

# Integração Dinâmica de Percepção, Planejamento e Controle para Navegação Autônoma no Simulador CARLA

Daniel Terra Gomes

28 de maio de 2025

## 1 Introdução

O avanço tecnológico no setor automotivo, especialmente em veículos elétricos e direção autônoma, vem transformando profundamente a mobilidade urbana ([Sebo, 2024](#)). Empresas como ZOOX<sup>®</sup> e WAYMO<sup>®</sup> investem fortemente no desenvolvimento de tecnologias capazes de reduzir acidentes de trânsito, otimizar o fluxo viário e reformular a logística ([Bratzel; Management, 2022](#)). A redução de acidentes, atribuída majoritariamente a falhas humanas ([National Highway Traffic Safety Administration, 2018](#)), é um dos benefícios mais promissores, destacando a importância da automação veicular para uma condução mais segura ([Okpono \*et al.\*, 2024](#)).

Nesse cenário, a direção autônoma abrange quatro módulos principais: percepção, estimação de estado, planejamento de movimento e controle ([Reinholtz \*et al.\*, 2007](#); [Paden \*et al.\*, 2016](#)). A percepção visual, impulsionada pelo desenvolvimento de redes neurais profundas como o YOLO ([Redmon \*et al.\*, 2016](#); [Wang; Liao, 2024](#)), tem se destacado ao permitir detecção eficiente de objetos em tempo real, fator crucial para a navegação segura.

Durante a graduação, entre 2022 e 2025, foram realizadas três etapas de Iniciação Científica, culminando na implementação de um veículo autônomo funcional no simulador CARLA ([Gomes, 2025](#); [Dosovitskiy \*et al.\*, 2017](#)). Apesar dos avanços, a integração entre percepção e planejamento ainda ocorria de forma estática, limitando a capacidade reativa do sistema. Frente a isso, este trabalho tem como objetivo propor uma arquitetura dinâmica de navegação autônoma, com integração reativa entre percepção, planejamento e controle no simulador CARLA. A percepção baseada em YOLO detectará objetos em tempo real, alimentando uma Máquina de Estados Finitos e um *Lattice Planner*, que coordenarão a tomada de decisão e o planejamento da trajetória, enviados aos controladores *PID* e *Pure Pursuit* ([University of Toronto, 2018](#)).

Desse modo, a realização desta pesquisa se justifica pela importância de desenvolver sistemas de navegação autônoma mais adaptativos e reativos, capazes de operar de forma robusta em cenários dinâmicos e imprevisíveis, uma demanda crescente no contexto da

mobilidade urbana inteligente e mais segura (Sebo, 2024). Além disso, o uso do simulador CARLA oferece uma plataforma segura, acessível e realista para a experimentação e validação de soluções complexas, contribuindo para o avanço científico e tecnológico (Dosovitskiy *et al.*, 2017).

## 2 Referencial Teórico

O desenvolvimento de veículos autônomos (VA) exige a integração eficaz dos módulos de percepção, planejamento e controle para garantir a navegação segura em ambientes urbanos. Trabalhos como Andrade (2022) e Juanola (2019) exploraram a detecção de objetos e sinais de trânsito utilizando o algoritmo YOLO; entretanto, não avançaram para a construção de um sistema autônomo completo. Da mesma forma, Gao, Tang e Wang (2021) e Ahammed, Hossain e Obermaisser (2024) trataram da percepção visual, mas sem propor a integração com planejamento e controle.

Projetos de referência, como o desenvolvido no *DARPA Urban Challenge* (Reinholtz *et al.*, 2007), demonstraram a viabilidade da integração de módulos para a navegação autônoma em ambientes complexos. Nesse contexto, sistemas robustos foram implementados, consolidando a percepção, o planejamento de trajetórias e o controle dinâmico em um único arcabouço operacional. Em ambientes simulados, o simulador Carla (Dosovitskiy *et al.*, 2017) tem sido amplamente utilizado para validação de sistemas autônomos, permitindo a reprodução de cenários urbanos realistas com baixo custo e segurança. Estudos recentes, como Kim, Jeon e Lim (2023) e Surendra (2023), empregaram o CARLA para testar algoritmos de percepção e planejamento, reforçando sua importância como plataforma de pesquisa.

Diferenciando-se dos trabalhos citados, esta pesquisa propõe a integração dos módulos de percepção, planejamento e controle no ambiente do CARLA, aproximando-se das práticas industriais observadas em sistemas de VA avançados (University of Toronto, 2018). Esta abordagem busca contribuir para o desenvolvimento de VA mais completos e eficientes, avançando nos trabalhos discutido em Gomes (2025).

## 3 Metodologia

A pesquisa será aplicada, de abordagem quantitativa e natureza experimental, com objetivo descritivo. O cenário de testes será o simulador CARLA, sendo as implementações e avaliações realizadas no computador do pesquisador e/ou no laboratório de simulação computacional da instituição.

O projeto adota uma arquitetura modular para VA em ambiente simulado, conforme a Figura 1, dividida em três camadas: percepção ambiental, planejamento de movimento

e controle. A camada de percepção usará a saída da câmera do CARLA para detectar e classificar objetos com algoritmos como redes YOLO. Em seguida, o planejamento de movimento será composto por uma Máquina de Estados Finitos e *Lattice Planner*. A camada de controle executará os comandos de direção e velocidade utilizando controladores *PID* e *Pure Pursuit*.

O sistema contará ainda com um módulo de assistência ao condutor, fornecendo *feedback* em tempo real. O desenvolvimento modular permitirá avaliações isoladas dos componentes, com testes controlados baseados em métricas como evasão de obstáculos, tempo de resposta e número de colisões evitadas. A análise dos dados será feita estatisticamente, validando a robustez da arquitetura em cenários dinâmicos.

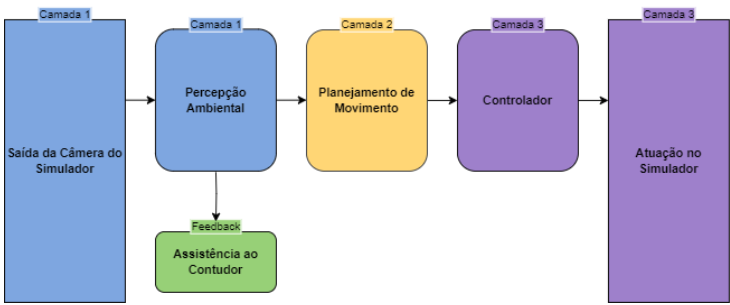


Figura 1 – Arquitetura do Software.  
**Fonte:** Elaborado pelo autor.

## 4 Cronograma

O desenvolvimento deste projeto está previsto para ocorrer ao longo de quatro semestres letivos, com início em 2025.2. As atividades incluem aprofundamento teórico por meio de disciplinas, implementação incremental da proposta, testes e validações no simulador CARLA, além da redação da dissertação. O cronograma está organizado conforme apresentado na Tabela 1.

1º ano		2º ano	
2025.2	2026.1	2026.2	2027.1
Levantamento & Exploração			
Implementação & Integração			
Disciplinas: Obrigatórias & Optativas			
	Teste & Validação		
Escrita da Dissertação			

Tabela 1 – Cronograma

Ressalta-se que não será apresentado um cronograma rígido para a realização das disciplinas obrigatórias e optativas, uma vez que a oferta pode variar a cada semestre,

podendo influenciar diretamente no planejamento acadêmico. Contudo, há um viés claro na escolha de disciplinas optativas voltadas para os seguintes eixos temáticos: **aprendizado de máquina, robótica e visão computacional**, áreas diretamente relacionadas aos objetivos do projeto e à formação especializada do candidato.

## Referências

- AHAMMED, A. S.; HOSSAIN, M. S. A.; OBERMAISSER, R. **A Computer Vision Approach for Autonomous Cars to Drive Safe at Construction Zone**. 2024. Preprint. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/2409.15809>. Citado na página 2.
- ANDRADE, G. G. d. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação), **Uma Proposta para Detecção de Objetos e Estimação de Distância em um Simulador de Veículos Autônomos**. 2022. Orientador: Prof. Giovanni Almeida Santos. Disponível em: [https://github.com/guilherme1guy/carla\\_darknet\\_integration](https://github.com/guilherme1guy/carla_darknet_integration). Acesso em: 29 abr. 2025. Citado na página 2.
- BRATZEL, S.; MANAGEMENT, C. of A. **Die Zukunft der Mobilität – Die Zukunftstrends in den Bereichen Elektromobilität, Connected Car und Mobilitätsdienstleistungen**. 2022. Center of Automotive Management (CAM). Disponível em: <https://www.bnpparibas.de/de/studie-zu-aktuellem-umbruch-der-mobilitaetsbranche/>. Acesso em: 09 mar. 2024. Citado na página 1.
- DOSOVITSKIY, A. *et al.* Carla: An open urban driving simulator. *In: PMLR. Proceedings of the Conference on Robot Learning*. 2017. p. 1–16. Disponível em: <https://proceedings.mlr.press/v78/dosovitskiy17a.html>. Acesso em: 29 abr. 2025. Citado nas páginas 1 e 2.
- GAO, W.; TANG, J.; WANG, T. An object detection research method based on carla simulation. **Journal of Physics: Conference Series**, IOP Publishing, v. 1948, n. 1, p. 012163, jun 2021. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.1088/1742-6596/1948/1/012163>. Acesso em: 29 abr. 2025. Citado na página 2.
- GOMES, D. T. Relatório Técnico, **Exploração e Aplicação de Conceitos Fundamentais de Carros Autônomos**.: Relatório anual pibic - projeto: Project-driven data science: Aprendendo e mapeando. 2025. Relatório do período: Junho 2024 - Junho 2025. Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dra. Annabell Del Real Tamariz. Fonte Financiadora: PIBIC/CNPq. Disponível em: [https://github.com/ARRETdaniel/CARLA\\_simulator\\_YOLO-openCV\\_realTime\\_objectDetection\\_for\\_autonomousVehicles/tree/main/materialComplementar](https://github.com/ARRETdaniel/CARLA_simulator_YOLO-openCV_realTime_objectDetection_for_autonomousVehicles/tree/main/materialComplementar). Acesso em: 29 abr. 2025. Citado nas páginas 1 e 2.
- JUANOLA, M. S. **Speed Traffic Sign Detection on the CARLA Simulator Using YOLO**. jul 2019. Dissertação (Dissertação (Mestrado em Sistemas Inteligentes Interativos)) — Universitat Pompeu Fabra, jul 2019. Treball fi de màster. Idioma: inglês. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10230/42548>. Acesso em: 29 abr. 2025. Citado na página 2.

KIM, T.; JEON, H.; LIM, Y. Challenges of yolo series for object detection in extremely heavy rain: Calra simulator based synthetic evaluation data set. **arXiv preprint**, 2023. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/2312.07976>. Acesso em: 29 abr. 2025. Citado na página 2.

National Highway Traffic Safety Administration. **Critical Reasons for Crashes Investigated in the National Motor Vehicle Crash Causation Survey: DOT HS 812 506 A Brief Statistical Summary**. 2018. Disponível em: <https://crashstats.nhtsa.dot.gov/Api/Public/Publication/812506>. Acesso em: 11 jul. 2024. Citado na página 1.

OKPONO, J. *et al.* Advanced driver assistance systems road accident data insights: Uncovering trends and risk factors. **The International Journal of Engineering Research**, v. 11, n. 9, p. a141–a152, 2024. Disponível em: <https://tijer.org/tijer/papers/TIJER2409017.pdf>. Acesso em: 29 abr. 2025. Citado na página 1.

PADEN, B. *et al.* A survey of motion planning and control techniques for self-driving urban vehicles. **IEEE Transactions on Intelligent Vehicles**, v. 1, n. 1, p. 33–55, 2016. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7490340>. Acesso em: 29 abr. 2025. Citado na página 1.

REDMON, J. *et al.* **You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection**. 2016. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/1506.02640>. Acesso em: 29 abr. 2025. Citado na página 1.

REINHOLTZ, C. *et al.* Darpa urban challenge technical paper. Citeseer, 2007. Disponível em: [https://ptolemy.berkeley.edu/projects/chess/pubs/379/DARPA\\_Urban\\_Challenge\\_Sydney\\_Berkeley\\_B161-TechnicalPaper.pdf](https://ptolemy.berkeley.edu/projects/chess/pubs/379/DARPA_Urban_Challenge_Sydney_Berkeley_B161-TechnicalPaper.pdf). Acesso em: 29 abr. 2025. Citado nas páginas 1 e 2.

SEBO, D. Impact of electric vehicle market growth on automotive industry transformation: Trends, potentials, and challenges analysis. *In: Economic and Social Development (Book of Proceedings), 106th International Scientific Conference on Economic and Social*. [S.l.: s.n.], 2024. p. 73. Disponível em: <https://www.croris.hr/crosbi/publikacija/prilog-skup/820618>. Acesso em: 29 abr. 2025. Citado nas páginas 1 e 2.

SURENDRA, E. al. H. Lane detection and traffic sign detection using deep learning and computer vision for autonomous driving research using carla simulator. **Miscellaneous**, v. 11, n. 10, p. 2062, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.17762/ijritcc.v11i10.8891>. Acesso em: 29 abr. 2025. Citado na página 2.

University of Toronto. **Introduction to Self-Driving Cars**. Coursera Inc, 2018. Taught by Steven Waslander and Jonathan Kelly, Associate Professors in Aerospace Studies. Part of the Self-Driving Cars Specialization. Advanced level. Disponível em: <https://www.coursera.org/learn/intro-self-driving-cars?specialization=self-driving-cars>. Acesso em: 01 mar. 2024. Citado nas páginas 1 e 2.

WANG, C.-Y.; LIAO, H.-Y. M. YOLOv1 to YOLOv10: The Fastest and Most Accurate Real-Time Object Detection Systems. **arXiv:2408.09332v1 [cs.CV]**, ago. 2024. Disponível em: <https://arxiv.org/html/2408.09332v1>. Acesso em: 29 abr. 2025. Citado na página 1.