

# Relatório 01 – DARPA Challenge

Vinícius Obadowski

Julho 2025

## 1 Introdução

Este relatório apresenta breves comentários sobre quatro vídeos [?, ?, ?, ?] sobre tecnologia de carros autônomos, desde as primeiras competições promovidas pela agência americana de defesa, passando pelos modelos de luxo com direção semi-autônoma até os últimos avanços tecnológicos promovidos pela Tesla em busca de um veículo 100% autônomo.

## 2 Vídeos

### 2.1 DARPA Gran Challenge – 2005 Driverless Car Competition

O primeiro vídeo da série apontado [?] para este relatório é uma matéria de teor jornalístico que acompanhou a competição "Grand Challenge" entre carros autônomos (Driverless Car Competition) de 2005 promovida pelo DARPA (*Defense Advanced Research Projects Agency*, Agência para Projetos de Pesquisa Avançada para Defesa, em tradução livre, do governo norte-americano).

Neste vídeo, o jornalista descreveu os principais eventos da competição, explicando que a competição envolve uma travessia de 132 milhas (212 quilômetros aproximadamente) no deserto de Mojave, e que o trajeto definitivo só foi revelado às equipes qualificadas duas horas antes do início evento, para fins de lisura da competição.

A competição contou com 23 equipes, sendo os favoritos as equipes: "Red Team" com os veículos Highlander e Sandstorm; Stanford Racing Team com Stanley. Highlander pontuou um marco ao ser o primeiro veículo na história a cruzar a marcação de 8 milhas desde as primeiras competições.

O objetivo da competição é ser um grande desafio tecnológico ao demandar que os veículos cruzassem estradas estreitas, leitos de rios e lagos secos, nuvens de poeiras, três tuneis e o trecho sinuoso final "Beer Bottle Pass" próxima a marca de 123 milhas em que os veículos passam por um desfiladeiro.

Por grande parte do trajeto, um "azarão" (como nomeou o jornalista), o veículo Dexter da equipe Enco, dominou os tempos, porém devido não a uma falha de sensors ou de software, mas sim por causa de um pneu furado, foi eliminado da competição.

Ao fim da competição, o veículo Volkswagen Tourag, Stanley, da equipe de Stanford foi o primeiro colocado, seguido pelo Sandstorm e Highlander em segundo e terceiro lugares, respectivamente. Além deles, Cat 5 da equipe "Grey" e o Terramax também

concluíram o trajeto. Cabe, destaque especial ao Terramax, por ser um veículo de grande porte, indicando uma potencial aplicação militar mais direta considerando a agência patrocinadora do evento.

## **2.2 TED Talk - How a driverless car sees the road**

O segundo vídeo proposto [?] é uma TED Talk apresentado por Chris Urmson em 2015 sobre como carros autônomos veem a estrada. Este formato de palestra, TED Talk, é usualmente adotado como um meio de especialista apresentarem conceitos complexos para o grande público por meio de palestras de curta duração.

O palestrante apresenta uma contextualização acerca do carro, acidentes e vítimas decorrentes desses nos últimos anos (base de referência é 2015, ano da palestra). O palestrante também aborda o desperdício de capital humano com a perda de tempo com trânsito e deslocamento, os quais exigem 100% de atenção do motorista e impedem que quaisquer outras atividades sejam desempenhadas. Associando esses fatos às tendências de humanos tendem a confiar progressivamente mais em sistemas de auxílio à direção, reduzindo a confiança e atenção dos motoristas. Com base nos pontos elencados, o apresentador depreende que existe uma necessidade contínua de que os sistemas autônomos melhorem para não tornar a vida humana mais confortável, como também para substituir os erros humanos que custam vidas ao redor do mundo todo.

A partir deste ponto, Chris descreve a maneira pela qual um veículo autônomo observa o ambiente a seu redor, como ele faz a identificação de objetos e com base em todas essas informações, toda decisões de como operar em meio ao trânsito. O apresentador ainda explica que a medida em que os carros autônomos são integrados às cidades e ruas, o desafio tecnológico cresce sensivelmente, exigindo sistemas mais robustos, confiáveis e com maiores velocidades de processamento.

Ao final, o palestrante conclui que o progresso tecnológico tem permitido um otimismo quanto ao futuro do carro autônomo como solução para os diversos problemas não só de trânsito nas grandes cidades, mas como também um elemento mitigador de mortes acidentais decorrentes da imperícia, imprudência ou negligência humanas nas estradas. Apesar de tudo, o apresentador reforça que espera ver seus filhos não necessitando de carteira de motorista, em mundo em que o carro autônomo é a norma.

## **2.3 Audi A8 2018**

Distintamente dos vídeos anteriores, o terceiro vídeo [?] trás uma avaliação técnico-comercial do, a época, novo Audi A8 cujas especificações técnicas apontam para um veículo com capacidade de operação autônoma nível 3 (segundo narrador do vídeo). A avaliação feita conversa com os dois vídeos anteriores, em que no primeiro [?] uma competição de carros em um nível acadêmico buscava estabelecer as melhores tecnologias candidatas, dez anos mais tarde Chris Urmson [?] propõe a necessidade premente dos veículos autônomos como futuro e que ainda haveria um tempo até que eles estivessem disponíveis no mercado. A apresentação, três anos depois da TED Talk sobre carros autônomos, com um modelo comercial – ainda que de luxo – revela um progresso tecnológico sensível.

A avaliação técnica do vídeo dedica a primeira metade do vídeo a discutir a tecnologia embarcada no modelo A8, descrevendo centrais de processamento de dados, sensores, seus tipos e funções e como todos colaboram para as funções autônomas. O maior destaque é a capacidade de o Audi A8 operar independentemente, se assim seu motorista escolher, em situações de trânsito pesado cujo contexto é uma sequência de “andar e parar” onde o motorista arranca o veículo e logo em seguida para em função do trânsito, semáforos ou outras eventualidades. Além disso, o narrador destaca a capacidade que o modelo possui em identificar marcações visuais, como “guard-rails” e linhas tracejadas que denotam a separação entre pistas.

Como outra medida de facilidade, o Audi A8 também dispõe de um sistema de inteligência para estacionamento e manobras em garagem, reduzindo riscos de colisões ou manobras inadequadas em espaços usualmente limitados, caracterizados pela baixa acuidade visual dos motoristas nestes ambientes.

O narrador ainda ressalta que embora o modelo disponha do sistema de navegação autônoma, a legislação de cada país não era clara o suficiente para permitir ou não a adoção do sistema, nos casos em que os países proibiam ou limitavam o uso de tais tecnologias, o modelo vinha com os sistemas desabilitados.

## **2.4 Tesla supercomputer**

O quarto vídeo da série proposta [?] discute como a Tesla emprega supercomputadores para treinar sistemas de direção autônomos usando redes neurais como uma estratégia de mercado a fim de se tornar independente de empresas terceiras, como Google e Nvidia.

Ao longo do vídeo são apresentados detalhes técnicos do supercomputador Dojo e as principais vantagens de adotar tal sistema, incluindo a redução da dependência de hardware da Nvidia e de soluções da Google no desenvolvimento de veículos autônomos. O apresentador concentra-se em descrever como esses carros operam matematicamente, com destaque ao conceito de matrizes esparsas, e explica que os chips desenvolvidos pela Tesla são fisicamente otimizados para lidar com esse tipo de estrutura.

Com a verticalização da tecnologia de direção autônoma, a Tesla, segundo o autor do vídeo, consolida-se como forte candidata a lançar um dos primeiros veículos plenamente operacionais em ambiente urbano. O supercomputador não apenas resolve problemas matemáticos com maior eficiência, mas também reduz significativamente o tempo de treinamento. Além disso, o uso de redes neurais não supervisionadas permite que os próprios algoritmos identifiquem e classifiquem placas, eventos e intercorrências de forma autônoma, sem intervenção humana, permitindo com que processo de aprendizado se torne ainda mais rápido e escalável.

# **3 Análise Comparativa BOSS e STANLEY**

## **3.1 Introdução**

Esta seção do relatório visa apresentar uma visão crítica entre dois artigos: sobre o vencedor do Grand Challenge de 2005 no Deserto de Mojave, STANLEY [?], e o vencedor do Urban Challenge de 2007, também promovido pela DARPA, o veículo BOSS [?]. Ambos apresentaram-se como grandes soluções tecnológicas para o desafio do veículo

autônomo cujas soluções adotadas influenciaram de forma determinante os conceitos de veículos autônomos posteriores.

STANLEY, desenvolvido pela Universidade de Stanford em parceria com a Volkswagen e outras empresas, conquistou o primeiro lugar ao completar com sucesso um percurso de 132 milhas (aproximadamente 212 quilômetros) pelo deserto de Mojave em 6 horas, 53 minutos e 58 segundos. Dois anos depois, BOSS, criado pela equipe Tartan Racing (Carnegie Mellon University, General Motors e parceiros), venceu um desafio ainda mais complexo: navegar autonomamente por 97 quilômetros em ambiente urbano, interagindo com outros veículos e obedecendo às regras de trânsito da Califórnia.

A evolução entre estes dois projetos reflete não apenas avanços tecnológicos, mas também uma mudança fundamental nos requisitos de navegação autônoma: da travessia de terrenos desérticos sem obstáculos móveis para a complexa interação em ambientes urbanos dinâmicos. Esta análise examina as arquiteturas de software de ambos os sistemas, destacando suas semelhanças, diferenças e as lições aprendidas que moldaram o futuro dos veículos autônomos.

## 3.2 Arquitetura da STANLEY

O veículo vencedor do desafio de 2005, STANLEY, foi construído sobre um Volkswagen Touareg R5 TDI 2004, equipado com uma plataforma computacional de seis processadores Intel e um conjunto abrangente de sensores. A filosofia central do projeto tratava a navegação autônoma fundamentalmente como um problema de software.

Conceitualmente, a arquitetura de processamento de dados adotado no STANLEY foi concebida em 6 camadas funcionais:

1. Interface de sensores: Responsável pela comunicação com todos os sensores do veículo, incluindo cinco scanners laser SICK LMS, uma câmera colorida, um sistema de radar, GPS com correções diferenciais, uma bússola GPS e uma unidade de medição inercial (IMU).
2. Percepção: nesta camada ocorre o mapeamento dos dados dos sensores nos modelos internos. O principal módulo interno nesta camada é o unscented Kalman Filter (UCF) que opera como estimador de estados do veículo, que servia para determinar coordenadas, orientação e velocidade.
3. Controle: esta camada executada o controle de manobra (“steering” e “throttle”, direção e aceleração) bem como frenagem do veículo. Duas malhas fechadas executavam as trajetórias, uma para direção e a outra para aceleração e frenagem do veículo.
4. Interface com o veículo: fazia a conversão das decisões do software para comandos reais a serem executados pelo veículo. Em outras palavras, o “driver” do sistema que convertia sinais digitais em comandos analógicos.
5. Interface com o usuário: uma camada cujo objetivo servia como inicialização do sistema de inicialização do software.

6. Serviços globais: estava camada estavam todos os serviços comuns para as outras, incluindo elementos inter-processos, servidor de parâmetros, sincronização de “clock” e monitoramento do sistema (fazendo as vezes de “watch-dog”). Além disso, fazia o controle do log de eventos de todas as camadas.

Com os dados de todas as camadas, o veículo empregava (em sua camada de Percepção) filtros de Kalman com monitoramento de 15 variáveis para determinar sua posição no terreno mapeado por meio do conjunto de lasers e quais os próximos pontos para onde deveria se dirigir. A adoção do UKF foi feita em vista de uma menor necessidade de cálculos extensos (determinação de jacobianos), permitindo linearizações menos custos computacionalmente.

### 3.3 Arquitetura do BOSS

O desafio urbano promovido pela DARPA em 2007 teve como vencedor o veículo BOSS, construído sobre uma plataforma Chevrolet Tahoe 2007 com modificações específicas para navegação autônoma. Em termos de hardware, o veículo empregava chassi CompactPCI com 10 processadores Core2Duo de 2.16 GHz, cada um com 2 GB de memória.

A arquitetura de software do BOSS apresentava uma estruturação em três subsistemas principais:

1. Planejamento de movimento: Consistia em dois planejadores complementares capazes de evitar obstáculos estáticos e dinâmicos. O veículo operava com dois cenários principais: navegação estruturada e não estruturada. O primeiro atendia as necessidades de navegação por ruas e ambientes definidos por regras mais amplas, enquanto o segundo objetivava fornecer mecanismos para operação em estaçionamentos, por exemplo.
2. Percepção: processava e fundia dados de múltiplos sensores a fim de construir um modelo do mundo internamente cuja composição era dividida em três segmentos: (1) mapa de obstáculos; (2) lista de veículos em movimento no ambiente; (3) localização do BOSS relativa à estrada.
3. Planejador de Missão: buscava imitar o comportamento de um planejador humano de rotas, buscando identificar o caminho de menor custo para o próximo objetivo, considerando bloqueios, limites de velocidades e tempo para execução de manobras.

Em termos de sensores e hardware operava com um hardware com Sistema GPS/IMU Applanix; Múltiplos LIDARs (SICK LMS (180°/90°), Velodyne HDL-64 (360° x 26°), Continental ISF, IBEO Alasca XT (240°, alcance de 300m)); Radares Continental ARS 300; e Câmera Point Grey Firefly: Alta faixa dinâmica para percepção visual.

### 3.4 Comparativo

A transição de STANLEY para BOSS representa uma evolução fundamental nos requisitos de veículos autônomos. Enquanto STANLEY enfrentava o desafio de navegação em alta velocidade através de terreno desértico estático, BOSS precisava navegar em ambientes urbanos dinâmicos com múltiplos agentes móveis e regras de trânsito complexas.

A arquitetura do vencedor de 2005 centrava-se em “resolver” o desafio de travessia do deserto de Mojave através de um pipeline unidirecional simples: sensores para atuadores, com mapas 2D do ambiente e planejamento local de trajetória. Seus cinco scanners laser SICK foram adequados para detectar obstáculos estáticos em terreno irregular com poeira excessiva, rampas e declives acentuados. Em contraste, a concepção do vencedor de 2007 adotou uma abordagem hierárquica em três níveis (planejamento de missão, comportamental e de movimento) para navegar em ambientes urbanos. BOSS empregava um conjunto sensorial mais amplo incluindo o Velodyne HDL-64 de 360°, múltiplos LIDARs especializados e radares de longo alcance, essenciais para rastrear dezenas de veículos simultaneamente, prever seus movimentos e tomar decisões táticas como mudanças de faixa e precedência em interseções.

Pela análise dos artigos, percebe-se que as estratégias de confiabilidade e segurança também distinguiam-se. STANLEY focava em redundância de software através de monitoramento e reinicialização de módulos, adequado para ambientes estáticos onde parar era sempre uma opção segura. Ao passo que o BOSS precisava continuar funcionando mesmo com falhas parciais, implementando degradação parcial, modos de operação alternativos e uma maior redundância de hardware. O sistema comportamental de BOSS era mais sofisticado que o do STANLEY, capaz de identificar e recuperar-se de situações anômalas como bloqueios temporários, interseções congestionadas ou falhas de percepção, capacidades essenciais para navegação urbana segura que STANLEY, focado em terreno aberto, não precisava implementar.

Taticamente, pode-se observar que a DARPA como instituição buscou constituir dois objetivos principais tecnológicos distintos: estabelecer as melhores tecnologias para navegação em ambiente agressivo, porém isolado; definir as melhores soluções técnicas para navegação urbana e em ambientes com obstáculos percebíveis localmente. A navegação de longa distância em um deserto pode ser auxiliada por meio de imagens satelitais do ambiente, ao passo que a urbana carece de tal recurso, sendo um ambiente sujeito a interferências locais de forma tal que um sistema externo não conseguiria apoiar diretamente. Portanto, a existência de dois vencedores com arquiteturas distintas apresenta-se como grande contribuição tecnológica que inspirou diversas soluções posteriores.

### 3.5 Conclusão

A análise comparativa de STANLEY e BOSS revela uma evolução notável na tecnologia de veículos autônomos em apenas dois anos. STANLEY demonstrou que navegação autônoma em alta velocidade era possível com arquitetura de software bem projetada e uso inteligente de técnicas de inteligência artificial.

Complementarmente, BOSS construiu sobre estas fundações, mas as expandiu para enfrentar a complexidade sensivelmente maior da condução urbana. A necessidade de interagir com outros agentes, obedecer regras de trânsito complexas e navegar em ambientes estruturados e não estruturados levou a inovações em múltiplas frentes: arquitetura hierárquica mais profunda, redundância sensorial, sistemas de percepção e rastreamento, e camada comportamental capaz de processar diversos cenários distintos simultaneamente.

O legado destes projetos vai além de suas vitórias nas competições DARPA. STANLEY provou a viabilidade da navegação autônoma e estabeleceu a abordagem baseada em software que domina o campo até hoje. BOSS demonstrou que veículos autônomos pode-

riam operar com segurança em ambientes urbanos complexos, pavimentando o caminho para os esforços comerciais atuais em direção a carros totalmente autônomos.

A luz dos vídeos apresentados no início do trabalho, percebe-se que muitas das inovações propostas tanto no STANLEY quanto no BOSS foram incorporados no modelo Audi A8 que empregava redes de sensores para identificação de obstáculos, e mais tarde os sistemas de aprendizado influenciaram a maneira como sistemas autônomos de navegação “aprendem” motivando a criação e emprego de supercomputadores para seu treinamento, a exemplo do empreendimento promovido pela Tesla.

Percebe-se que desde as primeiras competições e seus resultados promissores, muitas tecnologias, embora semi-autônomas, estejam em progresso comercialmente, há iniciativas ousadas em promover a adoção do carro totalmente autônomo. E dado o ritmo de melhorias das tecnologias, é razoável supor que em um horizonte de poucos anos, e não na próxima geração como previa Chris Urmson em seu TED Talk, esteja disponível o primeiro veículo 100% autônomo autorizado a operar.