



APLICAÇÃO DA LÓGICA FUZZY EM SISTEMAS DE TOMADA DE DECISÃO PARA GESTÃO DE TRÁFEGO URBANO



<https://doi.org/10.56238/isevmjv2n1-017>

Recebimento dos originais: 10/01/2023

Aceitação para publicação: 29/01/2023

Gabriel Alexandre de Souza

RESUMO

O rápido crescimento das populações urbanas e o aumento do tráfego de veículos intensificaram o congestionamento, a poluição e os atrasos nas viagens nas cidades. Os sistemas tradicionais de gerenciamento de tráfego, muitas vezes baseados no controle de sinais de tempo fixo, não conseguem se adaptar às condições dinâmicas do tráfego, necessitando de soluções mais inteligentes. Este estudo explora a aplicação da Lógica Fuzzy na gestão do tráfego urbano, demonstrando seu potencial para otimizar o controle de semáforos em tempo real. A Lógica Fuzzy, uma extensão da lógica clássica, lida efetivamente com incertezas e dados imprecisos, tornando-a particularmente adequada para ambientes de tráfego onde variáveis como volume de tráfego, tempo de espera e condições climáticas flutuam continuamente.

Ao empregar a Lógica Fuzzy, os controladores de semáforos podem ajustar dinamicamente as durações dos sinais para otimizar o fluxo do veículo. O sistema utiliza variáveis de entrada, como volume de tráfego em tempo real, tempo de espera acumulado e fatores ambientais para determinar os tempos de sinal ideais por meio de um mecanismo de inferência difusa. Essa abordagem adaptativa melhora a mobilidade, reduz o congestionamento, minimiza o consumo de combustível e melhora a segurança nas estradas.

Os resultados da simulação e os estudos de caso indicam que o gerenciamento de tráfego baseado em lógica difusa supera significativamente o controle de sinal de tempo fixo, reduzindo os tempos médios de espera e melhorando a eficiência geral do tráfego. Além disso, a integração do aprendizado por reforço e da teoria dos jogos em modelos de lógica difusa mostra resultados promissores na tomada de decisão cooperativa de múltiplos agentes para redes de tráfego urbano em larga escala. Apesar dos desafios relacionados à coleta e implementação de dados, o uso de sistemas inteligentes de controle de tráfego pode desempenhar um papel fundamental na consecução da mobilidade urbana sustentável.

Palavras-chave: Lógica fuzzy. Gestão do tráfego urbano. Tomada de decisão. Otimização de tráfego.



1 INTRODUÇÃO

O crescimento populacional e a rápida urbanização levaram a um aumento significativo no volume de tráfego urbano, resultando em congestionamentos, poluição e tempos de viagem mais longos. Nesse contexto, otimizar o fluxo de veículos torna-se um desafio crucial para as autoridades responsáveis pela gestão do tráfego urbano. Uma das abordagens emergentes para resolver esse problema é o uso de sistemas baseados em Lógica Fuzzy, que são capazes de lidar com incertezas e variabilidades em dados dinâmicos, como volume de tráfego, tempo de espera em semáforos e condições climáticas. O ajuste do semáforo em tempo real com base nessas variáveis pode contribuir significativamente para melhorar o fluxo de tráfego, minimizar o congestionamento e otimizar o tempo de viagem.

A Lógica Fuzzy, proposta pela primeira vez por Lotfi Zadeh na década de 1960, é uma extensão da lógica clássica (booleana), permitindo que informações imprecisas ou vagamente definidas sejam processadas de forma mais eficaz. Em vez de usar variáveis binárias nítidas (verdadeiro ou falso, 0 ou 1), a lógica difusa trabalha com graus de verdade, permitindo que as variáveis de entrada e saída de um sistema sejam representadas por valores contínuos que variam de 0 a 1. Isso torna possível modelar sistemas complexos e imprevisíveis, como o tráfego urbano, onde as condições variam constantemente.

Os semáforos desempenham um papel crucial na regulação do fluxo de veículos, mas em muitas cidades, seu controle ainda é fixo e não leva em consideração as variações temporais e sazonais do tráfego. O uso da Lógica Fuzzy permite o ajuste do semáforo em tempo real com base em diferentes variáveis de entrada. Os principais parâmetros que podem ser usados para otimizar o gerenciamento de tráfego são discutidos abaixo:

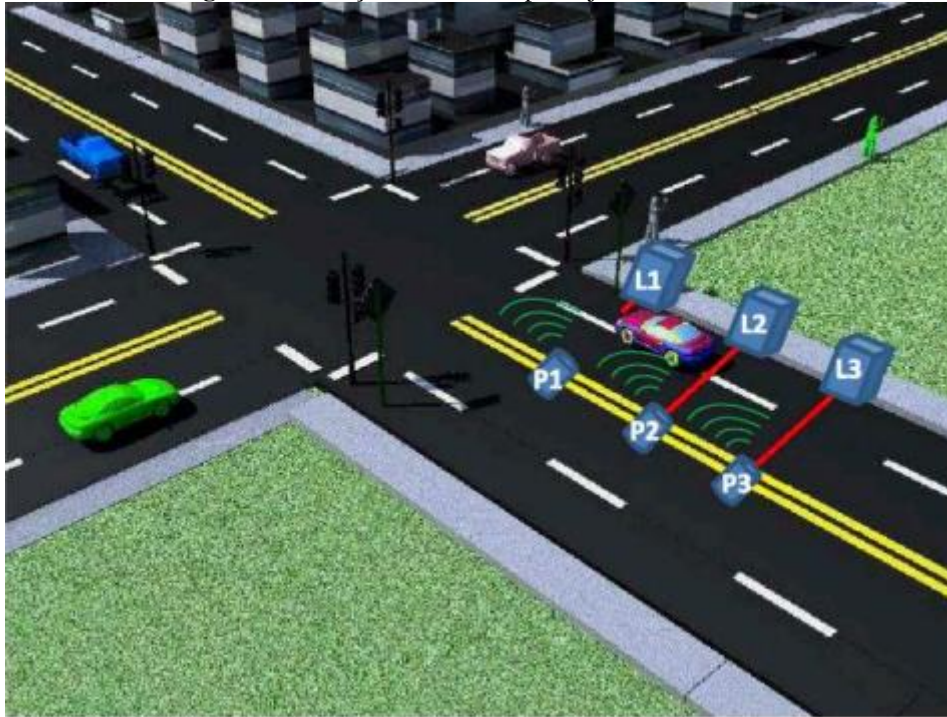
Volume de tráfego: O número de veículos que passam por um ponto de controle (semáforo) é um dos principais indicadores do fluxo de tráfego. O Fuzzy Logic pode ajustar o tempo do semáforo com base no volume de tráfego, aumentando a duração do sinal verde em ruas com maior número de veículos e diminuindo-o em ruas com menos tráfego.

Tempo de espera: O tempo que os veículos esperam em um semáforo também é uma variável crítica. Longos tempos de espera podem resultar em frustração do motorista e aumento das emissões. O Fuzzy Logic pode considerar o tempo de espera acumulado para ajustar a duração da luz de uma forma que equilibre o fluxo de tráfego e reduza os tempos de espera.

Condições meteorológicas: Fatores climáticos como chuva, neblina ou neve podem afetar a segurança e o fluxo do trânsito. Por exemplo, em condições de visibilidade reduzida, é necessário aumentar a duração da luz verde para permitir que os veículos se movam mais devagar e com

segurança. O Fuzzy Logic pode integrar informações meteorológicas em tempo real para ajustar o comportamento do semáforo com base nessas condições.

Figura 1: Detecção de veículos para ajuste de semáforo.



Fonte: Cavalheiro et al. (2020).

Um sistema de controle baseado em lógica difusa pode ser implementado por meio de um modelo com três componentes principais: variáveis de entrada, um conjunto de regras difusas e variáveis de saída.

Variáveis de entrada: Conforme mencionado, as variáveis de entrada podem incluir volume de tráfego, tempo de espera nos semáforos e condições climáticas. Cada uma dessas variáveis pode ser descrita por termos difusos, como "baixo", "médio" e "alto" para o volume de tráfego, ou "chuva", "neblina" e "claro" para as condições climáticas.

Regras difusas: As regras são formuladas com base no conhecimento especializado e consistem em declarações condicionais. Por exemplo, uma regra pode ser: "Se o volume de tráfego for alto e o tempo de espera for longo, aumente a duração do sinal verde". Essas regras podem ser ajustadas para refletir a complexidade das interações entre as variáveis.

Variáveis de saída: A variável de saída é a duração dos semáforos (verde, amarelo e vermelho), ajustada dinamicamente de acordo com os parâmetros de entrada. A Lógica Fuzzy pode calcular uma resposta contínua para cada variável de saída, considerando todas as combinações possíveis de variáveis de entrada.



Adaptação em tempo real: A principal vantagem do Fuzzy Logic é sua capacidade de adaptar o sistema a mudanças constantes e imprevistas. Isso é especialmente útil em um ambiente urbano onde o tráfego pode variar de hora em hora ou até minuto a minuto.

Redução de congestionamento: O ajuste dinâmico dos semáforos pode ajudar a reduzir o congestionamento, otimizando a distribuição do tempo do sinal, evitando congestionamentos em estradas mais movimentadas e ainda permitindo a luz verde em ruas com menor tráfego.

Maior eficiência energética: Os sistemas inteligentes de semáforos também podem reduzir o consumo de energia, ajustando os sinais com base na necessidade real de passagem de veículos, evitando sinais longos durante períodos de baixo tráfego.

Segurança aprimorada: Ao considerar condições climáticas adversas, o sistema pode melhorar a segurança ajustando os semáforos para evitar acidentes causados por pouca visibilidade ou condições da estrada.

Li et al. (2025) apresentam o FuzzyLight, uma abordagem baseada em lógica difusa de dois estágios para otimizar o controle de semáforos urbanos, integrando aprendizado por reforço (RL) e técnicas de detecção comprimida. Abordando desafios do mundo real, como ruído do sensor, instabilidade no treinamento de RL e a falta de ajustes dinâmicos de duração de fase, o FuzzyLight aprimora a tomada de decisões combinando regras difusas para seleção de fase de sinal de trânsito com um módulo baseado em RL para determinar a duração da fase. O modelo demonstrou um aumento de 48% na eficiência do tráfego em comparação com os tempos de sinal convencionais projetados por especialistas. As descobertas destacam a robustez do FuzzyLight, a adaptabilidade a dados de tráfego ruidosos e sua capacidade de melhorar a mobilidade urbana em ambientes reais e simulados.

Tunc et al. (2021) exploraram diferentes estratégias de controle de lógica difusa para otimizar o tempo dos semáforos nos cruzamentos, com o objetivo de reduzir o congestionamento e melhorar o fluxo de tráfego. Usando a plataforma de Simulação de Mobilidade Urbana (SUMO), os pesquisadores comparam um controlador lógico difuso (FLC) com entrada de comprimento de fila e um controlador lógico difuso com entrada de estado, que considera o posicionamento do veículo. Os resultados indicam que o método baseado em entrada de estado supera os sistemas tradicionais de semáforos de tempo fixo, ajustando dinamicamente as durações dos sinais com base nas condições em tempo real. As descobertas contribuem para sistemas de transporte inteligentes, demonstrando como o controle de tráfego adaptativo pode minimizar os tempos de espera e o comprimento das filas, aumentando assim a mobilidade urbana.



Tunc e Soylemes (2023) apresentaram uma nova abordagem para o controle de semáforos, integrando o Deep Q-Learning (DQL) com o Fuzzy Logic Systems (FLSI) para otimizar a duração do sinal verde em cruzamentos urbanos. O método proposto ajusta dinamicamente as sequências de fase usando aprendizado por reforço enquanto emprega lógica difusa para determinar as durações dos sinais com base nas condições de tráfego em tempo real. Os resultados da simulação demonstram que essa abordagem híbrida reduz significativamente o comprimento das filas de veículos, as emissões de CO₂ e o atraso geral em comparação com as estratégias convencionais baseadas em deep learning e tempo fixo. Além disso, a análise de estabilidade confirma a robustez do sistema, tornando-o uma solução promissora para sistemas de transporte inteligentes.

Daeichian e Haghani (2029) introduziram um sistema multiagente para controle inteligente de tráfego, integrando Fuzzy Q-learning e Teoria dos Jogos para otimizar o tempo do sinal e reduzir os atrasos dos veículos. Cada semáforo opera como um agente autônomo, aprendendo com experiências passadas e considerando as decisões tomadas por agentes vizinhos. Ao incorporar a lógica difusa, o sistema lida efetivamente com a incerteza nas condições de tráfego, enquanto a teoria dos jogos garante a tomada de decisão cooperativa entre os cruzamentos. Simulações em uma rede de cinco interseções demonstram que o método proposto supera significativamente as abordagens tradicionais de tempo fixo, fuzzy, Q-learning e fuzzy Q-learning na minimização dos tempos médios de atraso, destacando seu potencial para melhorar a eficiência do tráfego urbano.

Apesar dos benefícios, a implementação de sistemas baseados em Fuzzy Logic enfrenta alguns desafios, como a necessidade de coleta de dados em tempo real com alta precisão, a integração de diferentes fontes de dados e a necessidade de infraestrutura tecnológica avançada. A aplicação da Lógica Fuzzy para otimizar o controle de semáforos em tempo real é uma solução promissora para melhorar o fluxo de tráfego urbano. Ao considerar variáveis como volume de tráfego, tempo de espera e condições climáticas, este sistema pode ajustar dinamicamente os semáforos, proporcionando benefícios significativos, como redução de congestionamentos, aumento da segurança rodoviária e aumento da eficiência energética. Embora existam desafios técnicos e operacionais a serem superados, a evolução da tecnologia e a implementação de sistemas de transporte inteligentes podem transformar a forma como gerenciamos o tráfego nas cidades, tornando-as mais eficientes e sustentáveis.



REFERÊNCIAS

ANTONIO, S. L. Inovações tecnológicas e desafios geomecânicos na perfuração da bacia de Midland. *Revista Brasileira de Desenvolvimento*, Curitiba, v. 11, n. 3, e78097, 2025. DOI: 10.34117/bjdv11n3-005.

CAVALHEIRO, E. R. M.; QUARESMA, C. C.; CONTI, D. de M. O uso de semáforos inteligentes na mobilidade urbana sustentável: uma revisão sistemática de literatura. In: *II Sustentare – Seminário de Sustentabilidade da PUC-Campinas, V WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade*, 2020. Disponível em: <https://www.sustentarewipis.com.br/wp-content/uploads/artigos/2020/306525.pdf>. Acesso em: 25 jan. 2025.

DAEICHIAN, A.; HAGHANI, A. Sistema multiagente baseado em aprendizado Q difuso para controle de tráfego inteligente por uma abordagem de teoria dos jogos. *arXiv*, 2019. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/1905.01361>. Acesso em: 25 jan. 2025.

DELICI, C. A. M. A eficácia do Last Planner System (LPS) no gerenciamento de projetos de infraestrutura. *Revista Sistemática*, v. 15, n. 2, p. 133–139, 2025. DOI: 10.56238/rcsv15n2-009.

FILHO, W. L. R. O papel da arquitetura Zero Trust na segurança cibernética moderna: integração com IAM e tecnologias emergentes. *Revista Brasileira de Desenvolvimento*, Curitiba, v. 11, n. 1, e76836, 2025. DOI: 10.34117/bjdv11n1-060.

FILHO, W. L. R. O papel da IA no aprimoramento dos sistemas de gerenciamento de identidade e acesso. *Sete Revistas Internacionais de Multidisciplinaridade*, v. 1, n. 2, 2025. DOI: 10.56238/isevmjv1n2-011.

FREITAS, G. B.; RABELO, E. M.; PESSOA, E. G. Projeto modular com reaproveitamento de container marítimo. *Brazilian Journal of Development*, Curitiba, v. 9, n. 10, p. 28303–28339, 2023. DOI: 10.34117/bjdv9n10-057.

GARCIA, A. G. O impacto das práticas sustentáveis no bem-estar dos funcionários e no sucesso organizacional. *Revista Brasileira de Desenvolvimento*, Curitiba, v. 11, n. 3, e78599, 2025. DOI: 10.34117/bjdv11n3-054.

LI, M.; WANG, J.; DU, B.; SHEN, J.; WU, Q. FuzzyLight: uma abordagem difusa robusta de dois estágios para o controle de semáforos funciona em cidades reais. In: *Anais da 31ª Conferência ACM SIGKDD sobre Descoberta de Conhecimento e Mineração de Dados*, Toronto, 2025. v. 1. Nova York: ACM, 2025. DOI: 10.1145/3690624.3709393.

MOREIRA, C. A. Monitoramento digital de equipamentos pesados: avançando na otimização de custos e eficiência operacional. *Revista Brasileira de Desenvolvimento*, Curitiba, v. 11, n. 2, e77294, 2025. DOI: 10.34117/bjdv11n2-011.

OLIVEIRA, C. E. C. de. Gentrificação, revitalização urbana e equidade social: desafios e soluções. *Revista Brasileira de Desenvolvimento*, Curitiba, v. 11, n. 2, e77293, 2025. DOI: 10.34117/bjdv11n2-010.



PESSOA, E. G.; FEITOSA, L. M.; PÁDUA, V. P.; PEREIRA, A. G. Estudo dos recalques primários em um aterro executado sobre a argila mole do Sarapuí. *Brazilian Journal of Development*, Curitiba, v. 9, n. 10, p. 28352–28375, 2023. DOI: 10.34117/bjdv9n10-059.

PESSOA, E. G.; FEITOSA, L. M.; PEREIRA, A. G.; PÁDUA, V. P. Efeitos de espécies de alna e eficiência de coagulação, Al residual e propriedade dos flocos no tratamento de águas superficiais. *Brazilian Journal of Health Review*, v. 6, n. 5, p. 24814–24826, 2023. DOI: 10.34119/bjhrv6n5-523.

SANTOS, H.; PESSOA, E. G. Impactos da digitalização na eficiência e qualidade dos serviços públicos: a comprehensive analysis. *Lumen et Virtus*, v. 15, n. 40, p. 4409–4414, 2024. DOI: 10.56238/levv15n40-024.

TUNC, I.; SOYLEMEZ, M. T. Lógica difusa e controle profundo baseado em Q-learning para semáforos. *Jornal de Engenharia de Alexandria*, v. 67, p. 343–359, 2023. DOI: 10.1016/j.aej.2022.12.028.

TUNC, I.; YESILYURT, A. Y.; SOYLEMEZ, M. T. Diferentes estratégias de controle de lógica difusa para controle de temporização de semáforos com entradas de estado. *Documentos IFAC OnLine*, v. 54, n. 2, p. 265–270, 2021. DOI: 10.1016/j.ifacol.2021.06.032.

TURATTI, R. C. Aplicação de inteligência artificial na previsão de comportamento e tendências do consumidor no e-commerce. *Revista Brasileira de Desenvolvimento*, Curitiba, v. 11, n. 3, e78442, 2025. DOI: 10.34117/bjdv11n3-039.

VENTURINI, R. E. Inovações tecnológicas na agricultura: a aplicação de Blockchain e Inteligência Artificial para rastreabilidade e proteção de grãos. *Revista Brasileira de Desenvolvimento*, Curitiba, v. 11, n. 3, e78100, 2025. DOI: 10.34117/bjdv11n3-007.