

AS DIFERENTES IMPLEMENTAÇÕES DE CONTROLES SEMAFÓRICOS NO BRASIL

1 Introdução

Com o acelerado desenvolvimento e urbanização no Brasil, um dos problemas gerados nas grandes cidades está relacionado ao tráfego viário (Carvalho, 2016). Acompanhando o percentual expressivo de urbanização dos países do Continente Americano, de 81,5% em média, a população brasileira tem característica de domicílio predominantemente urbana, com 86,6% das pessoas vivendo nas cidades (United Nations, 2018). Resultante deste processo, a frota e motorização tiveram um incremento significativo nos últimos anos, alcançando patamares de 3,3 habitantes para cada veículo nas metrópoles (Observatório das Metrópoles, 2012). Segundo BBC News (2019), em 2015 havia cerca de 1,3 bilhão de veículos motorizados no mundo e, a expectativa é de que até 2040, esse número deverá subir para mais de 2 bilhões, motivado pelo rápido crescimento das economias emergentes. Outro aspecto, bastante relevante, que intensifica o problema de tráfego, está relacionado ao planejamento urbano, pois o modelo de espalhamento urbano aumenta a distância e o número de deslocamentos diários, realizados por meio de transporte coletivo e muitas vezes pelo uso de transportes individuais, necessários em situações de baixa densidade, que torna inviável economicamente o transporte público (Barczak & Duarte, 2012).

Esses fatores, associados a escolha do modal rodoviário ao longo da história, geram um volume de veículos nas vias, que a infraestrutura disponível não tem capacidade de acomodar, necessitando da expansão das vias existentes, o que se mostra uma alternativa difícil e bastante custosa (Magableh, Almakhadmeh, Alsrehin & Klaib, 2020). Essa sobrecarga gerada no sistema de transportes, acarreta problemas relacionados à mobilidade urbana. Dentre os impactos gerados pela mobilidade urbana e analisando sob o conceito da sustentabilidade, os congestionamentos abrangem os 3 aspectos do *Triple Bottom Line*: ambiental, econômico e social.

- No aspecto ambiental, calcula-se que 25% da emissão de gases que contribuem para o aquecimento global, seja proveniente do setor de transportes dos países desenvolvidos e as cidades dos países em desenvolvimento emitem a metade dessa quantidade, de acordo com estudo realizado (Banco Mundial, 2004). Outro fator relevante, referente às emissões de gases de efeito estufa, está relacionado ao setor de transporte, que coloca o Brasil no segundo posto como maior emissor de gases de efeito estufa, ficando atrás somente das queimadas e mudanças no uso do solo (Confederação Nacional do Transporte, 2009). No lado ambiental, Saldiva (2010) destaca as mudanças no microclima regional, que associa ilhas de calor a áreas de intensa poluição do ar.
- No aspecto econômico, a deterioração do transporte urbano, causada pelos congestionamentos e pela redução da qualidade dos serviços e da infraestrutura, tem levado ao aumento de custos no setor. Além disso, o tempo despendido pelos usuários nos congestionamentos, limita sua capacidade de produção, caracterizando o chamado custo da oportunidade. E também há os custos ambientais e de saúde causados pela poluição sofrida pelo usuário, acidentes de trânsito, além dos seguros pagos (Comissão das Comunidades Europeias (1995), apud Vasconcellos e Lima (1998)).
- No aspecto social, pode-se mencionar o tempo despendido no trânsito, que além do impacto econômico mencionado anteriormente, também cerceia a oportunidade de

maior desenvolvimento intelectual e restringe os momentos de convívio, gerando o isolamento social, principalmente às pessoas de menor renda, que perdem ainda mais tempo nos deslocamentos diários utilizando transportes públicos, contrariando o princípio da igualdade no uso do espaço público das cidades (Rodrigues, 2016). Adicionalmente, existem desdobramentos negativos relacionados à saúde física e mental gerados pela violência urbana, pela tensão e estresse gerados pelos congestionamentos, pela poluição do ar e pelo constante ruído (Saldiva, 2010).

Dessa forma, o alto grau de saturação que algumas regiões operam, gera a necessidade de adotar ações rápidas para mitigar o risco de grandes congestionamentos e consequentemente os impactos relacionados a eles. Com esse cenário, se faz premente e necessária a busca por soluções que contribuam para a melhoria do tráfego urbano e ferramentas de controle mais eficientes que gerem respostas ágeis às frequentes interferências que afetam a circulação dos veículos pela cidade. Nesse sentido, muitos fatores podem contribuir para mitigar as barreiras geradas pela dificuldade de mobilidade, e utilizá-los de maneira isolada não resolveria o problema. Apenas a articulação de medidas reduziria os impactos, combinando ações relacionadas ao planejamento urbano e políticas públicas, despriorizando o transporte individual, investindo em medidas para melhoria dos transportes coletivos e dos transportes não motorizados e, repensando a distribuição do uso e ocupação da cidade; enfatizando questões de equidade social e cidadania; implementando medidas relacionadas ao desenvolvimento sustentável, como diversidade de modais e combustíveis renováveis e priorizando soluções tecnológicas (Netto & Ramos, 2017).

Importante ressaltar que o Brasil tem, praticamente, o mesmo número de usuários de transporte individual e transporte coletivo, cada um representando 30% dos deslocamentos (Rolnik, 2010). Diante deste quadro, há de se considerar que, mesmo sendo prioritárias, as medidas de incentivo e desenvolvimento do transporte coletivo e dos transportes não motorizados, deverão conviver simultaneamente durante um período com os transportes individuais será inevitável. Dessa maneira soluções que proporcionem melhorias nas condições de circulação devem ser analisadas. Avaliar a utilização de sistemas tecnológicos, se apresenta como uma alternativa acessível e disponível que pode proporcionar, entre outras soluções, uma melhor gestão dos semáforos, componente fundamental na dinâmica do trânsito (Magableh, Almakhadmeh, Alsrehin & Klaib, 2020). No Brasil, existem implementações e soluções aplicadas para as diferentes necessidades das cidades, variando desde semáforos que atendem a demanda de maneira padrão, passando por soluções específicas para determinados nichos, como transportes coletivos ou pessoas com mobilidade reduzida, até soluções tecnológicas mais robustas que respondem à variação da demanda em tempo real.

Nesse sentido, os sistemas de controle semaforicos se apresentam como uma alternativa para melhoria da mobilidade urbana e passam a ser considerados nos planos de mobilidade à exemplo do plano de São Paulo (Plano de Mobilidade de São Paulo, 2015). Sendo assim, este artigo busca apresentar diferentes tipos de modos semaforicos que tem como principal objetivo atender à demanda dessas cidades. Especificamente serão apresentados os modos semaforicos em tempos fixos, atuado e em tempo real, mais conhecidos como semáforos inteligentes, assim como as diferentes implementações realizadas em algumas cidades brasileiras. A análise terá como objetivo entender quais tecnologias foram adotadas e o que se pretende resolver, possibilitando demonstrar alternativas que poderão ser aplicadas em futuras utilizações, seja em outras capitais ou em cidades de menor porte, mas que também estejam padecendo de problemas similares relacionados à mobilidade urbana.

2 Pergunta de Pesquisa

Com isso, a pergunta de pesquisa a ser respondida com este artigo é: Quais as diferentes soluções tecnológicas para controle semafórico implementadas no Brasil?

3 Objetivo

O objetivo deste estudo é o de apresentar exemplos de aplicações das soluções de controle semafórico adotados em diferentes cidades brasileiras, analisando os problemas que essas tecnologias se dispõem a solucionar.

4 Metodologia

Para tanto, o presente estudo se baseou em levantamento bibliográfico por meio da seleção de artigos da base Proquest, assim como em notícias provenientes de sites, embasando o referencial teórico para identificar as tecnologias disponíveis para controle semafórico e as cidades brasileiras que têm se utilizado dessas soluções para melhorar suas condições de mobilidade urbana. Trata-se de uma pesquisa caracterizada por seus objetivos, exploratória com abordagem qualitativa, uma vez que busca proporcionar uma visão global sobre um determinado assunto, ainda pouco explorado e com muitas hipóteses (Martins & Theóphilo, 2009).

5 Fundamentação Teórica

Dentre as soluções possíveis para otimização do tráfego nas cidades, os sistemas de controle semafórico se posicionam como uma alternativa que melhora a eficiência dos transportes e visa reduzir congestionamentos, acidentes, poluição do ar, suavizando o fluxo de tráfego (Magableh, Almakhadmeh, Alsrehin & Klaib, 2020).

Existem diferentes alternativas de controles semafóricos disponíveis que serão descritos para melhor entendimento desta pesquisa:

- Semáforos tradicionais (ou semáforos monopiano): esses semáforos têm seus tempos pré-programados, isto é, eles recebem uma quantidade fixa de intervalos de tempo verde, amarelo e vermelho (Taher, El-Sayed, Shouman & El-Mahalawy, 2016). Essa sequência é programada desconsiderando variações no trânsito em diferentes horários durante o dia e em diferentes dias da semana. Com isso, esse tipo de controle se mostra ineficiente em relação às demandas variáveis geradas pelos usuários, atendendo-os de maneira invariável ao longo do dia.
- Semáforos em tempos fixos: o controle em tempos fixos utiliza planos semafóricos pré-calculados baseados em dados históricos obtidos pela contagem de veículos em campo, em diferentes horários do dia e diferentes dias da semana. No controlador em tempo fixo a temporização do semáforo é constante para o dia/ hora, independente do fluxo que atravessa a intersecção (Diettrich, 2014). Os semáforos em tempos fixos não consideram a realidade do tráfego existente no exato momento em que se está utilizando a via. Como o próprio nome define, os tempos dos semáforos estão previamente definidos, podendo ser um pouco mais sofisticados e assertivos, se a estes forem aplicados estudos de comportamentos e bases de dados históricos, que representem o fluxo de carros numa determinada via, num dia da semana, num determinado horário do dia. Mas sempre representarão um comportamento histórico (Cucci, 2016).
- Semáforos atuados: acionados pelo próprio tráfego, o tempo de verde de uma aproximação é influenciado pela detecção imediata de veículos, sendo com isso ajustado continuamente até um máximo pré-programado. Os ajustes ocorrem em tempo real, obtendo dados dos detectores de veículos instalados nas ruas para

registrar as demandas de tráfego (Bonetti & Pietrantonio, 2006; Yuki, 2008). Este tipo de modo semafórico não sincroniza os cruzamentos adjacentes e, portanto, não pode operar em rede (Cucci, 2018).

- Semáforos em tempo real ou semáforos inteligentes: Quando nos referimos a operações em tempo real ou os semáforos inteligentes, eles reagem à demanda veicular existente, ou seja, ajustam os tempos semafóricos conforme a necessidade do tráfego existente no momento. Nestes semáforos não existem programações prévias. A passagem do tráfego por dispositivos de detecção instalados nas vias é processada em uma central, e isso faz com que os semáforos adaptem seus tempos de maneira sincronizada para atender, com flexibilidade e eficiência, às variações da demanda veicular (Cucci, 2016). Os tempos semafóricos são calculados em um computador central. Estes semáforos operam em rede, minimizando os atrasos e o número de paradas na área sob controle (Ming, 1997).

No mundo existem soluções bastante eficazes que atendem as demandas variáveis do tráfego. Três delas serão destacadas aqui pela sua utilização ao redor do mundo e mais especificamente no Brasil:

- SCATS: *Sydney Coordinated Adaptive Traffic System*- SCATS (Sistema de Tráfego Adaptado Coordenado de Sydney), desenvolvido na Austrália e se apresenta como um dos sistemas de controle de semáforos mais implantados no mundo. Reage ao comportamento dos carros registrados pelos detectores que se encontram nas ruas, enviando os dados para uma central que revisa e modifica os tempos de verde para atender à demanda. Além da Austrália, Nova Zelândia, Hong Kong, Shanghai, Amman, Dublin, entre outros, fazem uso desta solução (Levinson, 2018).
- SCOOT: *Split Cycle Offset Optimization Technique*- SCOOT, no qual *Split* significa porcentagem ou fração de verde, *Cycle* é o tempo do ciclo semafórico e *Offset* significa defasagem. Assim, SCOOT significa “Técnica de Otimização da Porcentagem de Verde, Ciclo e Defasagem”. As informações capturadas em campo por meio de detectores são enviadas automaticamente para um computador central, que as processa em tempo real, ajustando os parâmetros dos semáforos necessários para atender a demanda existente de veículos. Com sua utilização variam os tempos semafóricos (porcentagem de verde, ciclo e defasagem) em função do fluxo de tráfego a cada momento. Ao contrário do controle de tráfego em tempos fixos, no qual os tempos semafóricos são invariáveis em um período, o sistema de controle em tempo real reage às variações de tráfego de forma a adequar os tempos semafóricos ao tráfego em cada instante (Ming, 97). Trata-se do sistema mais adotado no mundo, tendo sido desenvolvido na Inglaterra e sendo utilizado em mais de 200 cidades. É amplamente adotado nas cidades que sediam eventos que trazem impactos na mobilidade urbana como Copa do Mundo, Olimpíadas, como exemplo: Cidade do Cabo, Durban, Port Elizabeth (África do Sul), Dubai, Seul (Coreia do Sul), China (Beijing, Hong-Kong), Canadá (Toronto), entre outras.
- ITACA: *Intelligent Traffic Adaptive Control Area*- ITACA, sistema de controle de tráfego adaptativo em tempo real desenvolvido na Espanha, compila as informações do estado do tráfego de forma contínua, permitindo fazer adaptações constantes dos tempos de verde dos semáforos alocados a cada cruzamento, em função da demanda real dos mesmos. Este processo se desenvolve em tempo real, otimizando a mobilidade global das vias, reduzindo as demoras e paradas (ElEconomista, 2007).

6 Resultados

Há muitas operações semafóricas disponíveis para gerenciamento de tráfego, sendo que as predominantemente utilizadas no Brasil são as operações em tempos fixos. Em menor quantidade estão as soluções tecnológicas mais sofisticadas que se utilizam de análise de dados de vídeo capturada por câmeras, sensores infravermelhos, detecção pelo uso de loop indutivo, redes de sensores sem fio entre outras tecnologias. Serão apresentadas a seguir as soluções implementadas em algumas cidades brasileiras que consideram a demanda do tráfego em tempo real.

A cidade de Boa Vista implementou a onda verde, sincronização de semáforos proporcionando a passagem dos veículos por uma sequência de sinal verde ao longo de uma via (Azeredo, 2014). Neste caso, se o motorista obedecer determinada velocidade vai encontrar todos os sinais abertos no percurso em que a onda verde foi configurada (Folha BV, 2018).

Outras cidades priorizaram os transportes coletivos, dando mais fluidez aos ônibus, como o Rio de Janeiro, que implementou a solução instalando equipamentos nos ônibus sensíveis aos sensores (laços) dispostos próximos aos semáforos. Nesse sentido, quando há detecção do ônibus, se o semáforo estiver aberto, o seu tempo de verde será ampliado em até 15% permitindo que o ônibus passe com prioridade pelo cruzamento. Caso o sinal esteja vermelho, o sistema faz com que o tempo seja reduzido em até 15% evitando longas paradas (Brito, Regis, Henrique & Guedes, 2018). Em Aracaju, a detecção dos veículos é realizada por meio de imagens capturadas por câmeras posicionadas nos cruzamentos; com isso automaticamente o sinal muda para verde. O sistema acelera a mudança para o verde com a identificação e faz com que os condutores esperem menos em interseções. Os semáforos fazem parte do sistema inteligente de ajuste com previsão de redução de atrasos e paradas em até 30% (Superintendência Municipal de Transportes e Trânsito, 2018). A alteração nas fases dos semáforos acontece em tempo real, priorizando também a passagem do transporte público.

Em Curitiba a prioridade foi dada às vias de maior movimento. A tecnologia foi implantada em mais de 100 cruzamentos com características comuns, ou seja esses cruzamentos possuem uma das vias com maior movimento e, para priorizar o tempo de verde nos semáforos para essas vias principais, tendo com isso o máximo de fluidez, foi instalado, nas ruas transversais, um sensor que identifica a presença de um veículo. Quando o carro for detectado, o sinal automaticamente abre para as vias de menor movimento permitindo a sua passagem (RicMais, 2016). Adicionalmente, Curitiba implantou uma solução que prioriza a travessia de pedestre, mais especificamente, pessoas como mobilidade reduzida. Uma botoeira especial foi implantada em 36 cruzamentos; acoplada ao semáforo ela é acionada pela aproximação de cartões especiais, conhecidos como “Cartão Respeito”, que permitem aumentar o tempo de verde para a travessia de pessoas idosas ou pessoas com deficiência. Os pontos escolhidos para implantação destes tipos de semáforos foram os que mais tinham atropelamentos e acidentes com pedestres na cidade (Prefeitura Municipal de Curitiba, 2015).

A detecção de veículos em Florianópolis ocorre por meio das imagens capturadas por 120 câmeras posicionadas em 30 cruzamentos. A partir da captura dessas imagens, as ações tomadas para mudança do tempo de abertura do semáforo são realizadas por meio de um algoritmo calibrado utilizando dados de campo e análise dos engenheiros por meio de simulações virtuais (G1 Santa Catarina, 2019). Com isso o semáforo atende a demanda do tráfego em tempo real.

Londrina e Rio Claro optaram por uma solução bastante semelhante. Para ajudar com a fluidez dos veículos nas avenidas de maior movimento, em Londrina os semáforos são acionados pela detecção de veículos. Para tanto existem laços indutivos no solo e uma faixa pintada de azul sobre eles. Quando os veículos param sobre essa faixa azul, colocada no asfalto próxima à faixa de pedestres, automaticamente o semáforo muda para verde, dando passagem as vias com menor tráfego (Folha de Londrina, 2018). Em Rio Claro os semáforos são acionados pela detecção de veículos por laços indutores colocados numa faixa azul próxima a

faixa de pedestres. Com isso, automaticamente o semáforo é acionado e muda para verde, dando passagem ao veículo detectado. Além da melhora na fluidez do trânsito o sistema tem um efeito na parte criminal, principalmente no período noturno, fazendo com que as pessoas não fiquem paradas no semáforo (G1 São Carlos e Araraquara, 2018).

No entanto, as cidades a seguir se utilizaram de sistemas de controle semafórico em tempo real, com implantações e resultados comprovados ao redor do mundo. Neste sentido podemos citar Belo Horizonte, que implantou o sistema de controle semafórico SCATS no principal eixo de conexão da cidade, onde existe grande fluxo de tráfego, principalmente, no início da manhã e no final da tarde. A tecnologia implantada tem detectores virtuais com câmeras de vídeo e permite alterar automaticamente os tempos de verde dos semáforos pela aproximação dos veículos nos cruzamentos. Segundo resultados dessa aplicação em diversos países, seu uso pode contribuir com o meio ambiente por meio da diminuição da emissão de gases em 7% e de consumo de combustível em 12% (Baguete, 2014). Porto Alegre utilizou a mesma tecnologia, o sistema adaptativo SCATS instalado numa importante avenida da cidade desde 2016, utiliza câmeras que medem o fluxo das vias e, em tempo real, para planejar os tempos de verdes dos semáforos. Além do sistema já utilizado, outros estão em análise para ampliar a instalação em outras vias da cidade (Prefeitura de Porto Alegre, 2016).

Por outro lado, Foz do Iguaçu implantou o sistema SCOOT usando fibra ótica para priorizar a abertura do semáforo por aproximação para ônibus, proporcionando mais agilidade e rapidez ao transporte coletivo. A utilização do dispositivo será estendida para viaturas do Samu e ambulâncias, evitando que os veículos tenham que avançar o sinal vermelho para dar passagem para as emergências (Portal da Cidade Foz do Iguaçu, 2017). Fortaleza também implantou o software SCOOT na área mais congestionada da malha viária de Fortaleza para promover uma gestão mais eficiente e eficaz dos deslocamentos viários. Detectores de demanda coletam dados do tráfego por meio de laços indutivos e os enviam a um computador que define os melhores tempos de verde para a área controlada (Medeiros, Luna & Loureiro, 2001). Enquanto em São Paulo a implementação dos semáforos inteligentes foi iniciada em 1996, alcançando 1256 semáforos, sendo que em dois quintos deles foi utilizada a tecnologia espanhola ITACA e em três quintos utilizou-se a tecnologia SCOOT, ambos com sensores físicos para detecção dos veículos. Atualmente os semáforos em tempo real não estão em funcionamento na capital paulistana. A cidade se utiliza de semáforos em tempos fixos (Vilanova, 2005).

Em Caxias do Sul, as câmeras detectam e analisam a passagem dos veículos com base na distância entre eles. Com isso, os tempos de verde e vermelho são calculados e definidos para garantir fluidez na circulação, a fim de evitar congestionamentos. Os equipamentos foram instalados para contribuir com a segurança após a análise de estudos de impacto de trânsito, realizados pelos varejistas locais. Essa medida evita que o condutor fique aguardando o semáforo, principalmente no período da noite (Prefeitura de Caxias do Sul, 2019). Em Salvador os semáforos implantados têm a capacidade de sincronizar os tempos de verde e vermelho, de forma automática, devido a seu sistema autoadaptativo, que permite em tempo real, adequar às condições de tráfego do momento com dados obtidos por meio de sensores (Prefeitura de Salvador, 2017).

7 Discussão

Pode-se notar que existem diferentes implementações efetuadas nas cidades brasileiras e, para tanto governos e departamentos responsáveis locais analisaram quais demandas eram prioritárias e quais deveriam ser atendidas por soluções tecnológicas, muito provavelmente combinadas com ações de planejamento urbano, de transportes e sociais aderentes à necessidade do local. As diferentes soluções adotadas pelas cidades, demonstram que existem alternativas para atender a necessidades distintas. Além disso, nota-se que existem diferentes

soluções utilizadas em uma mesma cidade, atendendo a necessidade das vias em que estão implementadas. Pode-se combinar conjuntos de semáforos utilizando sistemas em tempos fixos e outras áreas utilizando sistemas em tempo real. Segundo Cucci, 2016, os sistemas em tempos fixos configurados com os dados históricos, atendem muito bem desde que bem regulados e para sistemas não saturados, ou seja, que não apresentam má qualidade de operação.

Nas cidades onde os sistemas de controle semafórico foram instalados as motivações foram distintas; algumas priorizaram a segurança do condutor, efetuando a abertura do semáforo com mais agilidade, outras cidades buscaram priorizar pessoas com deficiência de locomoção e para tanto fornecendo mais tempo para a travessia dos pedestres, outras buscaram a melhoria no tráfego local, entre outras motivações. No entanto, grande parte das cidades busca contornar a rigidez dos semáforos e as ineficiências em atender às variações expressivas do trânsito nas vias, optando por soluções que atendam às mudanças em tempo real. Estas implementações buscam atender a comportamentos aleatórios no trânsito que não são resolvidas exclusivamente por dados de comportamentos histórico. Nesse sentido, os semáforos inteligentes se apresentam como uma solução eficaz e uma alternativa de resposta, em tempo real, para atender com flexibilidade e eficiência às alterações imprevisíveis de comportamento do tráfego, características do trânsito das metrópoles.

Outro ponto relevante observado nesta pesquisa, refere-se à qualificação “inteligente” sendo aplicada em equipamentos e sistemas que não têm as características técnicas apropriadas. O termo “semáforos inteligentes” tem sido usado de maneiras bastante diferentes e, conseqüentemente sua aplicabilidade e os seus resultados são desiguais. É importante contextualizar o que realmente se define como um semáforo inteligente, eles funcionam a partir da coleta de dados de tráfego em tempo real e envio automático das informações capturadas para um computador com processamento central, que as processa em tempo real, identificando os melhores tempos de verde para cada local da área controlada, ajustando as temporizações vigentes necessárias para atender a demanda de veículos. No entanto, algumas implementações rotuladas como semáforos inteligentes, se utilizam de laços indutores ou câmeras para detectar os veículos, assim como, a mudança para verde se realiza de maneira automática; porém eles não analisam a rede em que estão inseridos, e realizam a mudança de maneira isolada, sem garantir a sincronização da rede como um todo. Isso não significa que não existirão benefícios para o local implementado, mas não serão os mesmos obtidos pelos sistemas em tempo real.

Não existe um único sistema de controle semafórico, assim como não é possível definir um sistema como melhor do que o outro, as soluções devem atender à realidade e à demanda local para atingir os objetivos esperados.

8 Conclusão

Vários fatores contribuíram para os problemas de mobilidade urbana vivenciados atualmente. A urbanização acelerada e não programada no Brasil, a equivocada escolha do modal rodoviário como o principal modal utilizado pelas cidades, incentivo ao uso do automóvel, a desconexão entre o lugar de trabalhar e o lugar de morar, levam a impactos negativos e a uma insustentabilidade ambiental, econômica e social. Várias ações poderão propiciar melhoria nos deslocamentos e na gestão do tráfego e, sabidamente nenhuma delas poderá resolver o problema sozinha. Apenas a combinação de fatores e alternativas poderá ser eficaz na redução dos impactos da mobilidade urbana. Para tanto, são requeridas ações conjuntas nas esferas do planejamento urbano e de transportes, políticas públicas, ações de cunho social e de desenvolvimento sustentáveis, bem como a implementação de soluções tecnológicas. Somente com a orquestração dessas ações e com o envolvimento dos vários atores responsáveis, será possível proporcionar melhor qualidade nas questões relacionadas à mobilidade urbana.

Nesse sentido os sistemas tecnológicos vêm se posicionando como alternativas acessíveis, disponíveis e eficientes. A melhoria do sistema de tráfego não é encontrada apenas expandindo, reparando e construindo estradas, todo o sistema requer melhorias. Com o objetivo de mostrar respostas tecnológicas eficientes aos congestionamentos, o artigo explorou as soluções relacionadas aos sistemas de controle semafórico que se apresentam como uma alternativa para tornar a gestão do tráfego mais precisa.

Os governos e órgãos competentes devem agir para acomodar as rápidas mudanças no comportamento das vias, avaliando, dentre as soluções disponíveis, qual a mais adequada para a situação local. Pode-se observar diferentes soluções implementadas no Brasil e como o avanço tecnológico está presente e disponível em algumas cidades brasileiras, podendo ser mais explorado principalmente nas grandes capitais. Essa visão da realidade brasileira poderá ampliar as possibilidades de replicação do modelo em outras cidades com características ou demandas semelhantes. Temos implementações que se fizeram no passado e não funcionam mais, assim como existe uma exploração insipiente em cidades que padecem de problemas sérios de mobilidade e que poderiam se beneficiar pelo uso de sistemas de controle semafórico adequados.

Como sugestão para uma nova pesquisa, poderiam ser analisadas aplicações ao redor do mundo, assim como novas tecnologias, ampliando as opções possíveis de implementação, obtendo com isso benefícios para a mobilidade urbana. O futuro dos semáforos passa por interação com os próprios veículos, por meio de emissão de sinais e, também, pelos veículos autoguiados, que merecerão nova visão do controle de tráfego, pois estes foram elaborados a partir das reações dos seres humanos.

Referências

- Azeredo, L. E. (2014). Seis fatores essenciais para o sincronismo entre semáforos. Recuperado em 10 abril, 2020, de https://www.sinaldetransito.com.br/artigos/seis_fatores.pdf.
- Baguete. (2014). Digicon instala semáforos inteligentes em BH. Recuperado em agosto, 2019, de <https://www.baguete.com.br/noticias/06/01/2014/digicon-instala-semaforos-inteligentes-em-bh>.
- Banco Mundial. (2003). Cidades em Movimento: Estratégia de Transporte Urbano do Banco Mundial. São Paulo: Sumatra Editorial.
- Barczak, R. & Duarte, F. (2012). Impactos ambientais da mobilidade urbana: cinco categorias de medidas mitigadoras. Revista Brasileira de Gestão Urbana. Recuperado em setembro, 2020, de https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2175-33692012000100002.
- BBC News. (2019). A inteligência artificial pode acabar com os engarrafamentos? Recuperado em 10 abril, 2020, de <https://www.bbc.com/portuguese/vert-fut-46895407>
- Bonetti, W. Jr & Pietrantonio, H. (2006). Utilização de semáforos atuados pelo tráfego. Recuperado em 10 abril, 2020, de http://www.sinaldetransito.com.br/artigos/uso_e_parametrizacao_de_semaforos_atuados_%20pelo_trafego.pdf
- Brito, A., Regis, J., Henrique, M. & Guedes, T. (2018). Seminário de Semáforos Inteligentes. Universidade Federal de Campina Grande – Centro de Tecnologia e Recursos Naturais.
- Carvalho, C. H. R. (2016). Desafios da Mobilidade Urbana no Brasil. Recuperado em 10 abril, 2020, de http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/6664/1/td_2198.pdf.
- Confederação Nacional do Transporte (2009). Oficina Nacional: transporte e mudança climática. Brasília.
- Cucci, J., Netto. (2016). Semáforo: Ser ou não ser Inteligente? Uma comparação entre o controle semaforico em tempos fixos e o em tempo real. Recuperado em 15 outubro, 2018, de <http://www.cetsp.com.br/media/479737/nt243.pdf>.
- Cucci, J., Netto. (2018). Entrevista concedida a Eidy Regina Marcílio Cavalheiro. São Paulo.
- Dietrich, L. F. (2014). Estudo de viabilidade da implantação de semáforo com tempo variável conforme o tráfego na região de Caxias do Sul (Dissertação). Universidade de Caxias do Sul – Centro de Ciências Exatas e Tecnologia. Recuperado de <http://documents1.worldbank.org/curated/en/742541468329980326/pdf/24910a10portuguese1cities1on1the1move.pdf>
- ElEconomista. (2007). Telvent ayuda a mejorar la fluidez y movilidad de Ciudad de Panamá. Recuperado em setembro, 2020, de <https://www.eleconomistaamerica.com/empresas-finanzas/amp/264718/Telvent-ayuda-a-mejorar-la-fluidez-y-movilidad-de-Ciudad-de-Panama>

- Folha BV. (2018). Semáforo inteligente e volta da zona azul são soluções para o trânsito. Recuperado em agosto, 2019, de <https://folhabv.com.br/noticia/Semaforo-inteligente-e-volta-da-zona-azul-sao-solucoes-para-o-transito/40909>
- Folha de Londrina. (2018). Semáforos inteligentes ganham reforço na sinalização. Recuperado em agosto, 2019, de <https://www.folhadelondrina.com.br/cidades/semaforos-inteligentes-ganham-reforco-na-sinalizacao-998409.html>
- G1 Santa Catarina. (2019). Após conclusão da calibragem, sincronia dos semáforos entra em funcionamento em Florianópolis. Recuperado em agosto, 2019, de <https://g1.globo.com/sc/santa-catarina/noticia/2019/06/24/apos-conclusao-da-calibragem-sincronia-dos-semaforos-entra-em-funcionamento-em-florianopolis.ghtml>
- G1 São Carlos e Araraquara. (2018). Prefeitura de Rio Claro instala semáforo inteligente em 11 cruzamentos; veja locais. Recuperado em agosto, 2019, de <https://g1.globo.com/sp/sao-carlos-regiao/noticia/2018/09/17/prefeitura-de-rio-claro-instala-semaforo-inteligente-em-11-cruzamentos-veja-locais.ghtml>
- Levinson, D. (2018). How Australia's traffic signals favour drivers and discourage walking. Recuperado em 05 agosto, 2019, de <https://www.theguardian.com/cities/commentisfree/2018/jun/11/how-australias-traffic-signals-favour-drivers-and-discourage-walking>
- Magableh, A. A. A. R., Almakhadmeh, M. A., Alsrehin, N. & Klaib, A. F. (2020). Smart Traffic Light Management Systems: A Systematic Literature Review. *International Journal on Technology Diffusion*, 11(3).
- Martins, G. D. A., & Theóphilo, C. R. (2009). Metodologia da investigação científica. São Paulo: Atlas (cap. 5, pp. 52-82).
- Miranda, L. F. R., Angulo, S. C., & Careli, E. D. (2009). A reciclagem de resíduos de construção e demolição no Brasil: 1986-2008. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, 9(1), 57-71.
- Medeiros, F. das C., Luna, M. dos S. & Loureiro, C. F. G. (2001). Controle de tráfego em área de Fortaleza- CTAFOR: uma nova experiência na Gerência do Trânsito. Recuperado em agosto, 2019, de <http://www.sinaldetransito.com.br/artigos/CTAFOR-Uma-nova-experiencia-na-gerencia-do-transito.pdf>
- Ming, S. H. (1997). Uma breve descrição do Sistema SCOOT. Recuperado em 15 outubro, 2018, de <http://www.cetsp.com.br/media/20764/nt%20201%20revisado.pdf>.
- Netto, N. & Ramos, H. (2016). Estudo da Mobilidade Urbana no Contexto Brasileiro. *GeAs-Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade*, 6(2).
- Observatório das Metrôpoles. (2012). Relatório: Crescimento da frota de automóveis e motocicletas nas metrópoles brasileiras 2001-2011. - Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia. Recuperado em 10 setembro, 2019 de, <https://www.observatoriodasmetropoles.net.br/metropole-sem-automovel-e-possivel/>.
- Plano de Mobilidade de São Paulo. (2015). Prefeitura do Município de São Paulo- Secretaria Municipal de Transportes. Recuperado em 10 maio, 2020, de

https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/upload/chamadas/planmobsp_v072__1455546429.pdf

Portal da Cidade– Foz do Iguaçu. (2017). Foz adotará sistema de semáforos inteligentes. Recuperado em agosto, 2019, de <https://foz.portaldacidade.com/noticias/cultura/foz-adotara-sistema-de-semaforos-inteligentes>

Prefeitura de Caxias do Sul. (2019). SMTTM inicia teste em sistema de semáforos inteligentes com acompanhamento em tempo real. Recuperado em agosto, 2019, de <https://caxias.rs.gov.br/noticias/2019/07/smttm-inicia-teste-de-sistema-de-semaforos-inteligentes-com-acompanhamento-em-tempo-real>

Prefeitura de Porto Alegre. (2016). Prefeitura lança chamamento público para semáforos inteligentes. Recuperado em agosto, 2019, de <https://prefeitura.poa.br/eptc/noticias/prefeitura-lanca-chamamento-publico-para-semaforos-inteligentes>

Prefeitura de Salvador (2017). Semáforos inteligentes vão melhorar fluidez do tráfego em Salvador em tempo real. Secretaria de Comunicação. Recuperado em setembro, 2020, de <http://www.comunicacao.salvador.ba.gov.br/index.php/todas-as-noticias-4/49936-semaforos-inteligentes-vaio-melhorar-fluidez-do-trafego-em-salvador-em-tempo-real>

Prefeitura Municipal de Curitiba. (2015). Projeto de semáforos inteligentes de Curitiba ganha prêmio internacional. Recuperado em agosto, 2019, de

<https://www.curitiba.pr.gov.br/noticias/projeto-de-semaforos-inteligentes-de-curitiba-ganha-premio-internacional/38227>

RicMais (2016). Semáforos inteligentes: Você sabia que eles existem em Curitiba?

Recuperado em agosto, 2019, de <https://ricmais.com.br/videos/semaforos-inteligentes-voce-sabia-que-eles-existem-em-curitiba/>

Rodrigues, J. M. (2016). Mobilidade urbana no Brasil: crise e desafios para as políticas públicas. Recuperado em setembro, 2020, de https://www.observatoriodasmetropoles.net.br/wp-content/uploads/2020/05/Mobilidade-urbana_Juciano-Rodrigues.pdf

Rolnik, R. (2010). Quais são os desafios da mobilidade urbana no Brasil ? Recuperado em 10 abril, 2020 de <https://raquelrolnik.wordpress.com/2010/10/20/quais-sao-os-desafios-da-mobilidade-urbana-no-brasil/>

Saldiva, P. (2010). Meio ambiente e saúde: o desafio das metrópoles. Ex-Libris.

Superintendência Municipal de Transportes e Trânsito. (2018). Fluidez no trânsito: entenda o sistema de semáforos inteligentes que está sendo implantado.

Recuperado em agosto, 2019, de <http://www.smttaju.com.br/smtt/noticias/transito/3062-fluidez-no-transito-entenda-o-sistema-de-semaforos-inteligentes-que-esta-sendo-implantado>

- Taher, F., El-Sayed, A., Shouman, A. & El-Mahalawy, A. (2016). Comparing Different Techniques for Controlling Traffic Signals. *International Journal on Power Engineering and Energy*, 7(3).
- United Nations. (2018). *World Urbanization Prospects 2018*. United Nations - Department of Economic and Social Affairs, Population Dynamics.
- Vasconcelos, E. A. & Lima, I., M., O. (1998). IPEA- Quantificação das Deseconomias do Transporte Urbano: Uma Resenha das Experiências Internacionais. Recuperado em 30 maio, 2020, de https://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/TDs/td_0586.pdf
- Vilanova, L. M. (2005). O controle de semáforos em tempo real- a experiência de São Paulo. Recuperado em 15 outubro, 2018, de <http://www.cetsp.com.br/media/65265/bt38-%20o%20controle%20de%20semaforos%20em%20tempo%20real.pdf>.
- Yuki, H. S. (2008). Projeto de Controlador Inteligente para Semáforo. Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, SP, Brasil.