

A Review of the Self-Adaptive Traffic Signal Control System Based on Future Traffic Environment

Yizhe Wang , Xiaoguang Yang , Hailun Liang , and Yangdong Liu

Ana Clara Ferrarese Machado
Hellen Dias Resende
Milena de Carvalho Gabriele

Contexto

A demanda constante por veículos e mobilidade urbana

São Paulo, 2017

- 576 veículos/1000 habitantes
 - < 1,4 passageiros/veículo
- 750 kg de CO2/habitante
- Pico de Congestionamento
 - 3,1 km na Marginal Pinheiros
 - 2,3 km na Marginal Tietê

Frota de veículos no Estado de São Paulo cresce 161% desde 1997

Publicado em 20 de fevereiro

Trânsito em São Paulo: anda e para piora ainda mais à tarde

Por Metro Jornal
Sexta, 27 julho 2018, às 07:55

MOBILIDADE URBANA

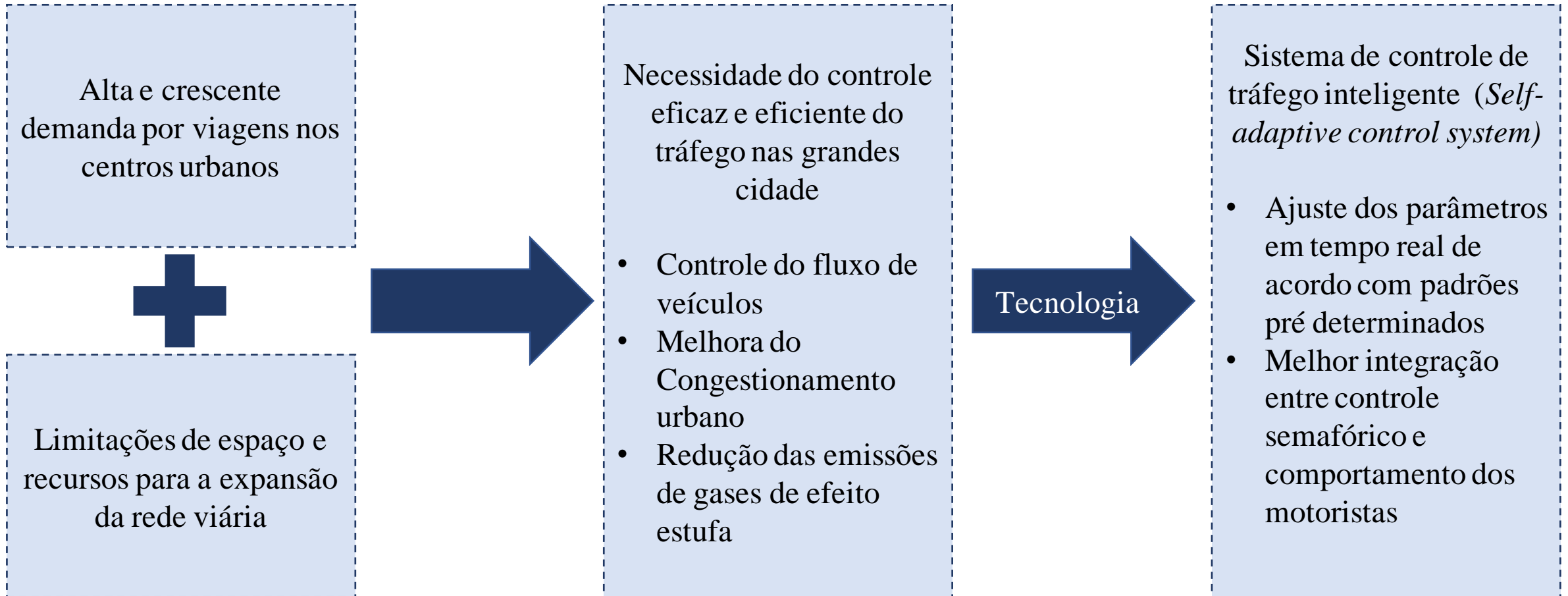
Lentidão média piora nas principais vias da cidade de São Paulo

Recuo na velocidade foi de 5% no ano passado; prefeitura aponta maior frota



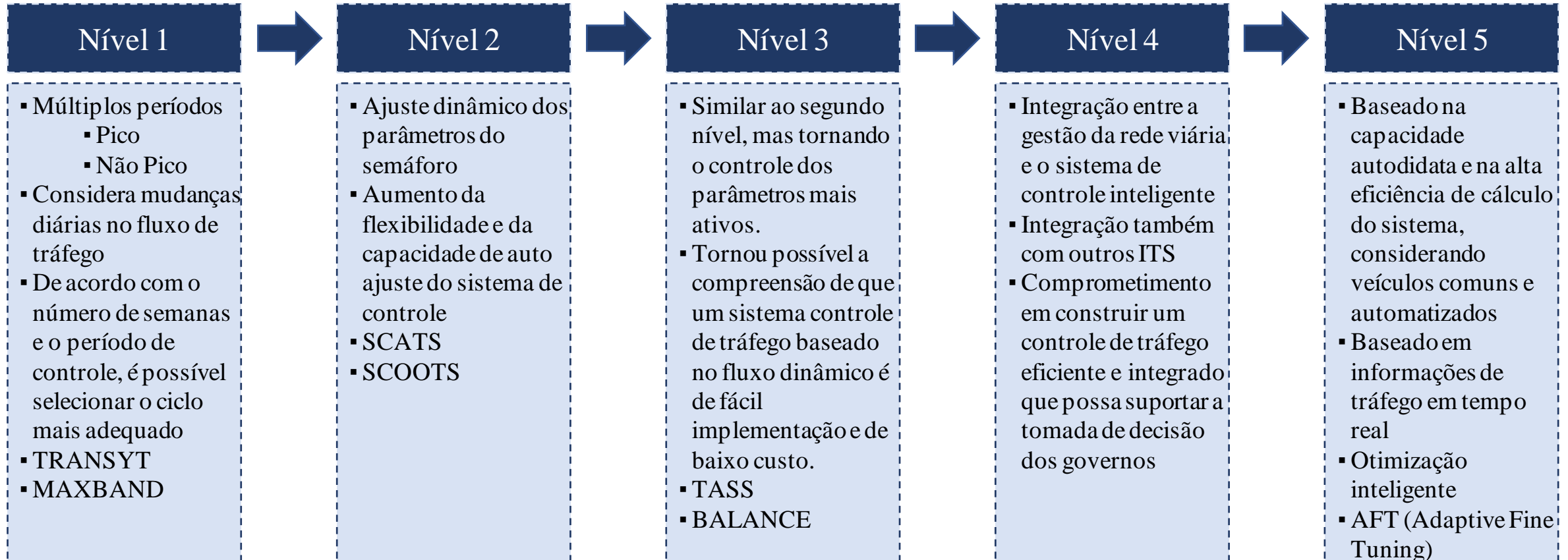
Contexto

A demanda constante por veículos e mobilidade urbana



Controle de Tráfego Inteligente: Sistemas Existentes

O desenvolvimento e a História dos sistemas existentes



Inteligência da tomada de decisão do modelo

Controle de Tráfego Inteligente: Sistemas Existentes

As deficiências e limitações dos sistemas atuais

1

Atualmente, os modelos existentes não tem a capacidade de absorver e aprender informações. Assim, o modelo tem que ser calibrado manualmente, o que é feito somente quando os padrões do tráfego mudam substancialmente.

2

Com a expansão da malha viária, é difícil garantir a qualidade das informações transmitidas

3

O modelo atual só é valido para regiões onde existem grandes corredores de tráfego (grandes avenidas), operando eficientemente apenas uma onda verde e portanto sua operação da grande maioria das áreas urbanas é limitado

4

A falta de resposta imediata da rede viária impossibilita que exista controle em tempo real

5

Os métodos hoje existentes são estabelecidos através de modelos matemáticos precisos, mas que não representam de forma fiel a realidade do fluxo de tráfego e, portanto, o controle é limitado

6

Os sistemas atuais necessitam de muita intervenção humana para funcionarem corretamente, assim uma mão de obra muito técnica e qualificada é essencial para realizar a manutenção constante do sistema e mitigar potenciais erros

O controle de Tráfego baseado no Tráfego Futuro

Oportunidade de otimização e melhora com o avanço tecnológico



Novos estudos de controle de tráfego semafórico baseado em um sistema cooperativo com os veículos:

- Métodos de comunicação veículo-rodovia e veículo-veículo
- Otimização de métodos de tráfego seguro
- Estratégias para uma direção eficiente com menor emissão de poluentes
- Controle semafórico considerando a posição em tempo real de veículos especiais (ônibus, ambulâncias, etc)



Pesquisas mostram que o controle de Tráfego que considera o tráfego heterogêneo é mais eficiente do que o tradicional!

O controle de Tráfego baseado no Tráfego Futuro

Oportunidade de otimização e melhora com o avanço tecnológico |

Sistemas baseados em Modelos Matemáticos vs. Sistemas baseados em Inteligência Artificial

Modelos Matemáticos

- Dois métodos:
 - Considera o tempo de espera, o número de paradas e o tamanho das filas
 - Busca maximizar o conjunto de veículos sem parar na via principal

Inteligência Artificial

- Simula o raciocínio humano;
- Estratégia de controle de tráfego de acordo com as condições da rodovia

O controle de Tráfego baseado no Tráfego Futuro

Inteligência Artificial: Fuzzy Logic, Group Intelligence e Neural Network

4.2.1. Fuzzy Logic. The fuzzy control of urban traffic signal is

one of the effective connotative solutions to traffic problem. Pham et al. proposed a fuzzy logic diamond interlocking system for the integrated signal operation of a diamond interchange and its ramp meter, to improve traffic flows on urban streets and motorway. This fuzzy logic diamond interlocking system comprises three modules: fuzzy phase timing that controls the green time extension of the phase logic selection (PLS) module that determines the phase based on the predefined phase sequence and fuzzy ramp-metering (FRM) module that controls the cycle time of the ramp meter based on current traffic conditions of the surface streets and the motorway. To improve the level of fuzzy controller's skill in solving the multilevel fuzzy and other structural optimization problems, several methods have been proposed and developed from the single-lane to regional traffic control [58, 59].

4.2.2. Group Intelligence. Genetic algorithm (Genetic Algorithms, GA) and Ant colony optimization (ACO) Particle Swarm Optimization (PSO) are the most widely used strategies for simulating the social behavior of biology. Zhao et al. developed a mathematical model for a traffic equilibrium network, in which optimization of lane reorganization and traffic control strategies were integrated in a unified framework. A genetic algorithm (GA) based heuristic is used to yield meta-optimal solutions to the model. Results from extensive numerical analyses reveal the promising property of the proposed model in enhancing network capacity and reducing congestion [16]. Li and Schonfeld presented a hybrid algorithm based on simulated annealing (SA) and a genetic algorithm (GA) for arterial signal timing optimization. A decoding scheme was proposed that exploits our prior expectations about efficient solutions, namely, that the optimal green time distribution should reflect the proportion of the critical lane volumes of each phase. The numerical results indicated that the SA-GA algorithm outperforms both SA

4.2.3. Neural Network. The neural network controller creates the optimal timing based on the real-time detection of traffic system information and weather conditions. Spall and Chin proposed a system-level self-adaptive signal control (STRAC) method based on Artificial Neural Network (ANN) [61]. Hoogendoorn et al. proposed a new control framework based on the notion of controlled Markov processes, which explicitly take into account the uncertainty in predicted traffic conditions and system performance [62]. In contrast to traditional optimal control approaches, the objective function can include general statistic of the random system performance, such as the mean, standard deviation, or 95-percentile. Srinivasan et al. developed a multiagent unsupervised flow response signal control model based on a hybrid neural network approach, which used a multilevel online learning process to update and adjust its knowledge base and decision-making mechanism. The results showed that the new model significantly improves the traffic situation when the complexity of the scene increases, and the average delay was reduced by 78% and the average stopping time was reduced by 85% compared with the existing credit control algorithm [63]. Kosmatopoulos et al. studied the approximation and learning properties of one class of recurrent networks, known as high-order neural networks, and applied these architectures to the identification of dynamical systems. It was clear that if enough high-order connections were allowed, then this network was capable of approximating arbitrary dynamical systems [64].

O controle de Tráfego baseado no Tráfego Futuro

A tendência dos sistemas futuros de controle de tráfego inteligente

- 1 Controle de aprendizado por reforço baseado no método *Data-Driven*
- 2 Pesquisa sobre controle de tráfego com base na otimização adaptativa do desempenho
- 3 Pesquisa sobre controle de tráfego baseado em veículos conectados e veículos automatizados

O controle de Tráfego baseado no Tráfego Futuro

A tendência dos sistemas futuros de controle de tráfego inteligente

1 Controle de aprendizado por reforço baseado no método *Data-Driven*

É aplicável em controle de tráfego regional baseado no *multiagent reinforcement learning*. O controlador que adota esse método tem a capacidade de perceber o estado do ambiente e selecionar a ação ideal de acordo com o alvo.

No processo de controle, o *reinforcement learning* apenas julga e avalia as vantagens e desvantagens das mudanças do estado ambiente depois de selecionar a ação através do *reinforcement signal*, ao invés de intervir com um processo de geração específico como outros algoritmos de *machine learning*.

O controle de Tráfego baseado no Tráfego Futuro

A tendência dos sistemas futuros de controle de tráfego inteligente

2 Pesquisa sobre controle de tráfego com base na otimização adaptativa do desempenho

Kosmatopoulos introduziu e analisou um novo algoritmo para amenizar os problemas encontrados nos Adaptive optimization (AO) sobre a não garantia de um comportamento transiente satisfatório e tem-se mostrado eficaz.

Outras pesquisas na área demonstraram que o desempenho da rede em termos de velocidade média diária, que é atingida pela proposta de metodologia de otimização adaptativa, é significativamente melhor do que o sistema TUC original no caso em que os parâmetros de projeto são ajustados manualmente para a perfeição virtual pelos operadores do sistema.

O controle de Tráfego baseado no Tráfego Futuro

A tendência dos sistemas futuros de controle de tráfego inteligente

3 Pesquisa sobre controle de tráfego com base na otimização adaptativa do desempenho

O controle adaptativo do tráfego visa responder à demanda de tráfego em tempo real através de modelagem de dados de tráfego atual e futuro previsto.

Muitos estudos consideraram a penetração dos equipamentos de comunicação instalados em veículos no modelo de otimização.

Concluiu-se que a instalação de controle de sinal de tráfego pode reduzir potencialmente o total de acidentes em cruzamentos de rodovias e que órgãos públicos devem considerar os benefícios de segurança e mobilidade ao justificar projetos de controle adaptativos de sinais de trânsito.

O controle de Tráfego baseado no Tráfego Futuro

A tendência dos sistemas futuros de controle de tráfego inteligente

- Reinforcement learning (“Aprendizado por reforço”)
- Q-Learning algoritmo

$$Q(s, a) = Q(s, a) + \alpha[r + \gamma \max_{a'} Q(s', a') - Q(s, a)]$$

- Problema de decisão de Markov (PDM)
- Utilização de uma tabela (Q-Table)
- Mapeia qual o valor de uma ação em determinado estado.
- Os valores da Q-Table são calculados realizando uma fase de exploração dos estados.
- O agente escolhe ações aleatórias e com base nas recompensas recebidas a tabela é atualizada seguindo a equação

- $Q(s, a)$ é a Q-Function;
- s é o estado
- a é ação
- α é a taxa de aprendizagem;
- r é a recompensa recebida;
- γ é um desconto aplicado aos valores das ações do novo estado, já que essas ações não têm garantia de acontecerem.

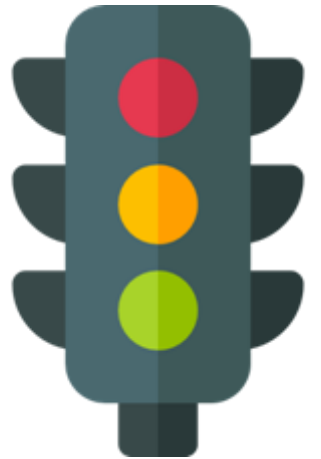
O controle de Tráfego baseado no Tráfego Futuro

A tendência dos sistemas futuros de controle de tráfego inteligente

→ Exemplo: Método Q-Learning para controle de trânsito

(J.ALYSSON, Y. MARCOS, Paraná, 2017)

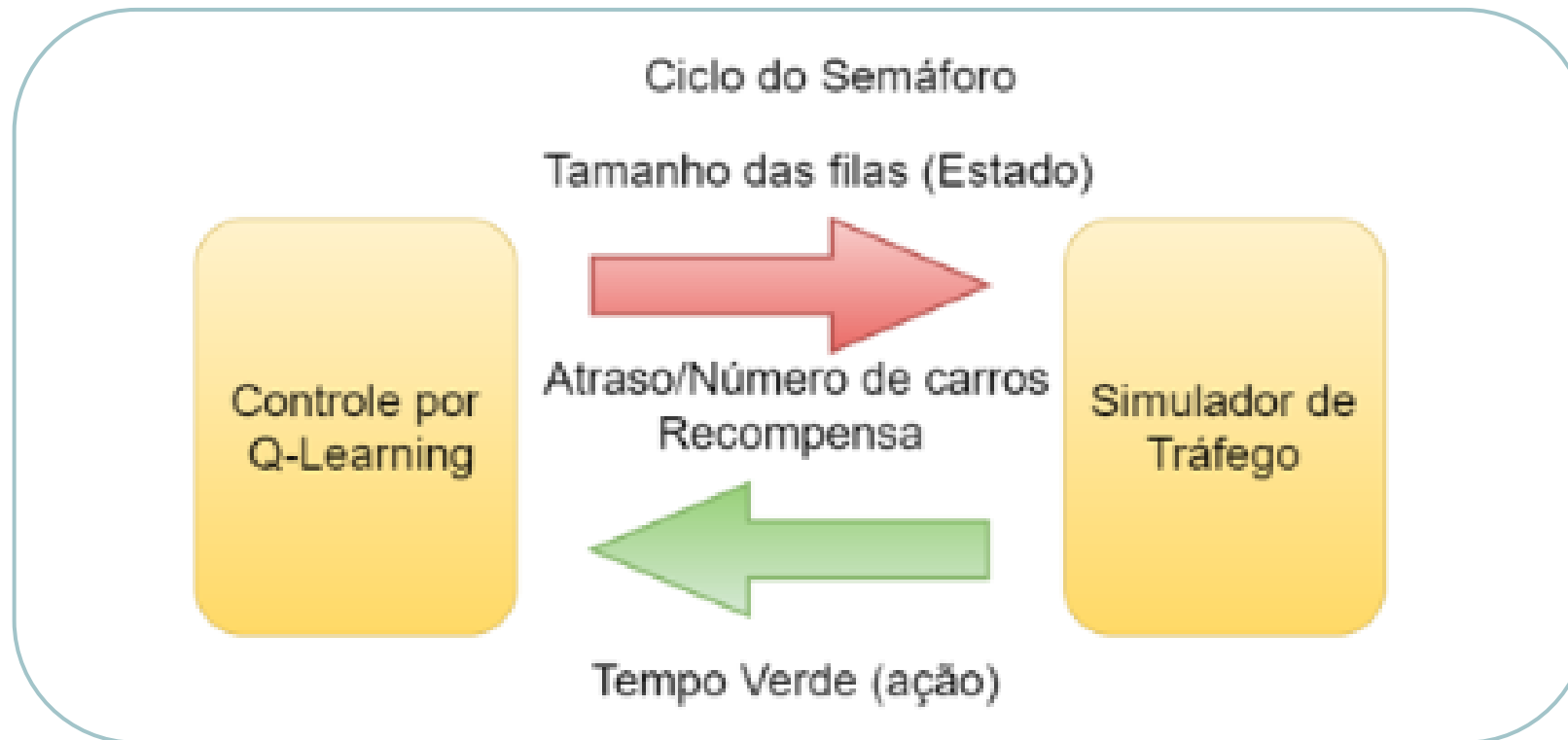
- Função de recompensa: dependente do tamanho da fila de veículos a cada ciclo do semáforo
- Ciclo: tempo de verde + tempo de vermelho
- Estados: nº de veículos em cada via e o ciclo do semáforo
- Ações: mudança dos tempos de verde e vermelho de um ciclo
- Implantar uma função de ganho de recompensa que atenda a um objetivo específico: diminuir a fila de carros em cada via



O controle de Tráfego baseado no Tráfego Futuro

A tendência dos sistemas futuros de controle de tráfego inteligente

Processo de interação entre o Q-Learning Control e um simulador de tráfego



Recompensa: inversamente proporcional ao tempo de atraso médio ao final de cada ciclo

Conclusões

O benefício inegável da busca pelo controle de tráfego inteligente

- Crescimento das ferramentas de inteligência artificial e evolução dos métodos de controle de tráfego
- A maioria dos sistemas de controle de tráfego existentes adota o método de controle antecipado de alimentação
- Com o avanço de novas tecnologias (ex: comunicação V2V, direção automática, etc), os sistemas de controle de tráfego passarão para a chamada “data-rich era”.
- Defeitos encontrados no controle de tráfego adaptável existente: necessita de desenvolvimento e aplicação de controle de tráfego e tecnologias de infraestrutura avançada

Conclusões

O benefício inegável da busca pelo controle de tráfego inteligente

- Necessidade desse controle de tráfego: desenvolver um sistema de controle colaborativo com um alto grau de refinamento, precisão e melhor capacidade de resposta e inteligência
- Uso da inteligência artificial: pode melhorar a rede rodoviária, maior eficiência, reduzir os custos operacionais do tráfego, prevenir e mitigar o congestionamento de tráfego nos cruzamentos e reduzir o consumo de energia e as emissões