

**Nº 180035**

**O Brasil na era dos veículos autônomos: preparando a estrada para o futuro**

**Douglas Bellomo Cavalcante**

*Palestra apresentada na  
UNICAMP, 2025. 39 slides.*

A série “Comunicação Técnica” compreende trabalhos elaborados por técnicos do IPT, apresentados em eventos, publicados em revistas especializadas ou quando seu conteúdo apresentar relevância pública.  
**PROIBIDO A REPRODUÇÃO, APENAS PARA CONSULTA.**

# O BRASIL NA ERA DOS VEÍCULOS AUTÔNOMOS: PREPARANDO A ESTRADA PARA O FUTURO.

Tecnologias Digitais

07.10.2025

# AGENDA

- O IPT
- Sistemas Avançados de Assistência à Condução (ADAS) X Veículos Autônomos
- Como o veículo autônomo funciona?
- Aplicações dos Veículos Autônomos
- Principais desafios e uso da simulação
- O futuro dos Veículos Autônomos no Brasil

# O QUE É O IPT?

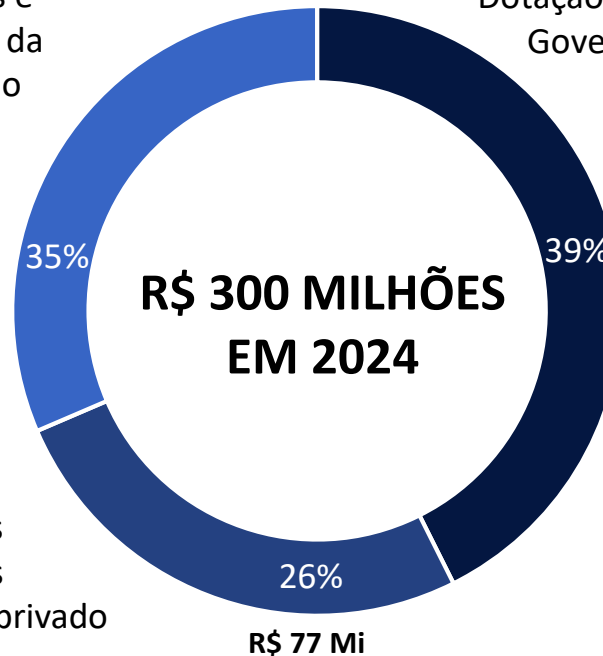
EXISTIMOS PARA PROVER SOLUÇÕES  
TECNOLÓGICAS PARA A INDÚSTRIA,  
OS GOVERNOS E A SOCIEDADE,  
HABILITANDO-OS A SUPERAR  
SEUS DESAFIOS E PROMOVENDO  
QUALIDADE DE VIDA

## RECEITAS

Venda de projetos e  
serviços por meio da  
Fundação de Apoio  
ao IPT (FIPT)

Dotação orçamentária do  
Governo do Estado de  
São Paulo

R\$ 105 Mi



R\$ 118 Mi

Venda de projetos  
e serviços para os  
setores público e privado

R\$ 77 Mi

## IPT EM NÚMEROS\*



126 ANOS DE  
CONTRIBUIÇÕES PARA  
A SOCIEDADE



> 1000  
FUNCIONÁRIOS E  
COLABORADORES



50% DE RECEITA  
COM INOVAÇÃO



> 3.170  
CLIENTES  
ATENDIDOS



> 16.200  
DOCUMENTOS  
TÉCNICOS EMITIDOS

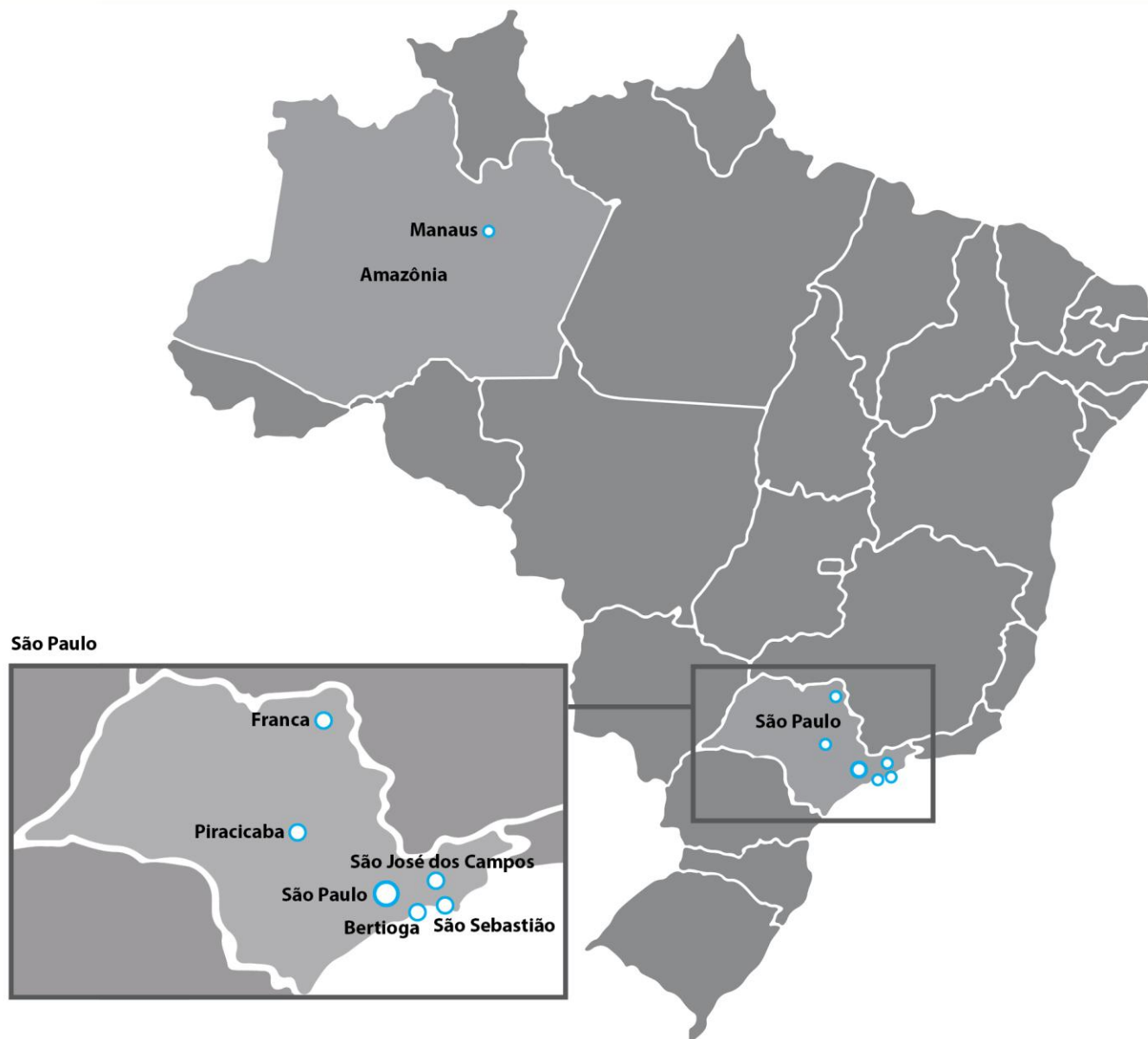


> 2000 PROCEDIMENTOS  
DE ENSAIOS E ANÁLISES  
NO PORTFÓLIO



35% DOS PROJETOS  
IPT COM IMPACTO  
DIRETO EM ESG

# Unidades do IPT no Brasil



- 1 **São Paulo, SP**  
Sede do IPT e Parque Laboratorial
- 2 **Bertioga, SP**  
Planta de Biodigestão de Resíduos Sólidos
- 3 **Franca, SP**  
Lab. de Tecnologia Têxtil e Produtos de Proteção
- 4 **São José dos Campos, SP**  
Laboratório de Estruturas Leves
- 5 **São Sebastião, SP**  
Laboratório Flutuante
- 6 **Piracicaba, SP**  
Laboratório de Infraestrutura em Energia
- 7 **Manaus, AM**  
Núcleo IPT Amazônia

# UNIDADES DE NEGÓCIOS

## BIONANOMANUFATURA

Biotecnologia, Nanotecnologia, Microfabricação, Química e EPIs

## CIDADES, INFRAESTRUTURA E MEIO AMBIENTE

Planejamento Territorial, Obras Civas, Riscos, Recursos Hídricos, Florestas

## ENERGIA

Geração, Infraestrutura, Eficiência, Energias limpas

## ENSINO TECNOLÓGICO

Mestrado, MBA Internacional, Especialização

## HABITAÇÃO E EDIFICAÇÕES

Conforto, Desempenho, Segurança, Materiais, Sustentabilidade

## MATERIAIS AVANÇADOS

Metal, Polímero, Compósito, Celulose, Corrosão

## TECNOLOGIAS DIGITAIS

IoT, Sistemas Embarcados, Sistemas de Transportes, IA, Analytics

## TECNOLOGIAS REGULATÓRIAS E METROLÓGICAS

Mecânica, Elétrica, Vazão, Aerodinâmica, Química





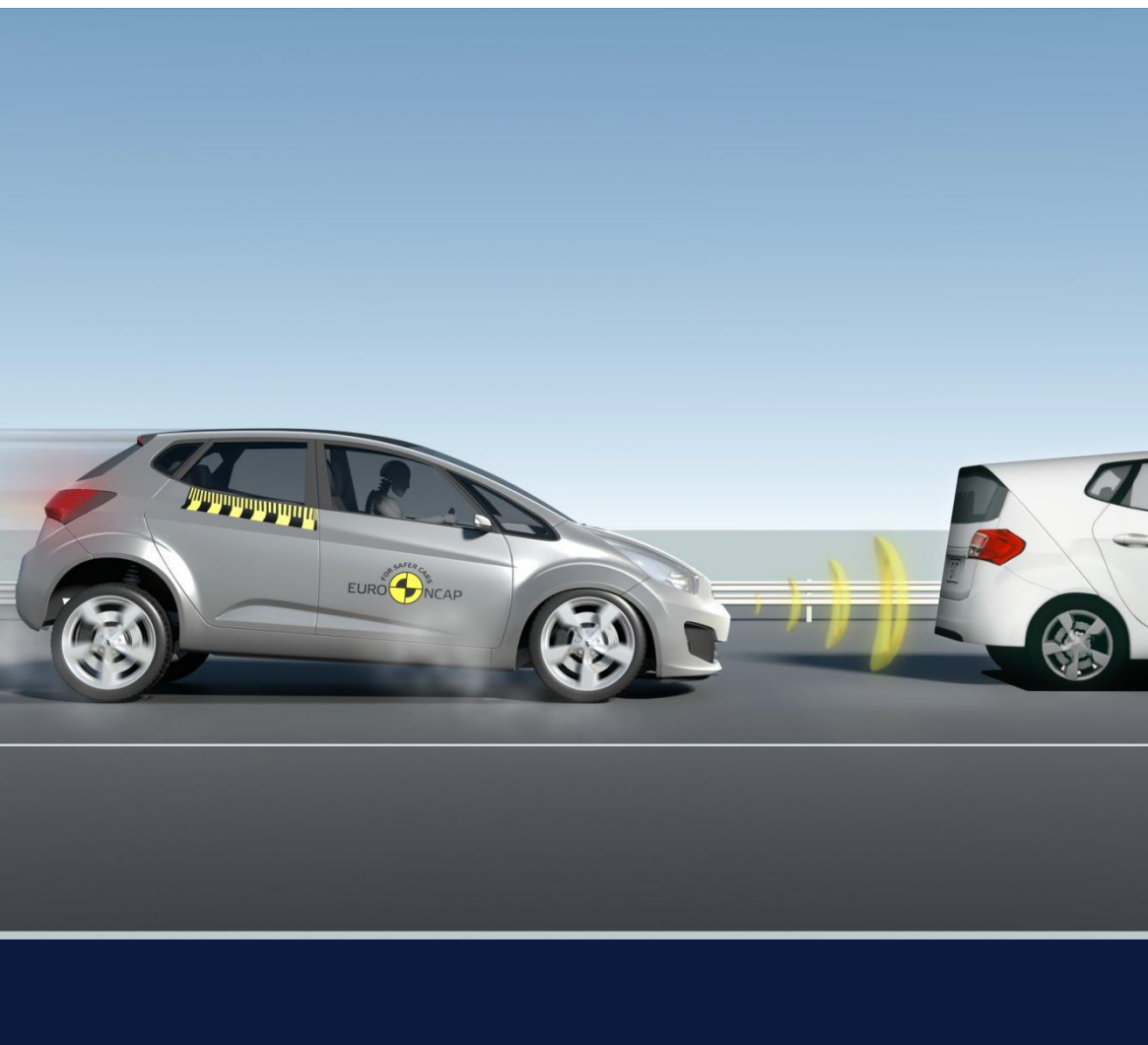
A portrait of Fabrício Mirandola, a man with a beard and mustache, wearing a red polo shirt. He is speaking and gesturing with his hands. The background is a blurred outdoor setting.

**FABRÍCIO MIRANDOLA**

■ Diretor Técnico no IPT

Hoje a gente tem uma estrutura de 8 unidades de negócio





# SISTEMAS AVANÇADOS DE ASSISTÊNCIA À CONDUÇÃO (ADAS) X VEÍCULOS AUTÔNOMOS



# NÍVEIS DE AUTONOMIA SAE J3016

- Veículos autônomos são aqueles onde não há necessidade de interferência humana (Nível 5)
- Todos os outros níveis contemplam tecnologias avançadas de auxílio à condução

ADAS leva à condução autônoma



## SAE J3016™ LEVELS OF DRIVING AUTOMATION™

Learn more here: [sae.org/standards/content/j3016\\_202104](https://www.sae.org/standards/content/j3016_202104)

Copyright © 2021 SAE International. The summary table may be freely copied and distributed AS-IS provided that SAE International is acknowledged as the source of the content.

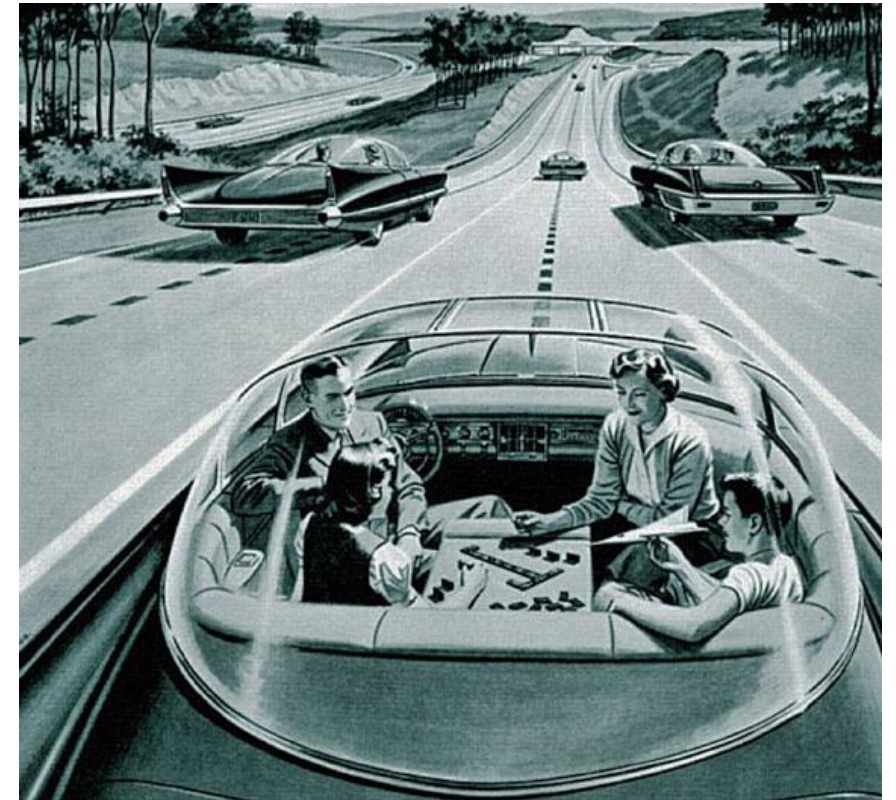
	SAE LEVEL 0™	SAE LEVEL 1™	SAE LEVEL 2™	SAE LEVEL 3™	SAE LEVEL 4™	SAE LEVEL 5™
What does the human in the driver's seat have to do?	You <b>are</b> driving whenever these driver support features are engaged – even if your feet are off the pedals and you are not steering			You <b>are not</b> driving when these automated driving features are engaged – even if you are seated in “the driver's seat”		
	You <b>must constantly supervise</b> these support features; you must steer, brake or accelerate as needed to maintain safety			When the feature requests, you must drive	These automated driving features will not require you to take over driving	

Copyright © 2021 SAE International.

	These are driver support features			These are automated driving features	
What do these features do?	These features are limited to providing warnings and momentary assistance	These features provide steering <b>OR</b> brake/acceleration support to the driver	These features provide steering <b>AND</b> brake/acceleration support to the driver	These features can drive the vehicle under limited conditions and will not operate unless all required conditions are met	This feature can drive the vehicle under all conditions
Example Features	<ul style="list-style-type: none"> <li>• automatic emergency braking</li> <li>• blind spot warning</li> <li>• lane departure warning</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• lane centering <b>OR</b></li> <li>• adaptive cruise control</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• lane centering <b>AND</b></li> <li>• adaptive cruise control at the same time</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• traffic jam chauffeur</li> <li>• local driverless taxi</li> <li>• pedals/steering wheel may or may not be installed</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• same as level 4, but feature can drive everywhere in all conditions</li> </ul>

# HISTÓRIA DOS VEÍCULOS AUTÔNOMOS (VA) E APLICAÇÕES

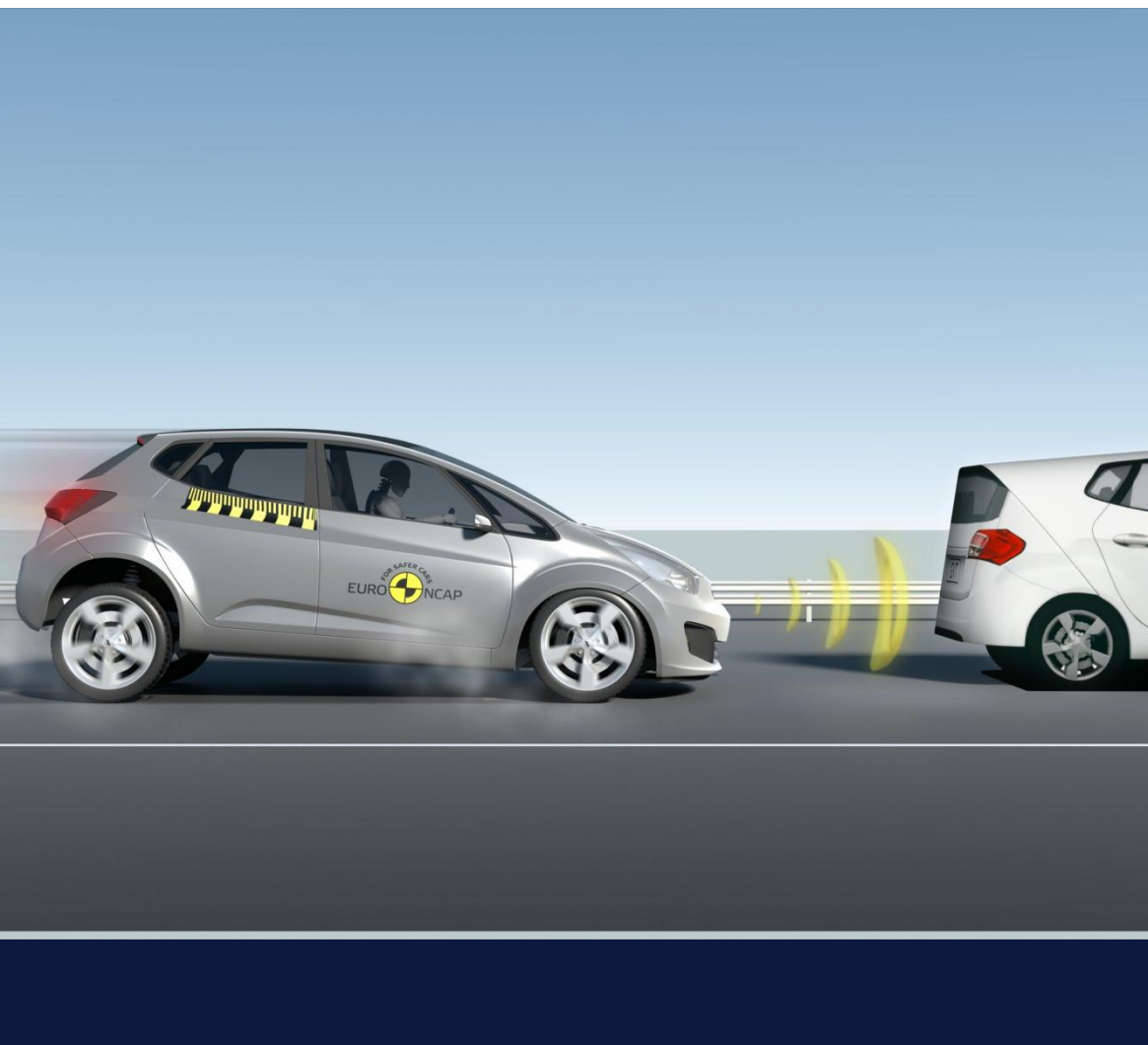
- 1939 – 2004
  - Futurama (GM), Navlab (Carnegie Mellon) e Automatic High System (DoT/NHTSA)
- 2005-2007
  - Desafios DARPA (Grand Challenge e Urban Challenge)
- 2012-2018
  - Google (Toyota Prius e Firefly), GM Cruise, Audi A8, Argo AI
- 2018-2025
  - Waymo, Tesla\*, Nuro (EUA – SAE Níveis 2 a 4)
  - Baidu, Pny.ai e DeepRoute.ai (China – SAE Nível 4)
  - Honda, Mercedes-Benz, BMW (Japão e Europa – SAE Nível 3)
  - Lume Robotics – Automação Nível 4 (Brasil)



# SISTEMAS AVANÇADOS DE ASSISTÊNCIA À CONDUÇÃO



- Sistema de Antitravamento em Frenagens (ABS)
- Controle de Cruzeiro Adaptativo (ACC)
- Aviso de Colisão Frontal (FCW)
- Assistente de Frenagem (BA) e Sistema de Prevenção de Colisão (CAS)
- Assistente de Manutenção de Faixa (LKA)
- Assistente de Mudança de Faixa (LCA)
- Assistente Cooperativo
- Reconhecimento semafórico
- Adaptação de Velocidade Inteligente (ISA)
- Aviso de Ponto Cego (BSM)
- Detecção de Distração e Sonolência do Motorista
- Assistente de Interseção
- Sistema de Proteção ao Pedestre
- Visão Noturna

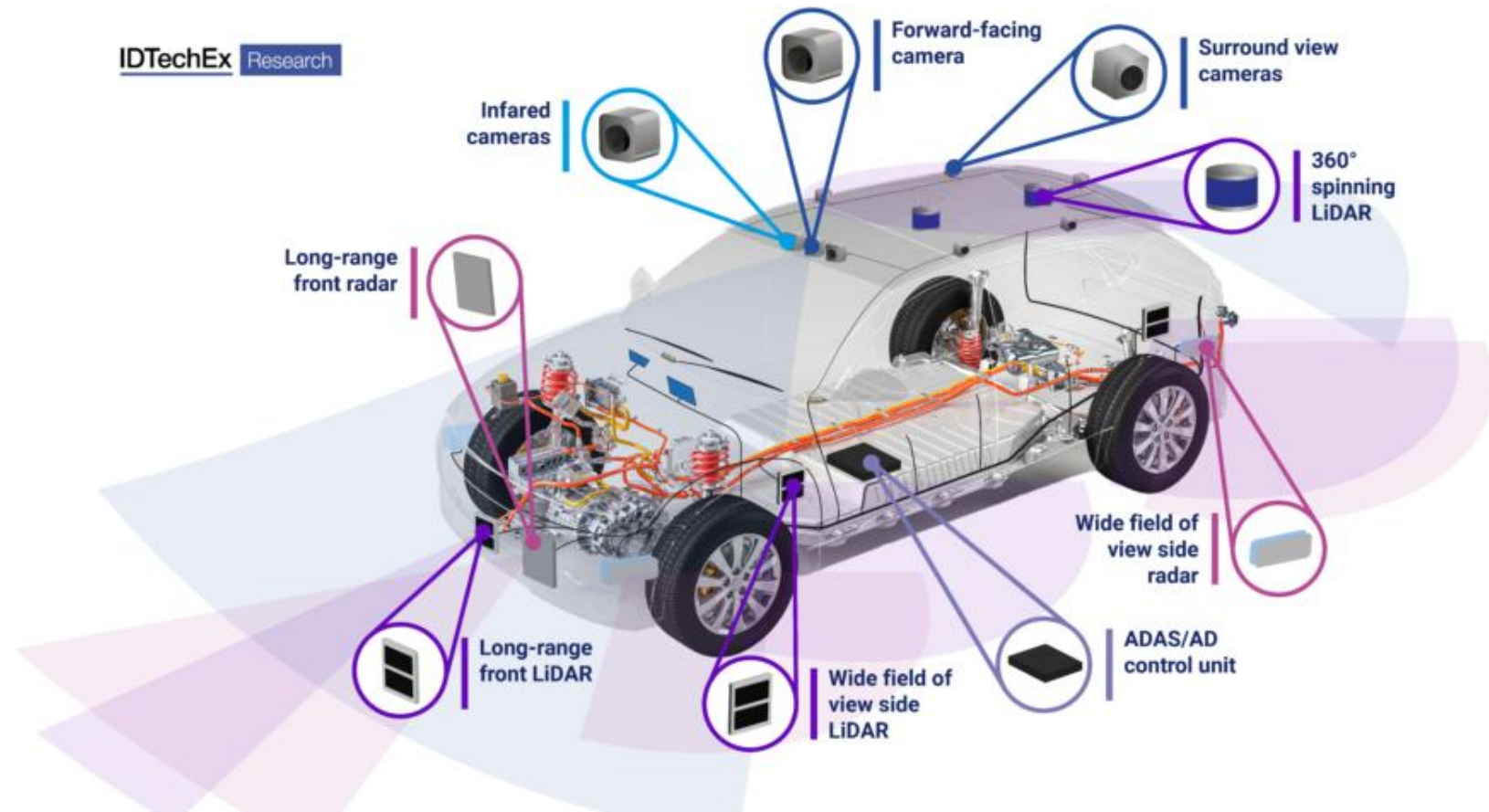


# COMO O VEÍCULO AUTÔNOMO FUNCIONA?





# SENSORIAMENTO PARA ADAS E V.A.

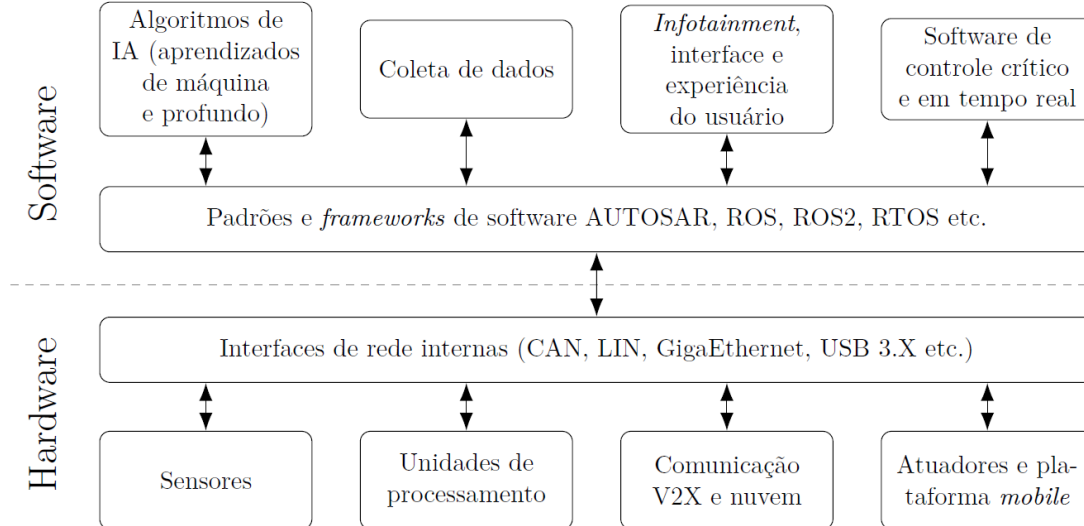


Fonte: IDTechEx apud ADAS & Autonomous Vehicle International



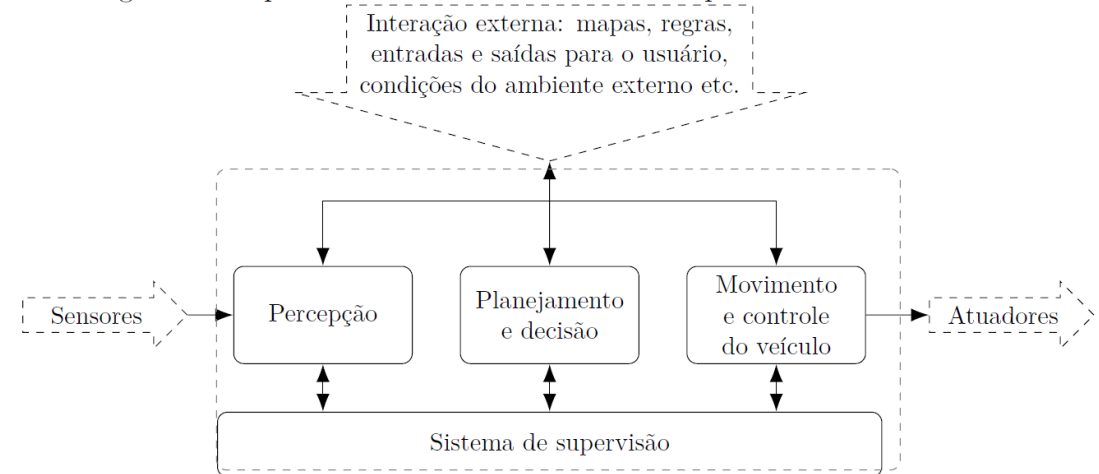
# ARQUITETURAS DE V.A.

Figura 1: Arquitetura de veículo autônomo do ponto de vista técnico.



Fonte: traduzido de Velasco-Hernandez et al. (2020)

Figura 2: Arquitetura de veículo autônomo do ponto de vista funcional.



Fonte: traduzido de Velasco-Hernandez et al. (2020)

# INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NO DESENVOLVIMENTO DE ADAS E V.A.

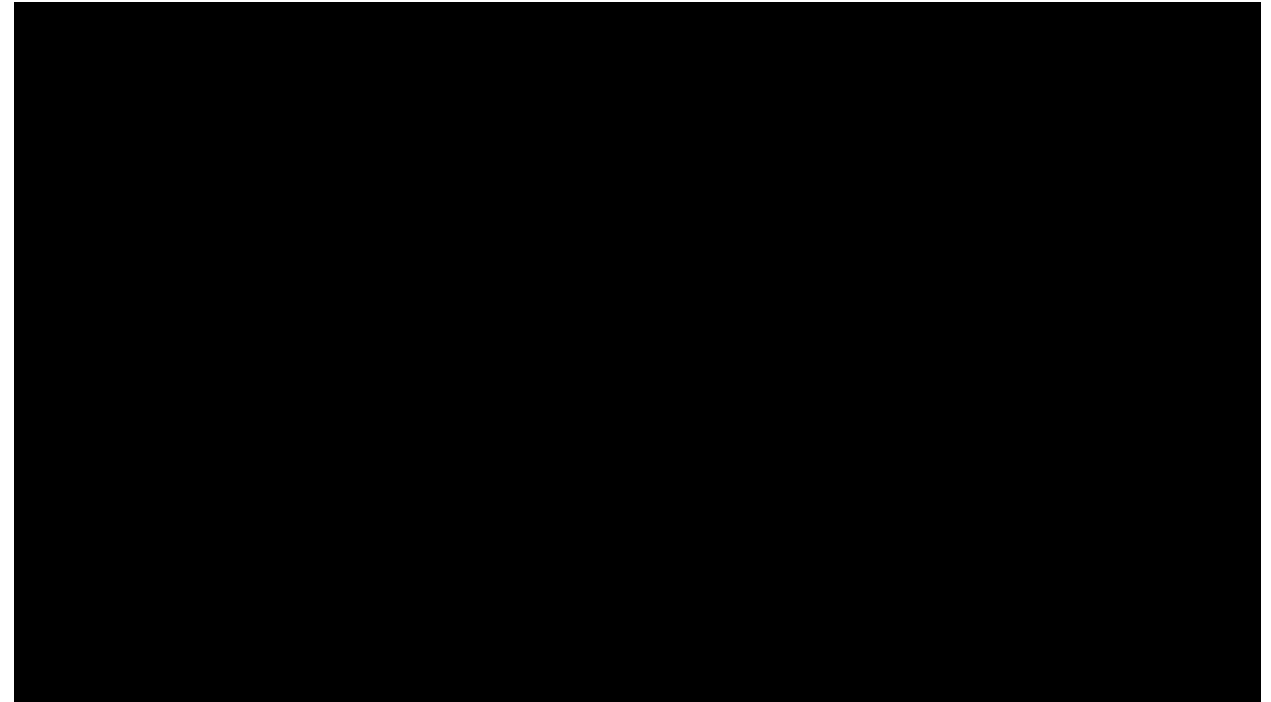


- 2005 – DARPA Grand Challenge
  - Vencedor Stanley
  - Primeiro a utilizar IA para percepção
- Redes Neurais Artificiais e Aprendizado Profundo são fundamentais para:
  - Percepção do ambiente
  - Identificação e classificação de outros veículos, pessoas, ciclistas e objetos
  - Fusão de sensores

# COMO O VEÍCULO AUTÔNOMO ENXERGA O MUNDO?

## Camada de Percepção

- É responsável por receber os dados dos sensores e processá-los para que o veículo reconheça o ambiente ao seu redor.
- Utiliza intensamente Inteligência Artificial e Visão Computacional para:
  - Reconhecimento de objetos
  - Classificação de objetos
  - Predição de movimento
  - Reconhecimento de sinalização
  - Fusão sensorial



# LIDAR

- “Radar” operado utilizando laser.
- Capaz de mapear o ambiente fornecendo uma nuvem de pontos em três dimensões.



# COMO O VEÍCULO SE LOCALIZA?

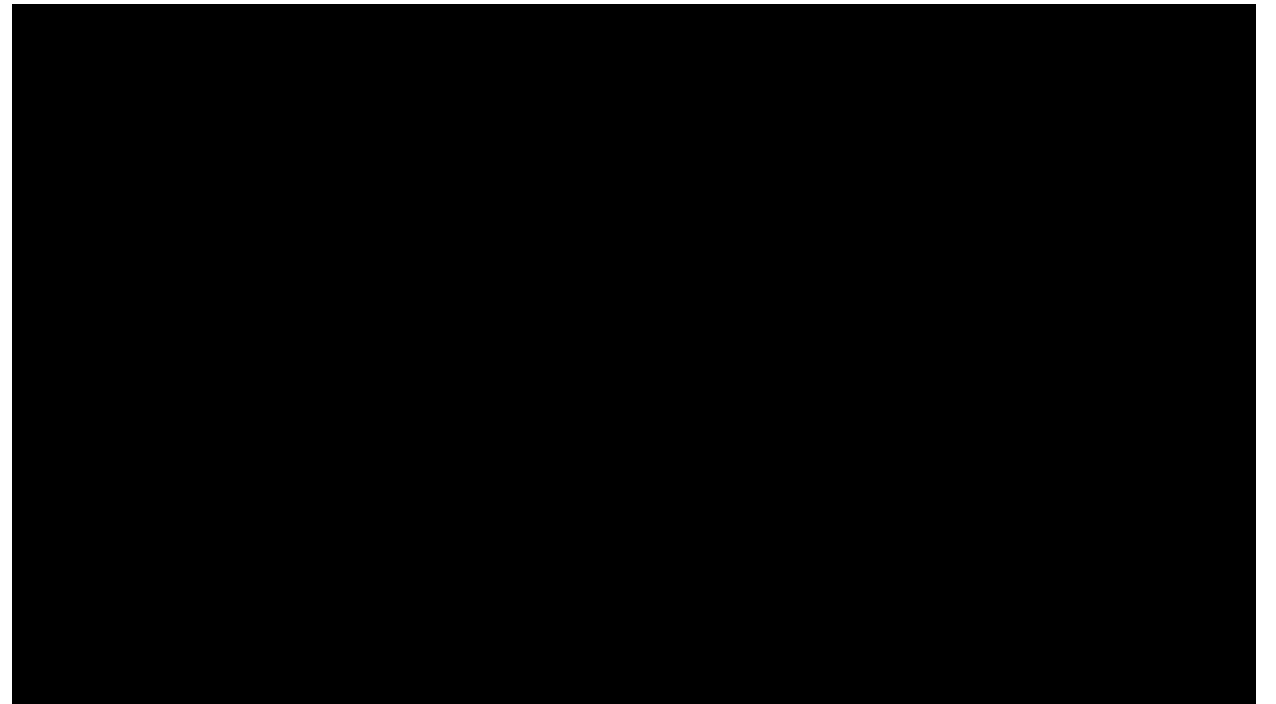
## Camada de Planejamento

### ■ Planejamento Global

- Estabelece a melhor rota entre a origem e o destino.
- Similar ao Waze ou Google Maps.
- Usa algoritmo A\* ou similares

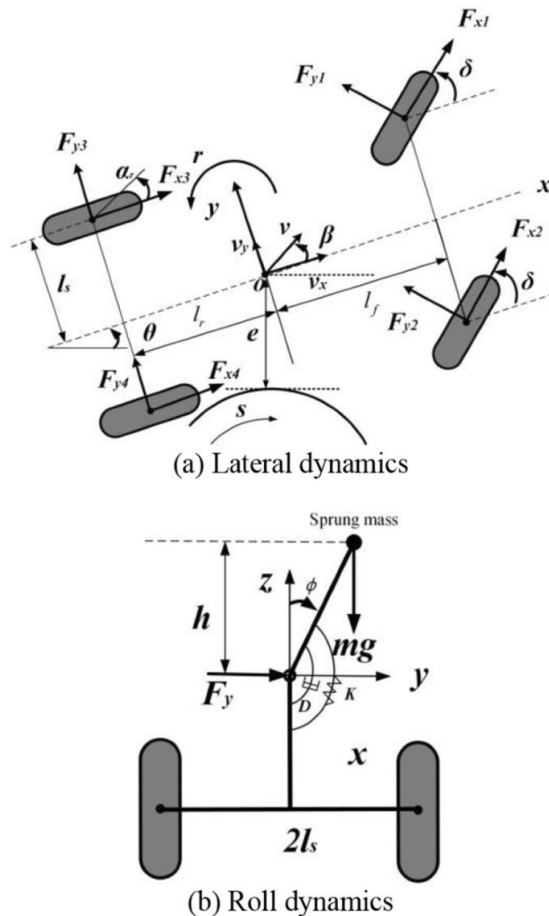
### ■ Planejamento Local

- Estabelece o caminho do veículo em curtas distâncias.
- Toma decisões locais para manter a trajetória e desviar de obstáculos.





# COMO O VEÍCULO SE MOVIMENTA?



## Camada de Controle

- Atua sobre as superfícies de controle do veículo
  - Longitudinal – Acelerador e freio
  - Lateral – Direção
- Depende da Dinâmica do Veículo como modelo físico-matemático, considerando suspensão, pneus, distribuição de carga, etc.
- Utiliza algoritmos de controle, em geral o Proporcional Integral Derivativo (PID).



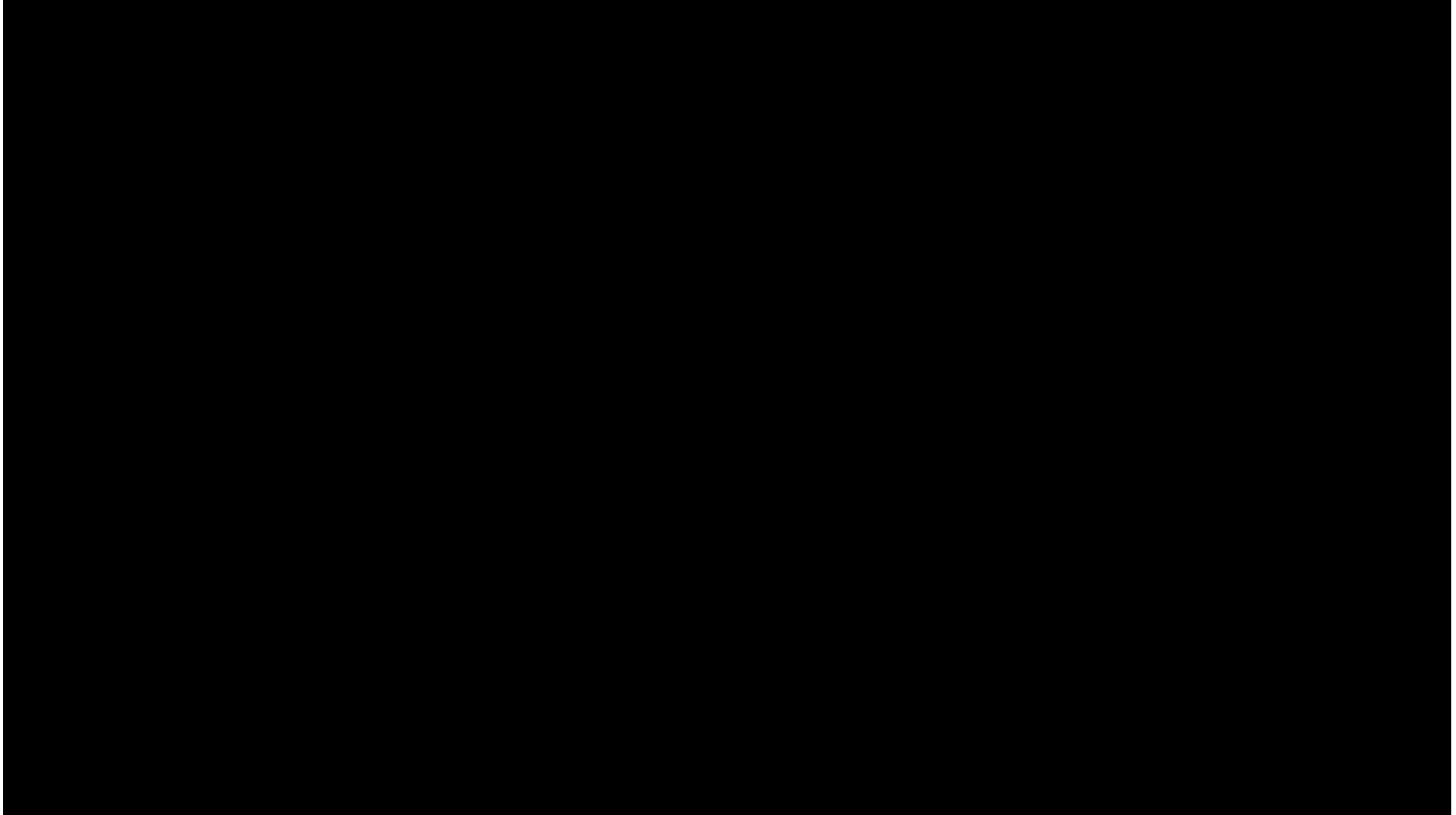
# APLICAÇÕES DOS VEÍCULOS AUTÔNOMOS



# TRANSPORTE DE PASSAGEIROS



# TRANSPORTE DE CARGAS IN-DOOR





# AGRICULTURA





# MINERAÇÃO



# COMBOIOS - PLATOONING



# PRINCIPAIS DESAFIOS



# DESAFIOS TECNOLÓGICOS

- Percepção
  - Condições climáticas adversas
  - Identificação de Casos de Borda
  - Predição da intenção humana
  - Complexidade de ambientes urbanos
- Complexidade e custos e hardware software
- Consumo de energia
- Falha e degradação de hardware, principalmente sensores
- Conectividade e comunicação V2X
- Geração de datasets para treinamento de IA e ganho de escala
- Cibersegurança
- Uso do V.A. em ambiente misto

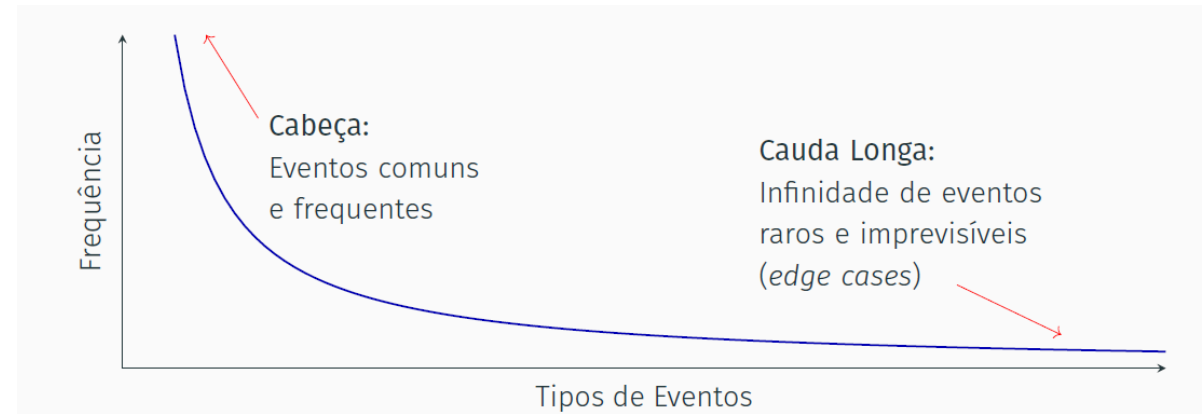


Figura 6: Representação da Cauda Longa

É impossível testar fisicamente todos os cenários da "cauda longa".



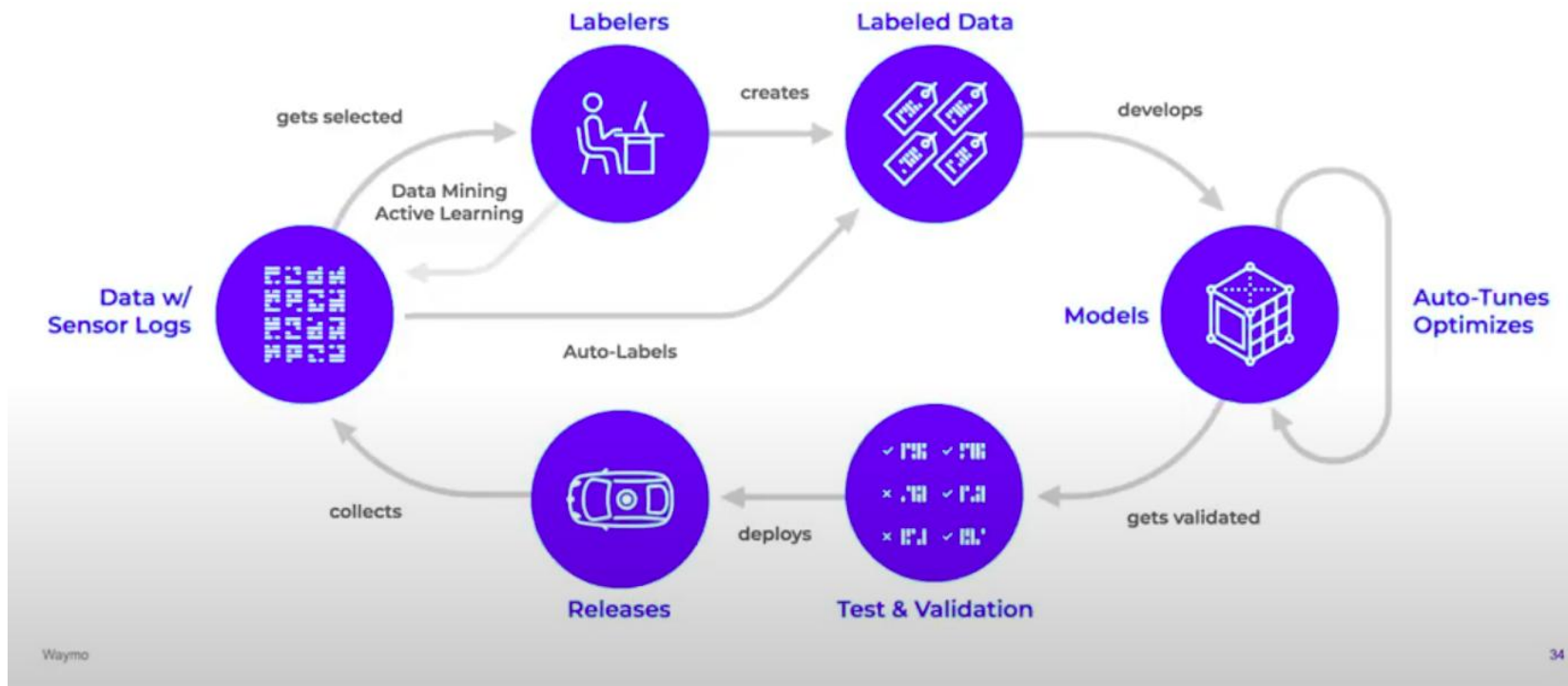
# O PAPEL DA SIMULAÇÃO PARA DESENVOLVIMENTO DE ADAS E V.A.





# SIMULAÇÃO COMO FONTE DE DADOS PARA TREINAMENTO DE IAS

## ML Factory For Self Driving Models



Fonte: Anguelov, 2019 (<https://www.youtube.com/watch?v=Q0nGo2-y0xY>)

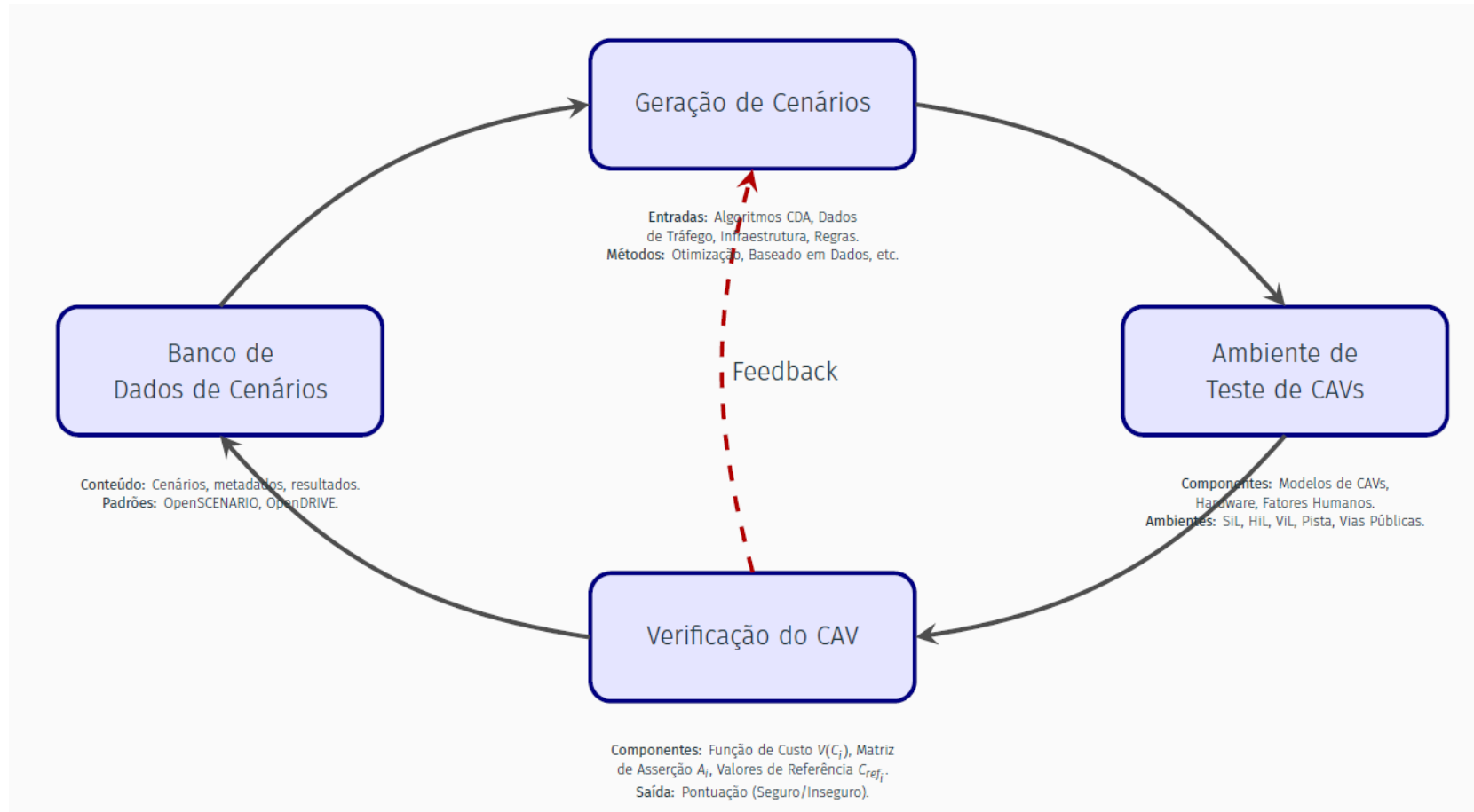
# CO-SIMULAÇÃO VISSIM/CARLA

The screenshot displays the VISSIM Network Editor interface. On the left, a 'Network Objects' panel lists various elements like Links, Nodes, and Detectors. The main window shows a 3D rendering of a city intersection with a roundabout. Below the 3D view, a 'Vehicles In Network' table provides detailed data for 65 vehicles.

Number:	65	No	VehType	Lane	Pos	Speed	DesSpeed	Acc
1	1	100: Car				0,00	0,00	
2	2	100: Car	2 - 2	26,862	43,60	44,13		
3	3	100: Car	69 - 2	37,744	15,07	44,77		
4	4	100: Car	614...	5,163	33,08	42,90		
5	5	100: Car	4 - 1	39,303	39,65	41,41		
6	6	100: Car	13 - 2	14,444	40,63	40,32	-0,18	None
7	7	100: Car	88 - 1	128,776	39,88	40,18	-0,25	None
8	8	100: Car	42 - 1	4,637	34,61	42,23	-0,01	None
9	9	100: Car	92 - 1	177,208	45,70	43,94	-0,27	None

At the bottom of the interface, a status bar shows simulation time (245.7:28.1) and other metrics (108,70, 64 + 0, 0,5). The IPT logo and 'INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS' are visible in the bottom right corner.

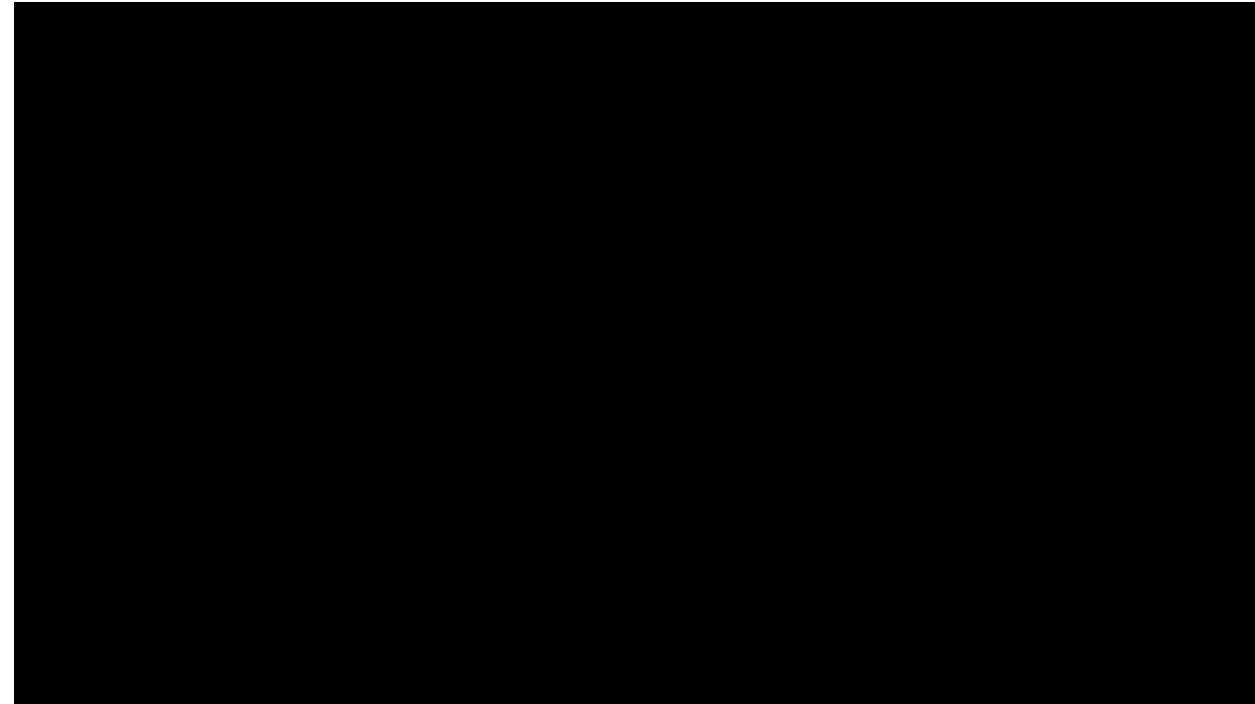
# SIMULAÇÃO COMO FONTE DE DADOS PARA TESTES, VERIFICAÇÃO E VALIDAÇÃO



Fonte: adaptado de Alemayehu e Sargolzaei, 2025.

# AMBIENTES DE TESTE: “X-IN-THE-LOOP(XIL)”

- Uma progressão virtual para o físico:
  1. Model-in-the-Loop (MIL): Modelos de software em simulação pura.
  2. Software-in-the-Loop (SIL): O código-fonte real em simulação.
  3. Hardware-in-the-Loop (HIL): A ECU real conectada ao simulador.
  4. Vehicle-in-the-Loop (VIL): O veículo completo interagindo com a simulação.
  5. Human-in-the-Loop (HuiL): Inclui um motorista humano para avaliar HMI e conforto.
  6. Traffic-in-the-Loop (TiL): Avalia o impacto do CAV no fluxo de tráfego simulado.

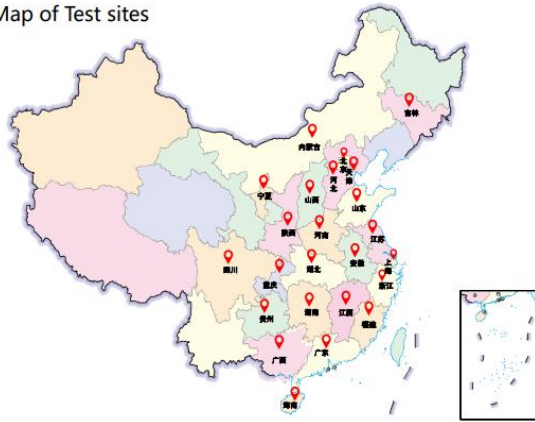


# DESAFIOS REGULATÓRIOS

Região	Modelo Regulatório	Foco Principal
Europa	Homologação pré-mercado	Segurança e harmonização (UNECE)
EUA	Autocertificação	Inovação e fiscalização pós-mercado
China	Controle estatal e zonas piloto	Liderança estratégica e escala
Brasil	Homologação pré-mercado	Em desenvolvimento (legislação)

As filosofias regulatórias variam, impactando a velocidade de inovação e os requisitos de teste.

Map of Test sites



Note: The above data is from public reports and is available until 2023

## Infraestrutura de testes

- Europa
  - ZalaZONE (Hungria), AstaZero (Suécia), Applus Idiada (Espanha), CARISSMA (Alemanha)
- EUA
  - American Center for Mobility (ACM), Mcity (Michigan)
- China
  - 50 Zonas Piloto para Veículos Conectados e Inteligentes
- Brasil
  - Campos de prova GM, Ford, Pirelli, ZF
  - IPT – Novo Laboratório de ITS e CPA em Mobilidade Sustentável e Segura



# REGULAÇÃO DE VEÍCULOS AUTÔNOMOS NO BRASIL

- **Projeto de Lei 1317/2023**

- Altera a Lei nº 9.503, de 23 de setembro de 1997, que institui o Código de Trânsito Brasileiro, para regulamentar os veículos autônomos terrestres, e dá outras providências.

- **Projeto de Lei 3641/2023**

- Dispõe sobre as diretrizes para a circulação, operação e uso de veículos autônomos em todo território nacional e dá outras providências.

**Ambos estão na Comissão de Constituição, Justiça e Cidadania (CCJC – 09-07-2025) da Câmara dos Deputados.**

# DESAFIOS DE SEGURANÇA E ADOÇÃO DA TECNOLOGIA

- Os veículos devem ser desenvolvidos e testados conforme a realidade local
- Os países devem desenvolver protocolos rígidos para verificação, validação e homologação dos veículos autônomos.
- A adoção à tecnologia não é automática, nem instantânea: haverá um tempo de maturação.
- As normas atuais deverão evoluir para contemplar o avanço da tecnologia.

Seria a experiência da aviação um caminho para garantia da segurança e aumento da adoção?





# O FUTURO DOS VEÍCULOS AUTÔNOMOS NO BRASIL



# COMO O BRASIL IRÁ SE PREPARAR?



- O Brasil possui desafios adicionais aos já apresentados:
  - Nossa infraestrutura viária é deficiente
  - Temos uma cultura de trânsito imprevisível
  - Custo elevado
  - Legislação e regulamentação
  - Infraestrutura de teste e homologação
  - Baixa industrialização e desenvolvimento tecnológico local
  - Segurança pública



# O QUE JÁ EXISTE E O FUTURO DE CURTO PRAZO

- Mineração
  - Mina da Vale em Brucutu
- Agricultura
  - Desenvolvimento da Mercedes-Benz e da Grunner
- E-VTOL
  - Desenvolvimento da EVE (Embraer) de carro voador, que terá muita tecnologia autônoma embarcada.



# DO QUE PRECISAMOS?



- Reindustrialização e investimento no desenvolvimento local
- Aumento do investimento nos Institutos de Ciência e Tecnologia e nas Universidades
- Formação de novos engenheiros com foco no futuro da mobilidade
- Aumento da capacidade de desenvolvimento de software de alta tecnologia
- Reafirmação da característica verde e sustentável da engenharia brasileira
- Desenvolvimento de infraestrutura de testes e validação de ADAS e VA

O que mais?

# Obrigado!

- Douglas Bellomo Cavalcante
- [dcavalcante@ipt.br](mailto:dcavalcante@ipt.br)



[linkedin.com/school/iptsp/](https://linkedin.com/school/iptsp/)



[instagram.com/ipt\\_oficial/](https://instagram.com/ipt_oficial/)



[youtube.com/@IPTbr/](https://youtube.com/@IPTbr/)

[www.ipt.br](http://www.ipt.br)

