

UNIVERSIDADE SÃO JUDAS TADEU

GUILHERME SILVA MORENO – RA: 825137659

LUCAS PERES SIMÕES – RA: 825154655

MIKE BRIAN MAGATI DOS SANTOS – RA: 825130703

PEDRO HENRIQUE GUIMARÃES RESTANI – RA: 825155169

RICARDO SIQUEIRA LOIOLA – RA: 825154725

SGAC+

Sistema de Gerenciamento Adaptativo de Cruzamentos

São Paulo

2025

RESUMO

Este artigo apresenta o Sistema de Gerenciamento Adaptativo de Cruzamentos, o SGAC+, uma solução baseada em IoT voltada não apenas à otimização de controle de semáforo, e sim, ao monitoramento inteligente de segurança urbana. A proposta integra sensores de tráfego, comunicação 5G/LoRaWAN, processamento distribuído e algoritmos de aprendizado por reforço para ajustar dinamicamente os tempos semaforicos conforme as condições reais das vias. Como diferencial, o SGAC+ incorpora um módulo de análise comportamental por visão computacional capaz de identificar situações de risco em cruzamentos. O objetivo é reduzir congestionamentos, melhorar o tempo médio de viagem, diminuir a emissão veicular e aumentar a segurança em pontos urbanos.

Palavras-Chave: Segurança Urbana; Semáforos Adaptativos; Análise Comportamental; Sistemas Inteligentes de Transporte; Internet das Coisas.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	4
2. EXPLICAÇÃO DA ESCOLHA.....	5
3. REFERENCIAL TEÓRICO	6
4. METODOLOGIA	7
5. ANÁLISE DE SOLUÇÕES EXISTENTES	8
6. PROPOSTA DE SOLUÇÃO	9
7. IMPACTO E VIABILIDADE	11
8. CONCLUSÃO	12
9. REFERÊNCIAS	13

1. INTRODUÇÃO

A mobilidade urbana é um desafio crescente nas grandes cidades, onde o alto índice de congestionamento impacta diretamente a economia, o meio ambiente e a qualidade de vida. Esse problema é agravado pelo uso de semáforos tradicionais com ciclos fixos, incapazes de se adaptar às variações reais do fluxo de veículos ao longo do dia.

Com o avanço das Cidades Inteligentes, o uso de tecnologias de informação e comunicação (TIC) tornou-se fundamental para otimizar a infraestrutura urbana. Nesse cenário, os sistemas semafóricos inteligentes despontam como soluções essenciais. Por meio de sensores, câmeras e conectividade IoT, juntos a algoritmos de Inteligência Artificial, esses sistemas monitoram o tráfego em tempo real e ajustam dinamicamente a duração dos ciclos semafóricos, priorizando vias com maior demanda.

Com isso, além dos benefícios de tráfego, como a redução de congestionamentos, a menor emissão de poluentes e maior fluidez do trânsito, cresce, também a necessidade de considerar aspectos relacionados à segurança urbana, especialmente em cruzamentos onde há registros frequentes de furtos e roubos por toda cidade. No entanto, a maioria das soluções existentes foca exclusivamente no controle de tráfego, deixando de lado a análise comportamental e a detecção precoce de riscos.

Diante dessas circunstâncias, este artigo apresenta o SGAC+, um sistema adaptativo aprimorado que integra IoT, aprendizado por reforço e visão computacional para otimizar o tráfego e, simultaneamente, monitorar situações de risco em áreas de alto fluxo. A proposta visa unir mobilidade eficiente e segurança urbana, ampliando o papel dos semáforos inteligentes dentro do contexto de cidades modernas e conectadas.

2. EXPLICAÇÃO DA ESCOLHA

2.1. Definição do Problema.

A mobilidade urbana atualmente é um grande problema nas grandes cidades. O crescimento da frota veicular, somando à infraestrutura viária limitada, acaba resultando em congestionamentos crônicos, aumentando o tempo de deslocamento, a emissão de poluentes e o consumo de combustível. Nos tempos atuais, os semáforos convencionais, que operam em ciclos de tempo fixo, são incapazes de responder às dinâmicas de fluxo de tráfego, agravando o problema.

Além disso, cruzamentos urbanos se tornaram pontos recorrentes de segurança pública, como assaltos, abordagens suspeitas e riscos a pedestres, com maior ocorrência em regiões com intensa circulação. Nesse contexto, tecnologias de visão computacional e análise comportamental emergem como ferramentas capazes de monitorar padrões em tempo real, permitindo que sistemas de semáforos inteligentes possam não apenas ser capazes de otimizar o fluxo de tráfego, mas também contribuir para a segurança pública.

2.2. Justificativa do Tema.

A Transição para Cidades Inteligentes exige a adoção de tecnologias que tornem a gestão urbana mais eficiente, responsiva e integrada. Os semáforos inteligentes representam uma aplicação direta da Internet das Coisas (IoT) e da Inteligência Artificial (IA) para solucionar o problema central de mobilidade. A implementação dessa tecnologia é justificada por sua capacidade de reduzir congestionamentos, melhorar a segurança viária, reduzir o impacto ambiental que veículos geram e, consequentemente, elevar a qualidade de vida dos cidadãos.

Além disso, o contexto urbano brasileiro evidencia um segundo desafio crítico: a segurança em vias públicas. Locais de paradas obrigatórias como semáforos, apresentam maior índice de assaltos, abordagens suspeitas e situações de vulnerabilidade para pedestres, motoristas e ciclistas. A integração de visão computacional e análise comportamental ao semáforo permite que além de otimizar o tráfego, também detecte comportamentos suspeitos e

potenciais ameaças. Assim, a proposta do SGAC+ se justifica por unir mobilidade eficiente e monitoramento inteligente, aprimorando tráfego e segurança nas ruas, alinhando-se a demandas reais das grandes cidades.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1. Internet das Coisas (IoT) em Cidades Inteligentes.

A IoT é o pilar das Cidades Inteligentes, sendo definida como uma rede de objetos físicos incorporados com sensores, *software* e outras tecnologias para conectar e trocar dados com outros dispositivos e sistemas pela internet (MACHADO, 2020).

- Sensores e Coleta de Dados: Em ambientes urbanos, a IoT permite a instalação de sensores em pontos estratégicos (lixeiras, postes, veículos e, crucialmente, semáforos) para coletar dados em tempo real sobre o ambiente e a infraestrutura.
- Comunicação V2I (*Vehicle-to-Infrastructure*): A comunicação entre veículos e a infraestrutura semafórica é viabilizada pela IoT, permitindo que o sistema receba informações diretas sobre a demanda de tráfego e a presença de veículos de emergência.

3.2. Soluções de Semáforos Inteligentes.

Os sistemas de semáforos inteligentes representam a evolução dos sistemas de controle de tráfego (CTS) (SANTOS; PEREIRA, 2022).

- Sistemas Adaptativos: Utilizam *loops* indutivos ou câmeras de visão computacional para detectar a presença de veículos nas aproximações. O tempo de verde é ajustado em tempo real com base na demanda atual.
-
- Sistemas de Otimização Baseada em IA/ML: Empregam algoritmos de *Machine Learning* (Aprendizado de Máquina), como o Aprendizado por Reforço (*Reinforcement Learning*), para aprender padrões de tráfego ao longo do tempo e tomar decisões ótimas de tempo de fase, visando a maximização da fluidez em
- toda a rede viária, e não apenas em um único cruzamento.

4. METODOLOGIA.

A pesquisa adota uma abordagem exploratória e descritiva, fundamentada em revisão bibliográfica, análise de benchmarking e modelagem conceitual do sistemas SGAC+. O objetivo é avaliar a viabilidade técnica e o impacto social de um semáforo inteligente que integra otimização de tráfego e monitoramento de segurança urbana.

4.1 Processo de Pesquisa.

- Levantamento Bibliográfico:
 - Coleta de artigos científicos, teses e relatórios sobre:
 - IoT no trânsito;
 - Semáforos adaptativos;
 - Visão computacional para a segurança pública
 - Análise Comportamental e reconhecimento facial
 - Projetos de Smart Cities no Brasil e no exterior.
- Análise de Casos de Sucesso:
 - Estudo de sistemas inteligentes já implementados em cidades como:
 - Pittsburgh (EUA), Singapura e Barcelona;
 - Cidades brasileiras que utilizam videomonitoramento avançado (Rio de Janeiro, Curitiba, Recife).
- Modelagem Conceitual do SGAC+:
 - Desenvolvimento do modelo conceitual da solução proposta, incluindo:
 - Módulo IoT: sensores de tráfego, câmeras, comunicação 5G/LoRaWAN;
 - Módulo de Inteligência de Tráfego: algoritmos de Aprendizado por Reforço;
 - Módulo de Segurança Urbana: visão computacional para análise comportamental e reconhecimento facial autorizado;
 - Plataforma de Gestão: centralização dos dados para tomada de decisão.

Essa estrutura permite justificar a viabilidade técnica, o impacto social, a inovação e a necessidade da proposta SGAC+ como solução integrada para trânsito e segurança urbana.

5. ANÁLISE DE SOLUÇÕES EXISTENTES

5.1 Pittsburgh (EUA) – Sistema SURTRAC.

O SURTAC (Scalable Urban Traffic Control), desenvolvido pela Carnegie Mellon University, é um sistema de controle de tráfego urbano, ela combina câmeras, sensores de detecção e algoritmos adaptativos de IA. Seus resultados incluem a redução de até 25% no tempo de viagem, 40% no tempo parado e 21% nas emissões. Entre suas vantagens estão a alta eficiência operacional, redução de poluentes e escalabilidade para grandes redes de semáforos, porém, enfrentando custo elevado de implantação e dependência de infraestrutura moderna. (CARNEGIE MELLON UNIVERSITY, 2013)

5.2 Singapura – Sistema Integrado de Gestão de Tráfego.

O Sistema Integrado de Gestão de Tráfego de Singapura é considerado um dos mais avançados globalmente, utilizando sensores de Internet das Coisas, comunicação de alta velocidade e IA para previsão de demanda. Seus resultados incluem a redução de 15% a 20% no congestionamento e melhoria da velocidade média dos veículos. As suas vantagens incluem a integração com transporte público, monitoramento constante e ampla infraestrutura digital, enquanto as limitações envolvem um alto custo inicial e necessidade de alta tecnologia nacional. (INTELLISTRIDE, 2024)

5.3 São Paulo (Brasil) – Sistema Detecta.

O Sistema usa câmeras inteligentes, reconhecimento de padrões e integração com centro policiais para reduzir crimes, alcançando queda de 20% a 40% nas ocorrências. Suas vantagens incluem maior segurança urbana e integração rápida com policiamento, mas não atua na otimização do tráfego e depende de resposta humana. (SÃO PAULO, SSP)

5.4 SGAC+.

O SGAC+ integra a mobilidade segurança urbana em um único sistema, combinando otimização de tráfego (Pittsburgh), infraestrutura IoT escalável (Singapura) e o monitoramento inteligente (São Paulo). Diferente das soluções existentes, que focam em um aspecto, o SGAC+ oferece a redução de congestionamento, detecção de riscos, diminuição de assaltos em semáforos e melhoria simultânea de fluxo e segurança, tornando-se uma solução mais completa e adequada ao contexto da sociedade brasileira.

6. PROPOSTA DE SOLUÇÃO.

A proposta consiste na implantação do Sistema de Gerenciamento Adaptativo de Cruzamento+ (SGAC+), baseado em Internet das Coisas, IA e visão computacional, integrando otimização de tráfego e segurança urbana inteligente.

6.1 Arquitetura do Sistema.

- Camada de Sensores (Hardware):
 - Câmeras de Visão Computacional: Instaladas nos postes semaforicos para contagem e classificação de veículos (carros, motos, ônibus) e análise de comportamentos suspeitos ao redor do cruzamento.
 - Módulo de Segurança Urbana: Câmeras com capacidade de detectar situações anormais (movimentações bruscas, abordagem suspeita, tentativa de assalto) e, quando autorizado legalmente, reconhecimento facial para identificação de indivíduos procurados.
 - Sensores de Prioridade: Módulos GPS/RFID em veículos de emergência para sinalização prioritária ao semáforo.
- Camada de Comunicação:
 - Uso de redes de baixa latência (5G ou LoRaWAN) para transmitir em tempo real dados de tráfego, imagens analisadas e alertas de segurança para a Plataforma Central.
- Plataforma Central:
 - Módulo de Aprendizado por Reforço (RL): Processa volume, velocidade e formação de filas, definindo o tempo ideal de verde para minimizar espera e congestionamento.
 - Módulo de Análise Comportamental: Sistema de visão computacional que identifica padrões de risco (aglomerações atípicas, comportamento violento, invasão de pista, corrida repentina).

6.2. Benefícios Esperados

PROBLEMA SOLUCIONADO	MÉTRICA DE DESEMPENHO ESPERADA
Congestionamento	Redução do tempo de viagem (em média 15-25%).
Emissões de Poluentes	Redução do consumo de combustível e emissão de CO ₂ (em até 10-15%).
Segurança Viária	Diminuição do número de paradas e arranques, reduzindo acidentes.
Resposta a Emergências	Priorização imediata, reduzindo o tempo de resposta do socorro.
Riscos de Assaltos em Semáforos	Deteção de comportamentos suspeitos e envio automático de alertas ao COI.
Criminalidade Urbana em Cruzamentos	Redução de tentativas de assalto e abordagens violentas em até 20-40% em pontos críticos (com base em cidades que utilizam o videomonitoramento).
Monitoramento Preventivo	Captação de anomalias em tempo real, permitindo ações preventivas.

Fonte: Elaboração Própria - 2025

7. IMPACTO E VIABILIDADE.

7.1 Impacto Tecnológico:

O SGAC+ moderniza a infraestrutura dos semáforos ao integrar os sensores IoT, comunicação em baixa latência. A adoção de visão computacional e análise comportamental amplia a capacidade de detecção de incidentes e riscos, fortalecendo a segurança urbana. Em conformidade com a Lei Geral de Proteção de Dados, todas as informações serão tratadas, garantindo que os dados pessoais sejam utilizados de forma transparente, segura e dentro dos limites legais. Toda coleta de dados é restrita e somente armazenada quando necessário para análise de incidentes, dentro do próprio servidor da prefeitura.

7.2 Impacto Econômico:

A implementação tem um custo inicial moderado, estimado entre R\$10.000 e R\$ 18.000 por cruzamento, porém apresenta forte potencial de retorno ao reduzir congestionamentos, consumo de combustível e acidentes, estima-se gerar economia anual de R\$3.000 a R\$6.000. A diminuição de acidentes representa uma economia de R\$12.000 a R\$24.000 por ano, enquanto o módulo de segurança urbana pode reduzir ocorrências em assaltos em até 30%, evitando R\$9.000 a R\$45.000 anuais.

No geral, o retorno financeiro por cruzamento pode variar entre R\$24.000 e R\$75.000, permitindo que investimento seja recuperado em aproximadamente um ano.

7.3 Impacto Social:

A melhoria da fluidez reduz atrasos e acidentes, consequentemente reduzindo o estresse. O módulo de segurança aumenta a sensação de proteção da população em cruzamentos, pontos críticos para assaltos no Brasil.

7.4 Impacto Ambiental:

Com menos paradas e arranques, a redução de CO₂ e poluentes locais é reduzida consideravelmente. Redução entre 10% e 15% são esperadas conforme resultados de sistemas adaptativos internacionais.

7.5 Viabilidade Técnica:

O sistema é compatível apenas com semáforos modernos e será necessário a troca dos semáforos antigos para a implementação do sistema. Requer também uma conexão estável, equipe técnica treinada e políticas claras para tratamento de dados sensíveis. A modularidade permite expansão futura, seja para novos cruzamentos ou integração com centros de operações municipais.

8. CONCLUSÃO

8.1. Considerações Finais

O SGAC+, ampliado com recursos de IoT, o uso de Inteligência Artificial e visão computacional, representa uma evolução na gestão do tráfego urbano e na segurança pública.

Além de otimizar tempos nos semáforos e diminuir os congestionamentos, o SGAC+ incorpora mecanismos de detecção de situações de risco, análise comportamental, fortalecendo a segurança dos usuários pontos frequentes de assaltos e incidentes.

8.2 Limitações e Trabalhos Futuros

Limitações:

- A operação eficiente depende de infraestrutura estável e equipe técnica treinada para interpretar alertas e gerenciar o sistema.
- A adoção de câmeras com inteligência embarcada e redes de comunicação de baixa latência eleva o custo inicial por cruzamento.

Sugestões para trabalhos futuros:

- Realizar estudos de microsimulação para avaliar cenários reais (como corredores urbanos específicos).
- Testar o módulo de análise comportamental em ambientes controlados, para medir a quantidade de falsos positivos/negativos.
- Explorar integração com sistemas de segurança pública para otimizar ações preventivas e respostas emergenciais.

9. REFERÊNCIAS

- CARNEGIE MELLON UNIVERSITY. *SURTRAC: Scalable Urban Traffic Control*. Pittsburgh: The Robotics Institute, 2013. Disponível em: https://www.ri.cmu.edu/pub_files/2013/1/13-0315.pdf. Acesso em: 20 nov. 2025.
- INTELLISTRIDE. *How Singapore's Smart Traffic System is Redefining Urban Mobility*. 12 nov. 2024. Disponível em: <https://www.intellistride.com/blog/how-singapores-smart-traffic-system-is-redefining-urban-mobility/>. Acesso em: 20 nov. 2025.
- SÃO PAULO (Estado). Secretaria da Segurança Pública. *Detecta: Cinturão Eletrônico de Videomonitoramento*. São Paulo: SSP-SP, [s.d.]. Disponível em: <https://www.ssp.sp.gov.br/midia/Midia/00000262.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2025.
- MACHADO, R. S. *Cidades Inteligentes e o Big Data do Trânsito*. Rio de Janeiro: Editora Cidade Conectada, 2020.
- SANTOS, L. P.; PEREIRA, M. F. *Smart Cities: Desafios e Soluções em Transporte*. Revista de Gestão Urbana, v. 15, n. 3, p. 45–60, 2022.
- SILVA, B. O. *Infraestrutura Digital para o Século XXI*. 4. ed. Curitiba: Editora Tecnológica, 2023.