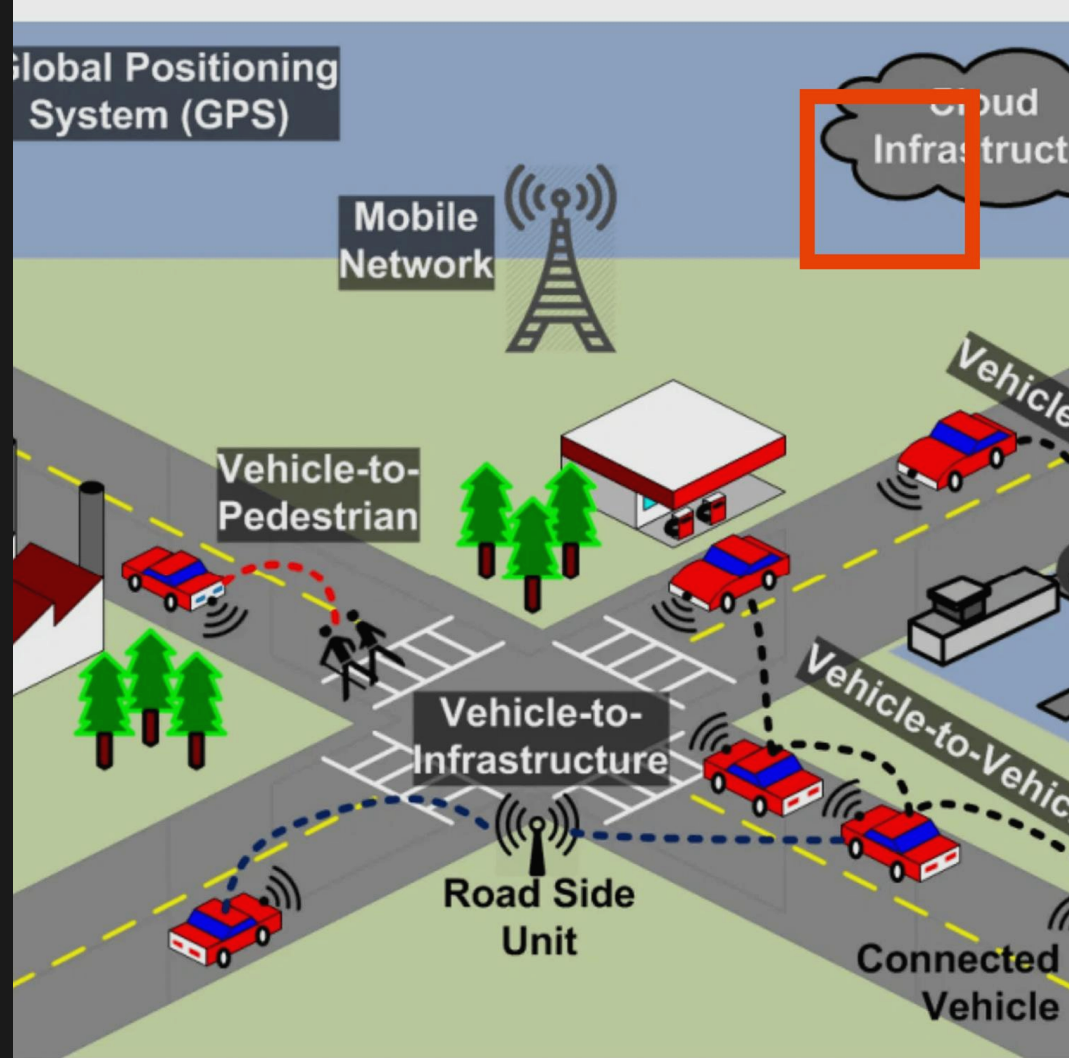


# A Sinfonia Integrada

Otimização de Sistemas de Visão  
Computacional em Redes Veiculares Através  
de Offloading Inteligente e Segurança Baseada  
em Identidade

Pedro Augusto Polegário Alves da Silva

INATEL

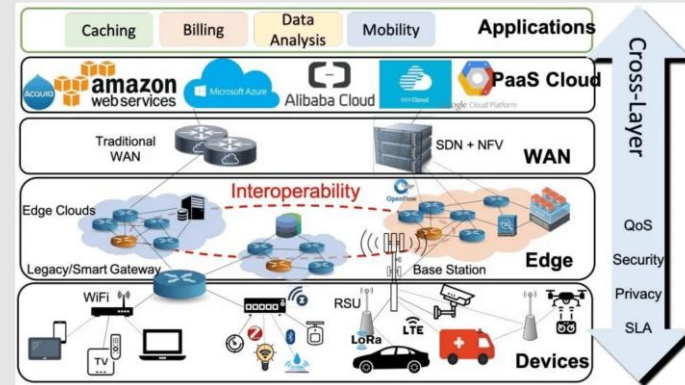


# Evolução dos ITS (Sistemas de Transporte Inteligentes)

02

ITS modernos exigem computação de alto desempenho e processamento de dados em tempo real em ambientes veiculares dinâmicos.

- **Mudança Transformativa:** Integração de sensores embarcados e unidades de processamento melhora segurança e eficiência.
- **Fundação VANETs:** Essencial para comunicação Veículo-a-Veículo (V2V) e Veículo-a-Infraestrutura (V2I).
- **Aplicações Críticas:** Habilita Reconhecimento Automático de Placas (ALPR) e Classificação Veicular de Granularidade Fina (FGVC).
- **Desafios Operacionais:** Condições de canal variáveis, recursos computacionais limitados e restrições estritas de energia.

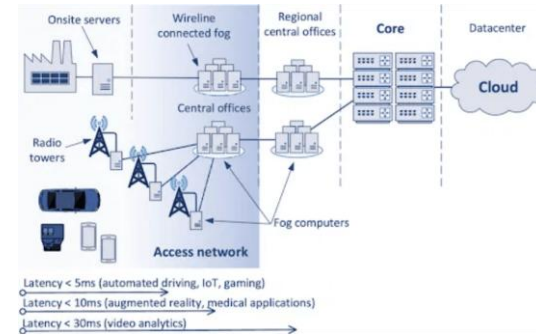


Arquitetura de computação de borda contínua em ambientes de veículos conectados

# Limitações Computacionais e Offloading

03

**Restrições de processamento local  
impulsionam a adoção de paradigmas de  
Computação de Borda Veicular (VEC).**



## VEC Centrado na Borda

Arquiteturas VEC abordam limitações de latência da Nuvem trazendo recursos computacionais para perto dos veículos usando Roadside Units (RSUs) e nós MEC.

## Estratégia de Offloading

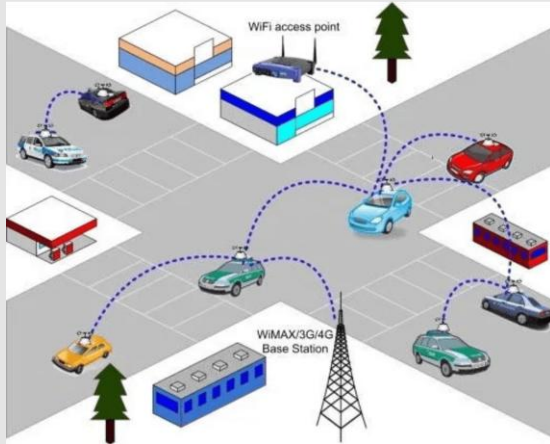
Estratégias eficazes devem equilibrar dinamicamente latência, consumo de energia e disponibilidade, delegando tarefas intensivas para infraestruturas robustas.

## Otimização DRL

Aprendizado por Reforço Profundo (DRL) formula o offloading como um Processo de Decisão de Markov (MDP). Frameworks Multi-Agente (MARL) permitem execução descentralizada.

# Aprendizado por Reforço Profundo

04



O Ambiente: Redes Ad Hoc Veiculares (VANETs) servem como o ambiente dinâmico para agentes DRL.

Frameworks DRL modelam ambientes veiculares como Processos de Decisão de Markov (MDPs) para maximizar desempenho minimizando latência e energia.

## Estados (S)

O framework MDP define estados que capturam condições de canal em tempo real, atributos da tarefa e disponibilidade de recursos na rede.

## Ações (A)

O agente determina ações ótimas, especificamente selecionando o servidor apropriado (Local, Borda, Nuvem) e frequência computacional.

## Recompensas (R)

A função de recompensa é projetada para ser inversamente proporcional à latência e consumo de energia, guiando o agente para a eficiência.

## Algoritmos

Algoritmos Deep Q-Network (DQN) são aplicados para espaços de ação discretos, enquanto frameworks Multi-Agente lidam com execução descentralizada.

# Integrando VC com DRL

05

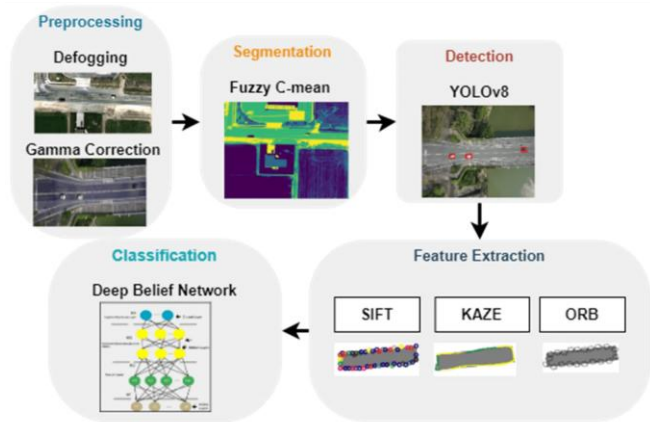


Figura: Detecção e Classificação Veicular baseada em Deep Learning (YOLO)

A arquitetura proposta combina Classificação Veicular de Granularidade Fina com offloading inteligente para aumentar a confiabilidade do ALPR.

- **Arquitetura DRL:** Selecionada com base na complexidade do ambiente e escalabilidade para gerenciar redes veiculares dinâmicas.
- **Distribuição Dinâmica:** Tarefas de processamento são distribuídas dinamicamente entre veículos e Roadside Units (RSUs) para minimizar latência.
- **Frameworks MARL:** Utiliza Aprendizado por Reforço Multi-Agente com Treinamento Centralizado e Execução Descentralizada (CTDE).
- **Otimização de Recursos:** Integração da Teoria dos Jogos com MARL para lidar efetivamente com a contenção de recursos multiusuário.

# Classificação Veicular Fina

06

A integração FGVC fornece identificação validada cruzada para fortalecer a precisão do ALPR em condições adversas.

## Modelos e Arquitetura

- **Modelos Deep Learning:** ViT b16, ResNet-34, EfficientNetV2 e MobileNetV3 utilizando transfer learning.
- **Preparação de Dados:** Dataset Rodosol-ALPR com Protocolo p2 (Oversampling) para equilibrar representação de classes.
- **Deteção:** YOLOv10 empregado para deteção e recorte preciso de veículos.

## Estratégias de Refinamento

- **Redução de Classes (Estática):** Agrupa fabricantes menos frequentes em uma categoria genérica "Outros" para melhorar eficiência.
- **Predição Seletiva (Online):** Rejeita inferências quando a confiança cai abaixo de um limiar pré-definido.
- **Objetivo:** Mitigar falsos positivos e manter alta confiabilidade em tempo real.



# Métricas de Desempenho FGVC

07

Estratégias de Redução de Classes superam significativamente as arquiteturas de referência na identificação veicular.

Melhoria

**+8.0%**

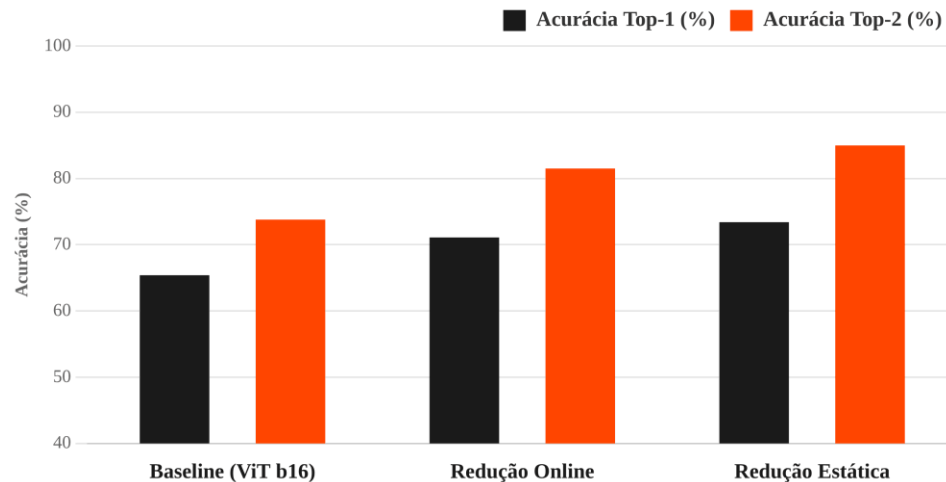
Ganho de Acurácia Top-1 com Redução de Classes Estática sobre Baseline.

Predição Seletiva

**90.2%**

Acurácia alcançada com limiar de confiança de 0.5 (taxa de rejeição de 44.7%).

Comparação de Acurácia de Classificação



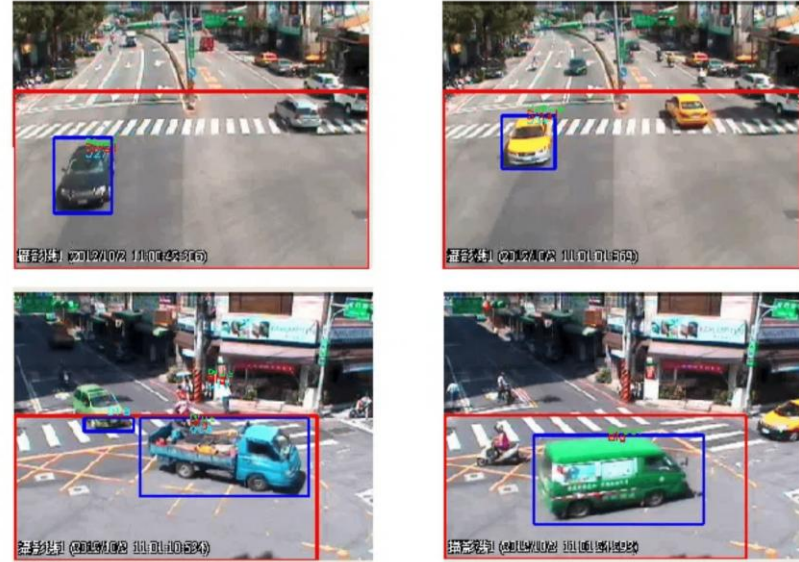
# Análise da Matriz de Confusão

08

**Redução significativa de falsos positivos entre marcas de veículos similares confirmada pela análise da matriz.**

A análise visual confirma que o retreinamento melhora a dispersão diagonal, concentrando as predições e reduzindo a confusão entre marcas em comparação com o baseline.

- **Dispersão Baseline:** Matriz inicial mostra erros significativos fora da diagonal.
- **Redução de Classes:** Concentra predições ao longo da diagonal, melhorando a acurácia.
- **Predição Seletiva:** Equilibra precisão e taxa de rejeição para disponibilidade ótima.
- **Trade-off Crítico:** Limiar de confiança de 0.5 atinge 90.2% de acurácia com 44.7% de rejeição.

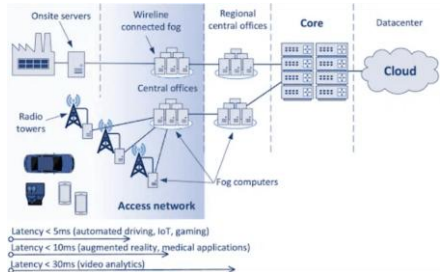




# Topologias VEC e Offloading

Arquiteturas MEC hierárquicas fornecem escalabilidade superior e suporte à mobilidade em comparação com modelos centralizados.

Esquemas avançados de offloading baseados em Aprendizado por Reforço Profundo (ex: MADDPG) distribuem tarefas complexas entre camadas Local, Borda e Nuvem para otimizar latência e energia.



| Topologia                    | Latência           | Suporte à Mobilidade | Escalabilidade | Complexidade de Controle |
|------------------------------|--------------------|----------------------|----------------|--------------------------|
| MEC Centralizado             | Baixa (Alta Carga) | Médio                | Baixa          | Baixa                    |
| MEC Distribuído              | Muito Baixa        | Alto                 | Alta           | Média                    |
| <b>ÓTIMO</b> MEC Hierárquico | Variável           | Alto                 | Alta           | Alta                     |
| MEC Ad-hoc                   | Muito Baixa        | Muito Alto           | Média          | Muito Baixa              |

# Autenticação Baseada em Identidade

IBA elimina a sobrecarga da infraestrutura PKI enquanto garante privacidade através de comunicações pseudônimas.

## Autenticação de Fonte

Verifica a legitimidade da entidade e garante a integridade da mensagem sem gerenciamento pesado de certificados.

## Preservação de Privacidade

Utiliza pseudônimos para proteger a identidade do usuário durante trocas V2V e V2I.

## Rastreabilidade

Permite que uma Autoridade Confiável (TA) revogue o anonimato e identifique atores maliciosos quando necessário.

## Não-Repúdio

Impede que entidades neguem a transmissão de mensagens, garantindo responsabilidade.



Sistemas ALPR atuando como nós de verificação na infraestrutura de segurança  
Camera/ DVR on police car

# Direções Futuras

11

Sistemas VANET de próxima geração integrarão offloading hierárquico, validação cruzada e adaptação rápida por meta-learning.

01

## Offloading Colaborativo

Implementação de particionamento de redes neurais para transmitir apenas vetores de características. Otimizado via algoritmos MARL (Multi-Agent) com técnicas CTDE (Treinamento Centralizado com Execução Descentralizada) para reduzir uso de largura de banda.

02

## Detecção Validada Cruzada

Validação de dados antes da transmissão para mitigar ataques Sybil. Uso de confirmação visual confiável para isolar simulações de identidade falsa.

03

## Adaptação por Meta-Learning

Habilitar agentes para generalizar rapidamente para novos ambientes (ex: centros urbanos congestionados) inferindo modelos vizinhos para acelerar convergência de políticas.



Sistemas de transporte multimodais complexos exigindo inteligência adaptativa

# Conclusão

12

## A convergência de Visão Computacional Avançada e VEC fornece a base para o transporte autônomo seguro.

### Identificação de Alta Precisão

Integração FGVC com ALPR fornece identificação validada cruzada com >90% de acurácia, mitigando erros em cenários adversos.

### Otimização Dinâmica de Tarefas

Frameworks de offloading baseados em DRL (MARL com CTDE) gerenciam efetivamente a alocação dinâmica de tarefas na rede.

### Infraestrutura Escalável

Arquiteturas VEC hierárquicas demonstram escalabilidade superior e suporte à mobilidade em comparação com modelos centralizados.

### Comunicação Segura

Autenticação Baseada em Identidade (IBA) garante comunicações V2V/V2I eficientes e legítimas sem sobrecarga de PKI.

