oriented architecture: A framework for scalable and modular mobility solutions," 2025.