



COORDENADORIA DE ENGENHARIA DA COMPUTAÇÃO

GUSTAVO ARAUJO BORGES

LUCAS PAGEL DE FARIA

LUIZ ANTONIO BUFFOLO

**APLICAÇÃO DE APRENDIZAGEM POR REFORÇO EM CARROS
AUTÔNOMOS ATRAVÉS DE TOPOLOGIAS AUMENTANTES**

Sorocaba/SP

2022

Gustavo Araujo Borges

Lucas Pagel de Faria

Luiz Antonio Buffolo

**APLICAÇÃO DE APRENDIZAGEM POR REFORÇO EM CARROS
AUTÔNOMOS ATRAVÉS DE TOPOLOGIAS AUMENTANTES**

Trabalho de conclusão de curso apresentado
ao Centro Universitário Facens como exigência
parcial para obtenção do diploma de graduação
em Engenharia da Computação.
Orientador: Prof. Johannes von Lochter

Sorocaba/SP

2022

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Gráfico de evolução de investimentos em robôs industriais.	9
Figura 2 – Modelos diversos de AGVs adaptados para suas aplicações.	10
Figura 3 – NavLab 1.	13
Figura 4 – Tesla Model S.	14
Figura 5 – Tabela com classificações dos diferentes métodos de aprendizado de máquina.	17

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AGV	Automated Guided Vehicle
AMR	Autonomous Mobile Robot
GPS	Global Position System
IA	Inteligência Artificial
NEAT	Neuroevolution of Augmentating Topologies

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	5
2 VEÍCULOS AUTÔNOMOS	8
2.1 VEÍCULO GUIADO AUTOMATICAMENTE	8
2.1.1 Tipos de AGVs	9
2.1.2 Métodos de navegação de AGVs	10
2.2 CARROS AUTÔNOMOS	12
2.2.1 História	12
2.2.2 Veículos autônomos atuais	13
2.2.2.1 Tesla	14
2.2.2.2 Visão Computacional	15
3 INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL	16
3.1 APRENDIZADO DE MÁQUINA	16
3.2 APRENDIZADO POR REFORÇO	17
3.3 NEAT	18
4 METODOLOGIAS	19
4.1 SIMULAÇÃO	19
4.2 IMPLEMENTAÇÃO	19
4.3 TREINAMENTO	20
5 RESULTADOS	21
5.1 QUADROS	21
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	22
REFERÊNCIAS	23

1 INTRODUÇÃO

De forma geral, esta monografia visa apresentar a implementação de um ambiente simulado capaz de treinar um veículo autônomo que, através dos casos de teste, consegue se adaptar ao ambiente em que se situa buscando chegar a determinado objetivo, através de um algoritmo de neuroevolução que possui uma topologia aumentante. Desta forma, simulações de possíveis trajetos e adaptações de percurso podem ser rapidamente criadas e testadas sem a necessidade de interação com um ambiente físico.

Tratando-se de veículos autônomos, é possível citar os carros sem motorista, segundo [Arruda \(2015\)](#), são veículos capazes de realizar tarefas [...] sem a intervenção de operadores humanos, sua demanda vem crescendo ultimamente por conta da acessibilidade que fornecem e por permitirem uma produtividade maior ao motorista. Considerados também veículos autônomos, existem aqueles voltados para sistemas logísticos, onde, através de mínima interação com operadores, salvo manutenções e reprogramações, são capazes de realizar transporte de objetos por uma linha de produção.

A solução geralmente aplicada para carros autônomos se fundamenta no princípio da visão computacional. Esta técnica se baseia em utilizar de câmeras para a captura de imagens que virão a servir de entrada de dados, para que o algoritmo de direção tome as devidas decisões quanto à melhor decisão a ser tomada para aquela situação.

O problema desta técnica se encontra justamente na lentidão de colocar os sistemas em prática, pois é necessário que se criem diversas situações de teste com muitas variáveis aplicáveis, como iluminação ou resolução da foto, e considerando que a aplicação é direcionada a carros que navegarão pelas ruas, é necessário que estes testes sejam prolongados ainda mais para que se haja uma garantia de segurança a todos ao redor do veículo.

Ao observar veículos autônomos dentro do ambiente fabril, é possível encontrar máquinas chamadas de Veículos Automaticamente Guiados (AGVs), seu uso para o transporte de contêineres data de 1993 em um terminal de contêineres de Rotterdam ([SAPUTRA; RIJANTO, 2021](#)). Estes possuem a finalidade de transportar materiais e produtos pela fábrica, através de sensores, são capazes de identificar a distância necessária para a movimentação do garfo quando aplicados a uma empilhadeira ou a distância de segurança para evitar acidentes. A sua trajetória desses veículos é geralmente predefinida, baseando-se na planta da fábrica e o caminho que o veículo deve percorrer, como através de faixas magnéticas, por exemplo. Sendo assim, estes dispositivos falham quando encontram obstáculos em seu caminho, como um pallet ou

caixa que manterão sua movimentação impedida.

Tratando-se de aprendizado de máquina, existem diversas técnicas que podem ser empregadas para se chegar a resultados simulados, estas, focadas na modelagem da estrutura de aprendizado podem ser divididas entre, supervisionado, não supervisionado e por reforço. A aplicação de cada método deve ser indicada de acordo com a necessidade da aplicação, e, analisando a proposta do projeto presente nesta monografia, é possível analisar qual solução possui a aplicação mais justificável. Em uma observação imediata, o aprendizado por máquina supervisionado (aquele em que se sabe quais são as possíveis entradas e saídas equivalentes a elas) se torna inviável, tal que a aplicação exige que o algoritmo calcule em tempo real a intermissão de possíveis objetos em seu trajeto, sendo assim impossível definir uma saída previamente.

Este projeto procura explorar um tipo diferente de aprendizado, chamado de aprendizado por reforço. Esse tipo de aprendizado tem a característica de não necessitar de supervisão para o treinamento do modelo. Ou seja, não se faz necessário treinamento em campo ou uma requisição de grande quantidade de dados para a etapa de treinamento. Como entradas para o modelo serão utilizados sensores de distância, em vez dos habituais sistemas de visão computacional. O experimento será feito dentro de um ambiente virtual, com a representação do carro e trajetos gerados aleatoriamente para treinamento.

O método de aprendizado por reforço faz necessário menos investimentos antecipados, pois os dados de treinamento serão obtidos por um quociente de performance ao invés de dados rotulados para retroalimentação. Além disso, a utilização de sensores diminui significativamente o requerimento de poder computacional para o sistema comparado com processamento de imagens, e o mesmo pode ser dito quanto ao algoritmo de aprendizado na etapa de testes.

O aprendizado se dará pelo algoritmo NEAT (Neuroevolution of Augmenting Topologies). Este algoritmo se inicia com uma rede neural com apenas as entradas e saídas definidas. Por meio de um Algoritmo Genético, o algoritmo evoluirá a topologia da rede neural de forma a melhorar o desempenho do carro (neste caso, conseguir dirigir por mais tempo sem colisões).

Por exemplo, a princípio o algoritmo gera diversos carros com topologias aleatórias da rede neural. Os carros que percorrerem a maior distância sem colisões serão selecionados para reprodução - seus genes serão combinados com outros carros de performance alta, além de também ocorrerem mutações para o descobrimento de novos comportamentos. Este processo criará uma nova geração de carros, que passará pelos mesmos testes, e o processo se repetirá.

Deste modo, espera-se atingir um estado de otimização em que se faz possível

o alcance da trajetória especificada sem colisões, e preferivelmente em um caminho próximo do mais otimizado.

Apesar da elevada facilidade introduzida com esse método, a perda de flexibilidade na utilização pode ser algo que geraria necessidade de um sistema mais robusto como o de visão computacional. Um outro contraponto seria a necessidade de um ambiente mais controlado, para certificar um funcionamento correto dos sensores no ambiente e nos possíveis obstáculos. Mesmo com tais observações, existe margem para crer que o método proposto se faz uma alternativa interessante em aplicações em que as condições de funcionamento podem ser mapeadas previamente.

2 VEÍCULOS AUTÔNOMOS

Veículos autônomos podem ser definidos como transportes terrestres capazes de se movimentarem de um ponto a outro por conta própria de maneira a não necessitarem de um condutor para tomada de decisões. Esses podem ser divididos em duas categorias: internos e externos, com os internos focando em aplicações industriais e os externos para ambientes urbanos e consumidores finais.

Segundo [SAE \(2018\)](#) Existem níveis de automação veicular divididos em 5 categorias, que possuem o intuito de facilitar o entendimento da função do veículo no ambiente para qual foi desenvolvido. Esses níveis são:

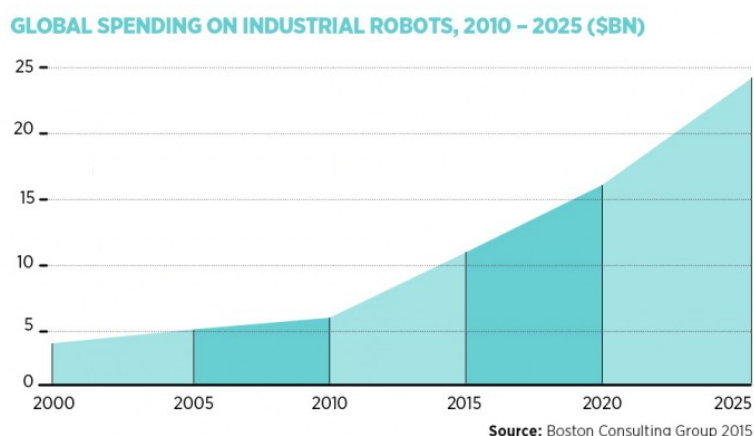
0. Não automação: Autonomia zero; O motorista realiza todas as tarefas;
1. Direção Assistida: O veículo é controlado pelo motorista mas algumas assistências à condução podem ser incluídas no veículo;
2. Automação Parcial: O veículo possui algumas funções automatizadas de controle de maneira combinada, como aceleração e direção, mas o motorista precisa permanecer preparado para tomar o controle e monitorar o ambiente o tempo todo;
3. Automação Condicional: O veículo é capaz de realizar as tarefas de direção sozinho em certas circunstancias, porém o motorista precisa permanecer preparado o tempo todo;
4. Automação Elevada: O veículo é capaz de realizar as tarefas de direção sozinho em certas circunstancias. O motorista pode ter a opção de controlar o veículo;
5. Automação Completa: O veículo é capaz de realizar as tarefas de direção sozinho sob qualquer circunstancia. O motorista pode ter a opção de controlar o veículo.

2.1 VEÍCULO GUIADO AUTOMATICAMENTE

Com o avanço tecnológico estando presente em todas as frentes da economia global atual, não há outra alternativa para fábricas dos mais diversos setores a não ser se manter atualizadas a estas tendências, considerando que se desejam manter relevantes no mercado. O fenômeno que mais vem se alastrando neste ambiente no passado recente é o da Indústria 4.0, o qual define o uso de diversas tecnologias na área de inteligência artificial, computação em nuvem, big data e internet das coisas a fim de se automatizar processos que viriam a demandar recursos da empresa,

e conseqüentemente, afetando sua produtividade. A Figura 1 ilustra o avanço dos investimentos na área ao longo dos últimos anos.

Figura 1 – Gráfico de evolução de investimentos em robôs industriais.



¹Disponível em: <https://www.raconteur.net>. Acesso em: 3 Mai. 2022.

A automação de máquinas visa permitir que os operários da produção sejam capazes de as programar e deixar a executar funções sozinhas, com ou sem uma supervisão externa, mas sempre sem a necessidade de um operador humano, o avanço da quarta revolução industrial vem permitindo que estas máquinas executem suas funções de forma mais rápida e precisa com o passar do tempo. Uma função básica e de extrema importância para o ambiente industrial, é a de manuseio e movimentação de materiais pela planta da fábrica, principalmente no transporte de carga.

Os veículos guiados automaticamente, conhecidos como AGVs, são veículos móveis e programáveis que cumprem a função de transporte de carga dentro de um espaço de linha de produção. Para serem de fato automatizados, devem possuir algum meio de seleção de trajetória da qual não necessitem de intervenção manual, assim sendo capazes de cumprir suas funções com um baixo custo operacional (DAS; PASAN, 2016). Estes devem ser adaptados ao ambiente em que serão aplicados, como a inclusão de sensores necessários ou capacidade para carga a ser carregada.

2.1.1 Tipos de AGVs

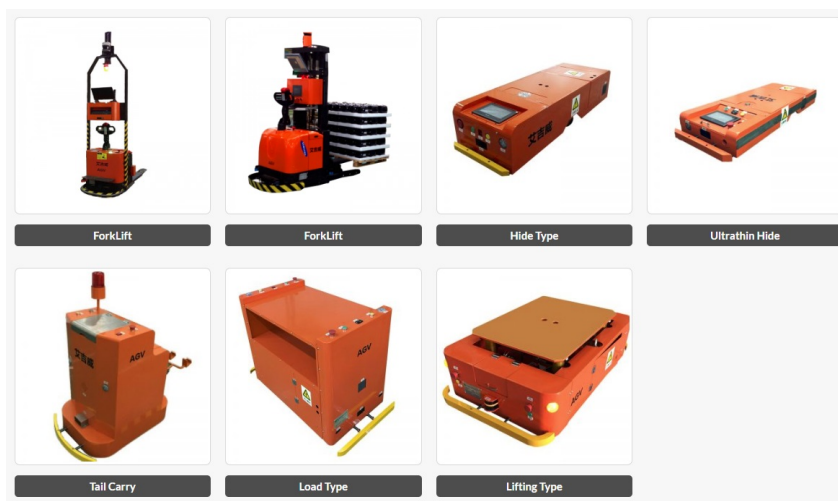
Antes de aplicar um veículo guiado automaticamente na linha de produção, se faz necessário entender qual o problema que ele visa solucionar, existe uma série de veículos desde os de uso geral até mais específicos, dentre os mais popularmente conhecidos é possível citar:

¹ Imagem retirada de: <https://www.raconteur.net/industry-4-0-smart-machines-are-new-industrial-revolution/>

- *Under Ride*, também chamados de *Automated Guided Carts*, são carros que carregam plataformas móveis e se encaixam por baixo da carga, sendo geralmente um dos modelos mais baratos e fáceis de se aplicar a linha de montagem;
- *Tugger AVG*, traduzidos como AGV Rebocador, são os veículos que acoplam suas cargas como um comboio e tem como principal vantagem a quantidade de peso elevada que conseguem puxar;
- *Pallet Mover AVG*, ou AGV Empilhadeira é aquele que, assim como empilhadeiras convencionais, conseguem movimentar *pallets* e bobinas das linhas de produção até armazéns, podendo levantar sua carga de acordo com a altura máxima do equipamento;
- *Unit Load AVG*, traduzidos como AVG com Mesa de Transferência, são capazes de transferir uma carga que carregam sobre eles para outras plataformas através de um sistema de esteira rolantes que possuem.

Além dos citados, existem outros tipos de modelos empregados na indústria que podem vir a ser utilizados por empresas em situações específicas de sua necessidade, adaptando os AGVs de acordo com sua linha de produção. É possível verificar alguns exemplos na Figura 2.

Figura 2 – Modelos diversos de AGVs adaptados para suas aplicações.



²Disponível em: <https://www.agvnetwork.com>. Acesso em: 3 Mai. 2022.

2.1.2 Métodos de navegação de AGVs

Existem diversas técnicas aplicáveis a fim de se obter uma navegação automatizada dos AVGs, metodologias mais antigas se baseiam em sensoramento indutivo,

²Imagem retirada de: <https://www.agvnetwork.com/automated-guided-vehicles-manufacturers>

ótico ou magnético e soluções mais modernas empregam o uso de visão computacional e GPS, a melhor solução é encontrada justamente na mais bem aplicável ao problema proposto.

- Navegação de caminho físico exige que, de certa forma, o AVG seja capaz de seguir um trajeto definido na superfície de movimento e caminhe por ele até ser necessário tomar alguma ação baseando-se em seu algoritmo, mesmo sem saber onde exatamente ele se localiza geograficamente. Esta movimentação pode ocorrer graças a diferentes tipos de sensoriamento:
 - Ótico: navegação baseada em sensores que identificam uma fita que contraste em cor com o restante do chão da fábrica, permitindo que o AVG se movimente enquanto a guia estiver presente e a seguindo, ajustando sua rota quando necessário, esta checagem de trajeto também pode ser feita através de códigos QR presentes no chão;
 - Indutivo: navegação baseada em sensores indutivos instalados no AVG que se mantém em movimento enquanto estiver no alcance de fitas magnéticas sobre ou sob o chão da fábrica, ajustando seu trajeto por onde a fita o guiar.
- Navegação de caminho virtual é onde o mapa do trajeto aplicável ao AGV está presente dentro de sua memória ou em um computador central (transmitido pela rede), de modo que a navegação se torne mais facilmente adaptável, em contrapartida, se faz necessário saber a posição do veículo para que o mesmo possa interpretar o melhor trajeto a se percorrer. Esta movimentação também possui algumas variações de navegação sujeitas a implementação:
 - Laser: raios são emitidos partindo do AGV e com base na resposta de refletores montados ao seu redor na fábrica, ele consegue identificar suas coordenadas e se basear nelas para encontrar sua rota. Existem exemplos de sensores que conseguem captar respostas do ambiente sem a necessidade de refletores instalados;
 - GPS: estes AGVs possuem receptores GPS que captam o sinal de satélites e assim se identificam no plano, este sendo um método custoso por exigir uma série de sinais externos, geralmente possui sua lógica empregada com radares locais;
 - Guiada por visão: através de uma câmera, o veículo consegue interpretar os objetos a sua frente como uma projeção 2D e se localizar no espaço.

Estes veículos que não necessitam de guias externos também são chamados de AMR, que diferentemente dos AGVs convencionais, possuem inteligência própria

e geralmente se encontram atrelados a contextos de Indústria 4.0 e Internet das Coisas. Novamente, a melhor solução para cada problema depende de sua aplicação, a navegação por caminho física é mais fácil de ser implementada e já pode ser encontrada na indústria a muito tempo enquanto a por caminho virtual exige uma complexidade de mapeamento prévio mas a torna mais versátil.

2.2 CARROS AUTÔNOMOS

Veículos de condução autônoma externa são caracterizados pela capacidade de se movimentar em ambientes não controlados, no contexto urbano, sem a necessidade e interferência de um condutor de maneira direta ([LDSV - USP, 2016](#)). A tecnologia embarcada nesses veículos possui mais de trinta anos, porém, somente no começo do século XXI começou a ser difundida entre o grande público e se tornar mais popular.

2.2.1 História

Sabe-se que estudos envolvendo um veículo terrestre capaz de se locomover sem a necessidade de um motorista é datado de 1920, onde engenheiros e pesquisadores de Ohio, nos Estados Unidos, desenvolveram um veículo de pequeno porte, incapaz de transportar passageiros, que possuía capacidade de receber instruções via rádio e realizar comandos de atuação nos sistemas de direção do veículo, eliminando a necessidade de um condutor. A limitação desse sistema estava no *hardware*, incapaz de tomar decisões e necessitando de instruções externas para guiá-lo. Apesar de simples, esse foi o início da busca de um veículo capaz de se autoconduzir.

Em 1950, sensores capazes de detectar velocidade e localização dos veículos foram utilizados em estradas de teste para captar e enviar informações via rádio para os carros equipados com receptores, sendo o precursor o modelo GM Firebird II em 1956. Porém, tal ideia foi descontinuada pela complexidade de instalação dos sensores nas estradas, assim como o gerenciamento de um tráfego constante e composto por veículos não equipados com a tecnologia. Mesmo com o insucesso da solução, já havia avanço quando comparado com o modelo via rádio, com o sistema possuindo um *software* capaz de tomar decisões como acelerar e frear sem interferência externa.

Com o avanço da computação e do processamento de dados, foi possível desenvolver um veículo equipado com diferentes tipos de sensores, processadores e câmeras capazes de identificar, por exemplo, um carro à frente e evitar colisões descartando informações externas, sendo a decisão tomada pelo próprio sistema presente no veículo. Com isso, o primeiro carro realmente autônomo da história foi o NavLab 1, lançado em 1986 ([ESTADÃO, 2020](#)), demonstrado na Figura 3.

Figura 3 – NavLab 1.



³Disponível em: <https://www.rediscoverthe80s.com>. Acesso em: 3 Mai. 2022.

2.2.2 Veículos autônomos atuais

Mesmo com os conceitos de funcionamento de um veículo autônomo sendo definido em 1980 e o poder computacional dos dispositivos avançarem ano após ano, tal tecnologia permaneceu distante do consumidor final por um longo período de tempo dada sua complexidade de navegação em situações urbanas do cotidiano.

Segundo [Anthony Townsend \(2020\)](#), somente em 2009 empresas, como o Google, iniciaram pesquisas com o intuito de atingir um veículo autônomo urbano. Empresas líderes de mercado como Ford, Mercedes-Benz, Volkswagen e BMW, por exemplo, começaram a desenvolver veículos capazes de dirigir sozinhos. No decorrer do desenvolvimento, tecnologias criadas para os futuros autônomos foram sendo implementadas aos poucos em veículos comerciais, aumentando o nível dos mesmos na escala de automação veicular.

Os veículos começaram no nível 0, possuindo tecnologias como frenagem automática de emergência, detecção de ponto cego e aviso de evasão de faixa, por exemplo, aumentando a complexidade conforme o desenvolvimento aumentava, até chegarem ao nível 1, com correção automática em caso de evasão de faixa e controle de cruzeiro adaptativo, por exemplo.

Porém, somente com o avanço dos carros elétricos, em específico pela marca Tesla, veículos de nível 2 e 3 chegaram ao consumidor final e começaram a se popularizar.

³Imagem retirada de: <https://www.rediscoverthe80s.com/2016/11/navlab-the-selfdriving-car-of-the-80s.html>

de:

<https://www.rediscoverthe80s.com/2016/11/>

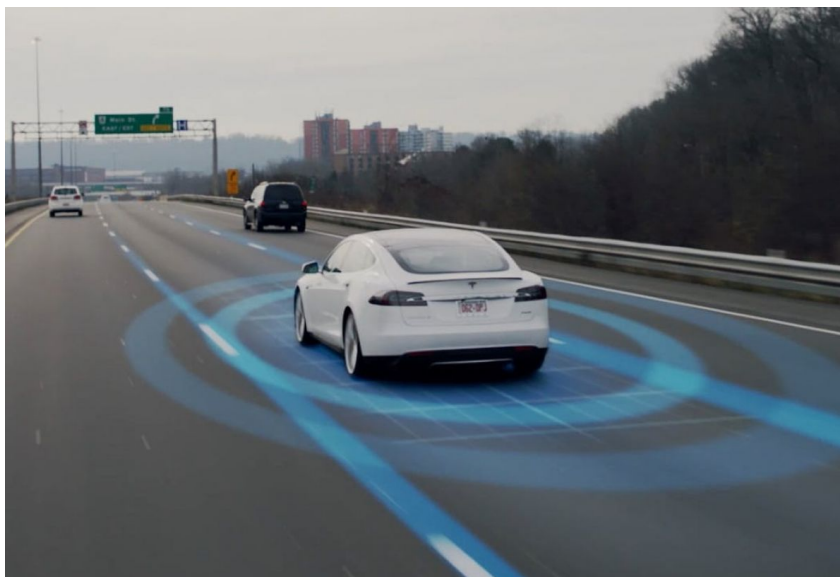
2.2.2.1 Tesla

A Tesla foi criada em 2003 com o intuito de desenvolver bons carros elétricos, capazes de competir diretamente com os a combustão, e, dessa forma, os popularizar. Os carros se tornaram populares entre os entusiastas, consolidando a empresa, mas ainda sim eram considerados de nicho, possuindo um alto valor de produção e não conseguindo atrair a curiosidade e o interesse do grande público.

Em 2015 a Tesla lança seu sistema nível 2 de automação veicular, chamado de Tesla *Autopilot*, para todos os proprietários do modelo *Model S*, demonstrado na Figura 4. O *Autopilot* é capaz de levar o veículo do ponto A ao ponto B, com uma rota traçada anteriormente pelo GPS, de maneira em que o condutor não precise conduzir o veículo durante o percurso.

O Autopilot surgiu como um grande avanço na trajetória ao nível de 5 de automação veicular, sendo usado também como peça publicitária para chamar a atenção do público os veículos elétricos, conseguindo os popularizar. Além disso, chamou também a atenção da indústria automotiva de modo geral, acelerando as montadoras tradicionais de veículos a combustão, dada a cobrança e interesse do consumidor final, em seu desenvolvimento de uma tecnologia de automação similar a da Tesla capaz de atingir o nível 2 ou nível 3.

Figura 4 – Tesla Model S.



⁴Disponível em: <https://www.tesla.com>. Acesso em: 3 Mai. 2022.

Para seu funcionamento, o Autopilot utiliza um *hardware* similar ao NavLab 1, com câmeras 360, sensores ultra-sônicos, sensores infravermelho e uma vasta gama

⁴Imagem retirada de: <https://www.tesla.com/videos/enhance-your-commute-autopilot>

de processadores com propósitos variados. Controlando todo o complexo equipamento presente fisicamente, existe o *software* utilizando o método de visão computacional.

2.2.2.2 Visão Computacional

Visão computacional é um área da inteligência artificial que permite computadores e sistemas digitais abstrair informações de imagens, vídeos, sensores diversos e qualquer outra entrada digital para tomar ações e decisões baseadas nos dados adquiridos nas entradas (IBM, 2019).

Para tal é necessário uma alta quantidade de dados, onde, computacionalmente, seja possível treinar o modelo desenvolvido e interpretar de maneira correta as entradas. Para treinar um modelo capaz de identificar um pneu, por exemplo, é necessário munir as entradas com diversas imagens de pneus em diferentes situações para que seja possível observar um padrão, e, dessa forma, o modelo caracterizá-lo como um pneu.

Duas tecnologias essenciais para o desenvolvimento de um modelo que utiliza visão computacional são: uma divisão do *Machine Learning* chamado *Deep Learning* em conjunto com uma Rede Neural Convolucional.

O *deep learning* utiliza modelos de algoritmos capazes de gerar os padrões, capacitando o modelo a distinguir uma coisa da outra. Para isso utiliza as imagens de treinamento e as difere uma das outras, observando as diferenças gerando categorias para cada imagem e aprendendo com essas mesmas categorias.

Já a Rede Neural Convolucional, auxilia o *deep learning* nessa tarefa de auto aprendizado, quebrando as imagens em pixels e as categorizando por distância, discernindo bordas e formas, gerando, com esses pixels analisados, tags e rótulos. Essas demarcações são utilizadas para gerar convoluções, operação matemática capaz de gerar um terceira função a partir de outras duas funções, predizendo o que está sendo observado. A rede neural roda então uma série de convoluções verificando a acurácia das mesmas até que chegue ao valor definido pelo modelo.

A visão computacional é utilizada por diversas montadoras e se prova até o momento o método mais eficaz para veículos autônomos externos, porém, possui um alto grau de complexidade e esbarra em diversas questões éticas e legais no que se diz respeito à legislação de trânsito pela questão da segurança de um veículo autônomo trafegando entres veículos não autônomos.

3 INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

Nam dui ligula, fringilla a, euismod sodales, sollicitudin vel, wisi. Morbi auctor lorem non justo. Nam lacus libero, pretium at, lobortis vitae, ultricies et, tellus. Donec aliquet, tortor sed accumsan bibendum, erat ligula aliquet magna, vitae ornare odio metus a mi. Morbi ac orci et nisl hendrerit mollis. Suspendisse ut massa. Cras nec ante. Pellentesque a nulla. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Aliquam tincidunt urna. Nulla ullamcorper vestibulum turpis. Pellentesque cursus luctus mauris.

3.1 APRENDIZADO DE MÁQUINA

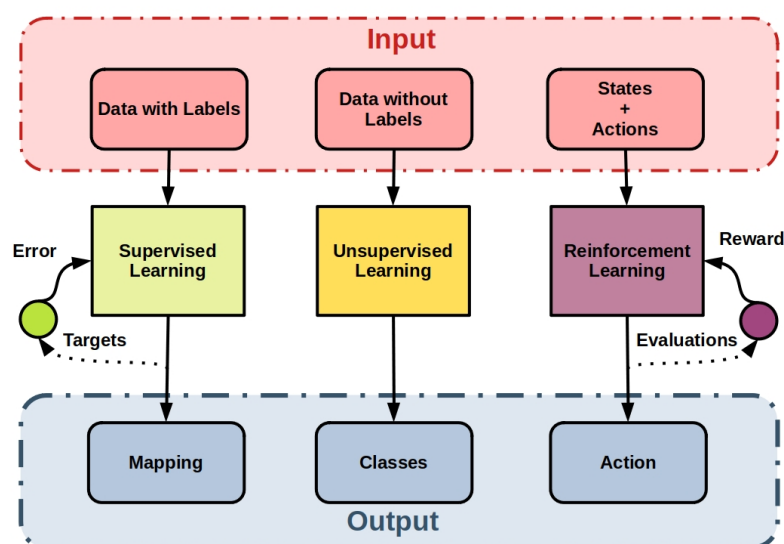
Nulla malesuada porttitor diam. Donec felis erat, congue non, volutpat at, tincidunt tristique, libero. Vivamus viverra fermentum felis. Donec nonummy pellentesque ante. Phasellus adipiscing semper elit. Proin fermentum massa ac quam. Sed diam turpis, molestie vitae, placerat a, molestie nec, leo. Maecenas lacinia. Nam ipsum ligula, eleifend at, accumsan nec, suscipit a, ipsum. Morbi blandit ligula feugiat magna. Nunc eleifend consequat lorem. Sed lacinia nulla vitae enim. Pellentesque tincidunt purus vel magna. Integer non enim. Praesent euismod nunc eu purus. Donec bibendum quam in tellus. Nullam cursus pulvinar lectus. Donec et mi. Nam vulputate metus eu enim. Vestibulum pellentesque felis eu massa.

Quisque ullamcorper placerat ipsum. Cras nibh. Morbi vel justo vitae lacus tincidunt ultrices. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. In hac habitasse platea dictumst. Integer tempus convallis augue. Etiam facilisis. Nunc elementum fermentum wisi. Aenean placerat. Ut imperdiet, enim sed gravida sollicitudin, felis odio placerat quam, ac pulvinar elit purus eget enim. Nunc vitae tortor. Proin tempus nibh sit amet nisl. Vivamus quis tortor vitae risus porta vehicula.

3.2 APRENDIZADO POR REFORÇO

O Aprendizado de reforço se trata de uma subcategoria de aprendizado de máquina que, de forma resumida, mapeia situações a ações de forma a maximizar uma recompensa numérica. O aprendiz não é auxiliado em que ações tomar, mas deve descobrir quais ações rendem mais recompensas ao experimentá-las (KAELBLING; LITTMAN; MOORE, 1996). Esse método exploratório faz contraste com métodos de aprendizado *supervisionados*, em que o algoritmo recebe a informação “correta” e tenta se aproximar ao máximo dessa solução conhecida; e também com os métodos não supervisionados, que utilizam métodos de associação e *clustering* para tomar suas decisões. A Figura 5 ilustra as relações e principais diferenças entre esses métodos.

Figura 5 – Tabela com classificações dos diferentes métodos de aprendizado de máquina.



¹Disponível em: <https://starship-knowledge.com>. Acesso em: 4 Set. 2022.

Esse tipo de aprendizado facilita ou até possibilita experimentos em que outros métodos teriam muita dificuldade ou aumentariam a complexidade do problema significativamente. Sutton e Barto (2018) indica que esse campo de estudo tem atraído cada vez mais interesse nas comunidades de IA e ML, pelo seu modo de programar agentes por recompensas e punições através de tentativa e erro e sem precisar indicar *como* o problema deve ser resolvido.

Uma das principais aplicações de aprendizado por reforço se faz em problemas no espaço físico, em que se recebe uma quantidade grande de dados e que a relação entre tais dados e a ação ou resultado se faz difícil por meios matemáticos. Enquanto

¹Imagem retirada de: <https://starship-knowledge.com/supervised-vs-unsupervised-vs-reinforcement>

esses algoritmos performam muito bem na resolução dos problemas, o processo de treinamento no mundo real pode ser extremamente custoso e demorado. Nestes casos, simulações (contanto que sejam próximas o suficiente da realidade) podem trazer uma atraente alternativa para simplificar o treinamento de um modelo complexo (RAO et al., 2020).

3.3 NEAT

Suspendisse vel felis. Ut lorem lorem, interdum eu, tincidunt sit amet, laoreet vitae, arcu. Aenean faucibus pede eu ante. Praesent enim elit, rutrum at, molestie non, nonummy vel, nisl. Ut lectus eros, malesuada sit amet, fermentum eu, sodales cursus, magna. Donec eu purus. Quisque vehicula, urna sed ultricies auctor, pede lorem egestas dui, et convallis elit erat sed nulla. Donec luctus. Curabitur et nunc. Aliquam dolor odio, commodo pretium, ultricies non, pharetra in, velit. Integer arcu est, nonummy in, fermentum faucibus, egestas vel, odio.

Sed commodo posuere pede. Mauris ut est. Ut quis purus. Sed ac odio. Sed vehicula hendrerit sem. Duis non odio. Morbi ut dui. Sed accumsan risus eget odio. In hac habitasse platea dictumst. Pellentesque non elit. Fusce sed justo eu urna porta tincidunt. Mauris felis odio, sollicitudin sed, volutpat a, ornare ac, erat. Morbi quis dolor. Donec pellentesque, erat ac sagittis semper, nunc dui lobortis purus, quis congue purus metus ultricies tellus. Proin et quam. Class aptent taciti sociosqu ad litora torquent per conubia nostra, per inceptos hymenaeos. Praesent sapien turpis, fermentum vel, eleifend faucibus, vehicula eu, lacus.

Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Donec odio elit, dictum in, hendrerit sit amet, egestas sed, leo. Praesent feugiat sapien aliquet odio. Integer vitae justo. Aliquam vestibulum fringilla lorem. Sed neque lectus, consectetur at, consectetur sed, eleifend ac, lectus. Nulla facilisi. Pellentesque eget lectus. Proin eu metus. Sed porttitor. In hac habitasse platea dictumst. Suspendisse eu lectus. Ut mi mi, lacinia sit amet, placerat et, mollis vitae, dui. Sed ante tellus, tristique ut, iaculis eu, malesuada ac, dui. Mauris nibh leo, facilisis non, adipiscing quis, ultrices a, dui.

4 METODOLOGIAS

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

4.1 SIMULAÇÃO

Nam dui ligula, fringilla a, euismod sodales, sollicitudin vel, wisi. Morbi auctor lorem non justo. Nam lacus libero, pretium at, lobortis vitae, ultricies et, tellus. Donec aliquet, tortor sed accumsan bibendum, erat ligula aliquet magna, vitae ornare odio metus a mi. Morbi ac orci et nisl hendrerit mollis. Suspendisse ut massa. Cras nec ante. Pellentesque a nulla. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Aliquam tincidunt urna. Nulla ullamcorper vestibulum turpis. Pellentesque cursus luctus mauris.

Nulla malesuada porttitor diam. Donec felis erat, congue non, volutpat at, tincidunt tristique, libero. Vivamus viverra fermentum felis. Donec nonummy pellentesque ante. Phasellus adipiscing semper elit. Proin fermentum massa ac quam. Sed diam turpis, molestie vitae, placerat a, molestie nec, leo. Maecenas lacinia. Nam ipsum ligula, eleifend at, accumsan nec, suscipit a, ipsum. Morbi blandit ligula feugiat magna. Nunc eleifend consequat lorem. Sed lacinia nulla vitae enim. Pellentesque tincidunt purus vel magna. Integer non enim. Praesent euismod nunc eu purus. Donec bibendum quam in tellus. Nullam cursus pulvinar lectus. Donec et mi. Nam vulputate metus eu enim. Vestibulum pellentesque felis eu massa.

4.2 IMPLEMENTAÇÃO

Quisque ullamcorper placerat ipsum. Cras nibh. Morbi vel justo vitae lacus tincidunt ultrices. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. In hac habitasse platea dictumst. Integer tempus convallis augue. Etiam facilisis. Nunc elementum fermentum wisi. Aenean placerat. Ut imperdiet, enim sed gravida sollicitudin, felis odio

placemat quam, ac pulvinar elit purus eget enim. Nunc vitae tortor. Proin tempus nibh sit amet nisl. Vivamus quis tortor vitae risus porta vehicula.

Fusce mauris. Vestibulum luctus nibh at lectus. Sed bibendum, nulla a faucibus semper, leo velit ultricies tellus, ac venenatis arcu wisi vel nisl. Vestibulum diam. Aliquam pellentesque, augue quis sagittis posuere, turpis lacus congue quam, in hendrerit risus eros eget felis. Maecenas eget erat in sapien mattis porttitor. Vestibulum porttitor. Nulla facilisi. Sed a turpis eu lacus commodo facilisis. Morbi fringilla, wisi in dignissim interdum, justo lectus sagittis dui, et vehicula libero dui cursus dui. Mauris tempor ligula sed lacus. Duis cursus enim ut augue. Cras ac magna. Cras nulla. Nulla egestas. Curabitur a leo. Quisque egestas wisi eget nunc. Nam feugiat lacus vel est. Curabitur consectetur.

Suspendisse vel felis. Ut lorem lorem, interdum eu, tincidunt sit amet, laoreet vitae, arcu. Aenean faucibus pede eu ante. Praesent enim elit, rutrum at, molestie non, nonummy vel, nisl. Ut lectus eros, malesuada sit amet, fermentum eu, sodales cursus, magna. Donec eu purus. Quisque vehicula, urna sed ultricies auctor, pede lorem egestas dui, et convallis elit erat sed nulla. Donec luctus. Curabitur et nunc. Aliquam dolor odio, commodo pretium, ultricies non, pharetra in, velit. Integer arcu est, nonummy in, fermentum faucibus, egestas vel, odio.

4.3 TREINAMENTO

Sed commodo posuere pede. Mauris ut est. Ut quis purus. Sed ac odio. Sed vehicula hendrerit sem. Duis non odio. Morbi ut dui. Sed accumsan risus eget odio. In hac habitasse platea dictumst. Pellentesque non elit. Fusce sed justo eu urna porta tincidunt. Mauris felis odio, sollicitudin sed, volutpat a, ornare ac, erat. Morbi quis dolor. Donec pellentesque, erat ac sagittis semper, nunc dui lobortis purus, quis congue purus metus ultricies tellus. Proin et quam. Class aptent taciti sociosqu ad litora torquent per conubia nostra, per inceptos hymenaeos. Praesent sapien turpis, fermentum vel, eleifend faucibus, vehicula eu, lacus.

Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Donec odio elit, dictum in, hendrerit sit amet, egestas sed, leo. Praesent feugiat sapien aliquet odio. Integer vitae justo. Aliquam vestibulum fringilla lorem. Sed neque lectus, consectetur at, consectetur sed, eleifend ac, lectus. Nulla facilisi. Pellentesque eget lectus. Proin eu metus. Sed porttitor. In hac habitasse platea dictumst. Suspendisse eu lectus. Ut mi mi, lacinia sit amet, placerat et, mollis vitae, dui. Sed ante tellus, tristique ut, iaculis eu, malesuada ac, dui. Mauris nibh leo, facilisis non, adipiscing quis, ultrices a, dui.

5 RESULTADOS

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

5.1 QUADROS

Este modelo vem com o ambiente `quadro` e impressão de Lista de quadros configurados por padrão. Verifique um exemplo de utilização:

Quadro 1 – Exemplo de quadro

Pessoa	Idade	Peso	Altura
Marcos	26	68	178
Ivone	22	57	162
...
Sueli	40	65	153

Fonte: Autoria própria.

Este parágrafo apresenta como referenciar o quadro no texto, requisito obrigatório da ABNT. Primeira opção, utilizando `autoref`: Ver o Quadro 1. Segunda opção, utilizando `ref`: Ver o Quadro 1.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Sed consequat tellus et tortor. Ut tempor laoreet quam. Nullam id wisi a libero tristique semper. Nullam nisl massa, rutrum ut, egestas semper, mollis id, leo. Nulla ac massa eu risus blandit mattis. Mauris ut nunc. In hac habitasse platea dictumst. Aliquam eget tortor. Quisque dapibus pede in erat. Nunc enim. In dui nulla, commodo at, consectetur nec, malesuada nec, elit. Aliquam ornare tellus eu urna. Sed nec metus. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas.

Phasellus id magna. Duis malesuada interdum arcu. Integer metus. Morbi pulvinar pellentesque mi. Suspendisse sed est eu magna molestie egestas. Quisque mi lorem, pulvinar eget, egestas quis, luctus at, ante. Proin auctor vehicula purus. Fusce ac nisl aliquam ante hendrerit pellentesque. Class aptent taciti sociosqu ad litora torquent per conubia nostra, per inceptos hymenaeos. Morbi wisi. Etiam arcu mauris, facilisis sed, eleifend non, nonummy ut, pede. Cras ut lacus tempor metus mollis placerat. Vivamus eu tortor vel metus interdum malesuada.

Sed eleifend, eros sit amet faucibus elementum, urna sapien consectetur mauris, quis egestas leo justo non risus. Morbi non felis ac libero vulputate fringilla. Mauris libero eros, lacinia non, sodales quis, dapibus porttitor, pede. Class aptent taciti sociosqu ad litora torquent per conubia nostra, per inceptos hymenaeos. Morbi dapibus mauris condimentum nulla. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Etiam sit amet erat. Nulla varius. Etiam tincidunt dui vitae turpis. Donec leo. Morbi vulputate convallis est. Integer aliquet. Pellentesque aliquet sodales urna.

REFERÊNCIAS

- Anthony Townsend. *The 100-Year History of Self-Driving Cars*. 2020. Disponível em: <https://onezero.medium.com/the-100-year-history-of-self-driving-vehicles-10b8546a3318>. Acesso em: 2022-05-03.
- ARRUDA, T. A. *Arquitetura de Hardware e Software para Supervisão e Controle de um Carro Autônomo*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2015.
- DAS, S. K.; PASAN, M. K. Design and methodology of automated guided vehicle. *IOSR journal of mechanical and civil engineering*, 04 2016.
- ESTADÃO. *Primeiro projeto de carro autônomo data de 1920*. 2020. Disponível em: <https://summitmobilidade.estadao.com.br/carros-autonomos/primeiro-projeto-de-carro-autonomo-data-de-1920/>. Acesso em: 2022-05-03.
- IBM. *What is Computer Vision?* 2019. Disponível em: <https://www.ibm.com/topics/computer-vision>. Acesso em: 2022-05-03.
- KAEHLING, L. P.; LITTMAN, M. L.; MOORE, A. W. Reinforcement learning: A survey. *Journal of Artificial Intelligence Research*, v. 4, 1996.
- LDSV - USP. *Veículos Autônomos*. 2016. Disponível em: http://www.usp.br/ldsv/?page_id=1856. Acesso em: 2022-05-03.
- RAO, K. et al. RI-cyclegan: Reinforcement learning aware simulation-to-real. In: *Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*. [S.l.: s.n.], 2020.
- SAE. *Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles*. 2018. Disponível em: https://www.sae.org/standards/content/j3016_201806/. Acesso em: 2022-05-03.
- SAPUTRA, R. P.; RIJANTO, E. Automatic guided vehicles system and its coordination control for containers terminal logistics application. *CoRR*, abs/2104.08331, 2021. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/2104.08331>.
- SUTTON, R. S.; BARTO, A. G. *Reinforcement learning: An introduction*. [S.l.]: MIT press, 2018.