

IMPACTOS AMBIENTAIS E OPERACIONAIS DO SCATS EM MACEIÓ/AL: UM ESTUDO DE CASO SOBRE SEMÁFOROS INTELIGENTES COMO ESTRATÉGIA DE GESTÃO AMBIENTAL

DOI: <http://dx.doi.org/10.55449/congea.16.25.IV-008>

Isabella Martins de Almeida (*), Luiz Felipe Souto Buarque de Gusmão, Isabella Mayara Abreu da Hora

* Universidade Federal do Rio de Janeiro, isbellamartins@pet.coppe.ufrj.br

RESUMO

O transporte urbano, embora fundamental para o desenvolvimento socioeconômico, é um dos principais responsáveis pela degradação ambiental nas cidades, sobretudo em função das emissões veiculares de poluentes atmosféricos. Esses impactos podem ser mitigados por meio da adoção de tecnologias inteligentes de gestão do tráfego. Nesse contexto, este estudo avalia os efeitos operacionais e ambientais da implementação do Sistema de Controle Adaptativo de Tráfego em Tempo Real (SCATS) em Maceió/AL, aplicado ao principal corredor viário da cidade, formado pelas avenidas Durval de Góes Monteiro e Fernandes Lima. A pesquisa adota uma abordagem quantitativa longitudinal, comparando indicadores de tráfego coletados nos períodos pré (2022) e pós-implantação (2023–2025), com base em registros da SMTT e dados fornecidos pelo próprio sistema. Foram analisados o tempo de deslocamento, a velocidade média dos veículos, o número estimado de veículos atendidos e o tempo perdido em congestionamentos, além da estimativa de emissões evitadas de poluentes atmosféricos, conforme parâmetros da Lei nº 8.723/1993. Os resultados indicam reduções expressivas no tempo de percurso (até 37%), aumento na velocidade média (superior a 50%) e diminuição significativa no tempo perdido em congestionamentos, refletindo ganhos de eficiência operacional e redução potencial de emissões de CO₂ e outros poluentes. Conclui-se que a experiência de Maceió evidencia o potencial dos sistemas adaptativos de controle semafórico como ferramenta estratégica de gestão ambiental, alinhada às diretrizes da Agenda 2030 e aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável relacionados à mobilidade sustentável e ao enfrentamento das mudanças climáticas.

PALAVRAS-CHAVE: mobilidade urbana, emissões veiculares, SCATS, sistemas inteligentes de transporte, sustentabilidade ambiental

INTRODUÇÃO

O transporte urbano constitui elemento essencial para o desenvolvimento econômico e social, mas também está diretamente associado a uma série de problemas ambientais e operacionais. Entre esses impactos, destacam-se a poluição atmosférica, a poluição sonora, a elevada ocupação do espaço urbano e os riscos à saúde da população. No caso brasileiro, a forte dependência do automóvel particular como modo de transporte intensifica esses efeitos, sobretudo em áreas metropolitanas e grandes centros urbanos, onde os congestionamentos tornam-se rotina e a exposição da população a poluentes é mais intensa. Vasconcellos (2000) e Ribeiro et al. (2000) destacam que as emissões veiculares estão entre os principais fatores de degradação da qualidade do ar e das condições de vida da população, contribuindo inclusive para problemas de maior escala, como as mudanças climáticas.

Estudos apontam que as emissões veiculares — compostas por monóxido de carbono (CO), hidrocarbonetos (HC), óxidos de nitrogênio (NOx), dióxido de enxofre (SO₂), material particulado e dióxido de carbono (CO₂) — estão entre os principais fatores de degradação da qualidade do ar e contribuem para problemas globais, como as mudanças climáticas. Esses poluentes possuem efeitos nocivos tanto para a saúde humana quanto para o equilíbrio ambiental (De Nevers, 2000).

A intensidade dessas emissões depende não apenas das características tecnológicas dos veículos e dos combustíveis utilizados, mas também de aspectos operacionais do tráfego, como velocidade média, frequência de acelerações e número de paradas em interseções semaforizadas (Rouphail et al., 2000; Rakha e Ding, 2003). Nesse sentido, estratégias que atuem sobre a redução de eventos de aceleração e paradas forçadas, como a sincronização adaptativa dos semáforos, tendem a promover benefícios ambientais significativos, ao reduzir o consumo de combustível e as emissões de poluentes (Jacondino e Cybis, 2005).

As inovações em Sistemas Inteligentes de Transporte (ITS) surgem como alternativas promissoras para enfrentar tais desafios, ao integrar recursos de tecnologia da informação e comunicação (TICs) à gestão viária. Entre essas soluções, destacam-se os sistemas adaptativos de controle semafórico, como o Sydney Coordinated Adaptive Traffic System (SCATS), que ajusta em tempo real os tempos de verde com base em dados coletados por sensores e câmeras. Os Sistemas Adaptativos de Controle de Tráfego (ATCS) se destacam por utilizarem as TICs para ajustar dinamicamente tempos dos

semáforos com base em dados das condições de tráfego obtidas a partir de sensores e câmeras em tempo real, reduzindo o congestionamento e otimizando o fluxo (CHEN, 2024). Além disso, a literatura demonstra que, ao reduzir paradas desnecessárias e suavizar acelerações, esses sistemas contribuem simultaneamente para a melhoria da fluidez do tráfego e a mitigação de emissões veiculares (Barth et al., 2000; Jacondino e Cybis, 2005).

No Brasil, a importância da relação entre mobilidade e sustentabilidade é reforçada pelo arcabouço regulatório, como a Lei nº 8.723/1993, que estabelece limites legais para as emissões de veículos automotores, e pela Agenda 2030 da ONU, que vincula a mobilidade urbana sustentável aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). Nesse contexto, a implementação do SCATS em Maceió/AL configura uma oportunidade singular para avaliar empiricamente os efeitos de um sistema inteligente de tráfego sobre a eficiência operacional e os impactos ambientais no espaço urbano.

O presente estudo busca, portanto, analisar os efeitos da adoção do SCATS no principal corredor viário da cidade, compreendendo não apenas os ganhos em mobilidade urbana, como redução do tempo de deslocamento e aumento da velocidade média, mas também a redução potencial nas emissões de poluentes. Pretende-se também contribuir para a consolidação de evidências sobre a relevância dos sistemas semafóricos inteligentes como instrumentos estratégicos de gestão ambiental e de promoção de cidades mais resilientes e sustentáveis. Para isso, é fundamental estabelecer objetivos claros que permitam verificar de que maneira a implantação do SCATS em Maceió contribui não apenas para a eficiência do tráfego, mas também para a mitigação dos impactos ambientais, em consonância com a literatura sobre mobilidade inteligente e sustentável.

OBJETIVOS

Este estudo tem como objetivo principal avaliar os impactos operacionais e ambientais decorrentes da implementação do Sistema de Controle Adaptativo de Tráfego em Tempo Real (SCATS) no principal eixo viário da cidade de Maceió/AL — um corredor de 12 km formado pelas avenidas Durval de Góes Monteiro e Fernandes Lima. Para isso, será realizada uma análise quantitativa longitudinal, com base na comparação de dados operacionais de tráfego coletados entre os anos de 2022 e 2025, abrangendo o período pré e pós-implantação do sistema. O estudo busca mensurar os ganhos de desempenho viário (como redução no tempo de deslocamento e aumento da velocidade média) e, a partir desses indicadores, estimar a potencial redução nas emissões de poluentes atmosféricos, com base na legislação nacional vigente. Ao demonstrar a relação entre eficiência operacional e mitigação ambiental, o trabalho reforça a relevância da adoção de tecnologias inteligentes na gestão do tráfego urbano como ferramenta estratégica para a promoção de mobilidade sustentável e enfrentamento das mudanças climáticas. Para alcançar tais objetivos, adotou-se uma metodologia que integra análise operacional e ambiental, possibilitando quantificar de maneira robusta os efeitos da implantação do SCATS.

METODOLOGIA

A pesquisa adota uma abordagem quantitativa e aplicada, com caráter longitudinal, visando avaliar os impactos ambientais e operacionais da implantação do Sydney Coordinated Adaptive Traffic System (SCATS) no principal corredor viário de Maceió/AL, formado pelas avenidas Durval de Góes Monteiro e Fernandes Lima, com extensão aproximada de 12 km. Esse eixo concentra elevado volume de tráfego nos horários de pico e é considerado estratégico para a mobilidade urbana, justificando sua escolha como área de estudo.

A metodologia foi organizada em quatro etapas principais: (i) revisão bibliográfica e documental; (ii) coleta de dados operacionais pré e pós-implantação do SCATS; (iii) tratamento e análise dos indicadores de desempenho viário; e (iv) estimativa dos impactos ambientais associados à economia de tempo e combustível. Detalha-se na Figura X essas etapas.

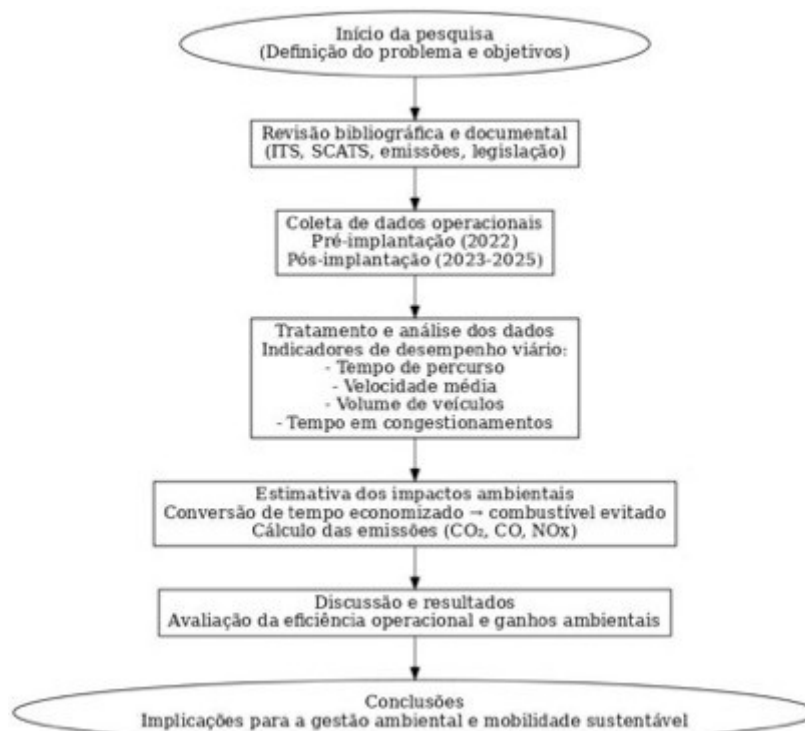


Figura 1: Fluxograma de procedimento metodológico. Fonte: Autores do trabalho.

(i) Revisão bibliográfica e documental.

Inicialmente, foi realizada uma revisão da literatura nacional e internacional sobre emissões veiculares, sistemas inteligentes de transporte (ITS) e metodologias de análise de desempenho viário. Foram consultadas publicações científicas, bem como documentos técnicos da Superintendência Municipal de Transportes e Trânsito (SMTT) de Maceió. Além disso, considerou-se a legislação brasileira sobre emissões veiculares (Lei nº 8.723/1993), que estabelece os parâmetros regulatórios para a análise ambiental.

(ii) Coleta de dados operacionais

A coleta de dados foi realizada em dois períodos distintos: pré e pós implantação.

No período de agosto a outubro de 2022 (Pré-implantação): os dados foram obtidos por meio da plataforma Google Maps (API Distance Matrix) e de registros de GPS em smartphones, refletindo as condições de tráfego sem controle adaptativo.

No período de junho de 2023 a janeiro de 2025 (Pós-implantação): os dados foram extraídos diretamente do SCATS, a partir de sensores de vídeo detecção e câmeras de monitoramento instalados em 42 interseções semaforizadas ao longo do corredor.

Para garantir a comparabilidade entre os períodos, a amostragem concentrou-se em dias úteis típicos, sempre às quartas-feiras, nos horários de pico da manhã (07h–09h) e da tarde (17h–19h). Foram analisados os seguintes indicadores: (a) tempo médio de deslocamento por veículo; (b) velocidade média dos veículos; (c) número estimado de veículos atendidos nos horários de pico; e (d) tempo perdido em congestionamentos.

(iii) Tratamento e análise dos indicadores

Os dados foram processados, com delimitação espacial a partir das faixas de retenção em cruzamentos. O indicador principal utilizado foi o tempo total de deslocamento, obtido pela multiplicação entre o tempo médio de percurso e o volume de veículos atendidos. A análise permitiu calcular variações absolutas e percentuais entre os cenários pré e pós-implantação, identificando ganhos líquidos de eficiência operacional.

(iv) Estimativa dos impactos ambientais

A análise ambiental baseou-se na redução do tempo de motor-ligado, especialmente durante períodos de marcha lenta e congestionamentos. O tempo agregado economizado foi convertido em consumo evitado de combustível, utilizando fatores médios de consumo em marcha lenta presentes na literatura. Essa abordagem metodológica combina dados

empíricos do SCATS com parâmetros regulatórios e modelos de emissão, oferecendo uma análise robusta da eficiência operacional e dos benefícios ambientais associados à implantação do sistema.

Dessa forma, a sequência metodológica estabelecida — da revisão bibliográfica à estimativa dos impactos ambientais — sustenta a análise dos resultados que serão apresentados a seguir, garantindo coerência entre a fundamentação teórica e os achados empíricos

RESULTADOS

A análise dos resultados foi estruturada em três etapas complementares, de forma a garantir consistência entre a coleta de informações, o processamento dos dados e a interpretação dos impactos. Inicialmente, apresenta-se a coleta de dados operacionais, realizada a partir de registros oficiais e medições padronizadas no corredor viário estudado, contemplando períodos pré e pós-implantação do SCATS. Em seguida, descreve-se o tratamento e a análise dos indicadores, que envolveu a sistematização dos dados brutos em métricas de desempenho viário, como tempo de deslocamento, velocidade média e tempo de espera em congestionamentos. Por fim, discute-se a estimativa dos impactos ambientais, obtida a partir da relação entre a melhoria operacional observada e a redução potencial de emissões veiculares, com base nos parâmetros definidos pela legislação vigente. Essa sequência permite compreender de maneira integrada os efeitos do sistema tanto sob a ótica da mobilidade quanto da sustentabilidade ambiental.

Coleta de dados operacionais

O estudo foi realizado no município de Maceió (AL) e a área de abrangência escolhida considerou os corredores viários formados pela Avenida Durval de Góes Monteiro e pela Avenida Fernandes Lima no bairro de Abreu e Lima. O trecho de estudo inicia na Avenida Durval de Góes Monteiro, a partir da rotatória no entroncamento da BR 104 com a BR 316, e segue até a Avenida Fernandes Lima, próxima a zona central da cidade de Maceió. A avaliação conjunta dos dois corredores se dá pela continuidade do eixo formado. A escolha desses trechos foi devido a relevância deles no tráfego de veículos da cidade de Maceió, destacando-se como os principais corredores viários.

A coleta de dados em tempo real é apontada como um dos principais impulsionadores da mobilidade inteligente, permitindo análises mais precisas e a tomada de decisão baseada em evidências. Essa escolha metodológica reforça a conexão entre a relevância urbana do eixo estudado e os resultados obtidos, que podem subsidiar gestores públicos em futuras decisões de mobilidade.

Para essa análise, os dados foram obtidos a partir de sensores de vídeo detecção e de câmeras integrados ao sistema semafórico, permitindo mensuração em tempo real dos dados coletados. As coletas foram realizadas no período de agosto de 2022 até janeiro de 2025. Ao todo foram coletados dados de 30 interseções semaforizadas, as quais estão distribuídas na Figura 2.

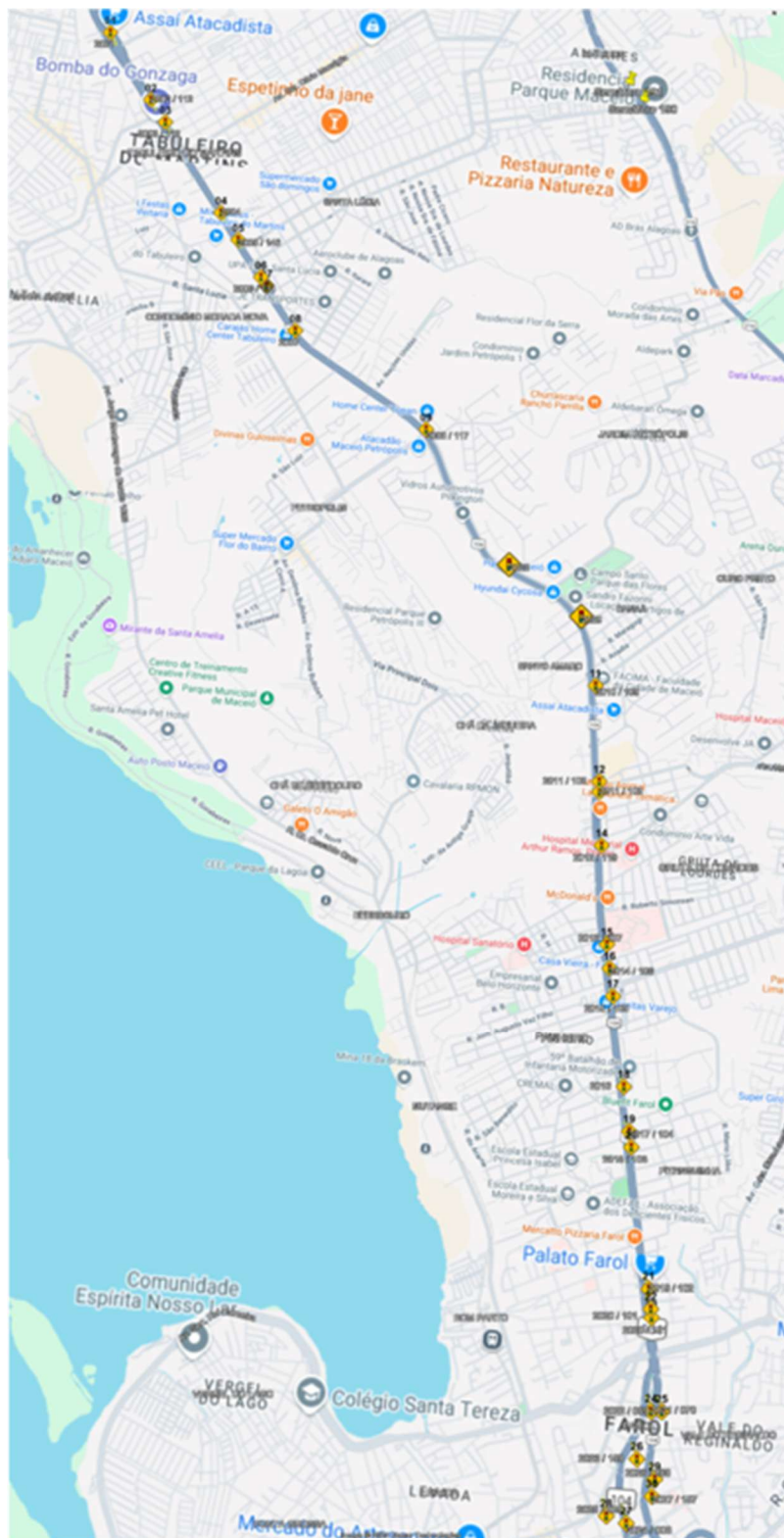


Figura 2: Mapa com a localização das interseções semaforizadas no trecho. Fonte: Autores do trabalho.

Os dados coletados para a análise dos tempos médios de percurso e da velocidade média em km/hora foi feito durante os horários de pico, sendo o pico da manhã entre 07h e 09h e o pico da tarde no período de 17h e 19h. Este levantamento registrou também o volume de veículos em ambos os sentidos dos corredores viários deste estudo, sendo o sentido bairro-centro destacado em verde na Figura 3 e o sentido centro-bairro em amarelo.

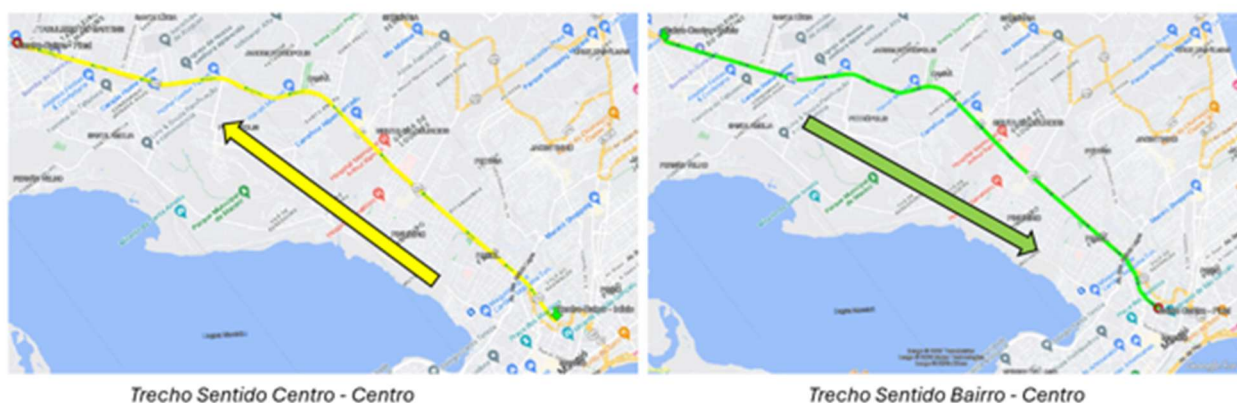


Figura 3: Mapa com o sentido dos trechos de estudo (centro-bairro e bairro-centro). Fonte: Autores do trabalho.

Quanto aos indicadores considerados, incluíram: (i) tempo médio de percurso, (ii) velocidade média em km/h, (iii) volume de veículos atendidos em cada sentido, (iv) tempo perdido em congestionamentos e (v) tempo médio de espera dos pedestres em travessias.

Tabela 1. Descrição dos indicadores e fonte de dados. Fonte: Autores do trabalho, 2025.

Indicador	Descrição	Fonte de dados
Tempo médio de percurso	Média do tempo gasto pelos veículos para percorrer o corredor em cada sentido, nos horários de pico.	Google Maps (pré-implantação) e SCATS (pós-implantação)
Velocidade média (km/h)	Velocidade média registrada em cada trecho do corredor durante os horários de pico.	Google Maps (pré-implantação) e SCATS (pós-implantação)
Volume de veículos atendidos	Número estimado de veículos atendidos em cada sentido do corredor, por horário de pico.	SCATS – sensores de vídeo detecção e câmeras
Tempo perdido em congestionamentos	Soma do tempo agregado em que veículos permaneceram em condição de retenção nos horários de pico.	SCATS – dados consolidados de retenção veicular
Tempo médio de espera de pedestres	Tempo médio que os pedestres aguardaram para realizar travessias nas interseções semaforizadas.	SCATS – dados de ciclo semaforico e sensores de pedestres

Os dados coletados neste estudo constituem uma base sólida para avaliar os efeitos da implementação do sistema SCATS sobre a mobilidade urbana em Maceió. A análise desses registros permite verificar como o controle adaptativo impacta diretamente indicadores operacionais, como tempo de deslocamento, velocidade média e horas de congestionamento, além de possibilitar a estimativa de seus reflexos ambientais. Nos tópicos a seguir, são apresentados os resultados obtidos, evidenciando de que maneira a adoção de semáforos inteligentes contribui para melhorias na fluidez do tráfego e para a redução potencial das emissões veiculares.

Tratamento e análise dos indicadores

A mensuração do tempo total de deslocamento, obtida pela multiplicação do tempo médio de percurso pelo volume de veículos nos horários de pico, demonstrou ganhos de eficiência após a implantação do SCATS no corredor viário analisado, conforme Tabela 2 abaixo. Tais evidências confirmam a hipótese de que a adoção de semáforos inteligentes amplia a capacidade operacional da infraestrutura existente, corroborando a literatura que trata da mobilidade urbana como parte de um sistema dinâmico em constante adaptação.

Tabela 2. Análise dos parâmetros de deslocamento no horário de pico da manhã. Fonte: Autores do trabalho, 2025.

Sentido Bairro-Centro				Sentido Centro-Bairro			
Horário de Pico da Manhã (07:00 - 09:00)				Horário de Pico da Manhã (17:00 - 19:00)			
	Tempo Médio de Percurso por Veículo (min)	Quant. de Veículos	Tempo Total Gasto (min)		Tempo Médio de Percurso por Veículo (min)	Quant. de Veículos	Tempo Total Gasto (min)
Antes	34,7167	3520	122.202,67	Antes	42,6167	3388	144.385,27
Média (pós)	26,9264	3834,83	103.119,44	Média (pós)	29,5944	3796,42	112.248,78
Variação	7,7903	314,83	19.083,23	Variação	13,0222	408,42	32.136,49
Variação (%)	-22,44%	8,94%	-15,62%	Variação (%)	-30,56%	12,05%	-22,26%

Apesar do aumento no fluxo de veículos decorrente da maior fluidez, verificou-se redução absoluta e percentual no tempo consolidado de deslocamento. Esse resultado indica que o sistema não apenas reduziu o tempo médio individual de viagem, mas também gerou economia de tempo em escala coletiva, configurando um benefício líquido para a mobilidade urbana. Do ponto de vista metodológico, o indicador de tempo total gasto permite captar a relação entre eficiência operacional e demanda atendida, evidenciando que sistemas semafóricos adaptativos ampliam a capacidade da infraestrutura existente.

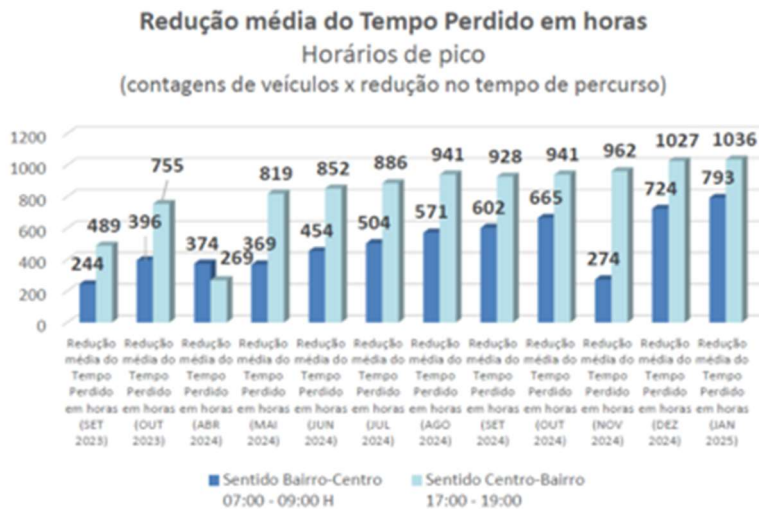


Figura 4: Redução média do tempo perdido em horas: análise durante os horários de pico. Fonte: Autores do trabalho.

No sentido Bairro-Centro, observou-se uma redução média de 22,44% no tempo de percurso e aumento de 53% na velocidade média nos horários de pico da manhã. No sentido Centro-Bairro, a redução foi de 30,56% no tempo de deslocamento e 56% de ganho de velocidade média à tarde. O tempo perdido em congestionamentos caiu, com o melhor resultado observado no mês de janeiro de 2025 de 793 horas pela manhã e 1.036 horas à tarde, conforme pode ser observado na Figura 4.

Houve ainda um aumento no número médio de veículos atendidos (8,94% e 12,5%, respectivamente), e uma redução de 29% no tempo médio de espera dos pedestres nas travessias. Com base nos dados operacionais, estima-se que a redução no tempo de marcha lenta e nas paradas contribuíram para uma expressiva economia de combustível e, consequentemente, redução nas emissões de CO₂ e outros poluentes atmosféricos. A experiência de Maceió demonstra que a adoção de sistemas semafóricos inteligentes pode gerar benefícios expressivos não apenas em termos de mobilidade urbana, mas também como estratégia indireta de gestão ambiental.

Estimativa dos impactos ambientais

Além dos efeitos operacionais, a diminuição das horas acumuladas em congestionamentos implica menor consumo de combustível e, consequentemente, redução de emissões veiculares. Considerando que cada litro de gasolina ou diesel queimado libera, em média, 2,8 kg e 3,2 kg de CO₂ (De Carvalho, 2011), respectivamente, a redução do tempo de marcha lenta e de paradas em fila resulta em ganhos ambientais mensuráveis. Em corredores urbanos, a suavização das acelerações e frenagens também contribui para a diminuição da emissão de poluentes locais, como NO_x e material particulado, com efeitos diretos sobre a qualidade do ar e a saúde da população exposta.

Tomando os 51.219,72min de tempo agregado economizado por mês nos picos, equivalentes a 853,66h de motor-ligado, e aplicando taxas de marcha-lenta da literatura (Aguiar et al, 2015) e fatores de CO₂ por litro, estima-se a economia de aproximadamente 8,21 ton de CO₂ em média por mês no período analisado, além de 55kg de CO e 3kg de NO_x como benefícios complementares. Esses valores advêm do cenário operacional baseado em tempo.

A avaliação ambiental desses resultados pode ser sustentada por diferentes referenciais metodológicos. De Carvalho (2011) evidencia que as emissões de CO₂ são proporcionais ao combustível consumido, o que permite estimar reduções a partir do tempo de motor-ligado evitado. Carvalho (2011) reforça esse entendimento ao demonstrar, com base no método de potência específica do veículo (VSP), que congestionamentos em horários de pico elevam significativamente os consumos e emissões, destacando a importância de sistemas capazes de suavizar ciclos de aceleração e frenagem. A integração desses referenciais sustenta que a redução do tempo agregado de viagem promovida pelo SCATS implica benefícios ambientais concretos. Em paralelo, Cancelli e Dias (2014) apresentam o BRevê como metodologia para o cálculo de emissões no Brasil, fornecendo fatores médios por quilômetro que permitem indicar um aumento na emissão de GEE associada ao cenário de aumento de demanda. Os resultados, portanto, podem variar conforme o critério metodológico adotado, o que deve ser considerado na interpretação das evidências apresentadas.

Além disso, os resultados obtidos através da avaliação ambiental reforçam que os ganhos operacionais não podem ser dissociados de uma perspectiva estratégica de gestão urbana, na qual eficiência e sustentabilidade caminham de forma integrada. Portanto, os achados aqui apresentados permitem avançar para a conclusão, em que se discutem as implicações desses resultados no contexto mais amplo da mobilidade sustentável e da gestão ambiental urbana.

CONCLUSÕES

A análise dos impactos da implantação do Sydney Coordinated Adaptive Traffic System (SCATS) no principal corredor viário de Maceió/AL demonstrou que a tecnologia dos semáforos inteligentes pode atuar de maneira eficaz como ferramenta de gestão integrada da mobilidade urbana e da sustentabilidade ambiental. A implantação do SCATS no corredor viário analisado em Maceió resultou em ganhos de eficiência, expressos pela redução do tempo médio individual de viagem e do tempo agregado de deslocamento nos horários de pico. Esses resultados indicam que sistemas semafóricos adaptativos ampliam a capacidade de uso da infraestrutura existente sem a necessidade de expansão física da malha viária.

Em números, esses resultados evidenciam melhorias no desempenho operacional, com reduções médias superiores a 30% nos tempos de percurso e aumentos acima de 50% na velocidade média dos veículos, acompanhados por diminuição significativa do tempo perdido em congestionamentos. Esses efeitos confirmam que sistemas adaptativos de controle de tráfego são capazes de ampliar a capacidade viária sem a necessidade de grandes intervenções estruturais, representando uma solução eficiente e de menor custo para cidades em processo de crescimento.

No campo ambiental, a diminuição das horas de marcha lenta e das paradas em congestionamento implica menor consumo de combustível e redução de emissões veiculares. Observou-se, contudo, que diferentes referenciais metodológicos produzem interpretações distintas: enquanto análises baseadas no tempo de motor-ligado sugerem reduções proporcionais

de gases de efeito estufa, metodologias fundamentadas no consumo por quilômetro rodado indicam que o aumento do volume de veículos pode neutralizar tais benefícios.

A experiência evidencia ainda o potencial de ampliar os resultados positivos quando o SCATS é integrado a políticas de priorização do transporte público, contribuindo para maior eficiência operacional e redistribuição modal. Nesse sentido, a adoção de tecnologias de gestão inteligente do tráfego deve ser acompanhada de medidas que incentivem o transporte coletivo e a mobilidade sustentável, de modo a consolidar ganhos de fluidez, reduzir externalidades negativas e aproximar as cidades brasileiras das metas de sustentabilidade urbana (Maldonado, 2020).

Os achados deste estudo corroboram a literatura que destaca a contribuição dos Sistemas Inteligentes de Transporte não apenas para a eficiência viária, mas também como instrumentos indiretos de gestão ambiental e de enfrentamento das mudanças climáticas. Além disso, os resultados obtidos em Maceió evidenciam que a implementação de soluções tecnológicas como o SCATS pode servir como referência para outros municípios brasileiros que buscam integrar inovação, eficiência operacional e mitigação ambiental em suas políticas públicas (Maldonado, 2020).

Esses achados dialogam diretamente com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), em especial o ODS 3, ao reduzir a exposição da população a poluentes atmosféricos nocivos e promover melhores condições de saúde e bem-estar; o ODS 11, ao favorecer cidades mais seguras, resilientes e sustentáveis; e o ODS 13, ao contribuir para a redução das emissões de gases de efeito estufa e o enfrentamento das mudanças climáticas. Ao reduzir o tempo de motor-ligado e suavizar o fluxo veicular, o sistema reforça o papel de políticas públicas de mobilidade como instrumentos estratégicos para o cumprimento da Agenda 2030.

Recomenda-se, ainda, a expansão e replicação de sistemas adaptativos de controle semafórico em contextos urbanos com elevada demanda viária, bem como a integração desses sistemas a plataformas de dados em tempo real e outras tecnologias de mobilidade inteligente. Essa combinação pode potencializar ainda mais os benefícios observados, promovendo uma mobilidade urbana mais eficiente, inclusiva além de ambientalmente responsável.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Aguiar, S. de O.; Araújo, R. dos S.; Cavalcante, F. S. Ávila; Lima, R. K. C. de; Bertoncini, B. V.; Oliveira, M. L. M. **Avaliação das emissões de escapamento veicular em condições específicas do motor: partida e marcha-lenta.** Transportes, [S. l.], v. 23, n. 3, p. 35–43, 2015. Disponível em: <https://revistatransportes.org.br/anpet/article/view/896>. Acesso em: 7 set. 2025.
2. BARTH, M.; NA, F.; YOUNGLOVE, T.; SCORA, G.; LEVINE, C.; ROSS, M.; WENZEL, T. Development of a comprehensive modal emission model: final report NCHRP Project 25-11. Washington D.C.: Transportation Research Board, National Research Council, 2000
3. Brasil. Lei nº 8.723, de 28 de outubro de 1993. **Dispõe sobre a redução de emissão de poluentes por veículos automotores e dá outras providências.** Brasília, DF: Diário Oficial da União, 1993.
4. Cancelli, D. M.; Dias, N. L.; **BRevê: uma metodologia objetiva de cálculo de emissões para a frota brasileira de veículos.** Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 19, p. 13-20, 2014. Acessada em 07 set 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522014019010000284>
5. Carvalho, D. O. **Escolha de Rotas: Influência da Hora de Ponta nos Consumos e Emissões.** 2011. Dissertação de Mestrado. Universidade de Aveiro (Portugal).
6. Chen, H. Optimizing Urban Mobility: **A Comprehensive Study on Intelligent Traffic Signal Control Systems.** In: **Highlights in Science, Engineering and Technology.** ACME, 2024.
7. De Carvalho, C. H. R. **Emissões relativas de poluentes do transporte motorizado de passageiros nos grandes centros urbanos brasileiros.** Texto para Discussão, 2011. Acesso em 7 set. 2025. Disponível em: <https://hdl.handle.net/10419/91332>
8. DE NEVERS, N. Air pollution control engineering. 2. ed. New York: McGraw-Hill, 2000.
9. JACONDINO, G.B.; CYBIS, H.B.B. Avaliação de modelos de emissão em simuladores de tráfego. In: XVI Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, 2002. Natal. Panorama Nacional de Pesquisa em Transportes, v. 1, p. 211-222, Rio de Janeiro: ANPET, 2002.
10. Maceió. Superintendência Municipal de Transportes e Trânsito. **Relatório de Desempenho Operacional – SCATS.** Maceió: SMTT, 2025
11. Maldonado S. A. M., et al. **Mobilidade inteligente: Os principais impulsionadores para aumentar a inteligência da mobilidade urbana.** Sustainability 12.24 (2020): 10675.
12. RAKHA, H.; DING, Y. Impact of stops on vehicle fuel consumption and emissions. Journal of Transportation Engineering, v. 129, n. 1, p. 23-32, 2003.
13. RIBEIRO, S.K.; COSTA, C.V.; DAVID, E.G.; REAL, M.V.; D'AGOSTO, M.A. Transporte e mudanças climáticas. Rio de Janeiro: MAUAD, 2000

-
14. ROUPHAIL, N.M.; FREY, J.D.; COLYAR, A.; UNAL, A. Vehicle emissions and traffic measures: exploratory analysis of field observations at signalized arterials. In: 79th ANNUAL MEETING OF THE TRANSPORTATION RESEARCH BOARD, 2000. Washington. Proceedings of the..., Washington, National Research Council, 2000. CD-ROM.
 15. VASCONCELLOS, E.A. Transporte urbano nos países em desenvolvimento. 3. ed., São Paulo: Annablume, 2000.