



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo  
Curso de Pós graduação em Engenharia Elétrica

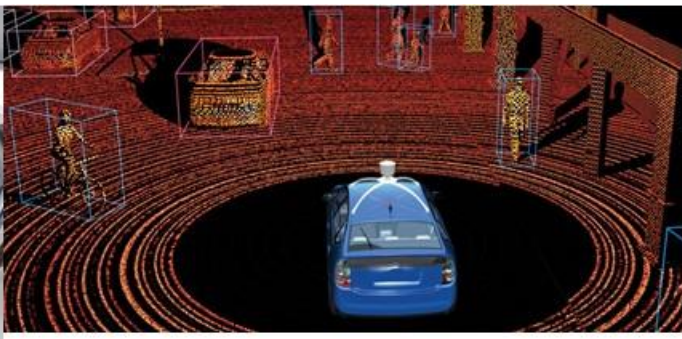


PSI5121 Sistemas Automotivos

Módulo 1 – Veículos Autônomos

## Aula 1 – Highlights, Introdução e Fundamentos

Prof. Leopoldo Yoshioka



# PSI5121 – Sistemas Automotivos

- Módulo 1 – Veículos autônomos
  - 20/6, 27/6, 4/7, 11/7
- Módulo 2 – Veículos Elétricos e Híbridos
  - 18/7, 25/7, 1/8, 8/8
- Módulo 3 – Gerenciamento de Motores
  - 15/8, 22/8, 29/8, 5/9

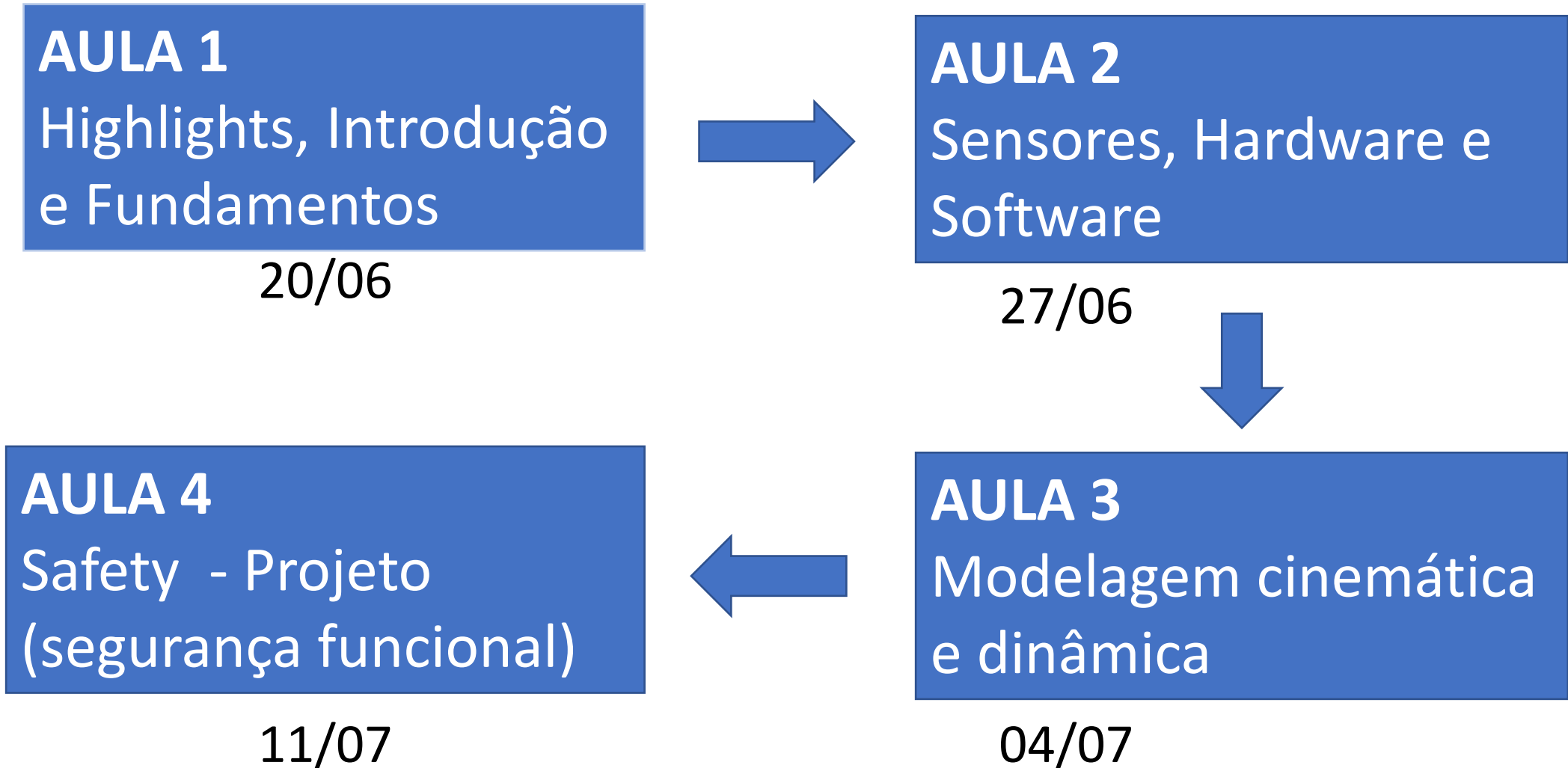
# Avaliação

- 60% Atividades dos módulos (Exercícios, Tarefa, Projeto)
- 40% Projeto de Pré-qualificação (mestrado ou doutorado)

# Os objetivos do módulo 1

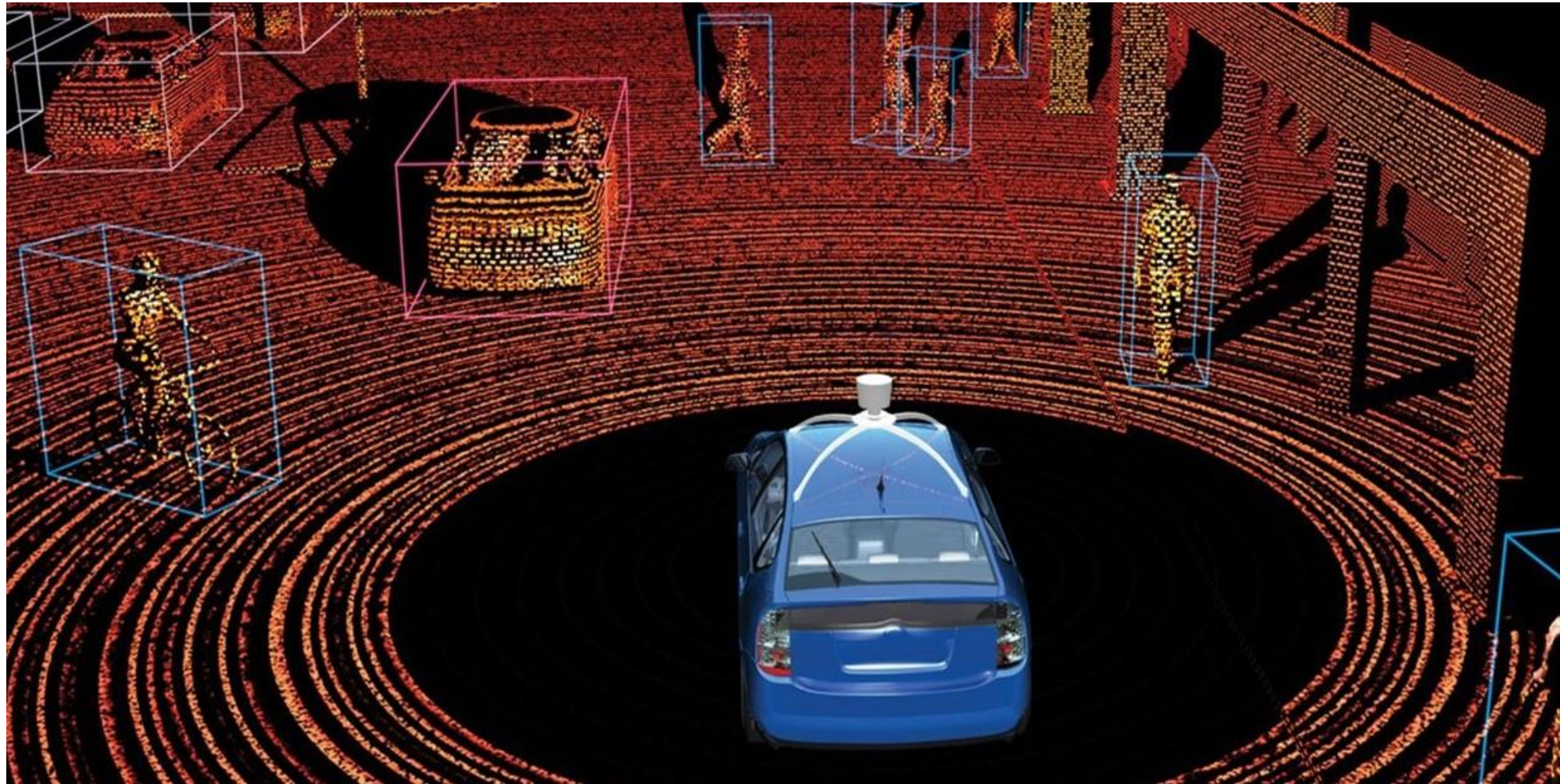
- Este módulo visa o público de **estudantes de pós-graduação** que vivem mudanças tecnológicas radicais, onde o advento dos **Veículos Autônomos e Conectados (CAV)** acarretará na **transformação** da indústria, transporte, mobilidade das pessoas e estilo de vida.
- Ao concluírem este módulo de maneira satisfatória os estudantes estarão terão adquirido uma **visão geral** dos **principais conceitos e tecnologias** relacionados com o CAV, e **preparados** para prosseguirem no processo de **aprofundamento**.

# Plano do módulo, aula a aula



# HIGHLIGHTS DO CURSO

# Como um Veículo Autônomo vê o mundo? (1/5)



Popular Science, 2013 - How a Self-Driving Car Sees The World  
(<https://www.popsci.com/cars/article/2013-09/google-self-driving-car/>)

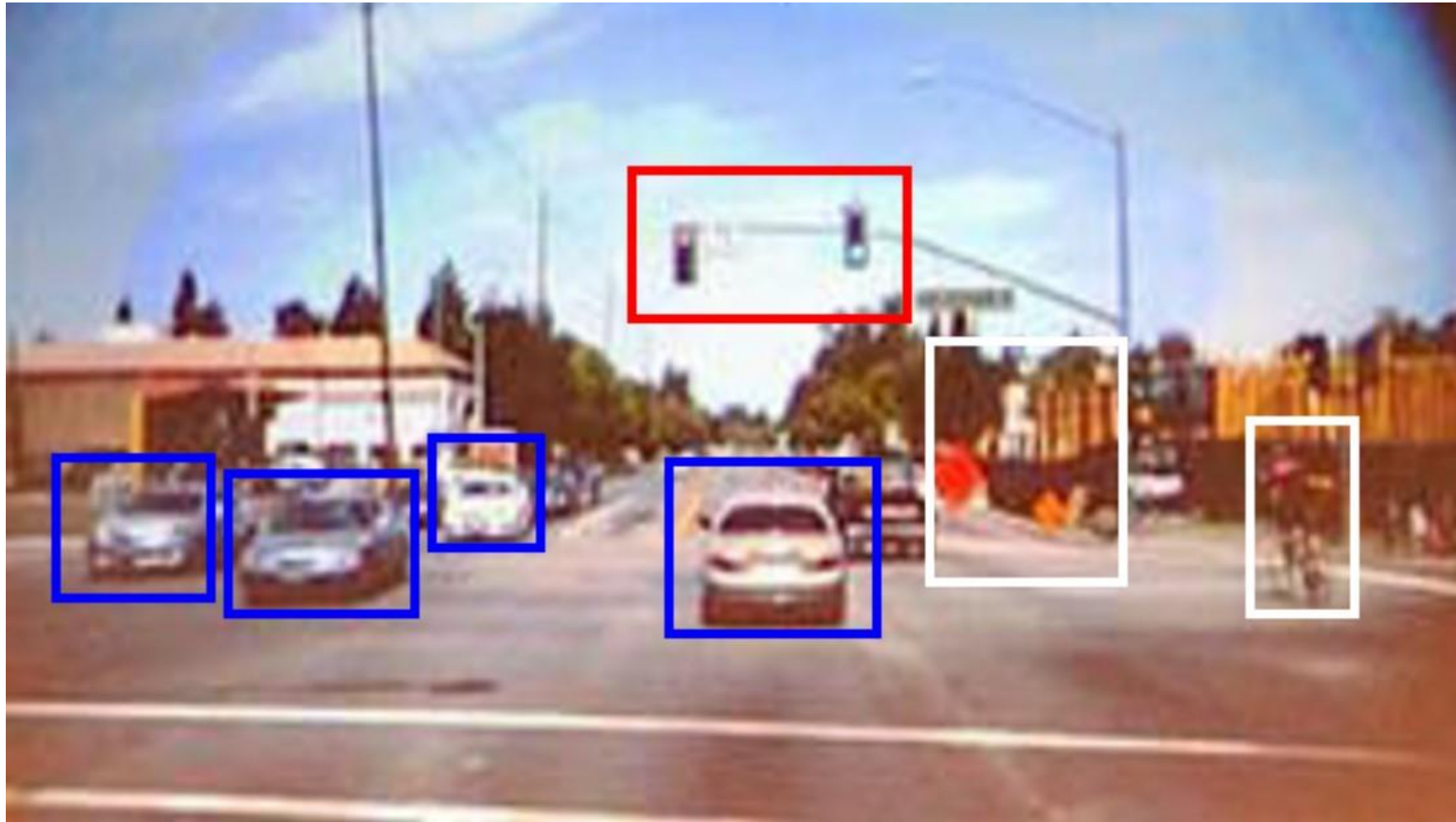
## Como um Veículo Autônomo vê o mundo? (2/5)



Imagem da câmera frontal de um Veículo Autônomo

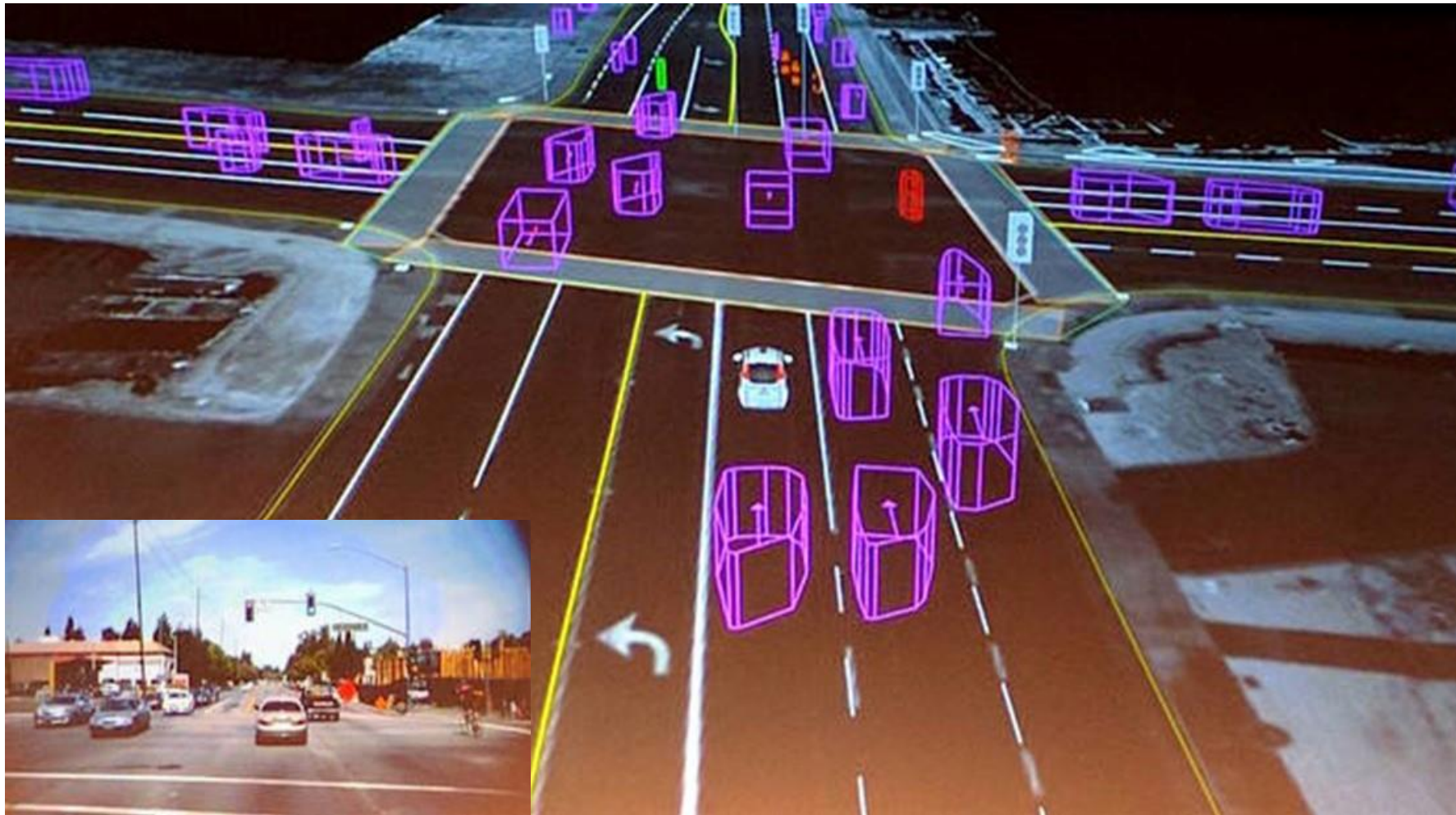


## Como um Veículo Autônomo vê o mundo? (3/5)



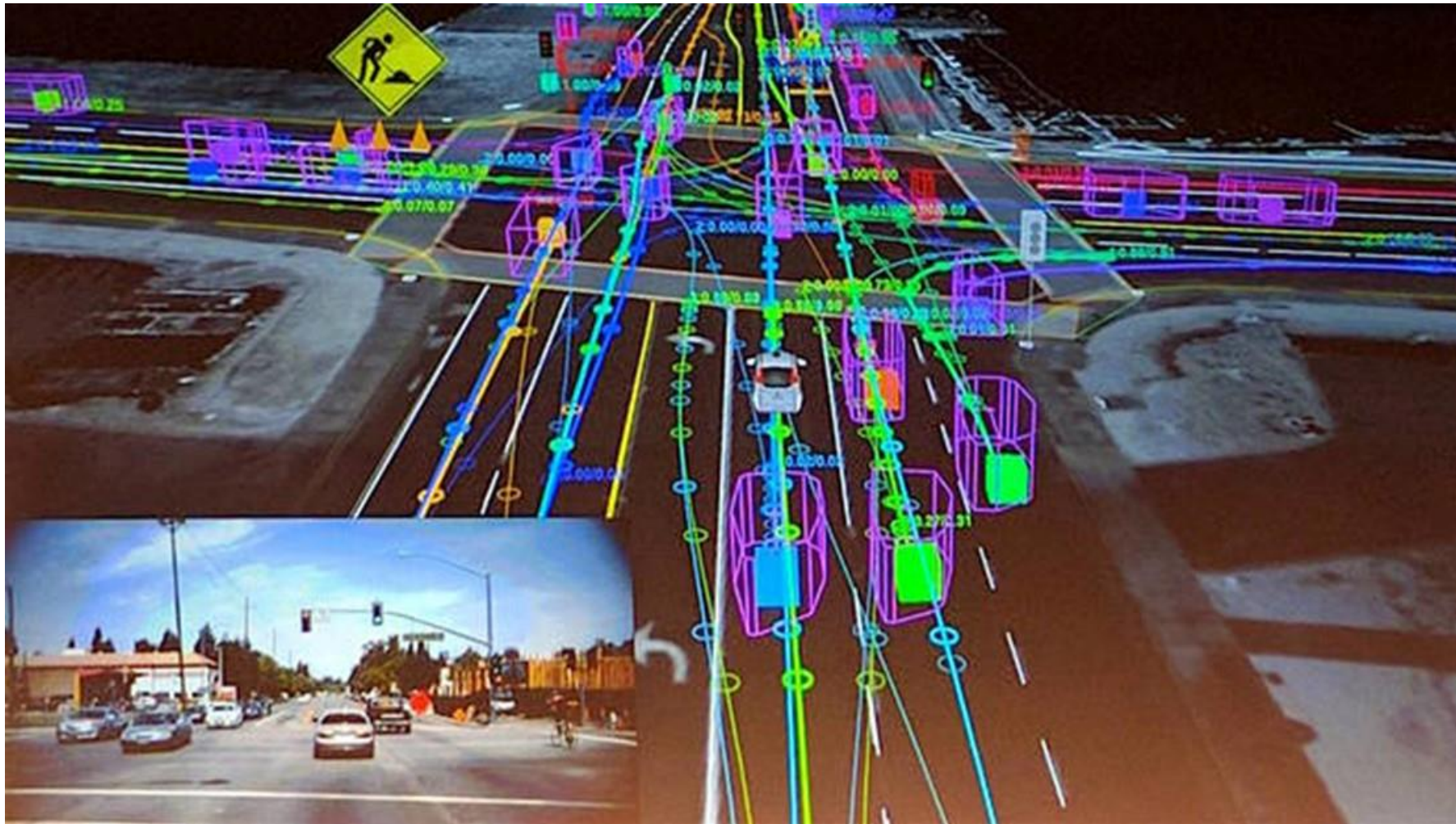
Localização e segmentação de objetos da imagem

# Como um Veículo Autônomo vê o mundo? (4/5)



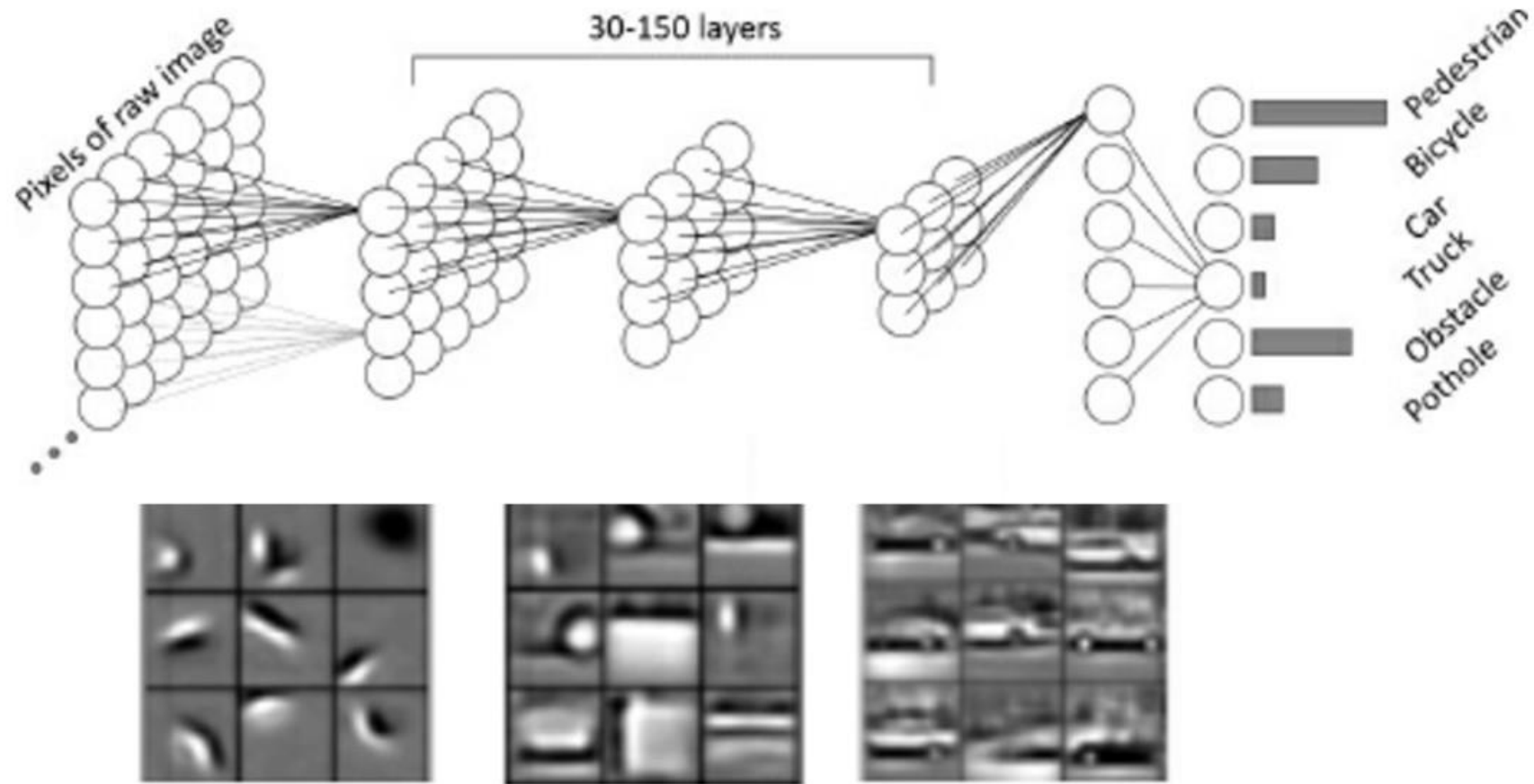
Detecção em 3D de objetos no entorno do Veículo Autônomo

# Como um Veículo Autônomo vê o mundo? (5/5)



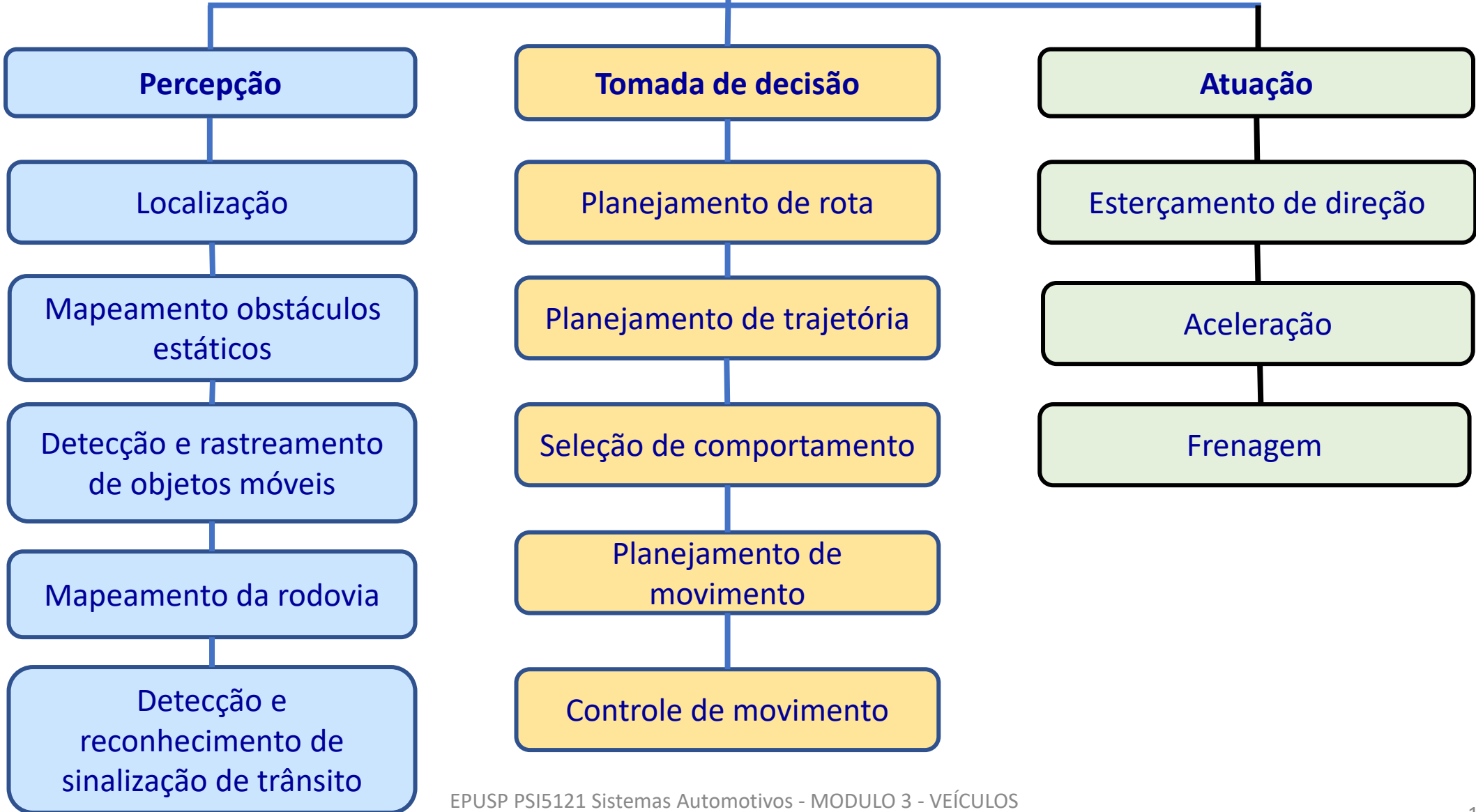
Estimação da trajetória dos objetos móveis

# Como um Veículo Autônomo **percebe** o mundo?

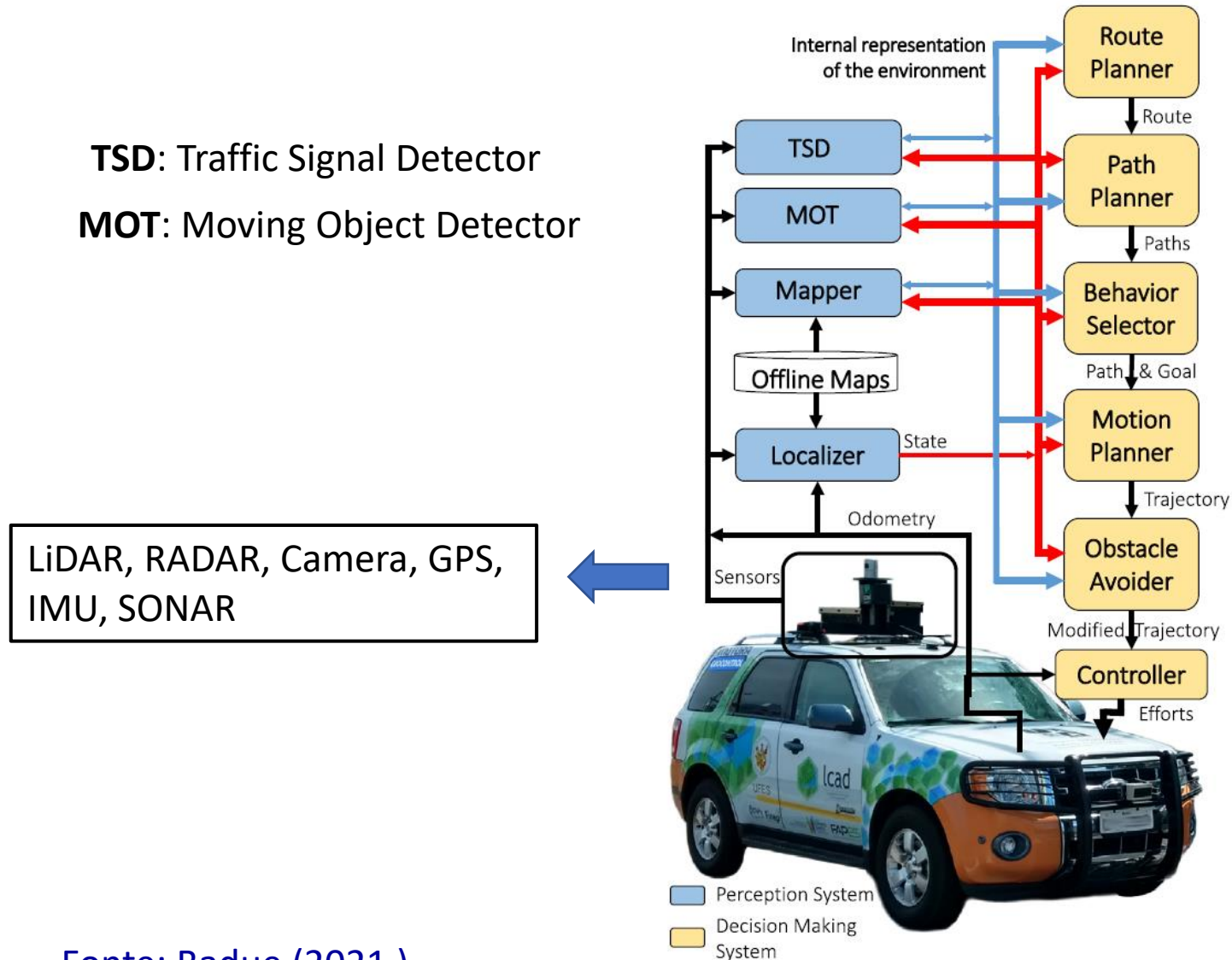


Classificação de objetos por meio de Rede neural convolucional (*Deep Learning*)

# Arquitetura Básica de um Veículo Autônomo



# Arquitetura Básica de um Veículo Autônomo



Fonte: Badue (2021)

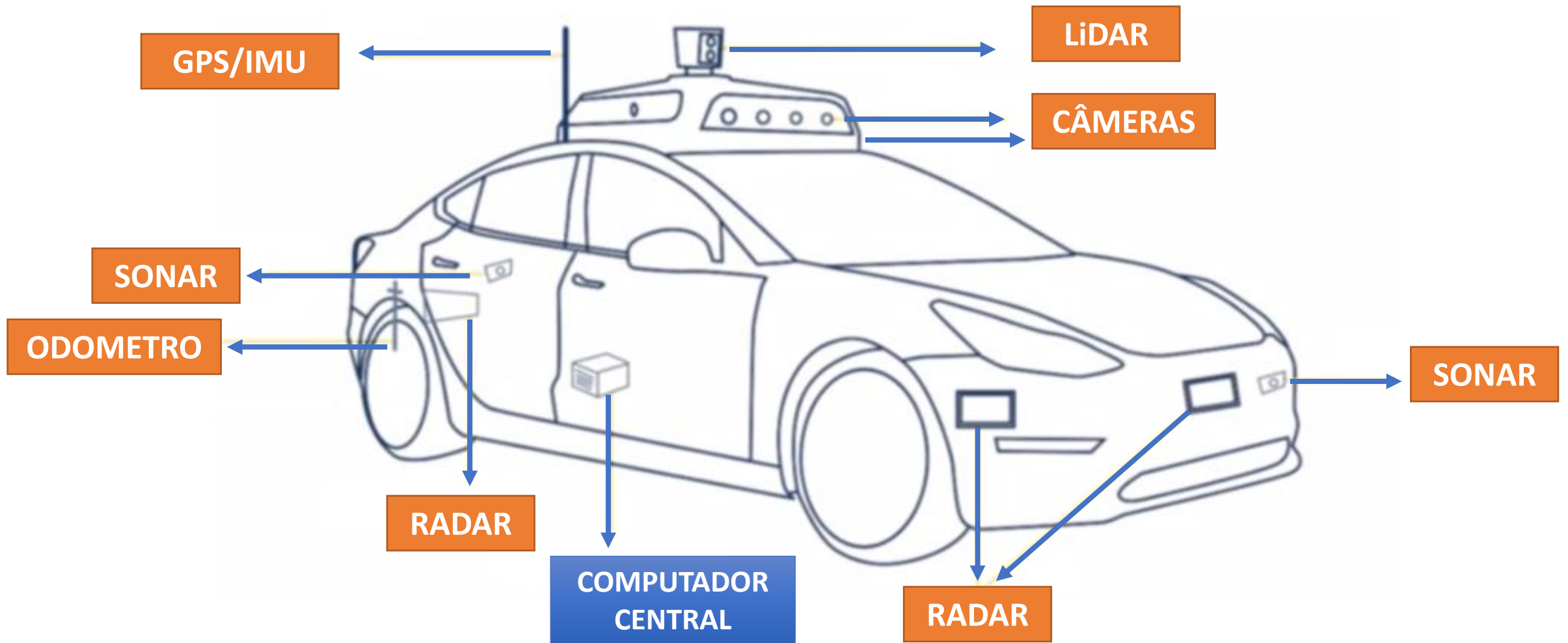
## Exemplo: Waymo (Chrysler Pacifica minivan)



Fonte:

<https://europe.autonews.com/article/20180508/ANE/180509829/in-self-driving-car-race-waymo-leads-traditional-automakers>

# SENSORES PARA PERCEPÇÃO



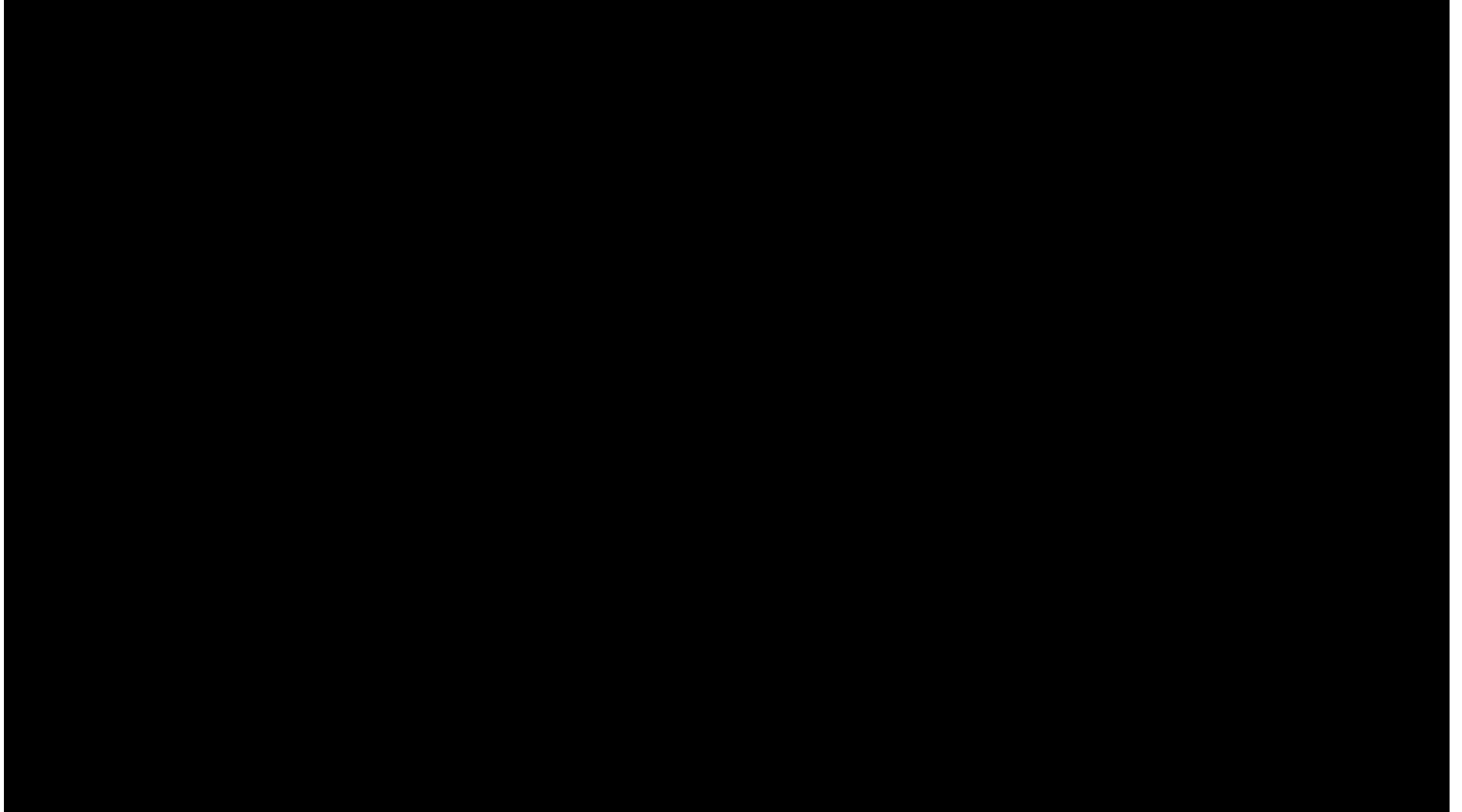


# TESLA AUTOPILOT



<https://www.tesla.com/autopilot>

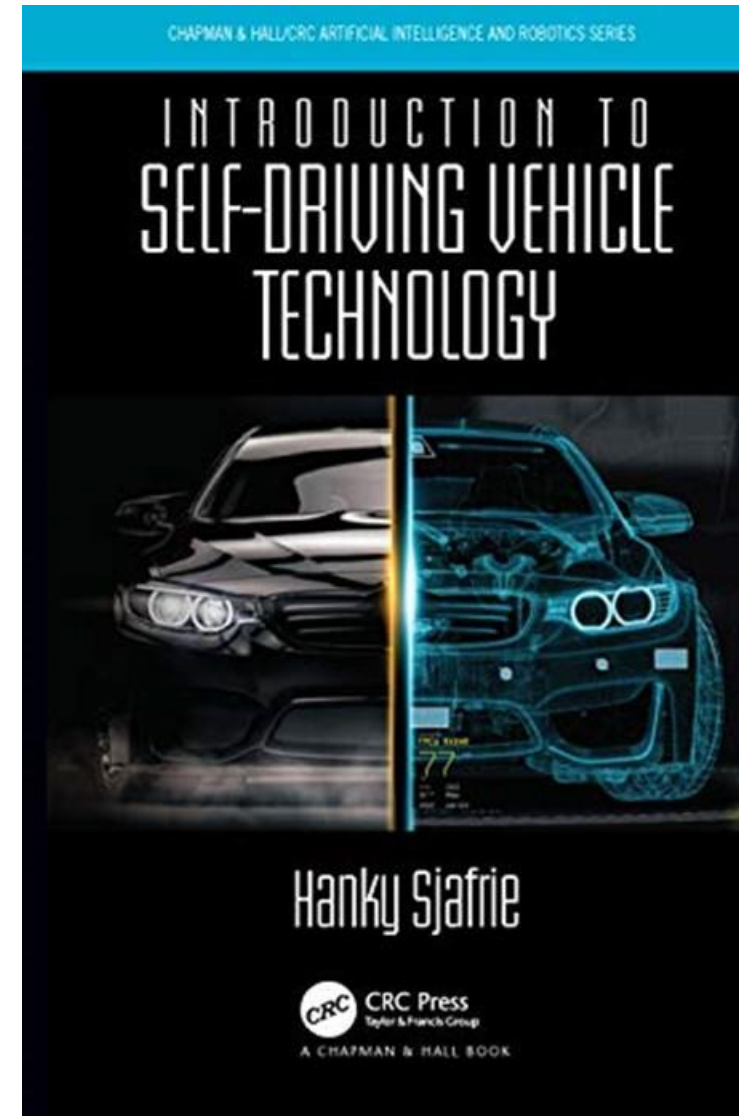
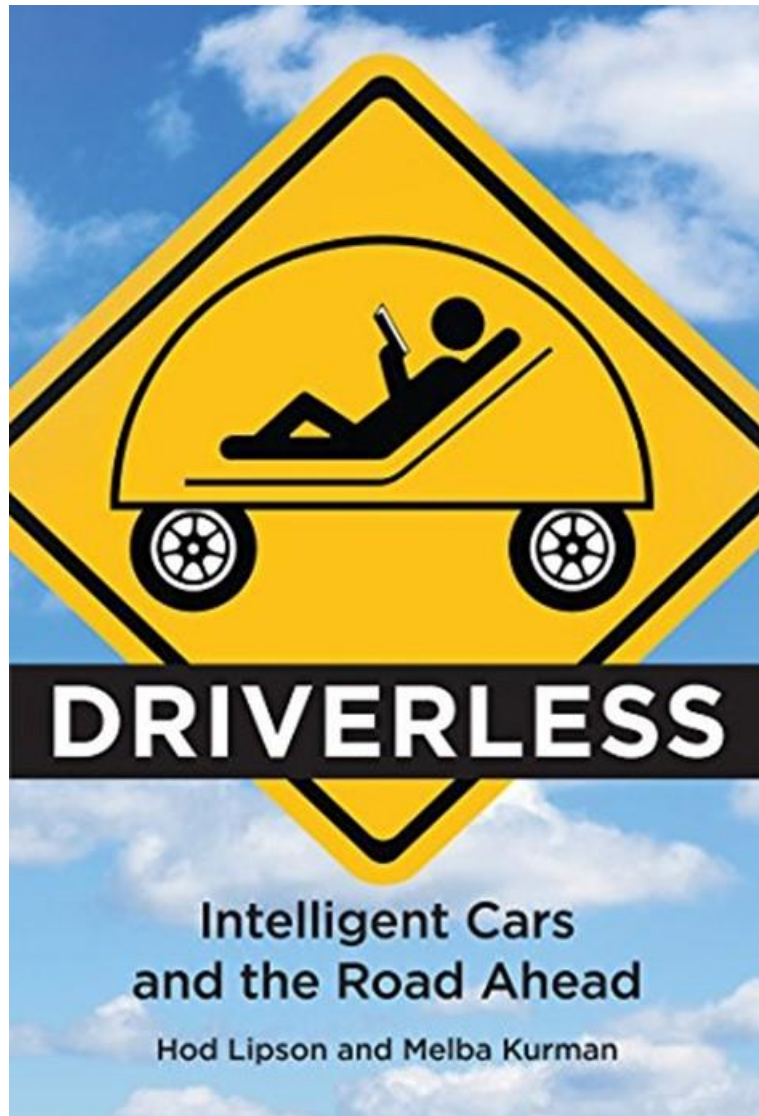
# TESLA AUTOPILOT

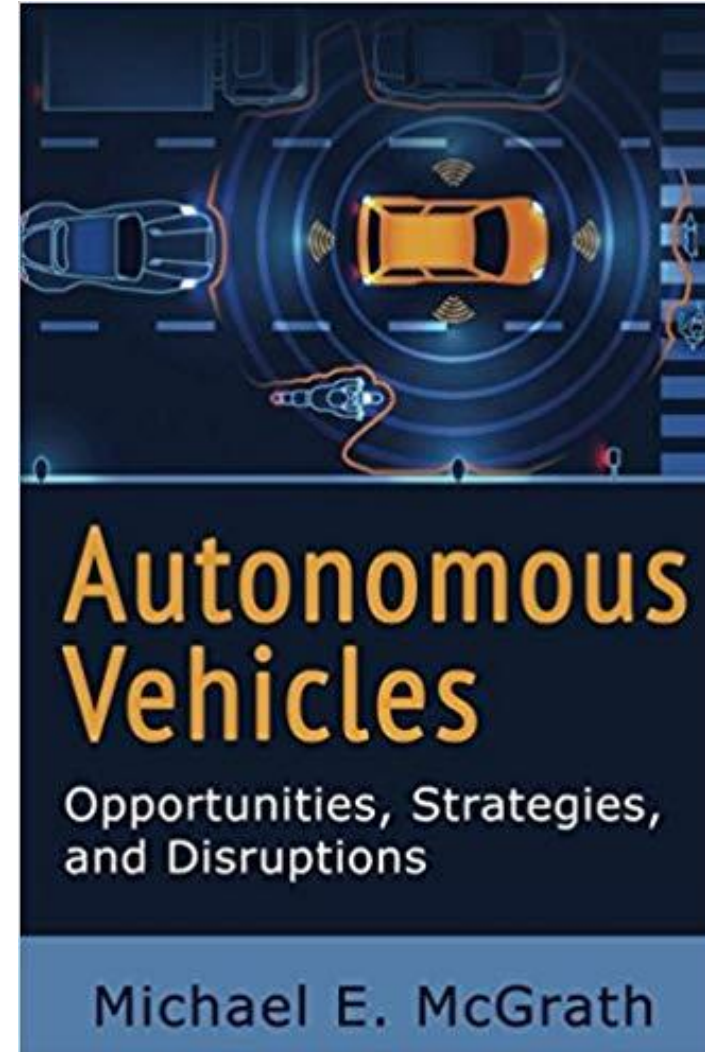
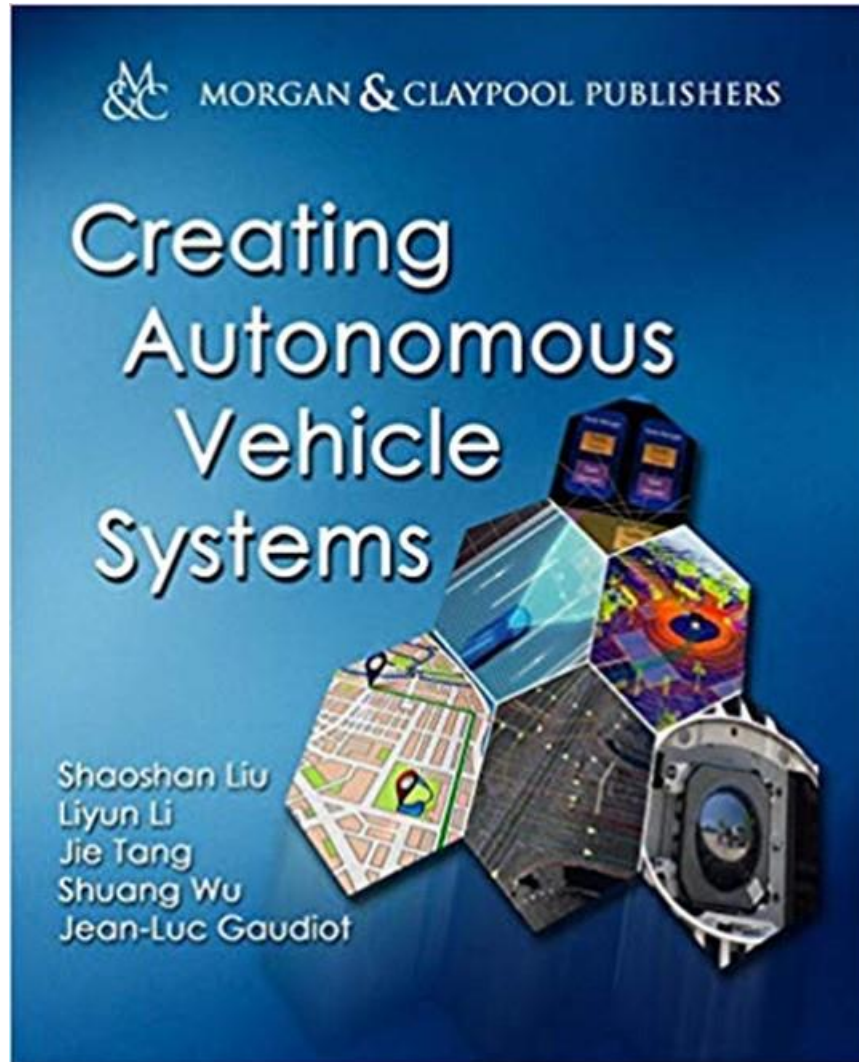


# WAYMO – DRIVERLESS CAR



# LIVROS



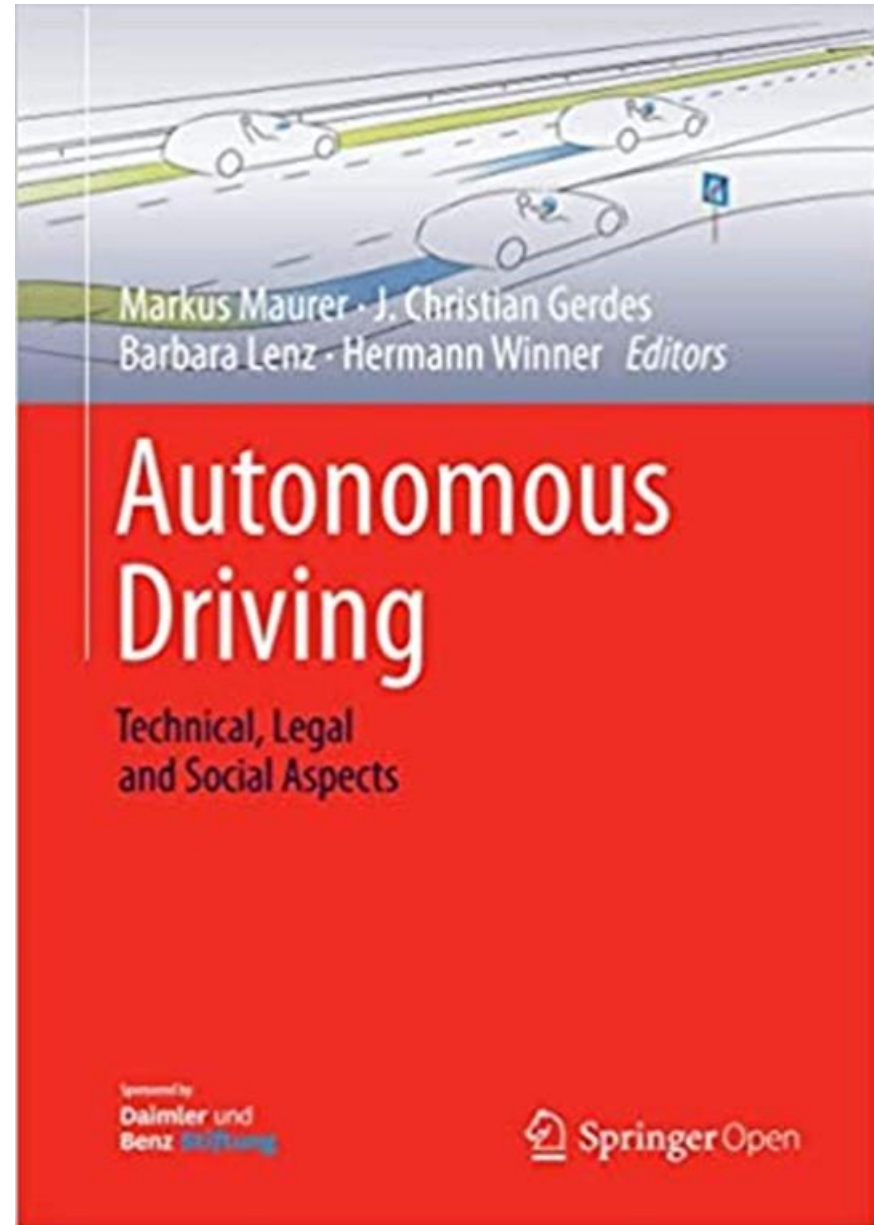


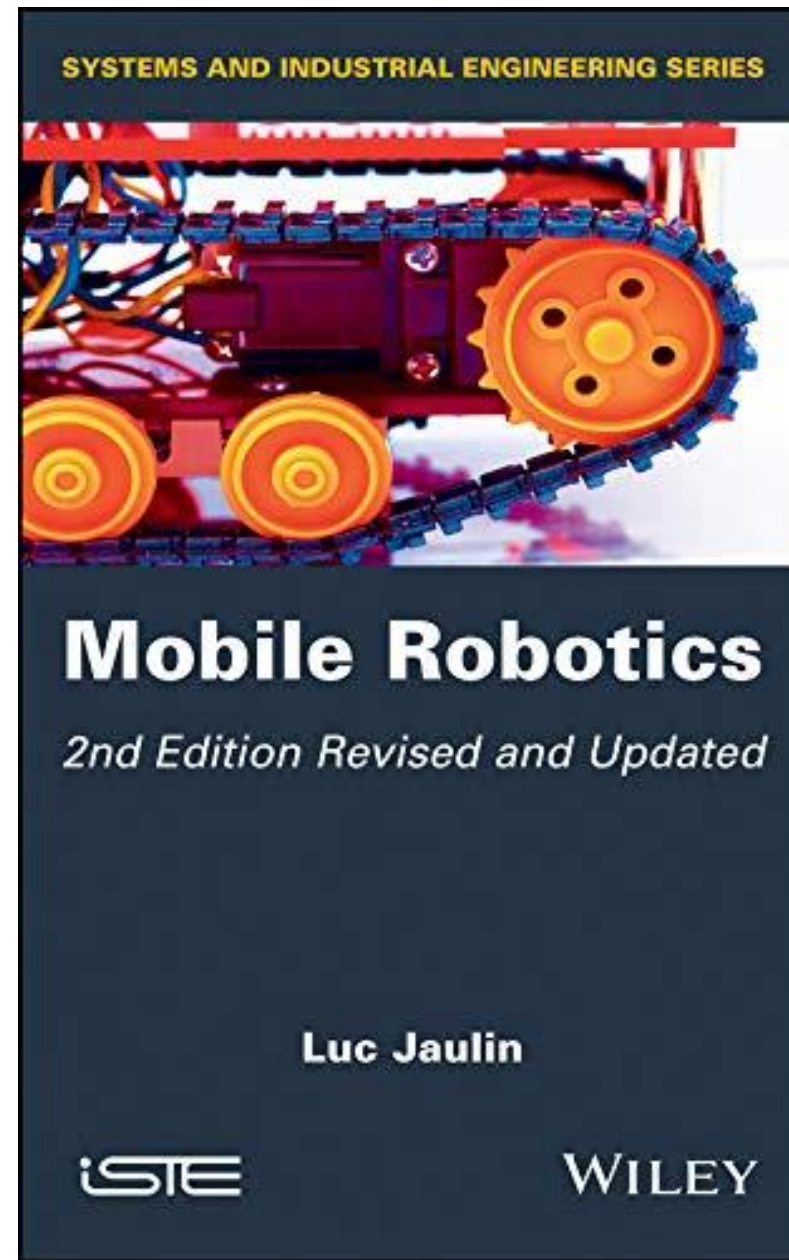
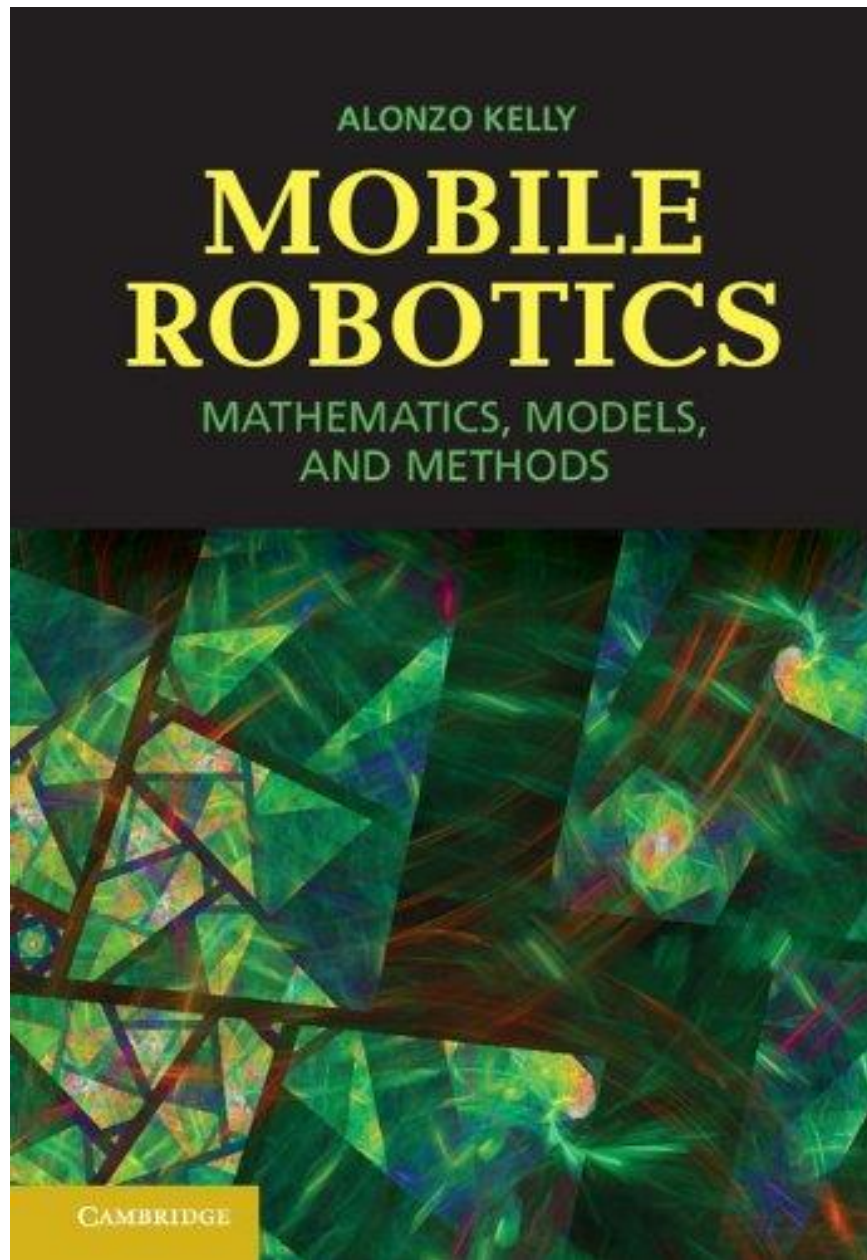
# Autonomous Vehicles for Safer Driving

Edited by Ronald K. Jurgen



**SAE**International  
PROGRESS IN TECHNOLOGY SERIES







# ARTIGOS

## Autonomous Driving in Urban Environments: Boss and the Urban Challenge

.....

.....

**Chris Urmson, Joshua Anhalt, Drew Bagnell,  
Christopher Baker, Robert Bittner,  
M. N. Clark, John Dolan, Dave Duggins,  
Tugrul Galatali, Chris Geyer,  
Michele Gittleman, Sam Harbaugh,  
Martial Hebert, Thomas M. Howard,  
Sascha Kolski, Alonzo Kelly,  
Maxim Likhachev, Matt McNaughton,  
Nick Miller, Kevin Peterson, Brian Plinick,  
Raj Rajkumar, Paul Rybski, Bryan Salesky,  
Young-Woo Seo, Sanjiv Singh, Jarrod Snider,  
Anthony Stentz, William "Red" Whittaker,  
Ziv Wolkowicki, and Jason Zlgar**  
*Carnegie Mellon University  
Pittsburgh, Pennsylvania 15213  
e-mail: curmson@ri.cmu.edu*

**Hong Bae, Thomas Brown, Daniel Demitrish,  
Bakhtiar Litkouhl, Jim Nickolaou,  
Varsha Sadekar, and Wende Zhang**  
*General Motors Research and Development  
Warren, Michigan 48090*

**Joshua Struble and Michael Taylor**  
*Caterpillar, Inc.  
Peoria, Illinois 61656*

**Michael Darms**  
*Continental AG  
Auburn Hills, Michigan 48326*

**Dave Ferguson**  
*Intel Research  
Pittsburgh, Pennsylvania 15213*

Received 22 February 2008; accepted 19 June 2008

Article

# Perception, Planning, Control, and Coordination for Autonomous Vehicles

Scott Drew Pendleton <sup>1,\*</sup>, Hans Andersen <sup>1</sup>, Xinxin Du <sup>2</sup>, Xiaotong Shen <sup>2</sup>, Malika Meghjani <sup>2</sup>, You Hong Eng <sup>2</sup>, Daniela Rus <sup>3</sup> and Marcelo H. Ang Jr. <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Department of Mechanical Engineering, National University of Singapore, Singapore 119077, Singapore; hans.andersen@u.nus.edu (H.A.); mpeangh@nus.edu.sg (M.H.A.J.)

<sup>2</sup> Future Urban Mobility, Singapore-MIT Alliance for Research and Technology, Singapore 138602, Singapore; xinxin@smart.mit.edu (X.D.); xiaotong@smart.mit.edu (X.S.); malika@smart.mit.edu (M.M.); youhong@smart.mit.edu (Y.H.E.)

<sup>3</sup> Department of Electrical Engineering and Computer Science, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA 02139, USA; rus@csail.mit.edu

\* Correspondence: scott.pendleton01@u.nus.edu

Academic Editor: Robert Parkin

Received: 3 January 2017; Accepted: 13 February 2017; Published: 17 February 2017

**Abstract:** Autonomous vehicles are expected to play a key role in the future of urban transportation systems, as they offer potential for additional safety, increased productivity, greater accessibility, better road efficiency, and positive impact on the environment. Research in autonomous systems has seen dramatic advances in recent years, due to the increases in available computing power and reduced cost in sensing and computing technologies, resulting in maturing technological readiness level of fully autonomous vehicles. The objective of this paper is to provide a general overview of the recent developments in the realm of autonomous vehicle software systems. Fundamental components of autonomous vehicle software are reviewed, and recent developments in each area are discussed.

**Keywords:** autonomous vehicles; localization; perception; planning; automotive control; multi-vehicle cooperation

## 1. Introduction

Autonomous Vehicles (AVs) are widely anticipated to alleviate road congestion through higher throughput, improve road safety by eliminating human error, and free drivers from the burden of driving, allowing greater productivity and/or time for rest, along with a myriad of other foreseen benefits. The past three decades have seen steadily increasing research efforts in developing self-driving vehicle technology, in part fueled by advances in sensing and computing technologies which have resulted in reduced size and price of necessary hardware. Furthermore, the perceived societal benefits continue to grow in scale along with the rapid global increase of vehicle ownership. As of 2010, the number of vehicles in use in the world was estimated to be 1.015 billion [1], while the world population was estimated to be 6.916 billion [2]. This translates to one vehicle for every seven persons. The societal cost of traffic crashes in the United States was approximately 300 billion USD in 2009 [3].

# CARLA: An Open Urban Driving Simulator

Alexey Dosovitskiy<sup>1</sup>, German Ros<sup>2,3</sup>, Felipe Codevilla<sup>1,3</sup>, Antonio López<sup>3</sup>, and Vladlen Koltun<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Intel Labs    <sup>2</sup>Toyota Research Institute    <sup>3</sup>Computer Vision Center, Barcelona

**Abstract:** We introduce CARLA, an open-source simulator for autonomous driving research. CARLA has been developed from the ground up to support development, training, and validation of autonomous urban driving systems. In addition to open-source code and protocols, CARLA provides open digital assets (urban layouts, buildings, vehicles) that were created for this purpose and can be used freely. The simulation platform supports flexible specification of sensor suites and environmental conditions. We use CARLA to study the performance of three approaches to autonomous driving: a classic modular pipeline, an end-to-end model trained via imitation learning, and an end-to-end model trained via reinforcement learning. The approaches are evaluated in controlled scenarios of increasing difficulty, and their performance is examined via metrics provided by CARLA, illustrating the platform’s utility for autonomous driving research.

**Keywords:** Autonomous driving, sensorimotor control, simulation

## 1 Introduction

Sensorimotor control in three-dimensional environments remains a major challenge in machine learning and robotics. The development of autonomous ground vehicles is a long-studied instantiation of this problem [22, 26]. Its most difficult form is navigation in densely populated urban environments [21]. This setting is particularly challenging due to complex multi-agent dynamics at traffic intersections; the necessity to track and respond to the motion of tens or hundreds of other actors that may be in view at any given time; prescriptive traffic rules that necessitate recognizing street signs, street lights, and road markings and distinguishing between multiple types of other vehicles; the long tail of rare events – road construction, a child running onto the road, an accident ahead, a rogue driver barreling on the wrong side; and the necessity to rapidly reconcile conflicting objectives, such as applying appropriate deceleration when an absent-minded pedestrian strays onto the road ahead but another car is rapidly approaching from behind and may rear-end if one brakes too hard.

Research in autonomous urban driving is hindered by infrastructure costs and the logistical difficulties of training and testing systems in the physical world. Instrumenting and operating even one robotic car requires significant funds and manpower. And a single vehicle is far from sufficient for collecting the requisite data that cover the multitude of corner cases that must be processed for both training and validation. This is true for classic modular pipelines [21, 8] and even more so for data-hungry deep learning techniques. Training and validation of sensorimotor control models for urban driving in the physical world is beyond the reach of most research groups.

# Vídeos recomendados



The Evolution of Self-Driving Vehicles

Palestra do Sebastian Thrun e  
Chris Urmson (3 partes)

<https://www.youtube.com/watch?v=z7ub5Doyapk>



Chris Urmson: How a driverless car sees the road

<https://www.youtube.com/watch?v=tiwVMrTLUWg&t=236s>



How we teach computers to understand pictures | Fei Fei Li

<https://www.youtube.com/watch?v=40riCqvRoMs>

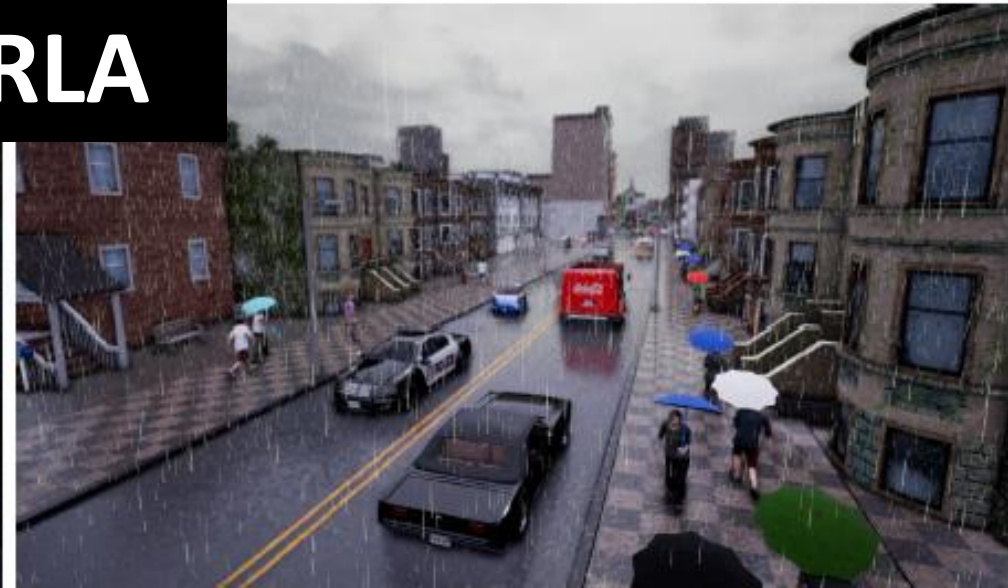
# Plataforma de simulação open-source para pesquisa em direção autônoma



<http://carla.org/>

- **CAR Learning to Act - CARLA**
- Suporte para desenvolvimento, prototipação, e validação de modelos de veículos autônomos, incluindo **percepção** e **controle**
- Possui uma base de dados de layouts urbanos, prédios e veículos, pedestres e semáforos
- Permite especificar os sensores e as condições ambientais

# CARLA



Uma rua do Town 2 com diferentes condições ambientais

# Histórico (1/2)

- **1939** - Futurama (GM)
- **1988** – NAVLAB (Carnegie Mellon Univ.)
- **1997** – Automatic High System (DoT / NHTSA)
- **2004 e 2005** – DARPA Grand challenge
- **2007** – DARPA Urban challenge
- **2012** – Toyota Prius com **tecnologia driverless** do **Google** recebe licença circulação do Departamento de Trânsito de Nevada



California PATH





# Histórico (2/2)

- **2014** – Firefly (Google)
- **2016** – GM comprou Cruise Automation
- **2016** – Uber compra Otto
- **2017** – A8 (Audi)
- **2017** – Ford compra Argo AI
- **2018** – Serviço de carona em Phoenix, Arizona (Waymo)



# Personal Rapid Transit - veículos elétricos autônomos



Heathrow Airport, Londres



Rivium Parkshuttle, Holanda



Masdar City, Emirados Arabes

# Minibus elétricos autônomos



## EasyMile (Alstom, Continental)

- 12 passageiros (6 sentados)
- Opera em 30 cidades de 16 países

<https://easymile.com/>



## Apollo (Baidu, Toyota)

- 14 passageiros (8 sentados)

<http://apollo.auto/minibus/index.html>

# e-Palette (Toyota) – Olimpíada de Tokyo 2020



Serviço circular dentro da Vila Olímpica



7 passageiros sentados e 4 cadeirantes

<https://www.dezeen.com/2019/10/14/toyota-e-palette-tokyo-2020-olympics/>

# Veículos autônomos de entrega (*delivery robots*)



Starship



Amazon



FEDEX

[https://www.youtube.com/watch?v=dagjQW\\_jgtE](https://www.youtube.com/watch?v=dagjQW_jgtE)

# Termos e definições

- **Tarefas** associadas à **condução** de um veículo
  - Planejar como ir do ponto **A** (partida) para o ponto **B** (destino)
  - Perceber o ambiente
  - Controlar o veículo
- **Domínio de Operação de Projeto (ODD – *Operational Design Domain*)**
  - Condições climáticas, infraestrutura da via, velocidade máxima etc

- **Tarefas mais específicas de condução de veículo**

- Controle Lateral - esterçamento das rodas direcionais
- Controle longitudinal – frenagem, aceleração
- Detecção de objetos e eventos e resposta (OEDR) – detecção e reação



Esterçamento



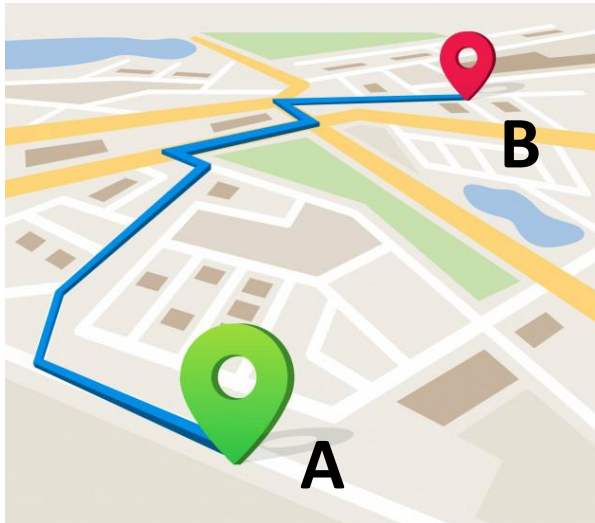
Aceleração e  
frenagem



Detecção e reação

- **Planejamento**

- Longo prazo – rota para ir do ponto A ao ponto B
- Curto prazo – trajetória a ser seguida



Planejamento de rota



Trajectoria linear  
numa avenida

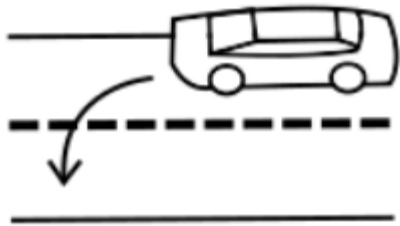


Rotatória no Arco do Triunfo, Paris  
com múltiplas opções de trajetória

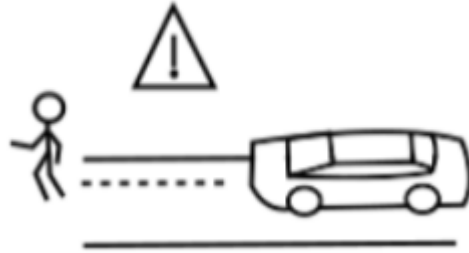


# Tipos de ações requeridas para a condução de um veículo

Controle lateral



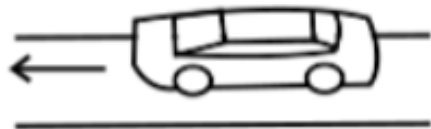
OEDR



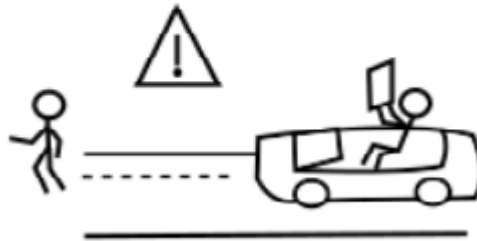
ODD

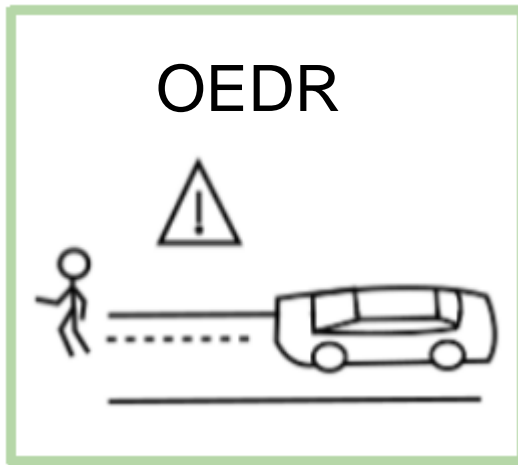


Controle longitudinal



Fallback





## Detecção de objetos e eventos, e Resposta

Inclui:

- **monitorar** o ambiente de condução
  - detecção, reconhecimento e classificação de
    - objetos na via
    - ocorrência de eventos
- **responder** adequadamente aos objetos e eventos

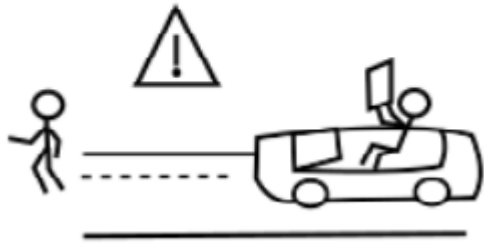
# Exemplo OEDR



# Exemplo OEDR



Fallback



**Ação de contingência diante de uma situação de emergência ou desconhecida (*corner case*)**

- Risco de colisão
- Decisão de trajetória incerta
- Sinalização duvidosa
- Situação desconhecida ou inusitada
- Falha do veículo

# Classificação de nível de Autonomia

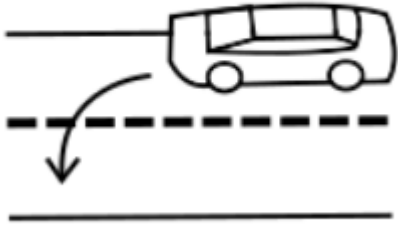
- Controle lateral automatizada?
- Controle longitudinal automatizada?
- Como é tratada **OEDR** (**O**bject and **E**vent **D**etection and **R**esponse)?
  - Resposta automática à emergência
  - Supervisão do motorista
- Quanto ao **ODD** (**O**peration **D**omain **D**esign)?
  - Restrito
  - Irrestrito

# Nível 0 - sem automação

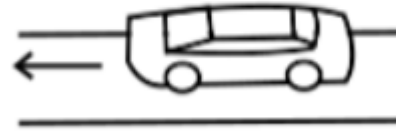
- O motorista é o **responsável 100%** pela condução do veículo.
- É assistido por **itens de segurança**:
  - ABS
  - Airbag
  - câmera de ré
  - ESP (controle de estabilidade)
  - etc

# Nível 1 - direção assistida

## Controle lateral



## Controle longitudinal



## Automatização:

- Um dos dois controles, não ambos

## Motorista é responsável:

- Um dos controles
- OEDR: motorista
- Fallback: motorista

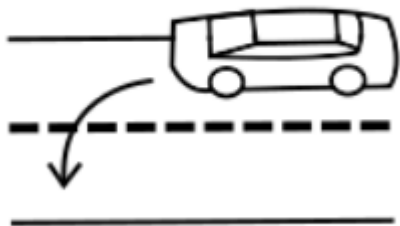
## Exemplos:

- **Assistente de manutenção de faixa (*lane keeping*)**
  - Ajuda a manter a sua faixa, caso desvie
- **Controle Adaptativo de Cruzeiro (ACC)**
  - Mantêm a velocidade desejada, o condutor controla a direção

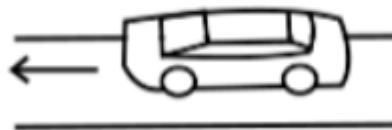


# Nível 2 - automação parcial de direção

Controle lateral



Controle longitudinal



**Automatização:**

- Ambos controles

**Motorista é responsável:**

- OEDR: motorista
- Fallback: motorista

**Exemplos:**



GM Super Cruise



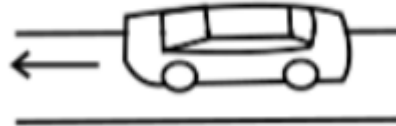
Nissan ProPilot Assist

# Nível 3 - automação condicional

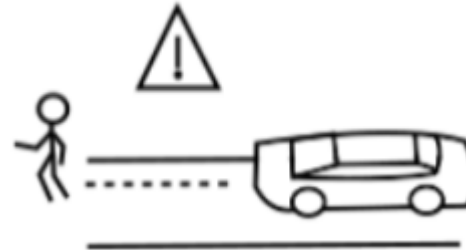
Controle lateral



Controle longitudinal



OEDR



**Automatização:**

- Ambos controles
- OEDR

**Motorista é responsável:**

- Fallback

Inclui capacidade detecção de **objetos** e **eventos** e resposta

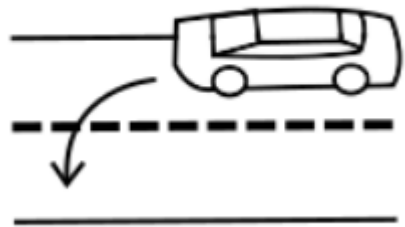
**Exemplo:**

[Audi A8 Sedan](#)

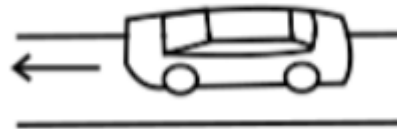


# Nível 4 - elevado nível de automação

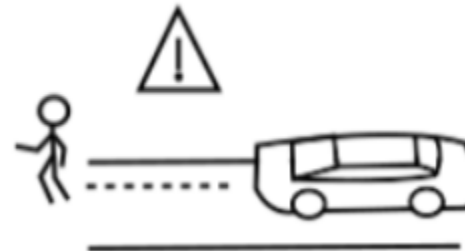
Controle lateral



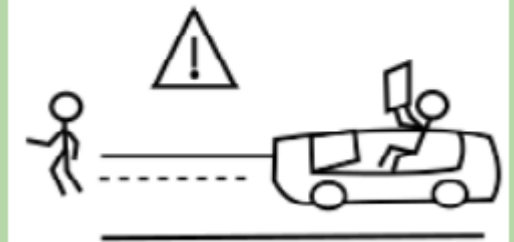
Controle longitudinal



OEDR



Fallback



Automação 100%. O motorista pode focar em outras tarefas. Mas, **ODD limitado**.

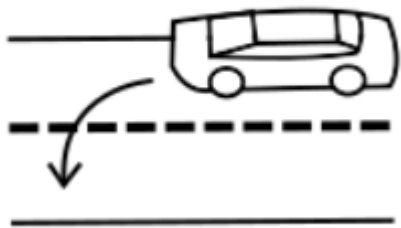
Exemplo:

[WAYMO](#)

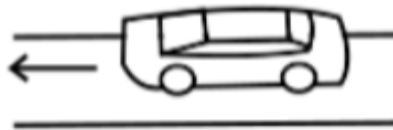


# Nível 5 - automação completa

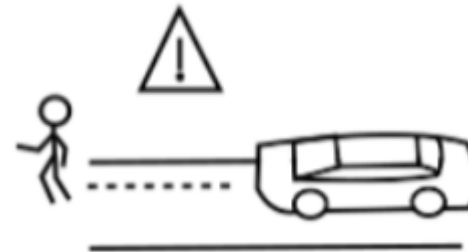
Controle lateral



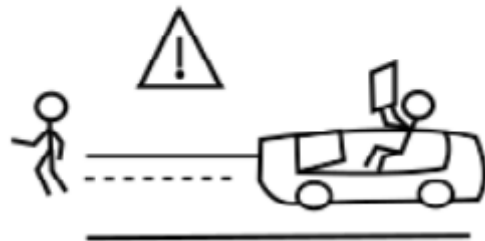
Controle longitudinal



OEDR



Fallback

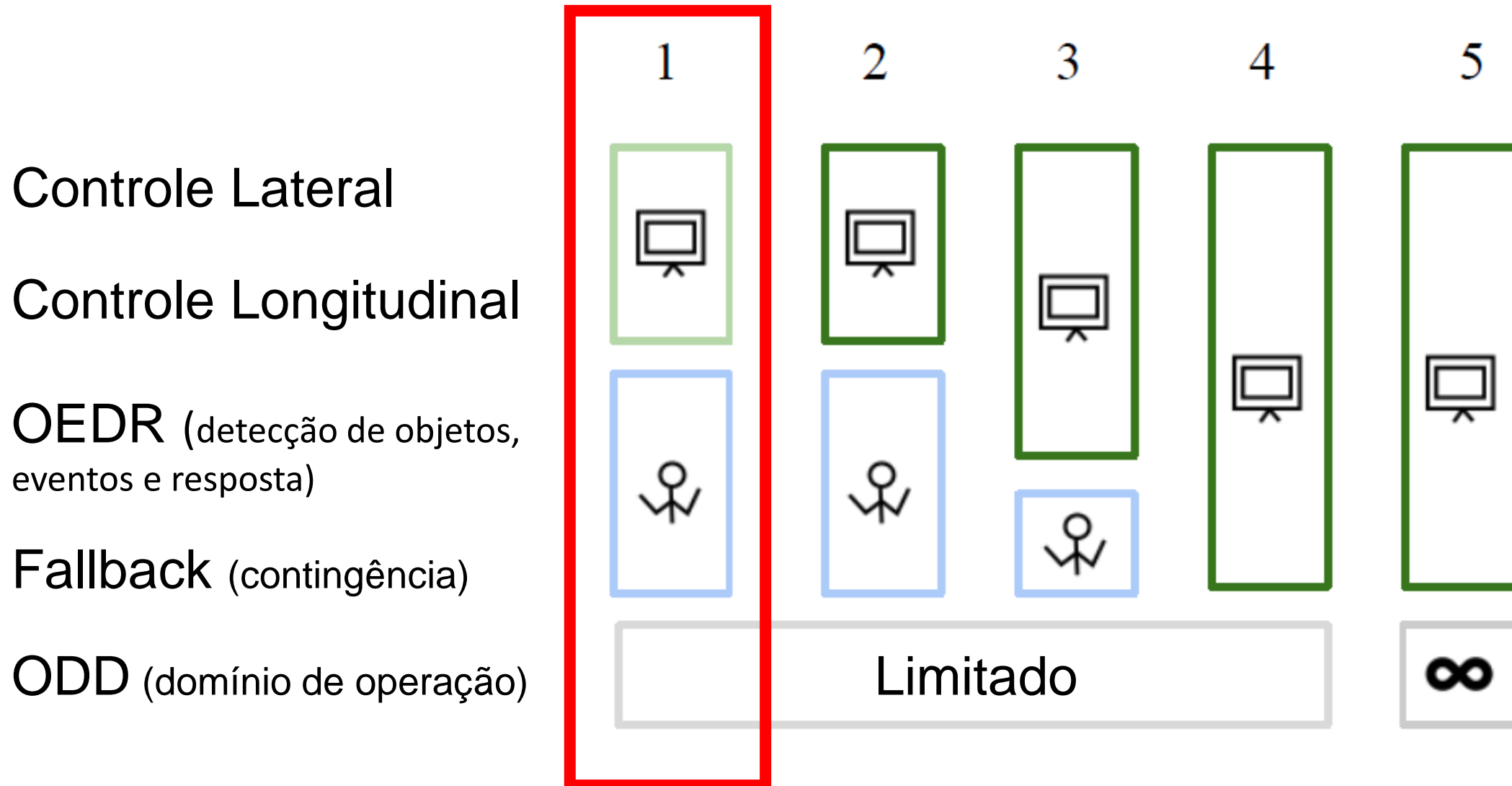


ODD irrestrito

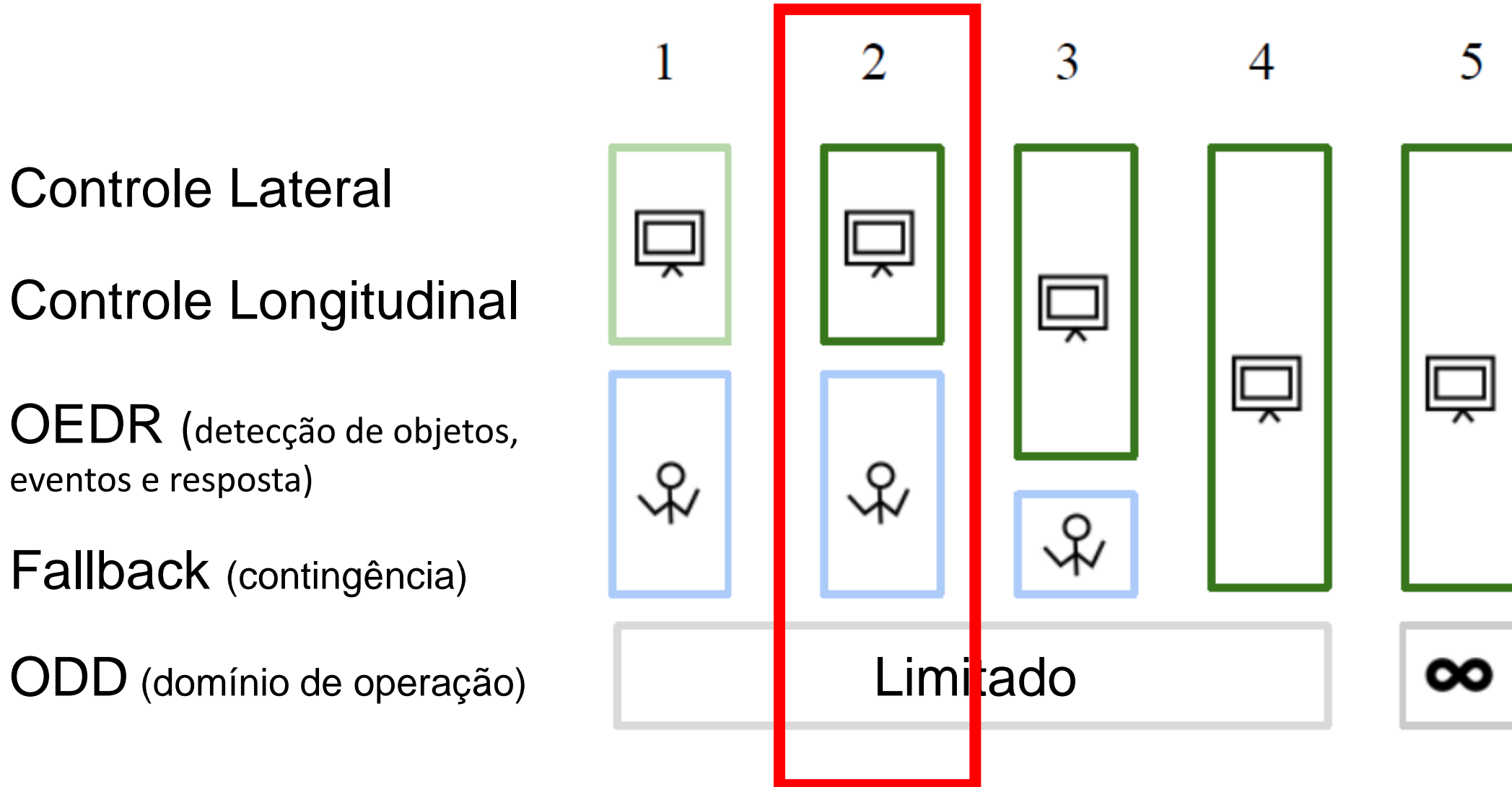


**Pode operar autonomamente em qual que clima e em todos os lugares.**

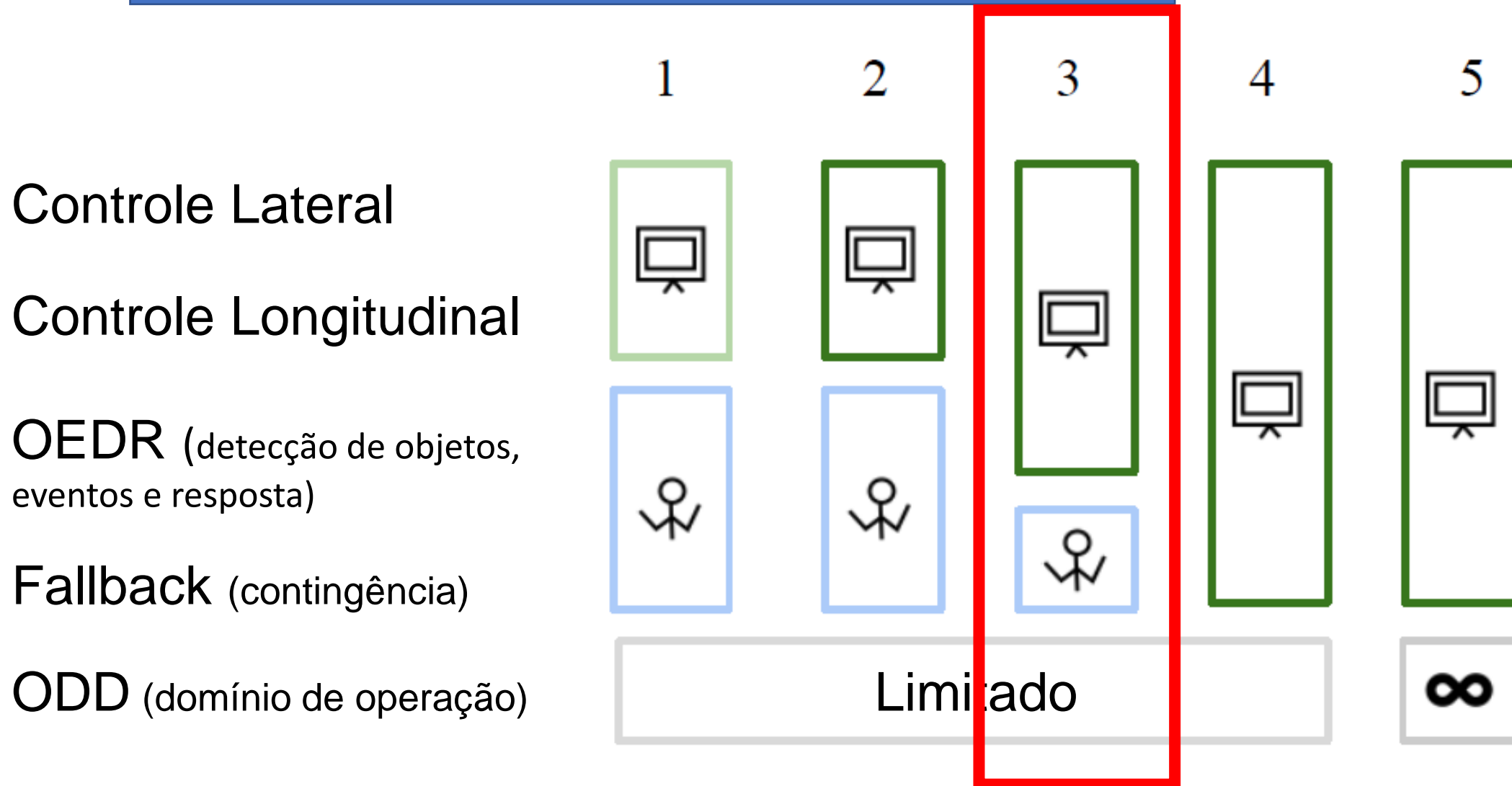
# Resumo: níveis de automação



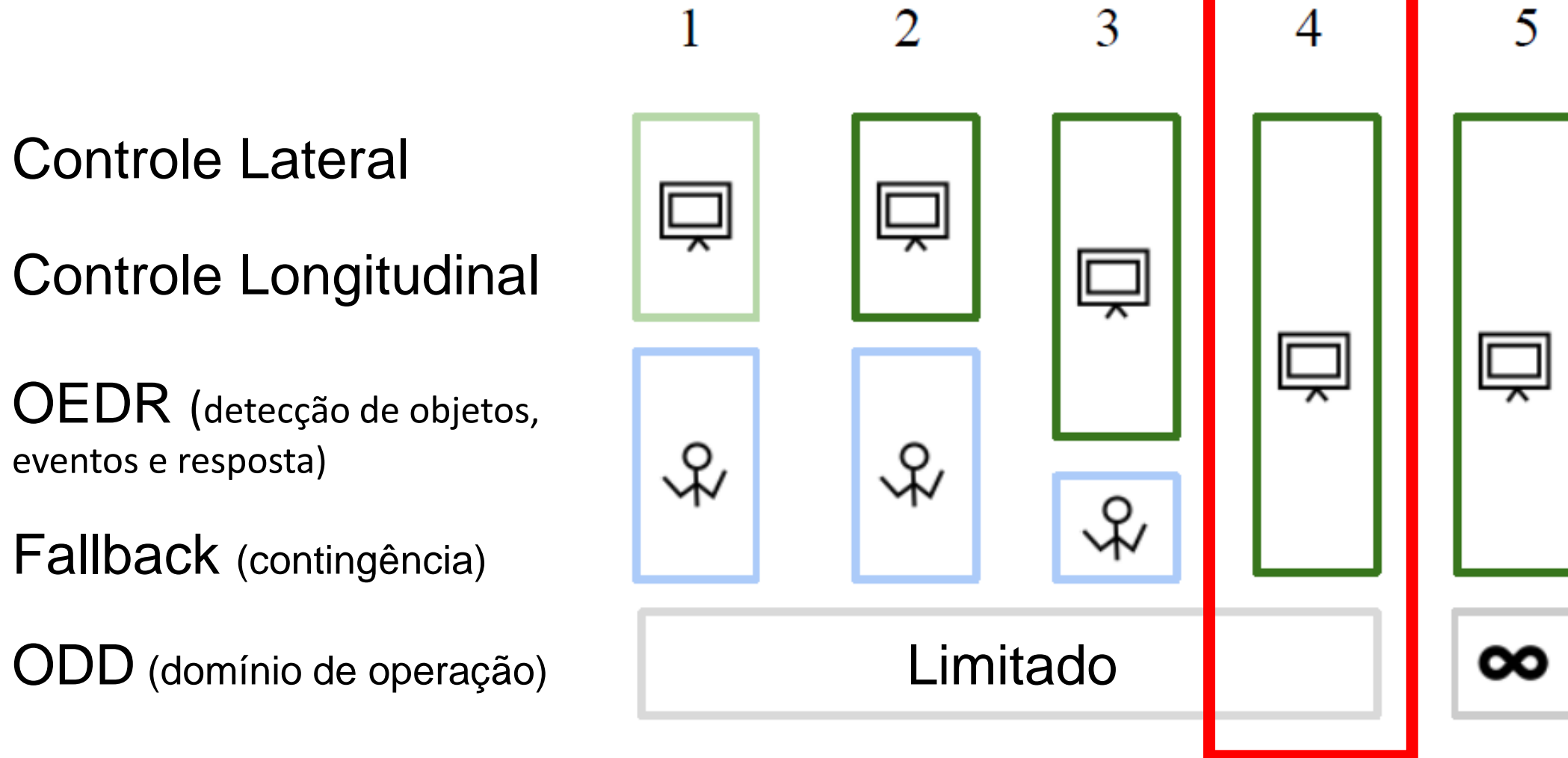
# Resumo: níveis de automação



# Resumo: níveis de automação

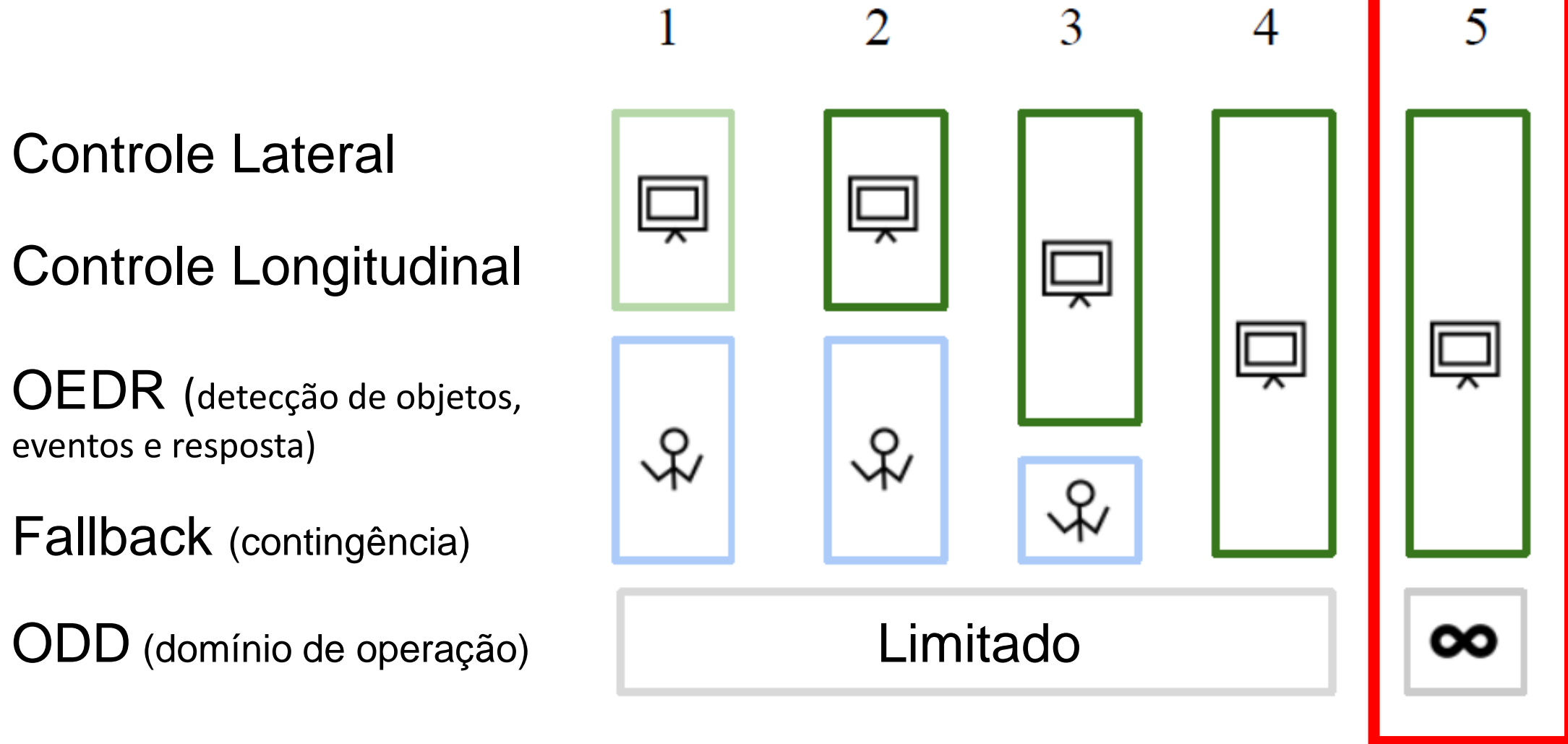


# Resumo: níveis de automação





# Resumo: níveis de automação



# Parte 2 – Fundamentos

- Termos e Definições
- Classificação de níveis de autonomia
- **Percepção do ambiente**
- Planejamento e tomada de decisão

# Percepção do Ambiente

- O que é percepção?
- Os objetivos da percepção
  - objetos estáticos e dinâmicos
- Desafios da percepção

# Processo:

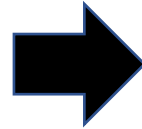


(Visão do entorno)



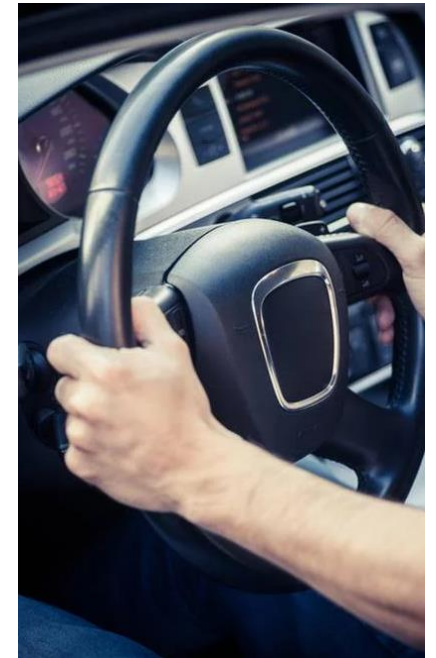
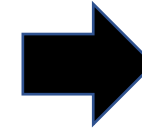
Analisar o  
movimento e  
o ambiente

(Percepção)



Decidir e  
planejar a  
manobra

(Planejamento)



(Manobra)

# Objetivos da percepção

- Reconhecer **objetos estáticos**
  - Via e sinalizações horizontais (dentro da via)



# Objetivos da percepção

- Reconhecer **objetos estáticos**
  - Meio-fio (fora da via)



# Objetivos da percepção

- Reconhecer **objetos estáticos**
  - Semáforos (fora da via)



# Objetivos da percepção

- Reconhecer **objetos estáticos**
  - Sinalização vertical (fora da via)





# Objetivos da percepção

- Reconhecer **objetos estáticos**
  - Sinalização de obras, obstruções, desvios etc



# Objetivos da percepção

- Reconhecer **objetos dinâmicos (na via)**

- Reconhecer **objetos dinâmicos (na via)**
  - Veículos
    - Automóveis
    - caminhões



- Reconhecer **objetos dinâmicos (na via)**
  - Duas rodas
    - motocicletas
    - bicicletas



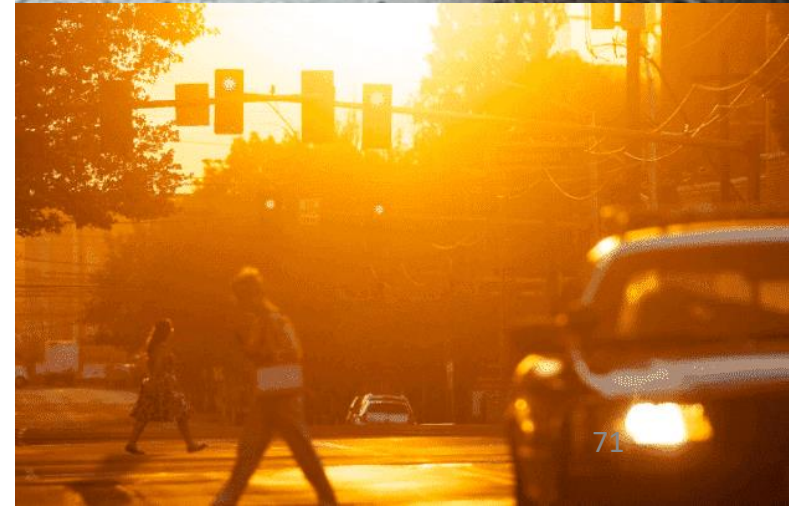
- Reconhecer **objetos dinâmicos (na via)**
  - Pedestres



- **Reconhecer a sua localização precisa (Ego localization)**
  - localização
  - posição na via (faixa)
  - velocidade, aceleração
  - direção, movimento angular

# Desafios da percepção

- Detecção robusta e segmentação
- Incerteza dos sensores
- Oclusão, reflexão
- Iluminação, reflexo na lente
- Clima, precipitações



# Parte 2 – Fundamentos

- Termos e Definições
- Classificação de níveis de autonomia
- Percepção do ambiente
- **Planejamento e tomada de decisão**



# Planejamento e tomada de decisão

- Planejamentos de acordo com janela de tempo
- Decisões necessárias num cenário de intersecção simples
- Tipos de planejamento
  - Reativo
  - preditivo

# Planejamento de acordo com janela de tempo

- **Longo prazo** (próximos 15 ~ 30 minutos ou horas)
  - Qual rota vou escolher para ir de São Paulo a Santos
- **Curto prazo** (próximos segundos)
  - Posso mudar para a faixa da esquerda?
  - Posso entrar nesta intersecção e virar à esquerda?
- **Imediato** (ação atual)
  - Posso continuar na trajetória atual nesta via curva?
  - Acelerar ou frear, quanto?

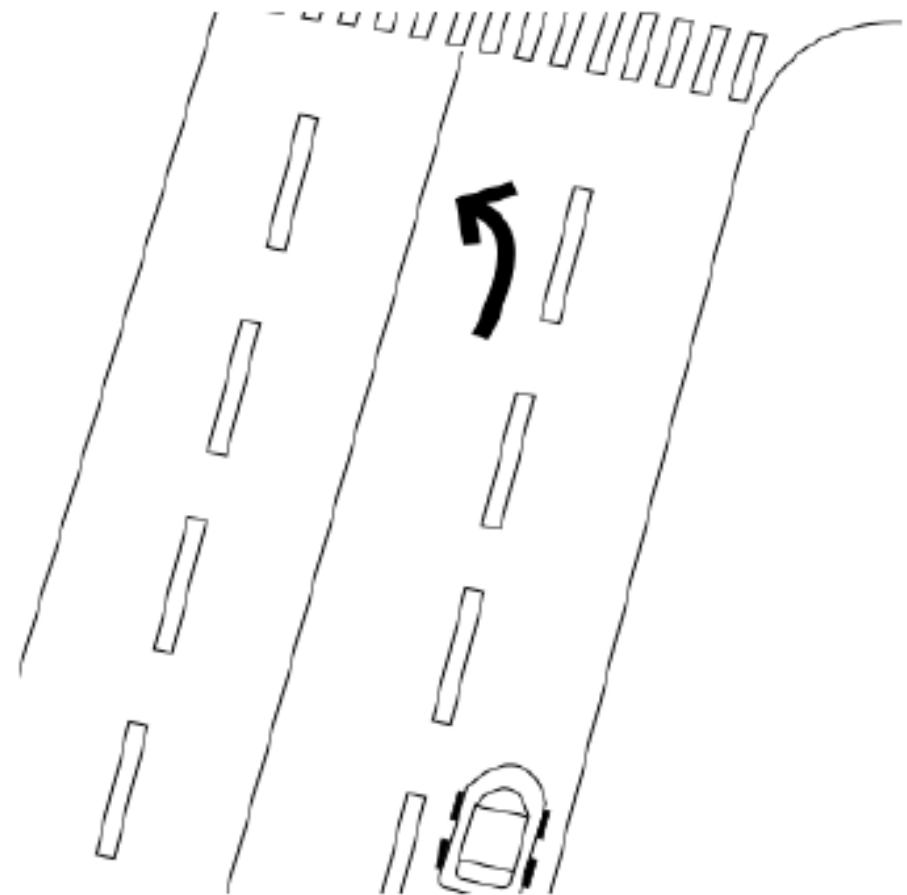
# Exemplo: virar à esquerda numa intersecção (1/6)

- Você está se aproximando de uma **intersecção** e pretende **virar à esquerda**
- **Assumir** que a intersecção tem **semaforização**



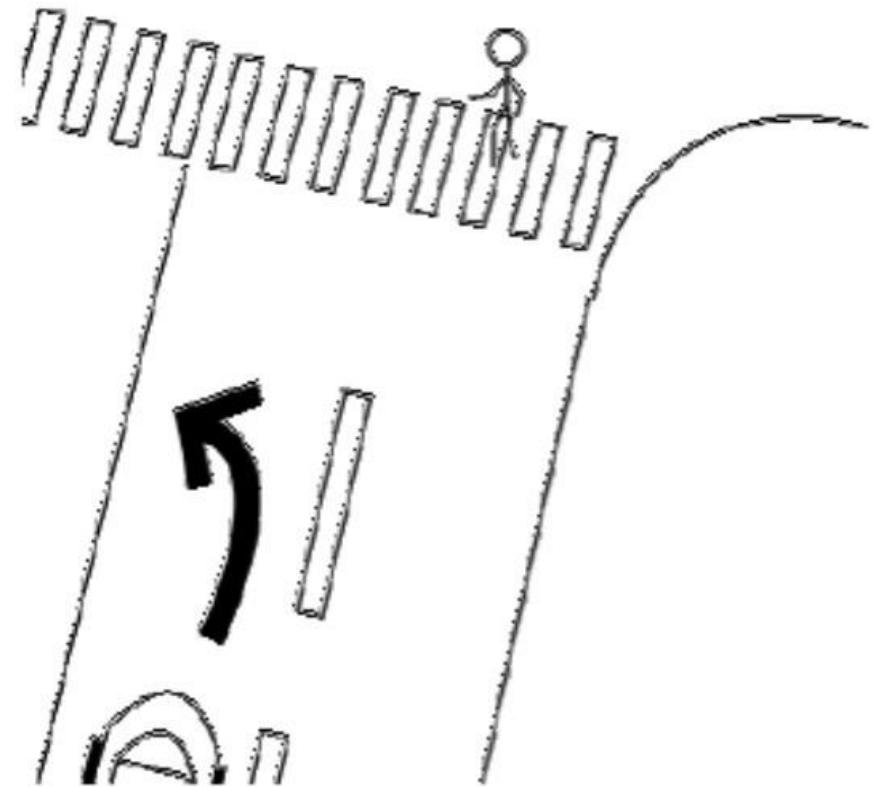
# Exemplo: virar à esquerda numa intersecção (2/6)

- **Identificar a faixa** para virar à esquerda



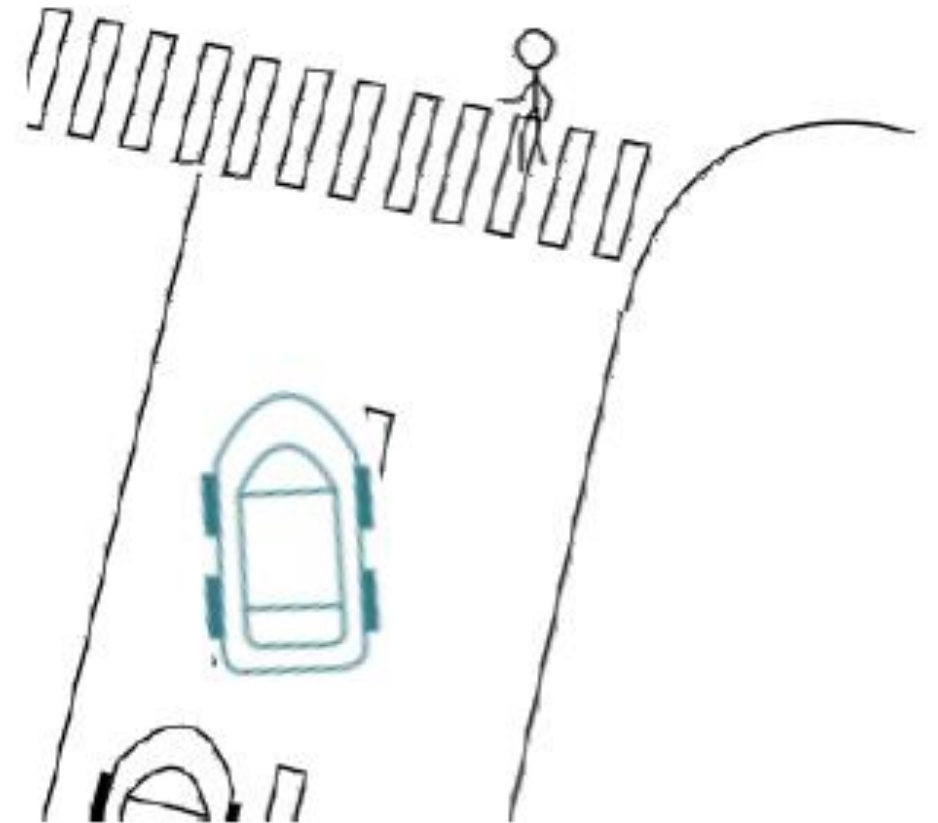
# Exemplo: virar à esquerda numa intersecção (3/6)

- Identificar a faixa para virar à esquerda
- Se **aproximar** da intersecção, desacelerar suavemente e **parar** antes da intersecção



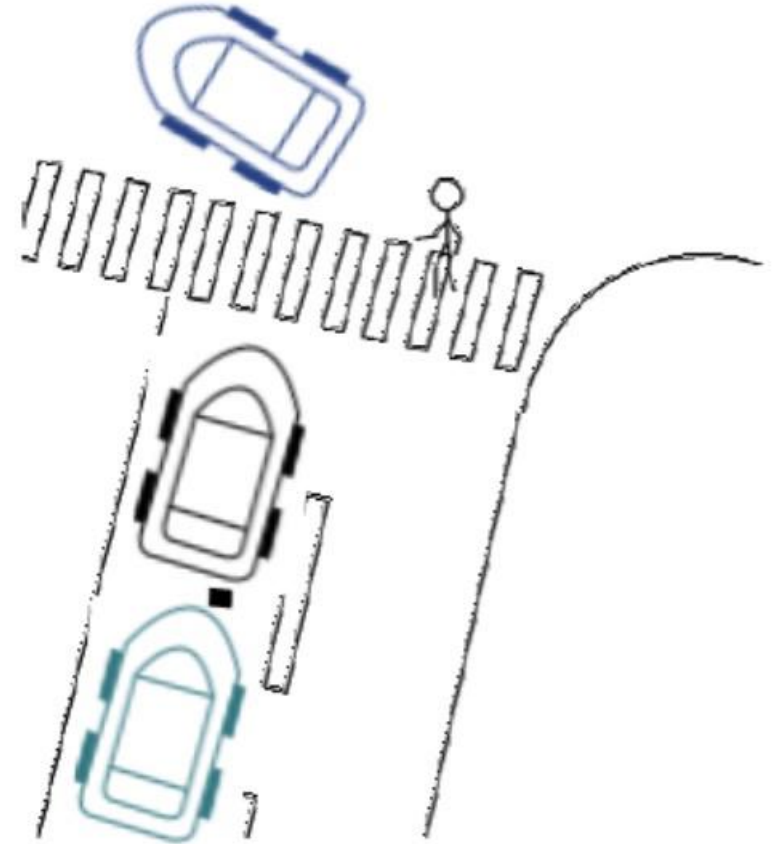
# Exemplo: virar à esquerda numa intersecção (4/6)

- Identificar a faixa para virar à esquerda
- Se aproximar da intersecção, desacelerar suavemente e parar antes da intersecção
- O que fazer se
  - Um veículo entra na frente?
  - Tem um pedestre atravessando?



# Exemplo: virar à esquerda numa intersecção (5/6)

- Identificar a faixa para virar à esquerda
- Se aproximar da intersecção, desacelerar suavemente e parar antes da intersecção
- O que fazer se
  - Um veículo entra na frente?
  - Tem um pedestre atravessando?
  - Um carro atrás de você?



# Exemplo: virar à esquerda numa intersecção (6/6)

- Este foi um exemplo de manobra relativamente simples, mas observe que requer 3 ~4 níveis de decisão para executar a conversão
- Observe quantas regras são necessárias para dirigir:
  - Segurança
  - Eficiência
  - Obedecer a todas regras de trânsito
  - Seguir somente aquelas regras que todos estão seguindo !!
- Veja que as tomadas de decisão no trânsito é bastante complicado !!