

# **SISTEMA FUZZY ADAPTATIVO PARA CONTROLE INTELIGENTE DE SEMÁFOROS**

**2025668486 PRISCILA DIAS**

MESTRADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA/UFMG

## Research Article

# An Adaptive Fuzzy-Logic Traffic Control System in Conditions of Saturated Transport Stream

N. R. Yusupbekov, A. R. Marakhimov, H. Z. Igamberdiev, and Sh. X. Umarov

Department of Information Technology, Tashkent State Technical University, 100095 Tashkent, Uzbekistan

Correspondence should be addressed to N. R. Yusupbekov; [dodabek@mail.ru](mailto:dodabek@mail.ru)

Received 28 December 2015; Accepted 16 May 2016

Academic Editor: Oleg H. Huseynov

Copyright © 2016 N. R. Yusupbekov et al. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

This paper considers the problem of building adaptive fuzzy-logic traffic control systems (AFLTCS) to deal with information fuzziness and uncertainty in case of heavy traffic streams. Methods of formal description of traffic control on the crossroads based on fuzzy sets and fuzzy logic are proposed. This paper also provides efficient algorithms for implementing AFLTCS and develops the appropriate simulation models to test the efficiency of suggested approach.

## 1. Introduction

One of the most important and promising tasks of transport systems in modern cities is to satisfy the needs of both state and citizens in efficient transport services. Prior studies investigated methods of improving operational efficiency of transport management systems in different countries [1, 2]. The results demonstrate that the most promising direction is the development and implementation of intelligent transport systems (ITS). Intelligent transportation system (ITS) is an integration of advanced information and communication technologies, computer-aided control and traffic management, transport infrastructure, vehicles, and users, to improve safety and efficiency of road traffic [3].

Today, the scope of the ITS implementation ranges from solving problems of traffic-light management and road safety to increasing the efficiency of the existing transport system. Capabilities of the ITS are not limited to improving the safety and efficiency of the transporting processes. It builds information retrieval systems, focused on the identification of vehicles, the analysis of traffic situations, and detecting violations. Furthermore, ITS allows searching violators, stolen vehicles, and suspected criminals. Such operations are based on remote video monitoring, collection, and intellectual processing of large amounts of data, as well as automatic generation of analytical reports. The reports include both simple and integrated decision-making mechanisms.

The review of the extant ITS projects showed that the latest advances in information and communications technologies, control systems theory, data mining, and analysis techniques are not widely implemented in road traffic management. The reason is the lack of extensive research and efficient methods of synthesis of multilevel intelligent systems in conditions of fuzziness of parameters of the road traffic. There are a number of studies on automating the development of control systems and their components. They are focused on developing and improving the systems of coordinated traffic management on highways and adaptive management that addresses problems of vehicle throughput [2–4]. Furthermore, there are a number of studies that focus on optimizing the traffic-light management [3–8]. A significant number of works are devoted to the development of technical methods for measuring the parameters of road traffic and their processing [4–9]. However, these works are highly scattered and focus on solving local problems of automated control of road traffic. They do not take into account that the improvement of road traffic in a particular area may lead to deterioration of the traffic situation on the other site. Another factor that is not considered by previous studies is that synthesized parameters of traffic-light management systems are optimal only under certain conditions—when the parameters of road traffic do not change over time (or change in short intervals). In most cases, the synthesis of control

# ARTIGO:

## “AN ADAPTIVE FUZZY-LOGIC TRAFFIC CONTROL SYSTEM IN CONDITIONS OF SATURATED TRANSPORT STREAM”

MARTINEK, J.; BÍDA, M.; POKORNÝ, J. An Adaptive Fuzzy-Logic Traffic Control System in Conditions of Saturated Transport Stream. *Journal of Advanced Transportation*, [S. l.], v. 50, n. 8, p. 1867–1880, 2016. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4970305/>. Acesso em: 5 jun. 2025.



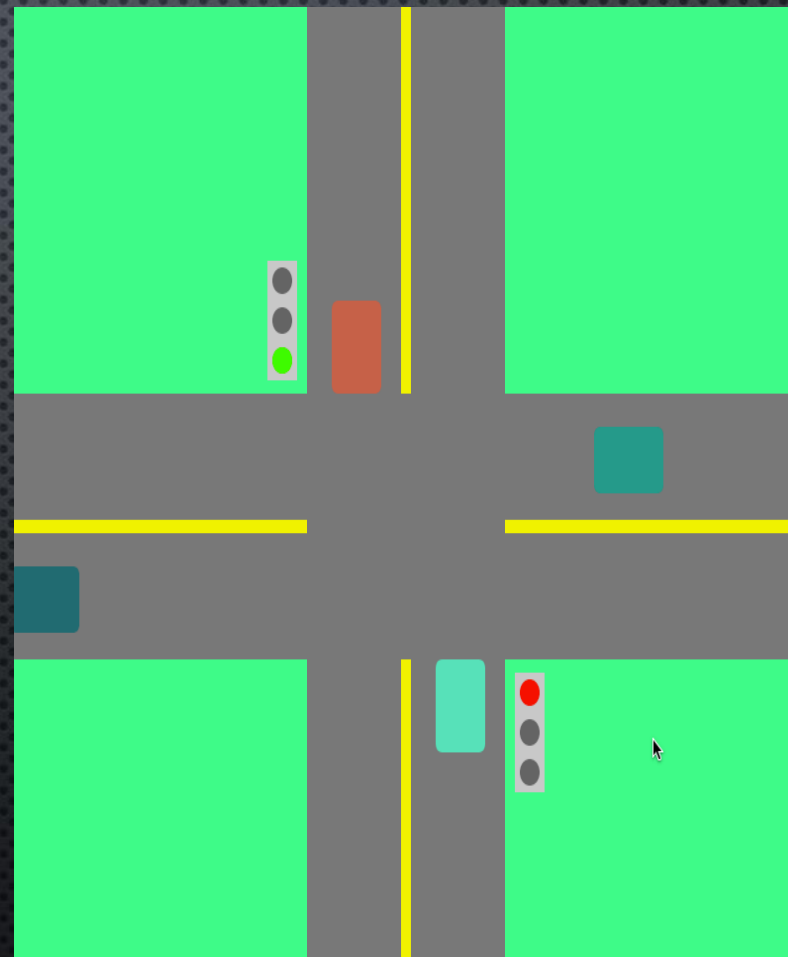
# SOBRE O ARTIGO

- OBJETIVO DO ARTIGO:

DESENVOLVER UM SISTEMA ADAPTATIVO DE CONTROLE SEMAFÓRICO BASEADO EM LÓGICA FUZZY, VOLTADO PARA CRUZAMENTOS COM TRÁFEGO SATURADO.

- DESTAQUE:

- ❖ USO DE LÓGICA FUZZY PARA LIDAR COM INCERTEZAS E VARIAÇÕES NO FLUXO DE VEÍCULOS;
- ❖ SISTEMA AJUSTA AUTOMATICAMENTE OS TEMPOS DE SEMÁFORO COM BASE NAS CONDIÇÕES LOCAIS;



# ARTIGO:

## COMPARAÇÃO COM OS MÉTODOS ANTERIORES

| CRITÉRIO                         | SEMÁFORO TRADICIONAL | AFLTCS (Proposto)       |
|----------------------------------|----------------------|-------------------------|
| Adaptação ao tráfego real        | Não                  | Sim                     |
| Uso de sensores simples          | Sim                  | Sim                     |
| Robustez a incertezas            | Baixa                | Alta (Via Lógica Fuzzy) |
| Necessidade de supervisão humana | Alta                 | Baixa                   |
| Redução de congestionamentos     | Limitada             | Significativa           |



# RESULTADOS DO ARTIGO

- HOUE REDUÇÃO SIGNIFICATIVA DE CONGESTIONAMENTO EM CRUZAMENTOS COM FLUXO INTENSO.
- A RESPOSTA DO SISTEMA SE MANTEVE ESTÁVEL E EFICIENTE MESMO EM SITUAÇÕES CRÍTICAS DE TRÁFEGO.
- A LÓGICA FUZZY MOSTROU SER UMA SOLUÇÃO EFICAZ PARA AMBIENTES URBANOS COM ALTA VARIABILIDADE.
- O SISTEMA É ESCALÁVEL E PODE SER APLICADO EM DIFERENTES CONTEXTOS URBANOS SEM EXIGIR SENSORES COMPLEXOS.
- A ADAPTAÇÃO CONTÍNUA TORNA O CONTROLE MAIS RESPONSIVO QUE OS MÉTODOS TRADICIONAIS.

# SIMULAÇÃO

ROS 1 + GAZEBO 11





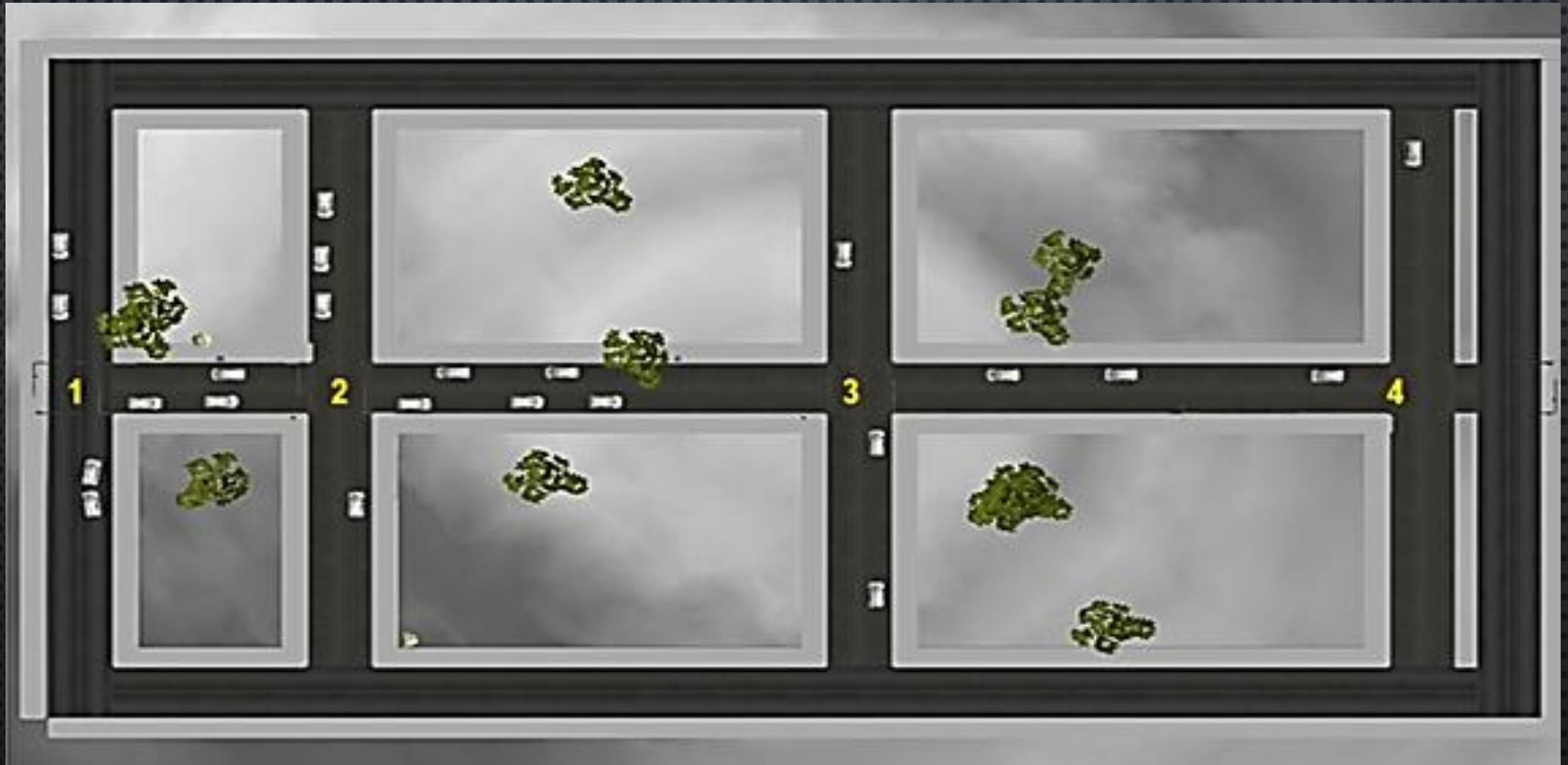
# SIMULAÇÃO: CONTEXTUALIZAÇÃO

- **CENÁRIO DE SIMULAÇÃO – CONTROLE INTELIGENTE**
- **AMBIENTE:** 4 CRUZAMENTOS, 23 VEÍCULOS SIMULADOS
- **CONTROLE ADAPTATIVO NOS CRUZAMENTOS 1 E 2:**
  - COMBINAÇÃO DE **LÓGICA FUZZY + REDE NEURAL**
  - COMUNICAÇÃO VIA **BROADCAST** ENTRE CRUZAMENTOS (CONTROLE DISTRIBUÍDO)
  - SISTEMA APRENDE PADRÕES E AJUSTA DECISÕES EM TEMPO REAL
- **CONTROLE FIXO NOS CRUZAMENTOS 3 E 4:**
  - TEMPO VERDE FIXADO EM **10 SEGUNDOS**
  - SEM ADAPTAÇÃO ÀS CONDIÇÕES DO TRÁFEGO
- **OBJETIVO DA SIMULAÇÃO:**
  - COMPARAR O DESEMPENHO DO CONTROLE ADAPTATIVO HÍBRIDO VS. CONTROLE FIXO
  - AVALIAR **TEMPO DE ESPERA, FLUIDEZ E NÚMERO DE PARADAS**





# PROBLEMÁTICA



**FLUXO MELHOR = FUZZY + NN + Controle Adaptativo**



# CONTROLE SEMAFÓRICO: CONVENCIONAL VS ADAPTATIVO



SCATSIM

Intersection Wellington Parade and  
Hoddle Street

# MODELAGEM MATEMÁTICA

## Categorias linguísticas:

| Variável                   | Rótulos Linguísticos | Intervalos (triangulares)               |
|----------------------------|----------------------|---|
| $x_1$ : Número de veículos | Pouco, Médio, Muito  | (0, 0, 5), (3, 5, 7), (5, 10, 10)       |
| $x_2$ : Tempo de espera    | Baixo, Médio, Alto   | (0, 0, 2), (1, 2.5, 4), (3, 5, 5)       |
| Y: Tempo de verde          | Curto, Médio, Longo  | (5, 10, 20), (15, 30, 45), (40, 60, 60) |

Tabela 1. Conjuntos fuzzy triangulares.



# Regras Fuzzy:

| Nº | Regra Linguística   |
|----|---|
| 1  | Se fluxo de veículos é <b>Poucos</b> e tempo de espera é <b>Baixo</b> , então tempo de verde é <b>Curto</b> |
| 2  | Se fluxo de veículos é <b>Poucos</b> e tempo de espera é <b>Médio</b> , então tempo de verde é <b>Médio</b> |
| 3  | Se fluxo de veículos é <b>Poucos</b> e tempo de espera é <b>Alto</b> , então tempo de verde é <b>Médio</b>  |
| 4  | Se fluxo de veículos é <b>Médios</b> e tempo de espera é <b>Baixo</b> , então tempo de verde é <b>Médio</b> |
| 5  | Se fluxo de veículos é <b>Médios</b> e tempo de espera é <b>Médio</b> , então tempo de verde é <b>Médio</b> |
| 6  | Se fluxo de veículos é <b>Médios</b> e tempo de espera é <b>Alto</b> , então tempo de verde é <b>Longo</b>  |
| 7  | Se fluxo de veículos é <b>Muitos</b> e tempo de espera é <b>Baixo</b> , então tempo de verde é <b>Médio</b> |
| 8  | Se fluxo de veículos é <b>Muitos</b> e tempo de espera é <b>Médio</b> , então tempo de verde é <b>Longo</b> |
| 9  | Se fluxo de veículos é <b>Muitos</b> e tempo de espera é <b>Alto</b> , então tempo de verde é <b>Longo</b>  |

Tabela 2: Base de regras fuzzy utilizadas (9 regras).

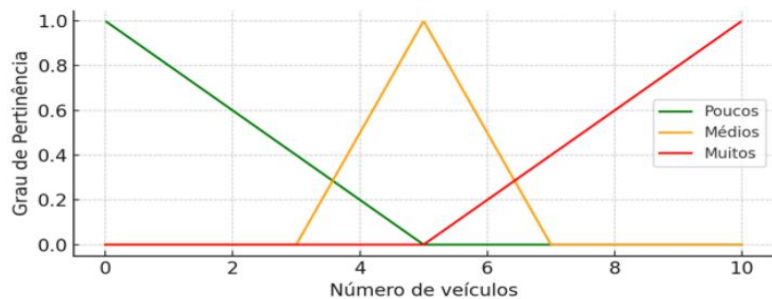


Figura 1. Funções de pertinência para a variável *número de veículos na fila* ( $x_1$ );

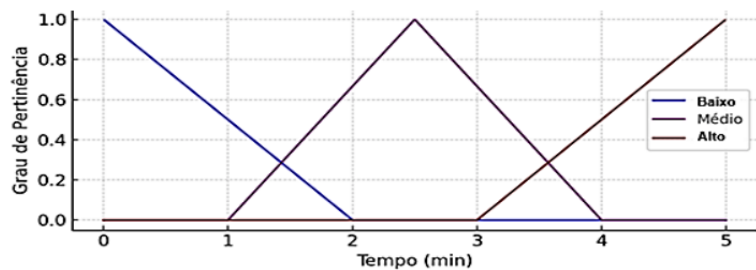


Figura 2. Funções de pertinência para o *tempo de espera* ( $x_2$ ), em minutos;

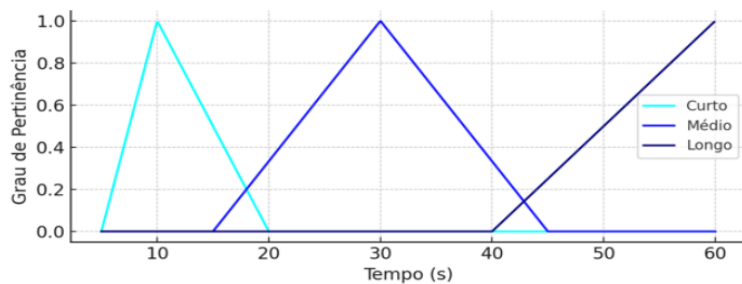


Figura 3. Funções de pertinência para o *tempo de verde* ( $y$ ), em segundos.

# FUNÇÕES DE PERTINÊNCIA





# TERMINAL: COMUNICAÇÃO BROADCAST

```
[INFO] [1750547500.664303, 406.890000]: [stop_light_post_173] ← RED
[INFO] [1750547500.666194, 406.890000]: [stop_light_post_174] ← GREEN
[INFO] [1750547500.668436, 406.890000]: [stop_light_post_175] ← RED
[INFO] [1750547500.670472, 406.895000]: [stop_light_post_180] ← GREEN
[INFO] [1750547500.672630, 406.895000]: [stop_light_post_181] ← RED
[INFO] [1750547500.674234, 406.895000]: [stop_light_post_170] ← GREEN
[INFO] [1750547500.676658, 406.900000]: [stop_light_post_183] ← GREEN
[INFO] [1750547500.679886, 406.900000]: [stop_light_post_171] ← RED
[INFO] [1750547500.683920, 406.905000]: [stop_light_post_172] ← RED
[INFO] [1750547500.685716, 406.910000]: [stop_light_post_179] ← GREEN
[INFO] [1750547500.688005, 406.910000]: [stop_light_post_169] ← RED
[INFO] [1750547500.689744, 406.910000]: [stop_light_post_176] ← GREEN
[INFO] [1750547500.693212, 406.915000]: [stop_light_post_178] ← RED
[INFO] [1750547500.694692, 406.915000]: [stop_light_post_177] ← GREEN
[INFO] [1750547500.696055, 406.920000]: [stop_light_post_182] ← RED
[INFO] [1750547500.697332, 406.920000]: i Fase 28 ativa (verde em ['stop_light_post_170', 'stop_light_post_174', 'stop_light_post_177', 'stop_light_post_180'])
[INFO] [1750547503.778625, 410.000000]:
===== MÉTRICAS =====
[INFO] [1750547503.782331, 410.000000]: Tempo simulação: 1 minuto
[INFO] [1750547503.784557, 410.005000]: Total de veículos: 31
[INFO] [1750547503.787150, 410.005000]: Veículos que passaram: 0
[INFO] [1750547503.789866, 410.010000]: Veículos por minuto: 31
[INFO] [1750547503.791897, 410.010000]: Paradas médias por veículo: 1
[INFO] [1750547503.793598, 410.015000]: Comprimento médio da fila: 1 posições
[INFO] [1750547503.796171, 410.015000]: =====
[INFO] [1750547505.793966, 412.015000]: [ADAPTATIVO] Densidade de tráfego: 0.60
[INFO] [1750547505.795606, 412.015000]: [ADAPTATIVO] Verde por 15s
[INFO] [1750547513.787478, 420.000000]: [FIXO] Verde por 10s
[INFO] [1750547513.787558, 420.000000]:
```

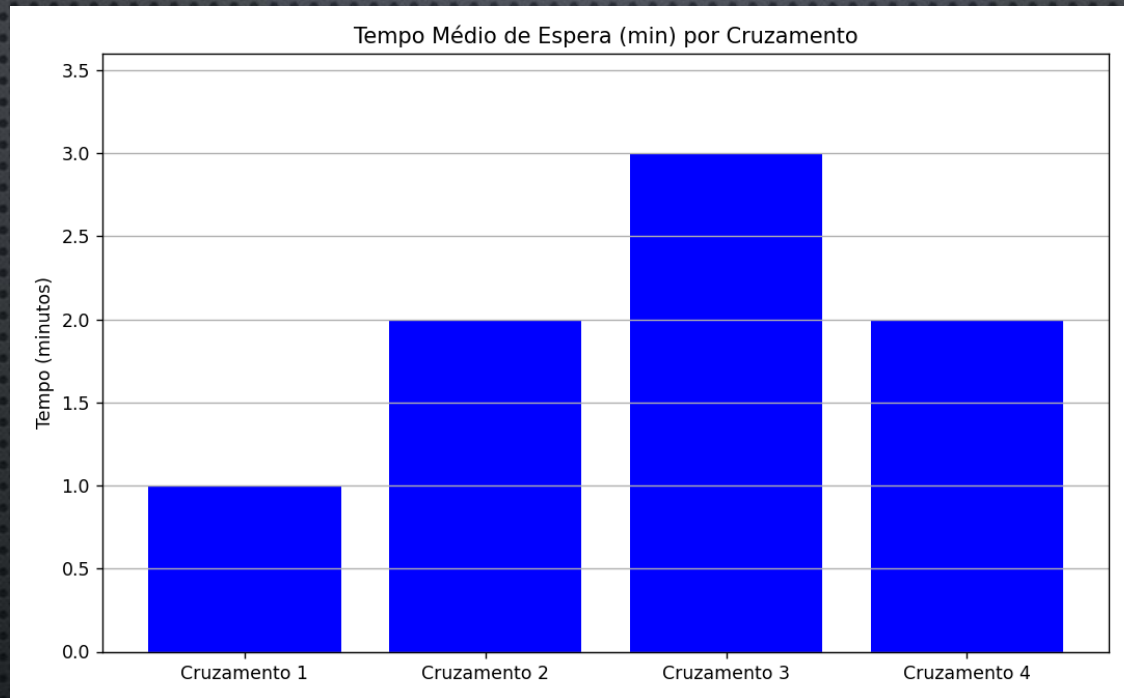


# RESULTADOS DA SIMULAÇÃO

| CRUZAMENTO     | VEÍCULOS QUE PASSARAM | VEÍCULOS POR MINUTO | PARADAS MÉDIAS | COMPRIMENTO MÉDIO DA FILA |
|----------------|-----------------------|---------------------|----------------|---------------------------|
| 1 (ADAPTATIVO) | 90                    | 9                   | 1              | 1 veículo                 |
| 2 (ADAPTATIVO) | 100                   | 10                  | 2              | 2 veículos                |
| 3 (FIXO)       | 70                    | 7                   | 5              | 3 veículos                |
| 4 (FIXO)       | 20                    | 2                   | 3              | 2 veículos                |

(Durante 10 minutos de verificação)

# TEMPO MÉDIO DE ESPERA

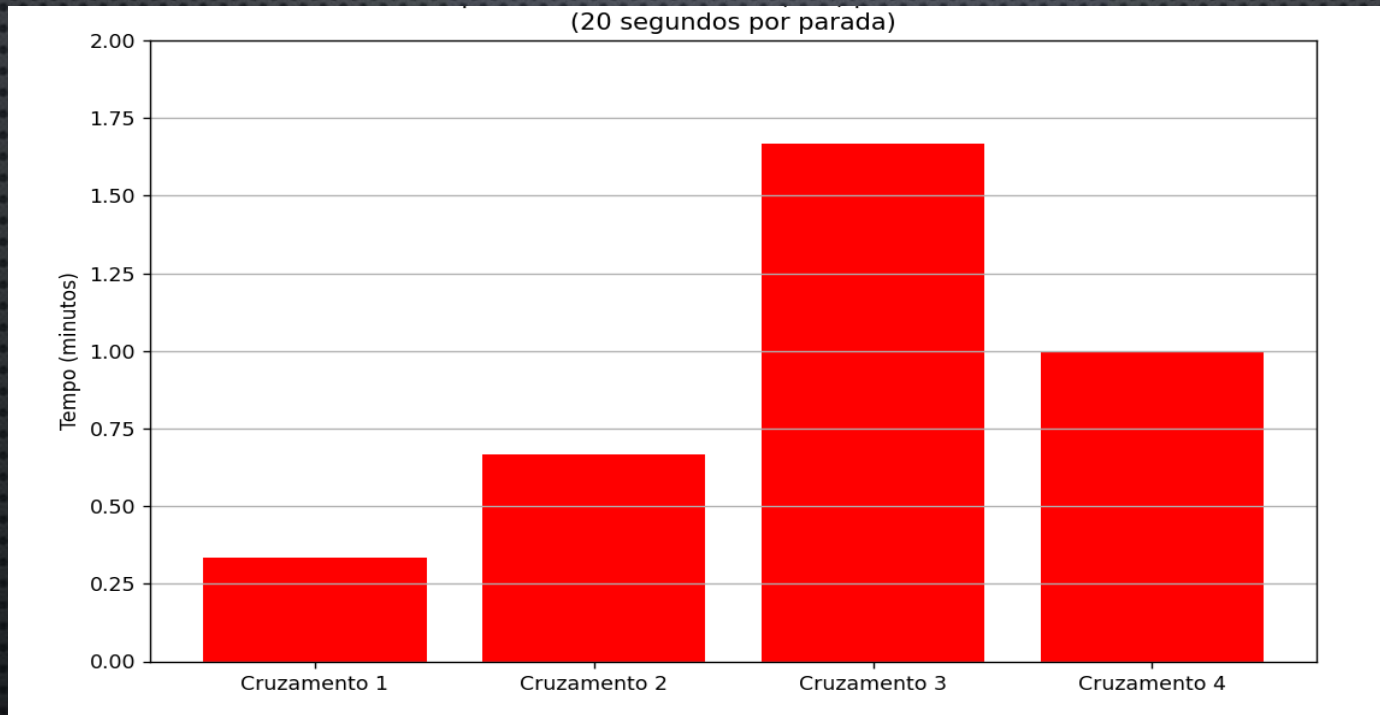


Tempo médio de espera (min) = Comprimento médio da fila x 1

Cruzamento 1 tem a menor espera média.



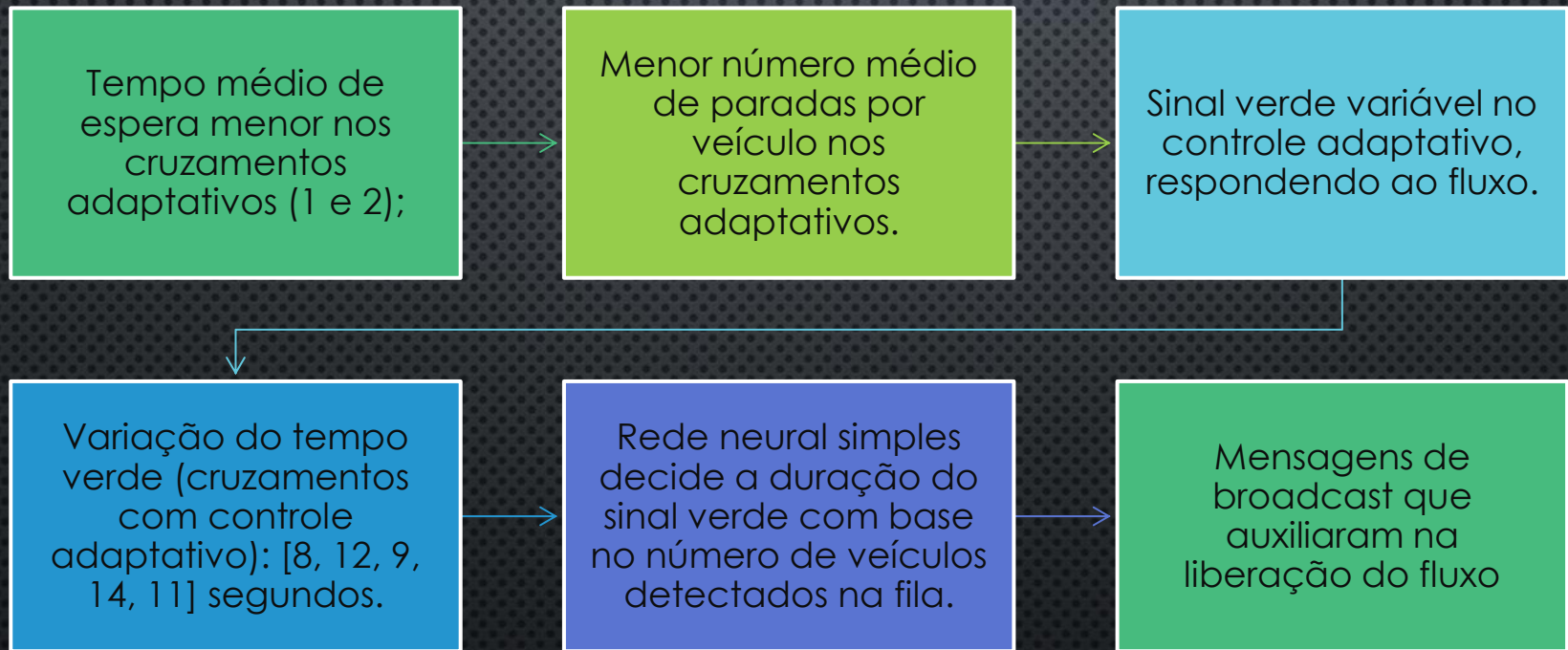
# TEMPO MÉDIO - PARADAS



$\text{Tempo (min)} = \text{Paradas médias} \times 0.3333 \text{ segundos por parada}$

Menos paradas = maior fluidez. Cruzamento 1 é o mais favorável para emergências.

# RESULTADOS DA SIMULAÇÃO





# REFERÊNCIAS

- MARTINEK, J.; BÍDA, M.; POKORNÝ, J. AN ADAPTIVE FUZZY-LOGIC TRAFFIC CONTROL SYSTEM IN CONDITIONS OF SATURATED TRANSPORT STREAM. *JOURNAL OF ADVANCED TRANSPORTATION*, [S. L.], v. 50, n. 8, p. 1867–1880, 2016.  
DISPONÍVEL EM: [HTTPS://WWW.NCBI.NLM.NIH.GOV/PMC/ARTICLES/PMC4970305/](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4970305/).
- NICÁCIO, P.; *SIMULAÇÃO PRÓPRIA COM ROS1 E GAZEBO 11*. [SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL]. [S. L.], 2025.