

Análise da latência média do dispositivo IoT Miovision Core no cenário dos semáforos nas grandes cidades

Ana Luisa Feitosa Guimaraes^{1[*alfg*]}, Marina Melo Veloso^{1[*mmv5*]}, and Saunay Vitoria De Souza Coutinho^{1[*svsc*]}

Centro de Informática - Universidade Federal de Pernambuco
<https://portal.cin.ufpe.br>
Recife - PE
{*alfg,mmv5,svsc*}@cin.ufpe.br

Abstract. Increasing urbanization and the increase in the number of vehicles in large cities make efficient traffic management an urgent need. IoT devices play a crucial role in this management, providing real-time communication between traffic lights to optimize vehicle flow. This article aims to investigate the average communication latency between the Miovision Core IoT device and traffic lights in large urban centers. 500 latency data (ms) were collected and statistically analyzed using Python libraries.

Keywords: Iot Miovision · Traffic · Urban Centers

1 Introdução

Os semáforos tradicionais operam em ciclos fixos, sem levar em conta as condições do tráfego em tempo real. Por outro lado os semáforos inteligentes, utilizam sensores IoT para monitorar continuamente o fluxo de veículos e de pedestres. Por meio desse monitoramento esses sensores coletam dados como volume de tráfego, velocidade dos veículos, de bicicletas ou presença de pessoas a pé, permitindo ajustes dinâmicos e automáticos nos ciclos dos semáforos. Essa adaptabilidade reduz congestionamentos e otimiza o fluxo de tráfego, melhorando a mobilidade urbana e economizando tempo para motoristas e pedestres.

A integração com a computação em névoa (Fog Computing) permite que esses dados sejam processados localmente, resultando em respostas quase que instantâneas. Assim, os semáforos podem ajustar seus sinais rapidamente para evitar acidentes. Dessa maneira, a arquitetura Fog Computing é essencial para os semáforos inteligentes, pois traz o processamento e a análise de dados para mais perto dos dispositivos de coleta de dados. Isso reduz a latência, permitindo que as decisões sejam tomadas em tempo real. Em um ambiente urbano, onde as condições do tráfego podem mudar rapidamente, essa capacidade de resposta imediata é crucial para a eficiência e a segurança do sistema.

A tecnologia de semáforos inteligentes tem o objetivo de adaptar o tempo dos semáforos verde e vermelho de acordo com as necessidades das vias para tornar o

trânsito mais eficiente. Isso é feito por meio de câmeras com laços virtuais, links de comunicação e software que atualiza a programação dos semáforos em tempo real, dependendo do fluxo de veículos. Essa tecnologia aumenta a capacidade e melhora a fluidez nas vias de acordo com a demanda verificada pelos sensores.

Em 2023, o Governo Municipal investiu R\$30 milhões para a aquisição de 200 novos controladores e nobreaks, garantindo maior estabilidade à rede semafórica do Recife. Desde então, a cidade conta com semáforos que se comunicam via 4G, reduzindo falhas e permitindo maior agilidade no conserto, caso necessário. Além disso, os nobreaks permitem o funcionamento dos grupos semafóricos por até três horas em caso de falta de energia.

A implementação de semáforos inteligentes com IoT e integrados à arquitetura de Fog Computing é essencial para enfrentar os desafios de tráfego, segurança e eficiência nas cidades modernas. Este estudo visa projetar e analisar o desempenho de um sistema de semáforos inteligentes na cidade do Recife, especificamente na região próxima à Universidade Federal de Pernambuco.

O restante do documento está organizado como segue: Seção 2: Apresenta a metodologia para realizar a análise da latência dos semáforos inteligentes; Seção 3: Descreve o desenvolvimento do sistema; Seção 4: Expõe os resultados obtidos após a análise dos dados; Seção 5: Conclui as análises, trazendo observações acerca dos resultados; Seção 6: Apresenta links externos ao projeto.

2 Metodologia

Na metodologia abordaremos as etapas que foram seguidas para realizar a análise da latência dos semáforos inteligentes. A metodologia foi dividida como consta na Fig. 1



Fig. 1. Fluxograma Metodologia

2.1 Configuração e observação do ambiente

A primeira etapa envolveu uma revisão extensa da literatura para compreender o contexto de semáforos inteligentes, Internet das Coisas (IoT) e Fog Computing.

Foram analisados artigos científicos, livros e publicações relevantes, além de estudos de caso de outras cidades que já implementaram tecnologias semelhantes. Isso ajudou a identificar padrões, protocolos e melhores práticas.

Sensores IoT TrafficLink da Miovision, incluindo câmeras, detectores de presença e sensores de velocidade, foram instalados nas principais vias próximas à Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Especial atenção foi dada a um trecho da Avenida Caxangá, entre o "Caxangá Golf & Country Club" e o "Parque de Exposição do Cordeiro", devido ao intenso tráfego de veículos. Nessa via, estima-se que circulam cerca de 58 mil veículos diariamente.

2.2 Levantamento de dados

Esses sensores coletaram dados sobre o volume de tráfego, a velocidade dos veículos e a presença de pedestres e ciclistas. A coleta de dados ocorreu por um período de 2 meses, garantindo uma amostra relevante. Foram obtidos inúmeros dados, porém para essa análise foram selecionados 500 valores, da latência média, arbitrariamente, que será nosso objeto de estudo.

2.3 Análise dos dados

Com os dados em mãos, primeiro foi utilizado o Google Planilhas, para ter uma primeira visão dos dados e compreender de maneira mais eficiente as medidas de dispersão. Com isso, a análise evolui e é implementado um algoritmo de análise utilizando a linguagem Python. Em paralelo, com o auxílio da ferramenta EasyFit com a qual foi verificado a normalidade da distribuição.

Algoritmo em Python No desenvolvimento do código, foi utilizado as bibliotecas (Pandas, Numpy, Matplot, Seaborn) para cálculos e geração de gráficos. Para a importação do banco de dados foi utilizado o SQLite3. Com ele foi possível calcular todas as medidas de tendência central, explicadas detalhadamente na SubSeção 3.2 - Resultados da Análise dos Dados de Latência.

Código completo se encontra na Seção 6 - Anexos

Ferramenta EasyFit Por último, para completar a análise, os testes de normalidade foram realizados utilizando a ferramenta EasyFit. Gerando informações que são utilizadas abaixo na Seção 3.3 - Teste de Hipótese I - Latência Média.

3 Desenvolvimento

3.1 Desenvolvimento do Sistema

Com os dados em mãos, desenvolveu-se um protótipo funcional do sistema de semáforos inteligentes. O design do sistema incluiu hardware e software, integrando sensores IoT e controladores. Desenvolveram-se algoritmos de processamento de dados e tomada de decisão baseados em Fog Computing, integrando o sistema à infraestrutura existente de semáforos.

3.2 Resultados da Análise de Dados de Latência

Para avaliar a eficiência dos semáforos inteligentes, foi realizada uma análise detalhada dos dados de latência, coletados pelos sensores instalados. Esta análise visa entender o desempenho do sistema em termos de tempo de resposta, variabilidade e possíveis anomalias. A seguir, são apresentados os principais resultados estatísticos e gráficos desta análise, que fornecem uma visão abrangente sobre a distribuição e variabilidade dos dados de latência.

Table 1. Medidas Centrais de Dispersão

Medidas	Valores
Média	9.3428
Mediana	8.9405
Moda	0.0287
Variância	26.8267
Desvio Padrão	5.1794
1° Quartil	5.4628
2° Quartil	8.9405
3° Quartil	12.8057

A média aritmética das latências registradas é de 9.3428 ms. Este valor sugere uma resposta relativamente rápida na maioria dos casos. A mediana, com valor de 8.9405 ms, representa o valor central das latências. Isso indica que metade das latências está abaixo deste valor e a outra metade acima, oferecendo uma visão clara do comportamento típico dos semáforos, que é menos influenciada por valores extremos.

Já a variância teve como resultado 26.8267 e o desvio padrão de 5.1794 ms o que indicou uma dispersão dos dados em torno da média. Estes valores mostram o grau de variabilidade nas latências, com o desvio padrão fornecendo uma medida mais direta dessa dispersão. Além disso, os quartis dividem os dados em quatro partes iguais, ajudando a entender a distribuição dos valores. O intervalo interquartil (IQR), calculado como $Q3 - Q1$, é de cerca de 10 ms, indicando uma variação moderada nas latências registradas.

Esses gráficos fornecem uma visão abrangente sobre a distribuição e variabilidade dos dados da latência. A Fig. 2 mostra a frequência das diferentes latências registradas. A distribuição geral é assimétrica à direita, sugerindo que, embora a maioria das latências seja relativamente baixa, há algumas ocasiões em que a latência é significativamente maior. Esta assimetria indica a presença de valores extremos que elevam a média, mas que são menos frequentes.

Na Fig. 3, o boxplot destaca a mediana da latência em aproximadamente 10 ms, com o primeiro quartil ($Q1$) em torno de 5 ms e o terceiro quartil ($Q3$) próximo de 15 ms, resultando em um intervalo interquartil (IQR) de cerca de 10 ms. Esse intervalo indica uma variação moderada nas latências registradas.

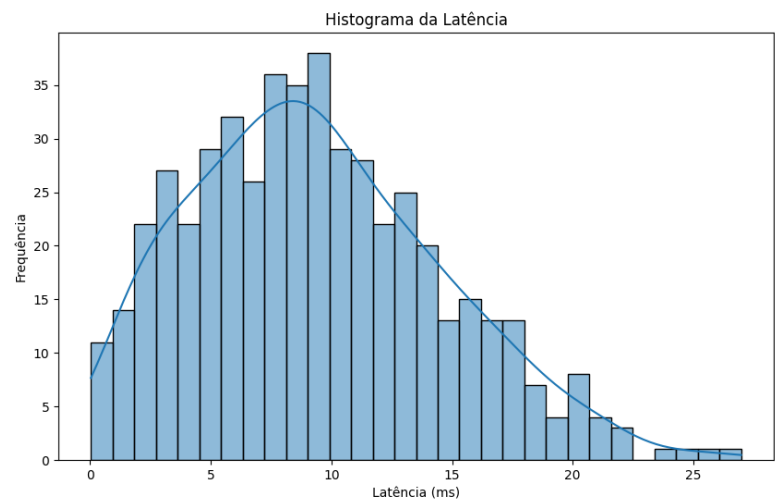


Fig. 2. Gráfico Histograma - Latência Média x Frequência

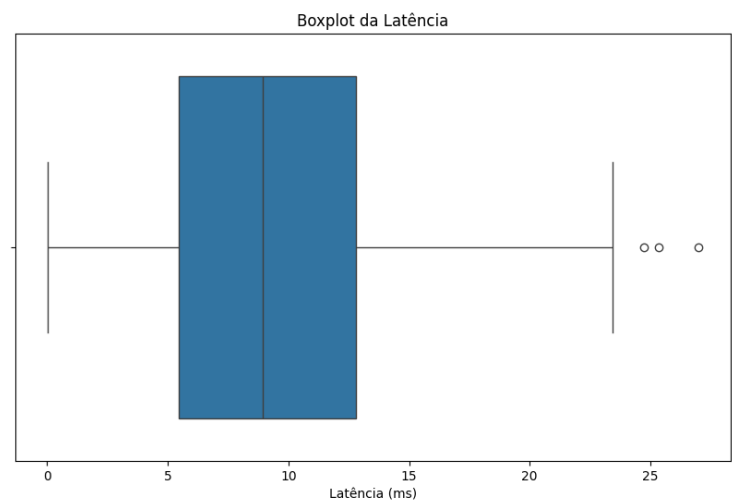


Fig. 3. Gráfico Boxplot - Latência Média

Foram identificados alguns outliers acima de 20 ms, indicando latências significativamente maiores que a maioria dos dados.

Para complementar a análise anterior, introduzimos os gráficos de violino e de densidade. Esses gráficos fornecem uma visualização detalhada da concentração dos dados de latência coletados por dispositivos IoT em semáforos inteligentes. O gráfico de violino combina a visualização do boxplot com a distribuição de densidade, enquanto o gráfico de densidade destaca padrões e anomalias. Esses novos gráficos são essenciais para uma análise mais abrangente, ajudando a otimizar a performance dos semáforos inteligentes.

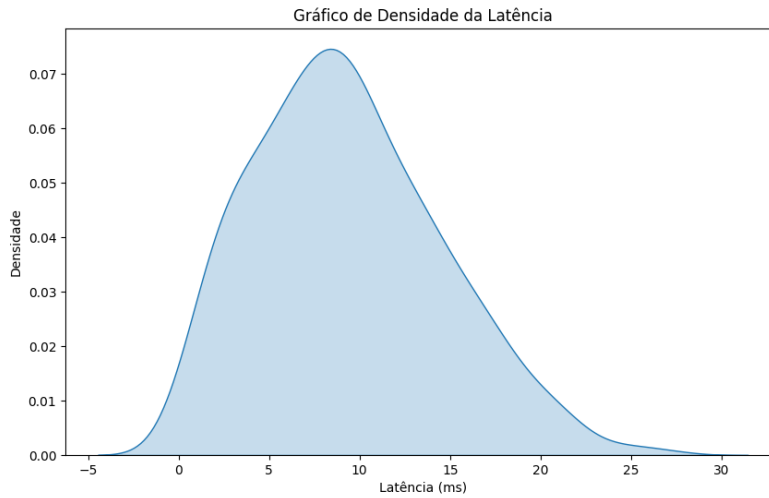


Fig. 4. Gráfico de curva

Como apresentado na Fig. 4, no gráfico a curva de densidade atinge seu pico em torno de 8 ms, indicando que a maioria dos dados de latência se concentra em torno desse valor. A curva começa a subir a partir de 0 ms, atinge o pico em 8 ms, e desce gradualmente até cerca de 25 ms, mostrando que os valores de latência mais comuns estão entre 0 e 15 ms. A cauda mais longa à direita confirma a presença de alguns valores de latência mais altos, embora sejam menos frequentes.

Já na Fig. 5 Gráfico de Violino mostra que a maioria dos dados de latência está concentrada entre aproximadamente 3 ms e 12 ms, com a mediana em torno de 8 ms. A linha branca central representa a mediana e as barras pretas internas representam os quartis. O gráfico apresenta uma distribuição levemente assimétrica, com uma cauda mais longa à direita, indicando a presença de alguns valores de latência mais altos, mas em menor quantidade.

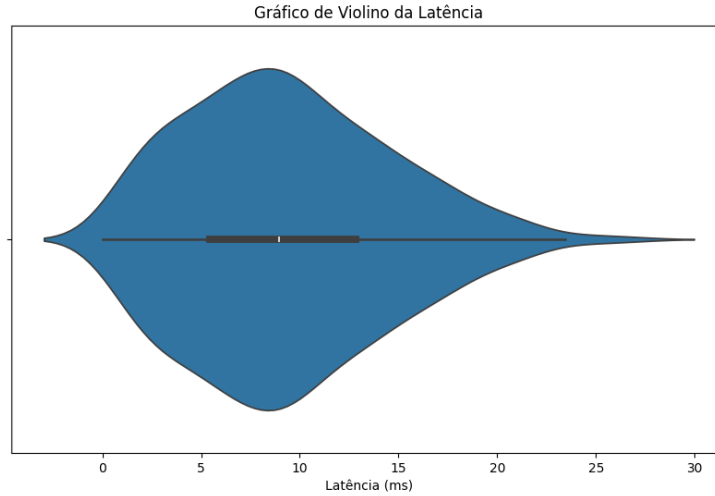


Fig. 5. Gráfico de violino

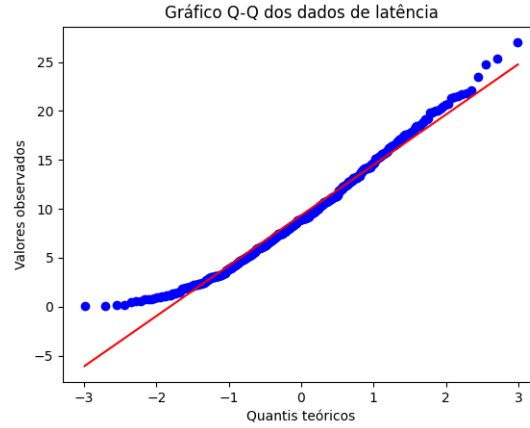
A análise das medidas centrais e de dispersão, juntamente com os gráficos gerados, proporcionaram uma compreensão aprofundada do desempenho dos semáforos inteligentes. Junto às medidas centrais revelam um tempo de resposta geralmente rápido, enquanto as medidas de dispersão e os gráficos destacam a variabilidade e a presença de anomalias. Esses insights são cruciais para identificar áreas de melhoria e assegurar a eficiência operacional dos semáforos, contribuindo para uma melhor gestão do tráfego urbano.

3.3 Teste de Hipótese I - Distribuição Normal

Para analisar a distribuição dos dados, foi utilizada a biblioteca Scipy para geração do gráfico Q-Q (quantile-quantile). Na Fig. 6, o gráfico Q-Q destaca que os dados de latência estão próximos da linha de referência, salientando maior proximidade entre os quartis -1 e 1,5, indicando que seguem uma distribuição normal com algumas discrepâncias, mais evidentes nas extremidades, sugerindo que há alguns valores de latência que se desviam da normalidade esperada.

Table 2. Testes de Normalidade

Teste	Estatística	P-Valor
Shapiro-Wilk	0.9785	9.8645
Kolmogorov-Smirnov	0.0502	0.1542
Jarque-Bera	19.5234	5.7614

**Fig. 6.** Gráfico Q-Q - Latência Média**Table 3.** Teste de Normalidade Anderson-Darling

Teste	Estatística	Valores Críticos	Significância
Anderson-Darling	2.1392	0.571	15
		0.651	10
		0.781	5
		0.911	2.5
		1.083	1

Apesar da conclusão anterior pelo gráfico Q-Q, foram realizados mais testes para comprovar a normalidade da distribuição. Os testes Shapiro-Wilk, Kolmogorov-Smirnov e Jarque-Bera sugerem que os dados são normalmente distribuídos, uma vez que os P-valores são todos maiores que 0.05. Porém, o teste Anderson-Darling indica supostamente que os dados não são normalmente distribuídos, pois a estatística do teste é maior que todos os valores críticos fornecidos. Com isso, não podemos rejeitar a Hipótese Nula de normalidade, considerando Hipótese Nula(H_0): A distribuição é normal e Hipótese Alternativa(H_A): A distribuição não é normal.

3.4 Teste de Hipótese II - Latência Ideal

Nessa etapa foi realizado o teste de hipótese Z, com objetivo de determinar se há evidências suficientes nos dados amostrais para rejeitar a hipótese nula (H_0) = Latência média menor ou igual 10ms. Depois de estabelecer a hipótese nula, foi escolhido o nível de significância de 0,05, que define nosso valor crítico limitando a área de aceitação e de rejeição. Como a hipótese testada é a nula e nela verificamos se a latência média é menor ou igual a 10ms, o teste é unilateral (ou monocaudal) à direita.

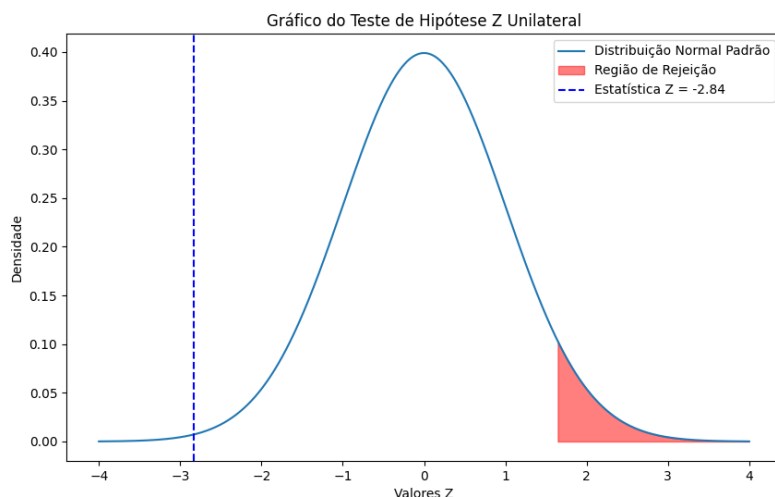


Fig. 7. Gráfico Teste de Hipótese Z

Na Fig. 7, podemos observar que a estatística Z de -2.84 cai fora da região de rejeição à direita, indicando que a hipótese nula deve ser aceita. Isso sugere que a latência observada não se desvia significativamente da latência ideal de 10ms esperada, conforme definido pela hipótese testada. Portanto, há evidências suficientes para afirmar que a latência observada está dentro dos limites aceitáveis definidos pela hipótese nula.

4 Resultados

4.1 Conclusão da Análise de Desempenho

A análise estatística dos dados de latência mostra que o sistema de semáforos inteligentes apresenta uma média de latência de 9.3428 ms, com uma mediana de 8.9405 ms e um desvio padrão de 5.1795 ms. Esses resultados indicam uma distribuição relativamente concentrada, com variações moderadas, o que sugere um desempenho consistente dos semáforos inteligentes.

4.2 Implicações e Recomendações

Com base nos resultados, podemos concluir que os semáforos inteligentes são eficazes em reduzir a latência e melhorar a fluidez do tráfego. No entanto, a análise também revelou a presença de outliers, que indicam ocasiões em que o sistema pode não ter funcionado de maneira ideal. Recomenda-se a seguinte abordagem para otimização contínua:

Monitoramento Contínuo Implementar um sistema de monitoramento em tempo real para identificar rapidamente e responder a quaisquer anomalias no desempenho do sistema.

Análise de Causas Raiz Investigar as causas subjacentes dos outliers de latência para implementar soluções corretivas específicas.

Ajustes Incrementais Realizar ajustes incrementais no algoritmo de controle dos semáforos com base em dados coletados continuamente, para otimizar ainda mais a resposta do sistema.

Expansão Gradual Considerar a expansão gradual do sistema para outras áreas da cidade, acompanhada de análises periódicas para assegurar a eficácia e eficiência do sistema em diferentes contextos urbanos.

5 Conclusão

Este estudo destaca a importância da análise de dados e da aplicação de métodos estatísticos rigorosos na avaliação de sistemas de controle de tráfego. Os resultados obtidos são promissores e indicam que a implementação de semáforos inteligentes pode ser uma estratégia eficaz para melhorar a mobilidade urbana. Estudos futuros devem focar na integração de tecnologias emergentes, como a Internet das Coisas (IoT) e a computação em borda, para aprimorar ainda mais a eficiência dos sistemas de controle de tráfego.

6 Anexos

Repositório do Projeto - Github

References

1. Miovision Homepage, <https://miovision.com/>. Último acesso 24 Julho 2024
2. Cap. 5. Testes de Hipóteses, https://www2.ufjf.br/clecio_ferreira//files/2012/04/Cap5-Testes-de-hipoteses-Parte-13.pdf. Último acesso 24 Julho 2024
3. Sociedade Brasileira de Oncologia Clínica, Capítulo 4, https://www.sboc.org.br/app/webroot/leitura-critica/LEITURA-CRITICA_C4.pdf. Último acesso 24 Julho 2024
4. XPE Fog Computing, <https://blog.xpeducacao.com.br/fog-computing/>. Último acesso 24 Julho 2024
5. Voitto - Sensores IoT <https://voitto.com.br/blog/artigo/sensores-iot>. Último acesso 24 Julho 2024
6. Project Statistics and Probability Computing <https://github.com/katharianabrahel/project-statistics-and-probability-computing.git>. Último acesso 24 Julho 2024

7. IF971 - Estatística e Probabilidade <https://sites.google.com/cin.ufpe.br/if971>. Último acesso 24 Julho 2024
8. Diário de Pernambuco - Semáforos Inteligentes <https://www.diariodepernambuco.com.br/noticia/vidaurbana/2024/07/semaforos-inteligentes-comecam-a-operar-no-recife.html>. Último acesso 24 Julho 2024