



II *Sustentare* – Seminário de Sustentabilidade da PUC-Campinas
V WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade
17 a 19 de novembro de 2020

O USO DE SEMÁFOROS INTELIGENTES NA MOBILIDADE URBANA SUSTENTÁVEL: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DE LITERATURA

Eidy Regina Marcílio Cavalheiro, Universidade Nove de Julho (Uninove), Programa de Pós-graduação em Cidades Inteligentes e Sustentáveis, eidycavalheiro@gmail.com

Cristiano Capellani Quaresma, Universidade Nove de Julho (Uninove), Programa de Pós-graduação em Cidades Inteligentes e Sustentáveis, quaresma.cristiano@gmail.com

Diego de Melo Conti, Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Centro de Economia e Administração, Programa de Pós-Graduação em Sustentabilidade, diego.conti@puc-campinas.edu.br

Resumo

O crescimento expressivo da população, particularmente nas áreas urbanas, é acompanhado pela restrição na mobilidade urbana, ocasionada por distintos fatores, dentre eles pelo aumento de veículos nas vias e os consequentes congestionamentos no tráfego. Este problema impulsiona a busca por soluções, em vários segmentos relacionados as políticas públicas, que permitam diminuir o tempo despendido no trânsito e os problemas decorrentes desta exposição. As soluções tecnológicas desempenham um papel fundamental nesse cenário, à exemplo das soluções relacionadas a controles semaforicos inteligentes por se apresentarem como uma alternativa eficiente para os problemas de mobilidade. Com a crescente evolução tecnológica surgem várias possibilidades de implementação que atendem de forma dinâmica às necessidades impostas pelo tráfego. Contudo, analisando a literatura existente, verifica-se que existem trabalhos acadêmicos que estudam o aumento do número de veículos nas vias e os impactos negativos gerados pelo congestionamento nas cidades, porém, ainda se verifica uma literatura escassa quando se tratam de soluções tecnológicas para o problema de congestionamento. Nesse sentido, este artigo fornece uma revisão sistemática de literatura relacionada a semáforos inteligentes para identificar quais soluções são viáveis no atendimento às demandas características de cada região e que possam servir de insumo na elaboração de políticas públicas. Como resultado da pesquisa foi encontrada uma concentração de estudos realizados na Ásia, aproximadamente 43%, sendo que a Índia representa 15% do total das publicações. Os estudos selecionados abordam prioritariamente temas como a utilização de sensores, câmeras e Internet das coisas (*IoT*) como forma de detecção do volume e densidade do tráfego e estratégias distintas na elaboração dos algoritmos que, baseado nas condições do tráfego, fornecerão os melhores tempos de verde aos semáforos.

Palavras-chave: Sensores, Câmeras, Processamento de Imagens, Internet das Coisas (*IoT*), Tempo real

1. Introdução

Entre os anos de 1950 e 2018, a população urbana mundial cresceu mais de quatro vezes, passando de 0,8 bilhões para 4,2 bilhões de pessoas (UNITED NATIONS, 2018). Ademais,



II *Sustentare* – Seminário de Sustentabilidade da PUC-Campinas
V WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade
17 a 19 de novembro de 2020

Kniess et al. (2019) destacam que em 2030, mais de 60% da população global viverá em cidades, podendo chegar a um total de 6,7 bilhões de pessoas vivendo em áreas urbanas em 2050 (RITCHIE e ROSER, 2018).

É sabido que o desenvolvimento urbano se associa com a melhoria da qualidade de vida das pessoas, contudo, o crescimento urbano desordenado, insustentável e que não seja acompanhado pelo devido planejamento, afeta as esferas ambientais, sociais e econômicas (ARAÚJO e CANDIDO, 2014). Assim sendo, as cidades ao mesmo tempo que geram impactos negativos no ambiente, podem ser as protagonistas de um processo de transformação para o desenvolvimento sustentável (CONTI et al., 2019).

Dentre os problemas gerados pela alta concentração de pessoas em áreas urbanas, interessa, ao presente estudo, aqueles relacionados com a restrição da mobilidade urbana, e mais especificamente com problemas de trânsito, em função do aumento significativo no número de veículos ocorrido nos diferentes países do mundo. Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), enquanto a população mundial aumentou 4% de 2010 a 2013, o número de veículos motorizados teve um aumento de 16% no mesmo período, alcançando em 2014 o expressivo volume de 64 milhões de veículos de passageiros novos nas vias em todo o mundo (OMS, 2015).

A busca por soluções para tornar o sistema de tráfego mais eficiente tem se tornado cada vez mais frequente, não se restringindo a alternativas relacionadas à infraestrutura, como expansão, adequação e construção de novas vias. Pensando na mobilidade como uma questão que necessita de planejamento mais amplo relacionando além da infraestrutura, transporte público, acessibilidade, questões sociais, entre outras ações, as políticas públicas precisam ser sistêmicas, para que as condições de deslocamento satisfaçam as necessidades da população (FUNDAÇÃO INSTITUTO DE ADMINISTRAÇÃO, 2018).

Medidas de incentivo e desenvolvimento de transporte coletivo e transportes não motorizados são percebidas, porém existem outras alternativas que podem contribuir com a redução dos problemas de mobilidade urbana existentes e que podem se somar a tais medidas, merecendo, portanto, maiores estudos. Dentre tais alternativas, se destacam os sistemas semafóricos, os quais se constituem componentes fundamentais para a melhor gestão do trânsito atual (MAGABLEH, ALMAKHADMEH, ALSREHIN e KLAIB, 2020).

Nesse sentido, estes sistemas têm sido considerados nos planos de mobilidade urbana à exemplo do plano de São Paulo (PLANO DE MOBILIDADE DE SÃO PAULO, 2015). Tais sistemas se apresentam como uma alternativa para a melhoria da mobilidade urbana, tendo em vista se tratar de uma solução tecnológica capaz de contribuir para o melhor entendimento das mudanças de demanda e de densidade do tráfego provocadas pelo aumento do número de veículos automotores nas vias (CUCCI, 2016).

Com isso, o objetivo deste artigo é apresentar o estado da arte das soluções de controle semafóricos inteligentes desenvolvidas para atender à demanda variável das cidades, servindo de subsídio para a definição de políticas públicas relacionadas à mobilidade urbana.

Tal estudo se justifica, uma vez que existem trabalhos acadêmicos que analisam o aumento do número de veículos nas vias e os impactos negativos gerados pelo congestionamento



II *Sustentare* – Seminário de Sustentabilidade da PUC-Campinas
V WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade
17 a 19 de novembro de 2020

nas cidades, porém, quando se tratam de soluções tecnológicas para o problema de congestionamento, ainda se verifica uma lacuna na literatura existente.

Por se tratar de uma revisão sistemática de literatura, além da presente introdução, o artigo está estruturado pela seção de metodologia contendo informações sobre o método utilizado para identificação dos artigos incluídos na análise, seguida pela seção de resultados, na qual são categorizados e discutidos os artigos e, finalmente, pela seção de conclusões, bem como pelas referências bibliográficas utilizadas.

2. Metodologia

A pesquisa foi realizada por meio de uma revisão sistemática de literatura estruturada, para analisar o estado da arte sobre as tecnologias adotadas para a implementação de semáforos inteligentes. Ao se basear em processo estruturado e transparente, a revisão sistemática permite maior impessoalidade por parte do pesquisador e a abordagem não ideológica do problema (THORPE et al., 2005; TRANFIELD e DENYER 2009).

Nesse sentido, utilizou-se a base de dados SCOPUS (<https://www.scopus.com>), aplicando-se a *string* de busca “*smart traffic light*”. Torna-se importante mencionar que foram considerados os estudos em que o termo “*smart traffic light*” apareceu de forma integral, desconsiderando-se, portanto, no âmbito do presente artigo, trabalhos em que aparecem apenas parte da *string* de busca indicada.

A pesquisa foi realizada no período de agosto de 2020 a outubro de 2020, tendo como resultado da aplicação da *string* “*smart traffic light*” na base Scopus, 104 estudos primários. Sobre este resultado primário foram lidos e analisados todos os títulos, resumos e fontes de pesquisa e, a partir do resultado obtido, foram aplicados critérios de inclusão (CI) e exclusão (CE), considerando os seguintes critérios relevantes para a pesquisa:

- Critérios de Inclusão dos estudos:
 - CI1: Título claramente relacionado com tráfego inteligente
 - CI2: Conteúdo relacionado a semáforos inteligentes (em tempo real)
 - CI3: Conteúdo relacionado a soluções em tempo real
 - CI4: Objetivo do estudo redução de congestionamento
 - CI5: Conteúdo relacionado a Sensores incluindo Câmeras e *IoT*
 - CI6: Estudos comparativos entre semáforos tradicionais e semáforos inteligentes

- Critérios de Exclusão dos estudos:
 - CE1: Não relacionado a semáforos inteligentes
 - CE2: Consta de revistas ou eventos de baixo impacto



II *Sustentare* – Seminário de Sustentabilidade da PUC-Campinas
 V WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade
 17 a 19 de novembro de 2020

CE3: Detalhamento de algoritmos, tornando o estudo extremamente técnico

A identificação dos artigos detalhados na seção de Resultados passou por dois ciclos de análise, selecionando primeiramente 45 artigos e, por fim, após a leitura integral dos mesmos e a aplicação dos critérios de Inclusão e Exclusão restaram 22 artigos, os quais foram categorizados por temas e analisados mais profundamente.

3. Resultados

Esta seção apresenta estudos relacionados aos Semáforos Inteligentes. As características da produção da pesquisa foram examinadas utilizando dados selecionados na pesquisa. São apresentados na sequência a tendência histórica das pesquisas, as áreas geográficas em que se realizaram, assim como os focos de pesquisa.

3.1 Tendência histórica

De acordo com as publicações encontradas nessa base de dados, a pesquisa relacionada a semáforos inteligentes não foi ativa até meados de 2014, quando o volume começa a se intensificar, com 10 publicações, como representado na Figura 1.

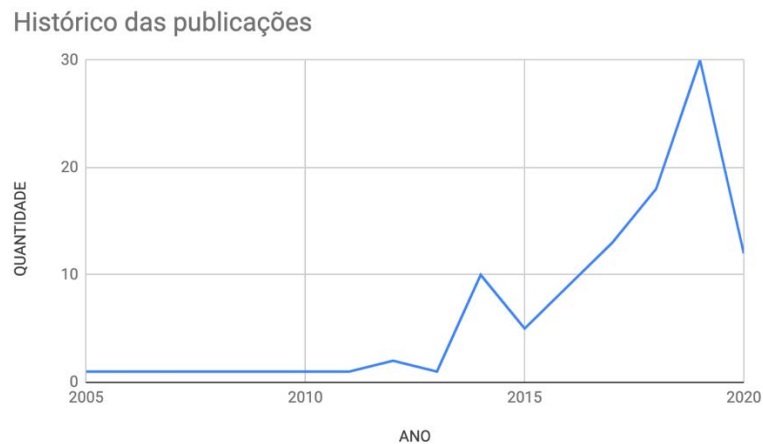


Figura 1: Ocorrência de estudos por ano.

Fonte: Produzido pelos autores.

No entanto, as publicações começaram a crescer em 2017, alcançado, em 2019, um aumento de 200% no volume de pesquisas se comparado a 2014 (30 vs 10). Aproximadamente 70% das pesquisas estão concentradas nos últimos 4 anos (2017 a 2020), podendo isso ser atribuído por um lado pelo fato dos semáforos inteligentes serem vistos como uma das soluções possíveis para mitigar o impacto dos congestionamentos, da crise de mobilidade e pelo tema de



II *Sustentare* – Seminário de Sustentabilidade da PUC-Campinas
 V WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade
 17 a 19 de novembro de 2020

Cidades Inteligentes tomarem mais força (PALSA, VOKOROKOS, CHOVANCOVA e CHOVANEC, 2019) e por outro lado, em função do desenvolvimento tecnológico no setor de Sistemas de Controle de Tráfego.

Importante observar que os dados foram coletados em agosto de 2020; com isso a quantidade de publicações de 2020 refere-se a 9 meses.

3.2 Padrões Geográficos

A literatura selecionada tem uma dispersão em todo o mundo, porém como apresentado na Figura 2, os estudos foram realizados predominantemente na Ásia (aproximadamente 43%), seguido pela Europa (25%) e a América do Norte com o terceiro maior número de estudos (11,3%). Somados esses estudos representam aproximadamente 80% do total das publicações desta pesquisa.

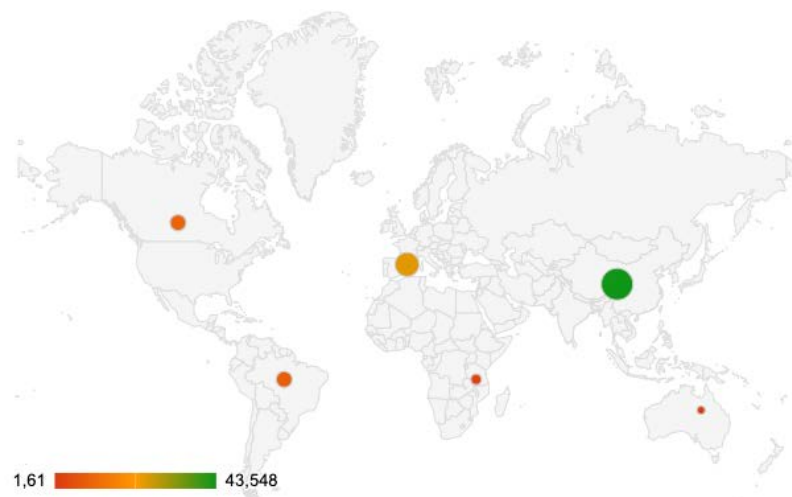


Figura 2: Distribuição geográfica dos estudos.
 Fonte: Produzido pelos autores.

Aprofundando a análise geográfica, podemos constatar a distribuição dos estudos baseada nos países, representada na Figura 3. Nesse sentido, a Índia se destaca como o país que mais ativamente estudou o tema de Semáforos Inteligentes. Dos 104 estudos selecionados a Índia se destaca com 16 artigos, sendo que em segundo lugar estão os Estados Unidos e a Itália, ambos com 7 estudos cada.



II *Sustentare* – Seminário de Sustentabilidade da PUC-Campinas
 V WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade
 17 a 19 de novembro de 2020

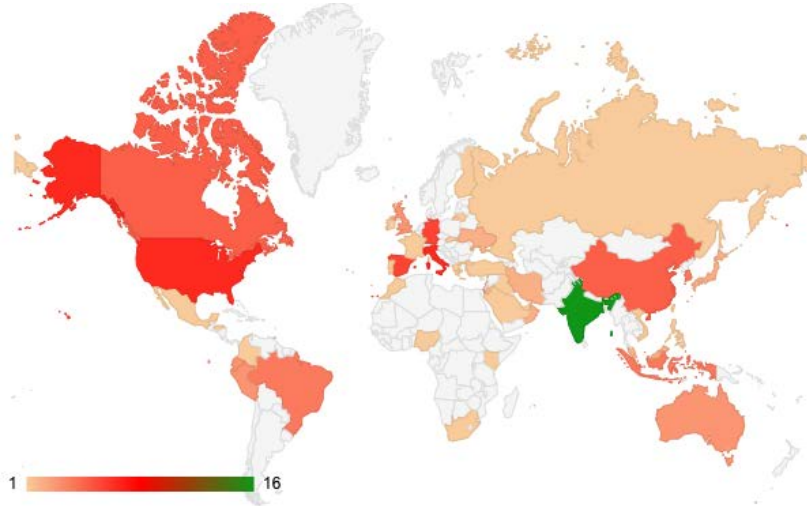


Figura 3: Distribuição dos estudos por países.
 Fonte: Produzido pelos autores.

É possível inferir como provável a hipótese de que a Índia, sendo o segundo país mais populoso do mundo, com uma população ainda em crescimento, realize mais estudos buscando alternativas para mitigar o impacto gerado pelos congestionamentos do tráfego. Segundo Kataria e Rani (2019), o trânsito na Índia é caótico e não baseado em faixas de tráfego, agravando ainda mais o congestionamento, resultando em mais desperdício de recursos ambientais, sociais e econômicos.

3.3 Descobertas das pesquisas

Por análise de conteúdo, a revisão sistemática em relação aos semáforos inteligentes cobriu uma ampla gama de temas, podendo ser categorizada em 6 principais, a saber: Câmeras e processamento de imagens, Computação móvel, *IoT*, *Lógica Fuzzy*, *Machine Learning* e Sensores. Alguns artigos discutiram mais de um tema identificado, mas a classificação foi realizada considerando os principais interesses de pesquisa. A Tabela 1 apresenta a distribuição das publicações por período e identificadas por temas de pesquisa e autores.



II Sustentare – Seminário de Sustentabilidade da PUC-Campinas
 V WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade
 17 a 19 de novembro de 2020

Autores	Ano	Tema
Serrano Á., Conde C., Rodríguez-Aragón L.J., Montes R., Cabello E.	2005	Câmeras- Processamento imagens
Kanungo A., Sharma A., Singla C.	2014	
Kataria P., Rani A.	2019	
Munst W., Dannheim C., Mäder M., Gay N., Malnar B., Al-Mamun M., Icking C.	2015	Computação móvel
Ameddah M.A., Das B., Almhana J.	2018	
Al-qutwani M., Wang X.	2019	
Alkhatib A.A.A., Sawalha T.	2020	
Miz V., Hahanov V.	2014	
Lin Y.-Q., Li M., Chen X.-C., Fu Y.-G., Chi Z.-W.	2016	IoT
Nor R.F.A.M., Zaman F.H.K., Mubdi S.	2017	
Bui K.-H.N., Jung J.E., Camacho D.	2017	
El Hassak I., Addaim A.	2019	
Razavi M., Hamidkhani M., Sadeghi R.	2019	
Frank A., Khamis Al Aamri Y.S., Zayegh A.	2019	
Sangster N., Persad P., Duncan D.	2009	Lógica Fuzzy
Hartanti D., Aziza R.N., Siswipraptini P.C.	2019	Machine Learning
Natafqi M.B., Osman M., Haidar A.S., Hamandi L.	2019	
Ghazal B., Elkhatib K., Chahine K., Kherfan M.	2016	Sensores
Nguyen-Ly T.T., Tran L., Huynh T.V.	2019	
Palsa J., Vokorokos L., Chovancova E., Chovanec M.	2019	
Manasi P.S., Nishitha N., Pratyusha V., Ramesh T.K.	2020	
Alaidi A.H.M., Aljazaery I.A., AlRikabi H.T.S., Mahmood I.N., Abed F.T.	2020	

Tabela 1: Distribuição das publicações selecionadas

Fonte: Produzido pelos autores

Com base na Tabela 1, pode-se notar que os artigos selecionados tiveram maior concentração nos temas de “IoT” e “Sensores”, representando respectivamente 32% e 23% (valores aproximados), seguido pelos demais temas, conforme Figura 4. Detalhes adicionais contendo a relação dos 104 estudos identificados na pesquisa encontram-se no Apêndice I deste artigo.

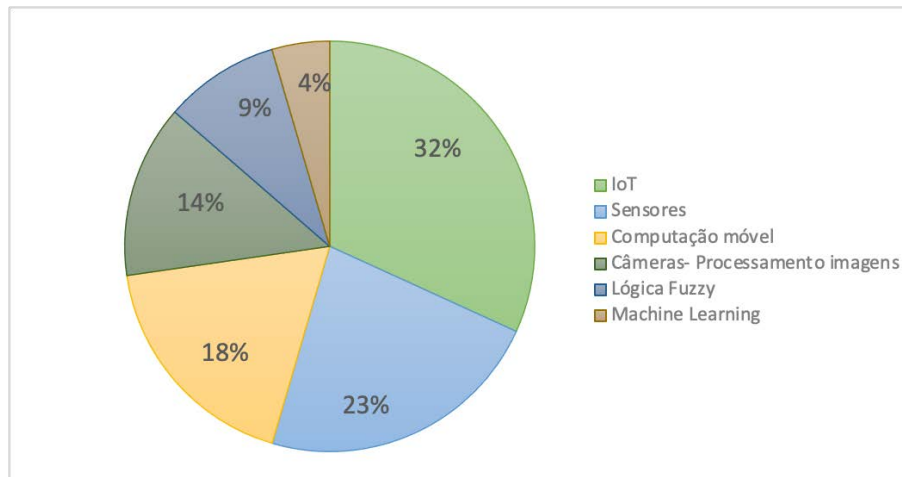


Figura 4: Concentração dos temas



II *Sustentare* – Seminário de Sustentabilidade da PUC-Campinas
V WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade
17 a 19 de novembro de 2020

Fonte: Produzido pelos autores

A seguir serão apresentadas as visões dos pesquisadores, agrupadas pelas temáticas definidas na análise de conteúdo.

3.4 Visão dos Pesquisadores

3.4.1 Câmeras

Serrano, Conde, Rodríguez, Montes e Cabello (2005), apresentam em seu estudo o uso de câmeras e análise de imagens para a tomada de decisões, em tempo real, nos semáforos inteligentes, particularmente para atender com agilidade a travessia de pedestres. Esses sistemas são capazes de captar a presença ou ausência de veículos e pedestres, assim como suas trajetórias e determinar a duração da luz verde para adaptá-la à necessidade do usuário. O foco principal nesse caso não é a otimização do tráfego, mas sim a segurança dos pedestres, em função da maior ocorrência de acidentes e problemas próximos aos cruzamentos (NATIONAL CENTER FOR STATISTICS AND ANALYSIS OF THE NATIONAL HIGHWAY TRAFFIC SAFETY ADMINISTRATION, 2004).

Kanungo, Sharma e Singla (2014), abordam um sistema que consiste de câmeras de vídeos instaladas sobre os semáforos, nos cruzamentos, conforme Figura 5. Essas câmeras capturam e transmitem as imagens para servidores que processam ao vivo os vídeos e imagens obtidos, identificando a densidade de veículos e empregando um algoritmo para alterar a temporização dos semáforos, em função da real necessidade.





II *Sustentare* – Seminário de Sustentabilidade da PUC-Campinas
V WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade
17 a 19 de novembro de 2020

Figura 5: Câmeras instaladas nos semáforos

Fonte: Kanungo, Sharma e Singla (2014)

Diferentemente de outros sistemas, os cálculos não são feitos pela quantidade de veículos, mas pela densidade do veículo, o que determina, por exemplo, que um caminhão com densidade maior, equivale a dois carros e precisará de mais tempo que um veículo normal para atravessar o cruzamento. Segundo os autores, a solução reduz o congestionamento de tráfego e os atrasos indesejados, pois funciona dinamicamente se adaptando ao tráfego em tempo real e tem custos de instalação e manutenção muito menores se comparados com os sensores intrusivos e os sensores infravermelhos. Na maioria dos casos os custos são insignificantes ou até mesmo inexistentes, porque se utilizam de equipamentos que já estão disponíveis nas vias, as câmeras de segurança.

Kataria e Rani (2019), assim como Kanungo, Sharma e Singla (2014) trazem em seu artigo um sistema de classificação de imagens em tempo real, calculando por meio de processamento de vídeo ao vivo, a densidade do tráfego e o número de veículos, utilizando um algoritmo para tomada de decisão sobre a duração dos tempos de verde do semáforo. Porém, neste estudo é considerado o número de veículos para cálculo dos tempos de verde. Adicionalmente Kataria e Rani (2019), disponibilizaram na solução apresentada uma unidade de controle para lidar com situações críticas e de emergência, gerando interrupções manuais. Segundo os pesquisadores, a tecnologia adotada não gera nenhum custo extra de hardware envolvido, pois se utiliza de câmeras já instaladas no cruzamento. Nesse sentido, o custo seria do software de processamento de imagens. Em testes realizados, comparando com as soluções a tempo fixo (calculada a partir de dados históricos) esta solução se mostrou mais eficiente, com menor tempo médio de espera em 75% das situações.

3.4.2 Computação Móvel

Munst, Mäder, Gay, Malnar, Al-Mamun e Icking (2015) fizeram uso na sua pesquisa de tecnologias inovadoras no campo da comunicação, ciência da informação e posicionamento para estudar um sistema de controle de tráfego altamente automatizado, considerando sobretudo as informações. O sistema considera veículos autônomos e semi-autônomos, não se utilizando de sensores nos cruzamentos, mas fazendo uso de redes móveis e tecnologia de posicionamento, trocando informações bidirecionais entre veículos e infra-estrutura. Isso permitirá que um cruzamento de tráfego inteligente, com semáforos virtuais, tenha controladores de gerenciamento de tráfego em nuvem que recebe e processa os dados dos veículos (localização geográfica, velocidade direção) e devolva mensagens de recomendação para os veículos, resolvendo conflitos e definindo a velocidade.

Segundo os pesquisadores um modelo de cruzamento com essas características é apresentado na Figura 6, onde os veículos colaboram uns com os outros e compartilham informações entre si, como: a identificação do veículo, tamanho, posição e velocidade, faixa de entrada e destino, plano de direção calculado e sinal de emergência.



II *Sustentare* – Seminário de Sustentabilidade da PUC-Campinas
 V WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade
 17 a 19 de novembro de 2020

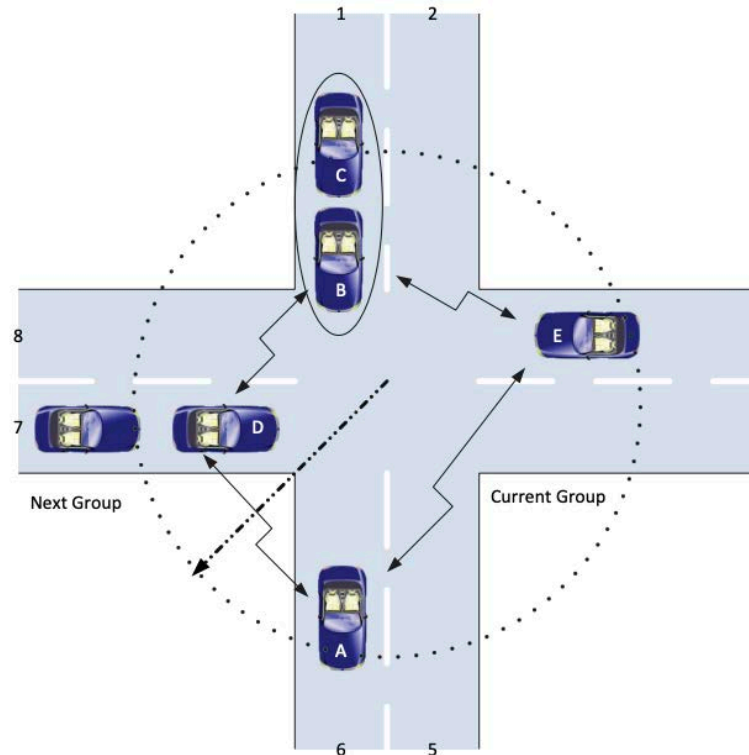


Figura 6: Modelo de intersecção considerado no estudo

Fonte: Munst, Mäder, Gay, Malnar, Al-Mamun e Icking (2015)

Para tanto a comunicação e o posicionamento devem ser extremamente precisos e confiáveis, garantindo uma travessia do cruzamento segura e adequada. Para mitigar esse risco, foram consideradas redundância dos controladores em caso de falha e a aplicação dos conceitos foram aplicados em regiões com pouca mobilidade.

Ameddah, Das e Almhana (2018) utilizam em seu estudo para sistema de semáforo inteligente a rede veicula ad hoc (VANET) baseado em prioridade, fazendo com que os veículos de maior prioridade passem pela intersecção antes dos veículos de menor prioridade. Para calcular o tempo de espera do veículo são considerados vários parâmetros, como distância da intersecção, densidade de veículos e prioridade. Segundo os pesquisadores, o resultado da simulação demonstrou melhores resultados utilizando este algoritmo.

Al-qutwani e Wang (2019) também utilizam em sua pesquisa as redes VANET para gerenciar o tráfego do cruzamento, porém com uma nova arquitetura baseada em nome do conteúdo chamada rede de dados nomeados (NDN). O sistema substitui os sistemas convencionais por um sistema digital inteligente. Neste caso os semáforos físicos nos cruzamentos são substituídos por semáforos virtuais que funcionam em conjunto com uma unidade de processamento localizada ao lado da estrada, coletando os pedidos dos veículos para atravessar o cruzamento. Depois de processar os pedidos esse "tipo" de controlador, ao invés de emitir um sinal de luz,



II *Sustentare* – Seminário de Sustentabilidade da PUC-Campinas
V WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade
17 a 19 de novembro de 2020

envia uma mensagem de resposta para cada um dos veículos aprovando ou rejeitando o pedido de passagem. Esta solução é adequada para veículos autônomos e, segundo os pesquisadores, se mostrou eficiente para o tráfego.

Alkhatib e Sawalha (2020) apresentam em sua pesquisa diferentes métodos para otimização de tráfego baseados nas tecnologias utilizadas para implementá-los, a saber: semáforos inteligentes e semáforos virtuais. O Sistema de semáforo inteligente utiliza distintos métodos de aplicação, destacando: a. algoritmo genético- baseado na teoria da seleção natural e evolutiva, renova constantemente as decisões; b. redes neurais- algoritmo não linear com propriedade de adaptação; c. lógica fuzzy- funciona semelhante às mentes humanas, processa informações coletadas em tempo real e obtém resultados relevantes. Todos esses métodos foram submetidos a simulações e obtiveram resultados positivos de otimização de fluxo de tráfego, porém eles requerem muitos recursos de computação e processamento. Além disso, apesar de trazer bons resultados, o custo de instalação, manutenção e operação dos semáforos inteligentes são altos.

Com isso, os pesquisadores focaram seus esforços no desenvolvimento de semáforos virtuais (*VTL*), aproveitando a era das cidades inteligentes, *IoT*, modelos de comunicação de Veículos com tudo (*V2X*). Segundo os pesquisadores, *VTL* é a principal tendência de otimização de tráfego, utilizando as diferentes opções existentes: a. Veículo para Veículo (*V2V*)- a tecnologia dispensa a infraestrutura nos cruzamentos, os veículos se comunicam entre si, e um deles, o líder, gerencia os demais (representado pela Figura 7); b. Veículo para a rede (*V2N*) - os veículos enviam dados para processamento em nuvem e retorno é realizado para o controlador de tráfego (representado pela Figura 8); c. Veículo para infraestrutura (*V2I*)- os dados são coletados por equipamentos que se encontram na via e se comportam como um controlador de tráfego, processando e retornando a informação para cada veículo do cruzamento (representado pela Figura 9).



Figura 7: Veículo para veículo (V2V)



II *Sustentare* – Seminário de Sustentabilidade da PUC-Campinas
V WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade
17 a 19 de novembro de 2020

Fonte: Alkhatib e Sawalha (2020)

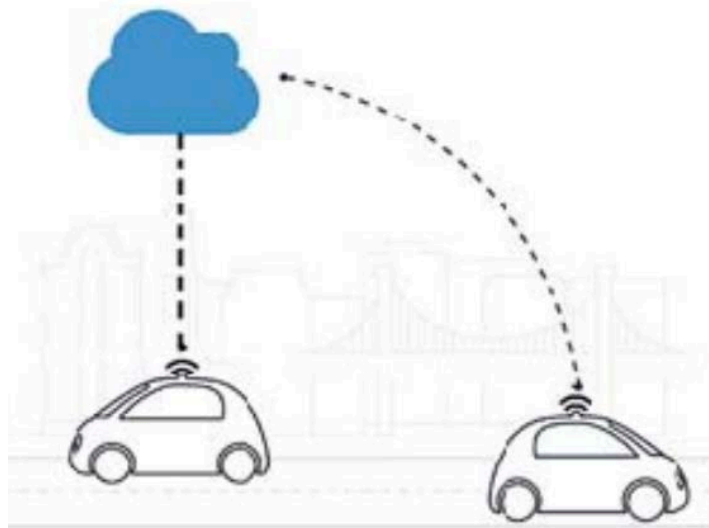


Figura 8: Veículo para rede (V2N)

Fonte: Alkhatib e Sawalha (2020)

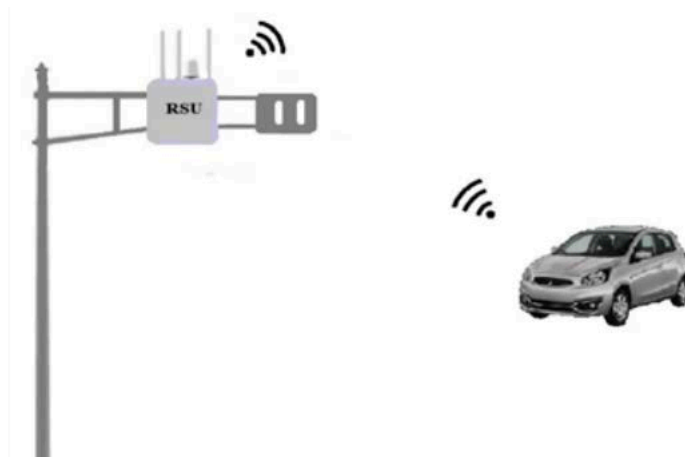


Figura 9: Veículo para infraestrutura (V2I)

Fonte: Alkhatib e Sawalha (2020)

3.4.3 IoT



II *Sustentare* – Seminário de Sustentabilidade da PUC-Campinas
V WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade
17 a 19 de novembro de 2020

Segundo Mocnej, Seah, Pekár e Zolotová (2018) a Internet das coisas (*IoT*) é um paradigma altamente discutido voltado para conectar dispositivos do dia a dia à Internet. Ela fortalece os sistemas tendo a capacidade de controlar e sentir o ambiente ao nosso redor.

Miz e Hahanov (2014) trazem em seu artigo a necessidade de não se restringir a conectar dispositivos e sistemas, permitindo a ampliação das conexões as coisas que cercam as pessoas no seu dia a dia, utilizando para tanto a *IoT*. Por meio da *IoT* e *Big Data* o processamento e análise de grandes quantidades de dados capturados por sensores em tempo real, se torna possível. Os semáforos inteligentes integrados à *IoT* como parte do Sistema de Gestão de Tráfego Cognitivo (*CTMS*) possibilitam maior eficiência nas vias e na gestão do tráfego, com a análise constante dos dados obtidos dos veículos, sensores rodoviários e dados de usuários.

Para Lin, Li, Chen, Fu e Chi (2016), os semáforos inteligentes combinam a tecnologia existente com inteligência artificial para definir tempos de verde para os semáforos. Tendo como objetivo a redução do tempo de espera do veículo e a redução do congestionamento do tráfego, a estratégia proposta no estudo se baseia na prioridade e no fluxo de tráfego previsto que é obtido do *Belief Rule Base (BRB)*. Em função da precisão do seu raciocínio, esse sistema pode prever o fluxo futuro baseado em dados históricos de fluxo de tráfego. Nesse sentido, o fluxo de tráfego considera o tráfego em tempo real no momento anterior e o fluxo previsto neste momento, baseado em *BRB* e tem menores tempos de espera se comparados com os semáforos a tempo fixo em aproximadamente 46% (este estudo precisa analisar o tráfego em rede, nele foi avaliado um único cruzamento).

Nor, Zaman e Mubdi (2017) focam sua pesquisa numa solução que utiliza vários sensores para calcular o número de veículos e detectar a presença de pequenos veículos como motocicletas e bicicletas, apresentada na Figura 10. Segundo os autores, o sistema utilizando um único sensor não é eficiente porque em horário de pico só indicará a presença de um veículo. Utilizando tecnologia de rádio frequência permite a comunicação a longas distâncias, com consumo mínimo de energia. Todos os sensores podem ser acessados por meio da frequência de rádio em um raio de 15 quilômetros. Este modelo baseado em leitura de sensores, transmitirá os registros de dados via Wi-Fi para armazenamento e processamento em nuvem do algoritmo que identificará as vias com maior número de veículos e que, portanto, necessitam de mais tempo de verde.

A tecnologia é de baixo custo e tem comunicação bidirecional segura para *IoT*, máquina a máquina e suas implementações são viáveis em Cidades Inteligentes (NOR, ZAMAN e MUBDI, 2017).

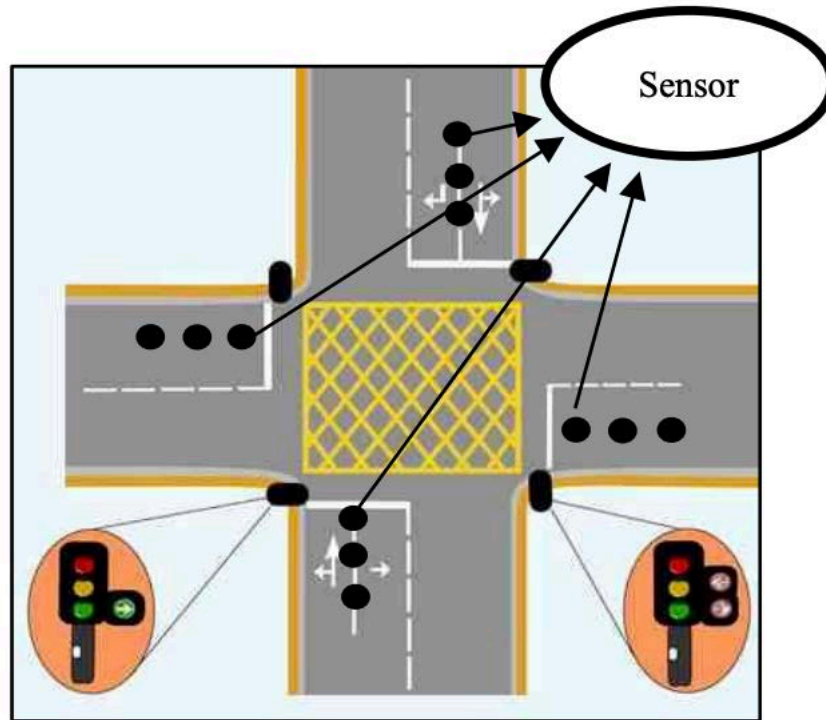


Figura 10: Modelo de instalação de múltiplos sensores considerada no estudo
Fonte: Nor, Zaman e Mubdi (2017)

Bui, Jung e Camacho (2017) atribuem em seu estudo que os dispositivos *IoT* e os fluxos de dados gerados por eles estão gerando uma revolução na análise em tempo real. Com eles, os controladores de tráfego têm mais informações sobre o fluxo de tráfego, propiciando uma melhor tomada de decisão. Buscando minimizar o tempo de espera nos cruzamentos, Bui et al. (2017) fazem um estudo baseado num sistema de controle semafórico e dados transmitidos por dispositivos *IoT* conectados. Por exemplo, veículos conectados ou sensores localizados nas estradas coletam informações em tempo real e, com base nos dados transmitidos pelos veículos conectados, são executados algoritmos para melhorar o fluxo de tráfego aplicando a teoria dos jogos. Para tanto, como representado na Figura 11, sensores identificam o movimento dos veículos em direção a intersecção e uma estação celular permite a comunicação entre veículos controladores. A partir da densidade de veículos o controlador decide o tempo de verde que será dado para aquela intersecção.

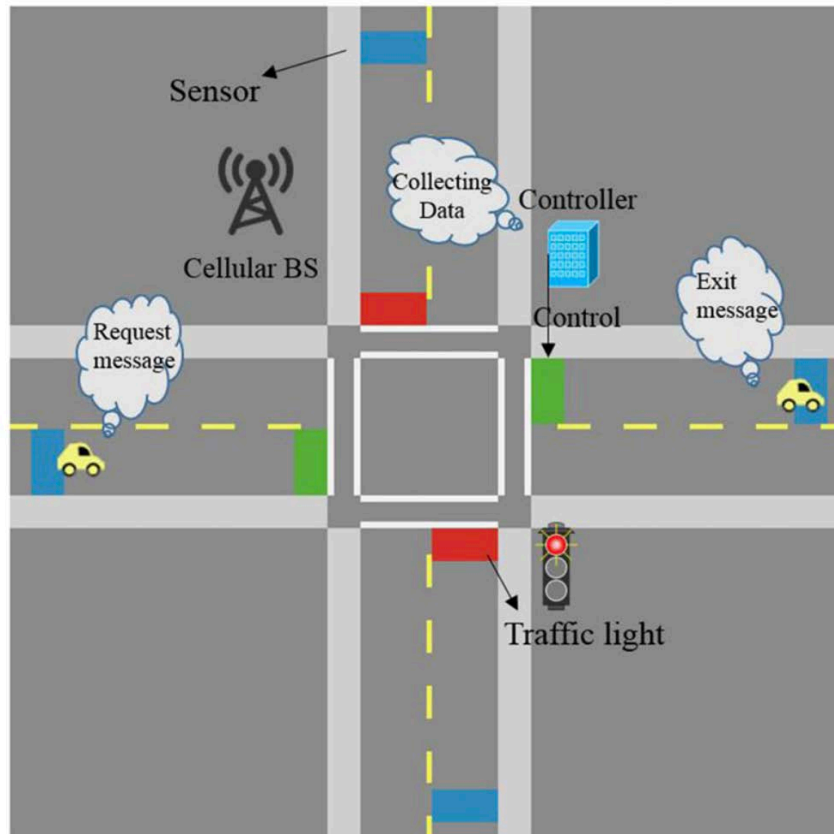


Figura 11: Arquiteturas de objetos conectados ao tráfego

Fonte: Bui, Jung e Camacho (2017)

Para tanto, são utilizados algoritmos denominados Teoria Algorítmica dos Jogos com base na Internet das Coisas (*AGT-IoT*) para minimizar o tempo de espera dos veículos nos cruzamentos, baseado na tomada de decisão dinâmica. O fator mais importante para determinar a duração das luzes verdes é o número de veículos que chegam ao cruzamento (BUI, JUNG e CAMACHO, 2017); estes serão identificados por meio do recebimento de mensagens dos veículos quando chegam à área de interseção.

Adicionalmente o sistema faz distinção entre dois tipos de veículos, não prioritários e prioritários; estes últimos, quando detectados, terão sua passagem agilizada nos cruzamentos.

El Hassak e Addaim (2019) apresentam em seus estudos uma solução integrando *IoT*, *Big Data*, *Machine Learning* e *Closed Circuit TeleVision (CCTV)* para a otimização dos sistemas de gerenciamento de tráfego. A associação das técnicas de *IoT* e *Big Data*, segundo os pesquisadores, tem se mostrado bastante efetiva, pois os dados coletados sobre os níveis de tráfego em tempo real são volumosos e o *Big Data* possui técnicas para organizar, classificar e processar grandes volumes de dados, possibilitando a tomada de decisão para melhoria do fluxo de tráfego dos veículos.



II *Sustentare* – Seminário de Sustentabilidade da PUC-Campinas
V WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade
17 a 19 de novembro de 2020

Para tanto, os dados são coletados por dois sensores colocados nas vias, separados por uma distância predefinida, determinando o número de veículos que entram e saem de um cruzamento. Além destes, outros sensores (*IoT*) coletam dados, assim como os semáforos. Com isso, o processamento desses dados é realizado e novos parâmetros de configuração de luzes são enviados para o controlador de tráfego.

Adicionalmente, os pesquisadores desenvolveram algoritmos de *Machine Learning* que processam e analisam as imagens coletadas pelas câmeras para determinar a ocorrência de acidentes, informando os agentes para as devidas tomadas de decisão.

Razavi, Hamidkhani e Sadeghi (2019) desenvolveram um método de controle de semáforo usando *IoT* e processamento de imagem e vídeo coletados das vias. A programação dos semáforos, determinando o tempo de verde é executada por dois modelos distintos, utilizando a demanda de veículos e o número de veículos.

O modelo que utiliza exclusivamente a demanda de veículos se baseia nas imagens capturadas de todas as direções das vias das condições de tráfego em cada cruzamento, como representado na Figura 12. O processamento das imagens é realizado comparando as imagens entre si e identificando o percentual de sobreposição entre elas. A direção da via que tiver menor sobreposição, tem trânsito mais alto e o algoritmo determina dinamicamente maior tempo de verde.

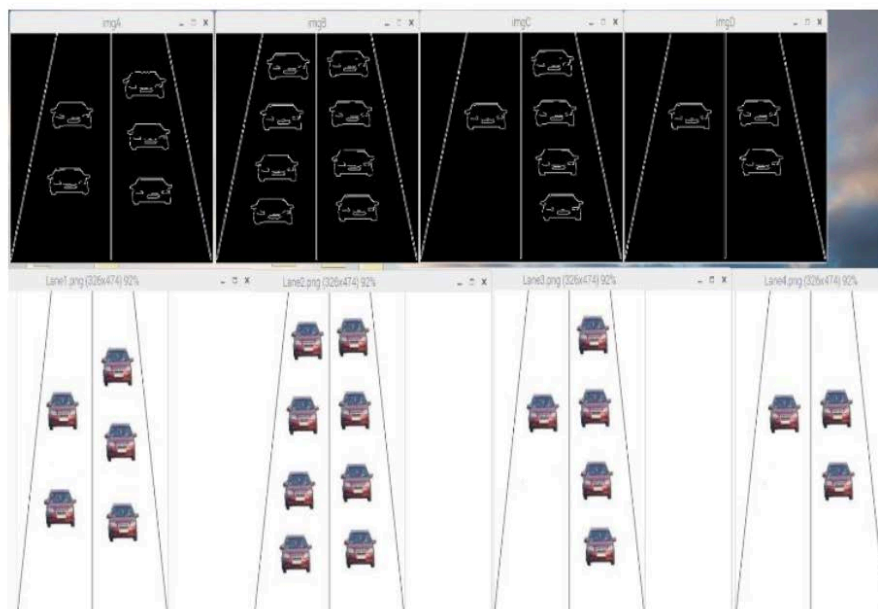


Figura 12: Procedimento de avaliação da demanda de veículos
Fonte: Adaptado pelos autores de Razavi, Hamidkhani e Sadeghi (2019)

No modelo com base na densidade e no número de veículos, adicionalmente ao modelo descrito, um vídeo ao vivo é capturado por uma câmera e processado determinando a número



II *Sustentare* – Seminário de Sustentabilidade da PUC-Campinas
V WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade
17 a 19 de novembro de 2020

de veículos que se aproxima do cruzamento. Com base no resultado da densidade e do número de veículos o algoritmo define a nova temporização para o semáforo.

Frank, Khamis Al Aamri e Zayegh (2019) propõem em sua pesquisa a utilização de *IoT* para monitorar e controlar o tráfego determinando a densidade de tráfego usando vídeo e processamento de imagens em tempo real. Utilizando técnicas de processamento de imagem digital, a imagem capturada em tempo real pela câmera que fica no cruzamento é comparada com uma imagem de referência com a via sem veículos. A densidade de tráfego é maior quanto maior forem as diferenças dessa comparação, conforme mostrado na Figura 13. Com isso as informações de densidade são processadas determinando os tempos dos sinais de tráfego.



Figura 13: Procedimento de avaliação da demanda de veículos
Fonte: Adaptado pelos autores de Frank, Khamis Al Aamri e Zayegh (2019)

3.4.4 Lógica Fuzzy

A Lógica Fuzzy tem sido bastante utilizada para tomada de decisão em diversas áreas de pesquisa como drones, manobras náuticas, controle de iluminação, e se mostra particularmente promissora no controle do tráfego em metrópoles (HARTANTI, AZIZA e SISWIPRAPTINI, 2019)

Sangster, Persad e Duncan (2009) fazem uso de Lógica Fuzzy (*FL*) em sua pesquisa para controlar os tempos de verde dos semáforos. Duas variáveis foram consideradas para tomada de decisão, o comprimento de cada uma das filas de veículos represados no cruzamento e o número de veículos que saem do cruzamento durante o sinal verde. Adicionalmente o sistema de lógica fuzzy permite conceder prioridade para determinadas faixas de trânsito, onde o impacto do comprimento das suas filas é maior para o trânsito local. Baseado nessas informações o sistema decide por aumentar ou diminuir o tempo de verde nas faixas de tráfego, dependendo do congestionamento detectado e da prioridade definida. Os resultados obtidos com a utilização da lógica fuzzy foram favoráveis em condições de alta densidade de veículos, propiciando com isso, redução no tráfego local.

Hartanti, Aziza e Siswipraptini (2019) trazem em sua pesquisa a aplicação do método fuzzy mamdani utilizando o número de veículos, a sua velocidade, o comprimento da fila e a



II *Sustentare* – Seminário de Sustentabilidade da PUC-Campinas
V WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade
17 a 19 de novembro de 2020

largura da pista como parâmetros de otimização do tráfego. O tempo de verde concedido para o semáforo será calculado considerando esses parâmetros.

3.4.5 *Machine Learning*

Natafqi, Osman, Haidar e Hamandi (2019) trazem em seu estudo um sistema de semáforo adaptativo (considera o estado do tráfego antes da tomada de decisão) com rede neural, utilizando aprendizagem por reforço. Para tanto, sensores ultrassônicos são instalados nas vias para detectar a passagem dos veículos e os controladores utilizam esses dados para calcular o número de veículos, os comprimentos de fila e os tempos de fila. Com base nesses dados os tempos de verde serão calculados e atualizados no controle semaforico. Adicionalmente os dados coletados são armazenados num banco de dados para que o comportamento seja estudado e sirva de insumo para aprendizagem da rede neural.

3.4.6 Sensores

Segundo Palsa et al. (2019), os sensores são altamente precisos na detecção de veículos, desempenhando um papel importante no desenvolvimento de tecnologia inteligente e na melhoria e segurança do controle de tráfego.

Ghazal, Elkhatib, Chahine e Kherfan (2016) propõe em seu estudo um sistema de controle de semáforos inteligentes baseado num microcomputador que gerencia os semáforos de um cruzamento, monitorando o volume de tráfego e a densidade por meio de sensores infravermelhos (*IR*) instalados em ambos os lados das vias, como apresentado na Figura 14. Com base nestas informações, em tempo real, os tempos de verde são estendidos quando houver um grande fluxo de veículos, se adaptando à necessidade do tráfego. Segundo os pesquisadores, o sistema é de baixo custo e em tempo real e visa melhorar a gestão do tráfego.

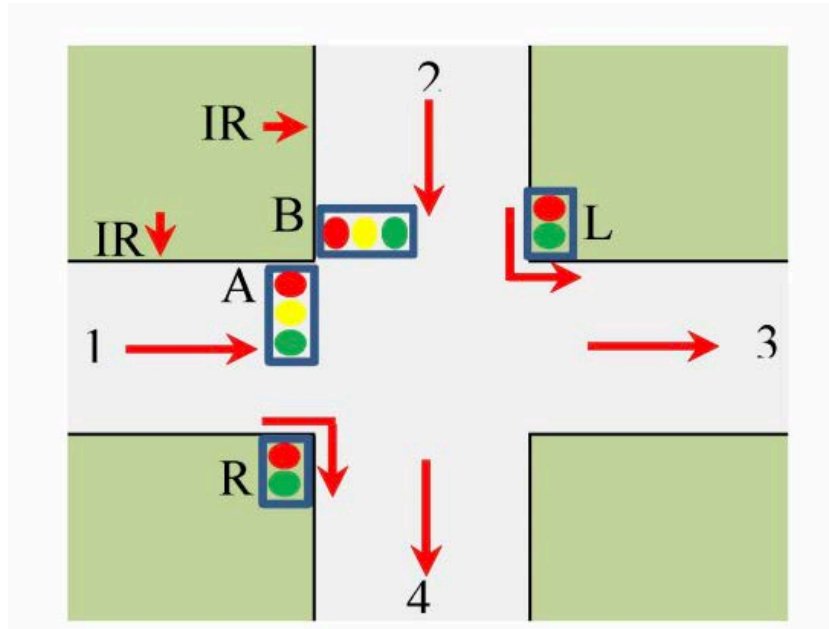


Figura 14: Modelo de intersecção (monodirecional) considerada no estudo
Fonte: Ghazal, Elkhatib, Chahine e Kherfan (2016)

Além disso, o sistema concede prioridade de passagem para veículos de emergência por meio de um dispositivo portátil, disponível nesses veículos, que se comunica sem fio com o controlador mestre de tráfego, a fim de executar comandos e conceder luz verde nos cruzamentos. O acionamento desse dispositivo portátil é feito manualmente quando o veículo se aproxima da intersecção. Importante observar que este estudo não considerou vários cruzamentos e, portanto, não realizou uma sincronização entre eles.

Nguyen, Tran e Huynh (2019) enfatizam em sua pesquisa a importância em contemplar as motocicletas nas detecções de densidade de tráfego. Utilizadas em vários países de maneira bastante expressiva, as motocicletas já são o principal meio de transporte em países como Vietnã, Tailândia, Indonésia, Índia, Colômbia, Paraguai, entre outros. As câmeras, para medir a densidade de trânsito, passam a ser pouco efetivas para as motocicletas e, em função disso, a solução proposta pelo estudo se baseia em sensores. Como apresentado na Figura 15, o projeto considera pares de transmissores (luz laser), representados pela letra L e receptores (sensores ópticos), representados na Figura 15 pela letra P.



II *Sustentare* – Seminário de Sustentabilidade da PUC-Campinas
V WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade
17 a 19 de novembro de 2020

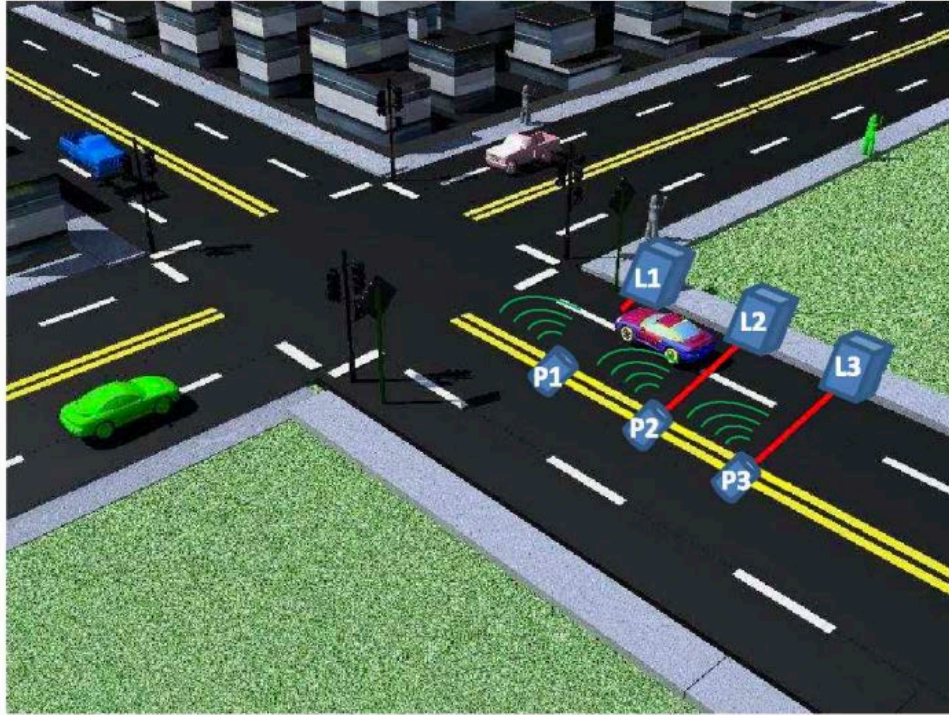


Figura 15: Proposta de configuração do Sensor
Fonte: Nguyen, Tran e Huynh (2019)

Alinhados, sensores (P) e luz laser (L), criam uma conexão virtual, representada na Figura 15 pela linha vermelha. Essas conexões permitem a detecção de veículos e motocicletas, assim como determinam a situação do tráfego, sendo tráfego normal sem conexões estabelecidas, até tráfego extremamente congestionado, quando as conexões foram estabelecidas até P3-L3.

Palsa et al. (2019) trazem à tona a crescente expansão da tecnologia e as diferentes oportunidades que ela pode oferecer para os controles semafóricos, com distintas formas de detecção de veículos realizados nos cruzamentos por meio de câmeras e sensores, passando por GPS e radares a laser, assim como evidenciam a alternativa de potencializar os resultados obtidos quando utilizados em conjunto com pedestres e veículos, intercambiando informações. Os pesquisadores destacam a disponibilidade de vários tipos de sensores que podem ser utilizados aumentando a segurança de pedestres, detecção, alerta de fluxo irregular de tráfego. Em contrapartida Guerrero, Zeadally e Contreras (2018) apontam que, apesar dos bons resultados operacionais obtidos com a implementação dos sensores, estes trazem como desvantagem, o alto custo de instalação, manutenção e regulação.

Manasi, Nishitha, Pratyusha e Ramesh (2020) apresentam uma solução que analisa se o tempo que um veículo demora para atravessar uma região predeterminada excede o limite previamente definido, para, então, alterar o tempo de verde do cruzamento. Para tanto, cada trecho da via, anterior ao cruzamento, é monitorado por um par de sensores de imagem, representados na Figura 16 por S11-S1, S22-S2, S33-S3 e S44-S4. Esses sensores capturam as fotos dos veículos em seu campo de visão a fim de calcular o tempo do percurso.

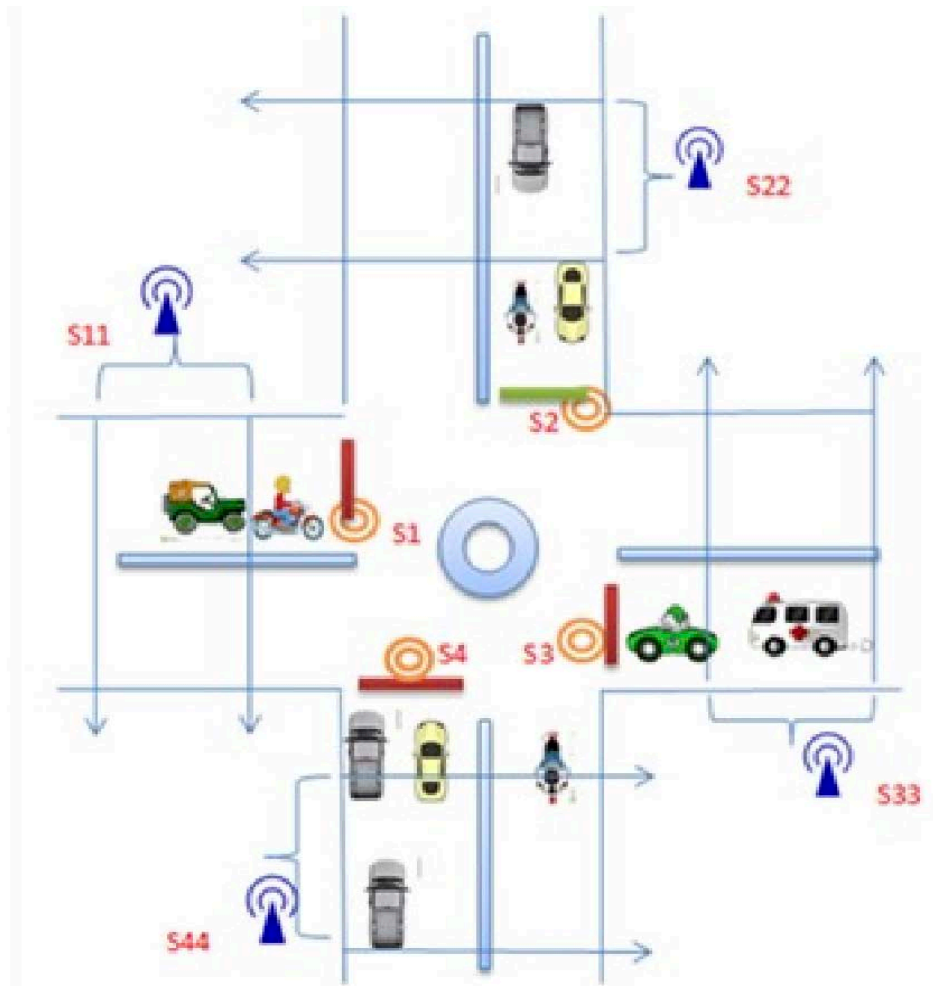


Figura 16: Modelo de arranjo espacial de uma intersecção considerada no estudo
Fonte: Manasi, Nishitha, Pratyusha e Ramesh (2020)

Com isso, são tomados os tempos de entrada (TE), quando o veículo é detectado pelo primeiro sensor (por exemplo S11), e o tempo de saída de um veículo (TEX), quando o veículo é detectado pelo segundo sensor (S1), como retratado por El Hassak e Addaim (2019). A diferença desses tempos é comparada com o limite estipulado para esse trecho de via e, caso tenha excedido, o controlador de tráfego altera o sinal para verde na via cujos veículos demoraram mais para percorrer a distância entre o par de sensores.

Adicionalmente, ao passar pelo primeiro sensor, existe uma verificação quanto a identificação do veículo. Caso seja identificado como veículo de emergência, o controlador concede prioridade na travessia do cruzamento.



II *Sustentare* – Seminário de Sustentabilidade da PUC-Campinas
V WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade
17 a 19 de novembro de 2020

Alaidi, Aljzaery, AlRikabi, Mahmood e Abed (2020) propuseram um sistema baseado na detecção de veículos numa determinada posição da via, neste caso a 30 metros do cruzamento, espaço suficiente para ser ocupado por uma quantidade de veículos que justifique o acionamento da luz verde no semáforo. Para tanto, foram utilizados dois sensores infravermelhos, um de cada lado da via, que conectados a um microcomputador, indicarão que o limite especificado de veículos foi alcançado, desencadeando a alteração da luz verde do semáforo e permitindo a passagem dos veículos daquele sentido da via. Adicionalmente, o cruzamento contará com uma câmera que permitirá a obtenção e processamento das imagens dos veículos em caso de acidentes e problemas.

5. Conclusões

Esta pesquisa destina-se a melhorar o entendimento sobre as tecnologias relacionadas ao controle de semáforos inteligentes como alternativa às questões relacionadas à mobilidade urbana sustentável. Com o desenvolvimento de tecnologias emergentes e disponibilidade de volumes de dados relevantes para tomada de decisão oriundos de *IoT*, essas soluções desempenham um importante papel no desenvolvimento urbano e se mostram um fundamental aliado no planejamento de políticas públicas.

No entanto, sua presença nas metrópoles ainda é incipiente comparada com os benefícios que pode trazer. Em função disso a revisão sistemática de literatura se faz relevante para dar visibilidade aos órgãos competentes os estudos selecionados e permitir a identificação de quais estratégias abordadas são mais aderentes a sua necessidade.

Por meio da revisão sistemática de literatura foram identificados vários campos de estudo e tecnologias passíveis de implementação que utilizam diferentes componentes na composição da solução como sensores, câmeras, processamento de imagens, *IoT*, computação móvel, entre outros. Essas tecnologias associadas a algoritmos que, a partir dos dados capturados nas vias, buscam eficiência na gestão do tráfego de tráfego, tem grande potencial para reduzir os indesejáveis impactos nas esferas ambiental, econômica e social causados pela restrição de mobilidade urbana.

As soluções enfocaram diferentes atores, buscando atender às necessidades prementes das regiões urbanas. Foram abordados estudos que buscam aumentar a segurança dos pedestres, identificando seu interesse para cruzar uma via, diminuindo o tempo de espera; controladores semafóricos que agilizam a passagem de veículos prioritários, cientes da importância em agilizar seu deslocamento; sensores que atendem à demanda de motocicletas, tidas como principal meio de transporte em algumas cidades; soluções que utilizam a comunicação móvel, seja entre veículos, infraestrutura ou rede, viabilizando a implantação de semáforos virtuais em substituição aos semáforos físicos. É sabido que todas as soluções não servem para todas as situações, com isso os estudos trazem um panorama que permite ampliar o espectro de avaliações.

Existem importantes desafios a superar relacionados a essa temática por exemplo a melhoria da segurança dos dados que são trafegados, a velocidade de comunicação necessária para as soluções de computação móvel e direção autônoma, além de buscar alternativas econômica-



II *Sustentare* – Seminário de Sustentabilidade da PUC-Campinas
V WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade
17 a 19 de novembro de 2020

mente viáveis em termos de implantação e manutenção. Adicionalmente, outras limitações foram identificadas neste estudo, pois vários estudos utilizaram simulações como estratégia de avaliação e restringem o escopo da análise a semáforos isolados.

Com isso, uma análise aprofundada das soluções para avaliar sua viabilidade em ambientes de rede, que reproduzem a realidade das cidades com vários grupos semafóricos funcionando coordenados entre si, são sugeridos para um próximo estudo.

7. Referências bibliográficas

AL-QUTWANI, M.; WANG, X.. *Smart Traffic Lights over Vehicular Named Data Networking*. *Information*, 10(3), 83. doi:10.3390/info10030083, 2019.

ALAI, A.H.M.; ALJAZAERY, I.A.; ALRIKABI, H.T.S.; MAHMOOD, I.N.; ABED, F.T.. *Design and implementation of a smart traffic light management system controlled wirelessly by arduino*. *International Journal of Interactive Mobile Technologies (iJIM)*, v. 14, n. 7, 2020.

ALKHATIB, A.A.A.; SAWALHA, T.. *Techniques for road traffic optimization: An overview*. *Indian Journal of Computer Science and Engineering*, v. 11(4), p. 311-320, 2020.

AMEDDAH, M.A.; DAS, B.; ALMHANA, J.. *Priority based Algorithm for Traffic Intersections Streaming Using VANET*. *2018 14th International Wireless Communications & Mobile Computing Conference (IWCMC)*. doi:10.1109/iwcmc.2018.8450287, 2018.

ARAÚJO, M.C.C.; CANDIDO, G.A.. *Qualidade de vida e sustentabilidade urbana*. *Holos* v. 1, 2014.

BERTO, L.K.; BORDIN, A.S.; GIROTTO, A.C.M.; MONTESCHIO, A.G.B.; MILANI, R.G.; REZENDE, L.C.S.H.. *Uma revisão bibliométrica acerca de cidades inteligentes no contexto mundial e nacional*. **XI EPCC - Encontro Internacional de Produção Científica**, 2019.

BUI, K.-H.N.; JUNG, J.E.; CAMACHO, D.. *Game theoretic approach on Real-time decision making for IoT-based traffic light control*. *Concurrency and Computation: Practice and Experience*, 29(11), e4077. doi:10.1002/cpe.4077, 2017.

CONTI, Diego de Melo et al. *Collaborative governance towards cities sustainability transition. urbe*. *Revista Brasileira de Gestão Urbana*, v. 11, 2019.

CUCCI NETO, J.. *Semáforo: Ser ou não ser Inteligente? Uma comparação entre o controle semafórico em tempos fixos e o em tempo real*, 2016. Disponível em: <http://www.cetsp.com.br/media/479737/nt243.pdf>. Acesso em 15 outubro 2018.

DENYER, D.; TRANFIELD, D.. *Producing a systematic review*. In: BUCHANAN, D. A.; BRYMAN, A. (Ed.). *The SAGE handbook of organizational research methods*. Los Angeles; London: SAGE, 2009.

EL HASSAK, I.; ADDAIM, A.. *Proposed Solutions for Smart Traffic Lights using Machine*



II *Sustentare* – Seminário de Sustentabilidade da PUC-Campinas
V WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade
17 a 19 de novembro de 2020

Learninig and Internet of Thing. 2019 International Conference on Wireless Networks and Mobile Communications (WINCOM), 2019.

FRANK, A.; KHAMIS AL AAMRI, Y. S.; ZAYEGH, A.. *IoT based Smart Traffic density Control using Image Processing. 2019 4th MEC International Conference on Big Data and Smart City (ICBDSC)*. doi:10.1109/icbdsc.2019.8645568, 2019.

FUNDAÇÃO INSTITUTO DE ADMINISTRAÇÃO. Mobilidade Urbana: O que é, Desafios, Impactos e Soluções. Disponível em: <https://fia.com.br/blog/mobilidade-urbana/>. Acesso em: 15 abril 2020.

GHAZAL, B.; ELKHATIB, K.; CHAHINE, K.; KHERFAN, M.. *Smart traffic light control system. 2016 Third International Conference on Electrical, Electronics, Computer Engineering and Their Applications (EECEA)*, 2016.

GUERRERO-IBÁÑEZ J; ZEADALLY S; CONTRERAS-CASTILLO J.. *Sensor Technologies for intelligent Transportation system*. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5948625/>.

HARTANTI, D.; AZIZA, R.N.; SISWIPRAPRINI, P.C.. *Optimization of smart traffic lights to prevent traffic congestion using fuzzy logic. Telkomnika (Telecommunication Computing Electronics and Control)* 17(1), p. 320-327, 2019.

KANUNGO, A.; SHARMA, A.; SINGLA, C.. *Smart traffic lights switching and traffic density calculation using video processing. 2014 Recent Advances in Engineering and Computational Sciences (RAECS)*. doi:10.1109/raecs.2014.6799542, 2014.

KATARIA, P.; RANI, A.. *Real-Time Traffic Light Management System with Manual Control. 2019 3rd International Conference on Recent Developments in Control, Automation & Power Engineering (RDCAPE)*, 2019.

KNIESS, Cláudia Terezinha et al. Inovação urbana e recursos humanos para gestão de cidades sustentáveis. *Estudos Avançados*, v. 33, n. 97, p. 119-136, 2019.

LIN, Y.-Q.; LI, M.; CHEN, X.-C.; FU, Y.-G.; CHI, Z.-W.. *A Belief Rule Base Approach for Smart Traffic Lights. 2016 9th International Symposium on Computational Intelligence and Design (ISCID)*. doi:10.1109/iscid.2016.1113, 2016.

MAGABLEH, A.A.R.; ALMAKHADMEH, M.A.; ALSREHIN, N.; KLAIB, A.F.. *Smart Traffic Light Management Systems: A Systematic Literature Review. International Journal of Technology Diffusion*, v. 11, i. 3, 2020.

MANASI, P.S.; NISHITHA, N.; PRATYUSHA, V.; RAMESH, T. K.. *Smart Traffic Light Signaling Strategy. 2020 International Conference on Communication and Signal Processing (ICCSP)*. doi:10.1109/iccsp48568.2020.9182165, 2020.

MIZ, V.; HAHANOV, V.. *Smart traffic light in terms of the cognitive road traffic management system (CTMS) based on the Internet of Things. Proceedings of IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS 2014)*, 2014.

MOCNEJ, J.; SEAH, W.K.; PEKÁR, A.; ZOLOTOVÁ, I.. *Decentralised IoT architecture for*



II *Sustentare* – Seminário de Sustentabilidade da PUC-Campinas
V WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade
17 a 19 de novembro de 2020

efficient resources utilization, 6, 15th IFAC Conference on Programmable Devices and Embedded Systems PDeS 2018, v. 51, p. 168–173, 2018.

MUNST, W.; DANNHEIM, C.; MADER, M.; GAY, N.; MALNAR, B.; AL-MAMUN, M.; ICKING, C.. *Virtual traffic lights: Managing intersections in the cloud. 2015 7th International Workshop on Reliable Networks Design and Modeling (RNDM)*, 2015.

NATAFGI, M.B.; OSMAN, M.; HAIDAR, A. S.; HAMANDI, L.. *Smart Traffic Light System Using Machine Learning. 2018 IEEE International Multidisciplinary Conference on Engineering Technology (IMCET)*. doi:10.1109/imcet.2018.8603041, 2018.

NATIONAL CENTER FOR STATISTICS AND ANALYSIS OF THE NATIONAL HIGHWAY TRAFFIC SAFETY ADMINISTRATION. United States Department of Transportation. Disponível em: <http://www-nrd.nhtsa.dot.gov/departments/nrd-30/ncsa/index.html>.

NGUYEN-LY, T.T.; TRAN, L.; HUYNH, T.V.. *Low-cost, high-efficiency hardware implementation of smart traffic light system. 2019 International Symposium on Electrical and Electronics Engineering (ISEE)*. doi:10.1109/isee2.2019.8921146, 2019.

NOR, R.F.A.M.; ZAMAN, F.H.K.; MUBDI, S.. *Smart traffic light for congestion monitoring using LoRaWAN. 2017 IEEE 8th Control and System Graduate Research Colloquium (ICSGRC)*. doi:10.1109/icsgrc.2017.8070582, 2017.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. *Global status report on road safety 2015*. Disponível em: https://www.who.int/violence_injury_prevention/road_safety_status/2015/en/, 2015. Acesso em 10 de agosto 2020.

PLANO DE MOBILIDADE DE SÃO PAULO. Prefeitura do Município de São Paulo- Secretaria Municipal de Transportes. Disponível em: https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/upload/chamadas/planmobsp_v072__1455546429.pdf, 2015. Acesso em 10 maio 2020.

RAZAVI, M.; HAMIDKHANI, M.; SADEGHI, R.. *Smart Traffic Light Scheduling in Smart City Using Image and Video Processing. 2019 3rd International Conference on Internet of Things and Applications (IoT)*, 2019.

RITCHIE, H.; ROSER, M.. Urbanization. *Our world in data*, 2018.

SANGSTER, N.; PERSAD, P.; DUNCAN, D.. Investigating the use of fuzzy logic for smart traffic lights at an overpass. *Proceedings of the IASTED International Conference on Intelligent Systems and Control*, p. 135-140, 2009.

SERRANO, Á.; CONDE, C.; RODRÍGUEZ-ARAGÓN, L.J.; MONTES, R.; CABELLO, E.. *Computer vision application: Real time smart traffic light. Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)* 3643 LNCS, p. 525-530, 2005.

THORPE, R. et al.. *Using knowledge within small and medium sized firms: a systematic review of the evidence. International Journal of Management Reviews*, v. 7, n. 4, p. 257-281, 2005.

UNITED NATIONS. *World Urbanization Prospects The 2018 Revision. United Nations Department of Economic and Social Affairs, Population Division*, 2018.



II *Sustentare* – Seminário de Sustentabilidade da PUC-Campinas
 V WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade
 17 a 19 de novembro de 2020

APÊNDICE I- ARTIGOS DE PESQUISA (104)

Autores	Título	Ano
[No author name available]	Structured Object-Oriented Formal Language and Method - Third International Workshop, SOFL+MSVL 2013, Revised Selected Papers	2014
[No author name available]	11th EAI International Conference on e-Infrastructure and e-Services for Developing Countries, AFRICOMM 2019	2020
[No author name available]	5th International Conference on Electrical Engineering Computer Science and Informatics, EECSEI 2018	2018
Adacher L., Gemma A., Oliva G.	Decentralized spatial decomposition for traffic signal synchronization	2014
Aggarwal P.K., Nigam P., Shrivastava V.	Self controlled traffic management using autonomic system	2016
Ajayi O., Bagula A., Isafiade O., Noutouglo A.	Effective management of delays at road intersections using smart traffic light system	2020
Al-qutwani M., Wang X.	Smart traffic lights over vehicular named data networking	2019
Alaidi A.H.M., Aljazaery I.A., AlRikabi H.T.S., Mahmood I.N., Abed F.T.	Design and implementation of a smart traffic light management system controlled wirelessly by arduino	2020
Albatish I.M., Abu-Naser S.S.	Modeling and controlling smart traffic light system using a rule based system	2019
Alfith A., Kartiria K.	Development and designing smart traffic light with xbee pro	2018
Alkhatib A.A.A., Sawalha T.	Techniques for road traffic optimization: An overview	2020
Almuraykhi K.M., Akhlaq M.	STLS: Smart traffic lights system for emergency response vehicles	2019
Ameddah M.A., Das B., Almhana J.	Priority based Algorithm for Traffic Intersections Streaming Using VANET	2018
Anagnostopoulos T., Ferreira D., Samodelkin A., Ahmed M., Kostakos V.	Cyclist-aware traffic lights through distributed smartphone sensing	2016
Avrachenkov K., Perel E., Yechiali U.	Finite-buffer polling systems with threshold-based switching policy	2016
Barabas D., Banzhaf D., Titov W., Schlegel T.	Smart Traffic Light Request Button – Improving Interaction and Accessibility for Pedestrians	2019
Barzilai O., Voloch N., Hasgall A., Steiner O.L.	Real life applicative timing algorithm for a smart junction with social priorities and multiple parameters	2019
Benzaman B., Sharma D.	Discrete event simulation of a road intersection integrating V2V and V2I features to improve traffic flow	2017
Brilli G., Burgio P.	An open source research framework for IoT-capable smart traffic lights	2019
Brunner S., Kucera M., Waas T.	Ontologies used in robotics: A survey with an outlook for automated driving	2017
Bui K.-H.N., Jung J.E., Camacho D.	Game theoretic approach on Real-time decision making for IoT-based traffic light control	2017
Cacace S., Camilli F., De Maio R., Tosin A.	A measure theoretic approach to traffic flow optimisation on networks	2019
Caiza L.J., Alvarez R., Urquiza-Aguiar L., Calderón-Hinojosa X., Zambrano A.	VTM: Vehicular traffic monitor via images processing of Googlemaps	2018
Carpio-Ali L., Oviedo-Meneses A., Reynoso-Torres S., Tejada-Espinoza A., Robles-Flores J.A.	Improving traffic: Simulation with smart traffic lights [Mejorando la Circulación de Vehículos: Simulación con Semáforos Inteligentes]	2018
Castillo-Cara M., Huaranga-Junco E., Mondragón-Ruiz G., Salazar A., Barbosa L.O., Antúnez E.A.	Ray: Smart Indoor/Outdoor Routes for the Blind Using Bluetooth 4.0 BLE	2016
Cervinka D., Salih O., Ahmad Z., Rajbhandari S.	Reducing Noise Pollution of Emergency Vehicle Sirens with an Early Warning System	2018



II *Sustentare* – Seminário de Sustentabilidade da PUC-Campinas
 V WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade
 17 a 19 de novembro de 2020

Autores	Título	Ano
Chen R., Chen C.-H., Liu Y., Ye X.	Ontology-based requirement verification for complex systems	2020
Collotta M., Giuffrè T., Pau G., Scatà G.	Smart traffic light junction management using wireless sensor networks	2014
Costantino G., Martinelli F., Matteucci I., Mercaldo F.	Improving vehicle safety through a fog collaborative infrastructure	2018
Cruz-Piris L., Rivera D., Fernandez S., Marsa-Maestre I.	Optimized sensor network and multi-agent decision support for smart traffic light management	2018
Dannheim C., Icking C., Gay N., Müntz W., Mäder M., Raffero M.	Augmented traffic lights by means of cloud services	2019
Delica P.D.L., Landicho M.R.U., Tabliga J.A.A., Virtus L.R., Anacan R.	Development of an intelligent traffic control system using NI LabVIEW	2018
Desai S., Thakkar A.	The fog computing paradigm: a rising need of iot world	2019
Diaz N., Guerra J., Nicola J.	Smart Traffic Light Control System	2018
Djuana E., Rahardjo K., Gozali F., Tan S., Rambung R., Adrian D.	Simulating and evaluating an adaptive and integrated traffic lights control system for smart city application	2018
Eckhoff D., Halmos B., German R.	Potentials and limitations of Green Light Optimal Speed Advisory systems	2013
El Hassak I., Addaim A.	Proposed solutions for smart traffic lights using machine learning and internet of thing	2019
El-Sayed H., Sankar S., Prasad M., Puthal D., Gupta A., Mohanty M., Lin C.-T.	Edge of Things: The Big Picture on the Integration of Edge, IoT and the Cloud in a Distributed Computing Environment	2017
Elkhatib M.M., Adwan A.I., Alsamna A.S., Abu-Hudrouss A.M.	Smart traffic lights using image processing algorithms	2019
Frank A., Khamis Al Aamri Y.S., Zayegh A.	IoT based smart traffic density control using image processing	2019
Freitas A., Brito L., Baras K., Silva J.	Smart mobility: A survey	2017
Galán-García J.L., Aguilera-Venegas G., Rodríguez-Cielos P.	An accelerated-time simulation for traffic flow in a smart city	2014
George A.M., George V.I., George M.A.	IOT based Smart Traffic Light Control System	2018
Georges N., Fawaz S.	The necessity for a sustainable traffic light system: The case study of el-koura district traffic light system	2018
Ghazal B., Elkhatib K., Chahine K., Kherfan M.	Smart traffic light control system	2016
Gupte S., Younis M.	Vehicular networking for intelligent and autonomous traffic management	2012
Hartanti D., Aziza R.N., Siswipraptini P.C.	Optimization of smart traffic lights to prevent traffic congestion using fuzzy logic	2019
Hawi R., Okeyo G., Kimwele M.	Smart traffic light control using fuzzy logic and wireless sensor network	2018
Hiari O., Nofal I.	A Dynamic Decentralized Traffic Light Management System: A TCP Inspired Approach	2020
Hosur J., Rashmi R., Dakshayini M.	Smart traffic light control in the junction using Raspberry PI	2019
Hunko E., Gladkova O., Parkhomenko A.	Investigation and Development of Traffic Light Control System Prototype for Serious Game	2020
Ismail M.Z., Lutfi A.Z.A., Roslan M.A.M.	Smart traffic light for emergency vehicle by using arduino	2019
Kanungo A., Sharma A., Singla C.	Smart traffic lights switching and traffic density calculation using video processing	2014
Karakuzu C., Demirci O.	Fuzzy logic based smart traffic light simulator design and hardware implementation	2010
Kataria P., Rani A.	Real-Time Traffic Light Management System with Manual Control	2019



II *Sustentare* – Seminário de Sustentabilidade da PUC-Campinas
 V WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade
 17 a 19 de novembro de 2020

Autores	Título	Ano
Krishna A.A., Kartha B.A., Nair V.S.	Dynamic traffic light system for unhindered passing of high priority vehicles: Wireless implementation of dynamic traffic light systems using modular hardware	2017
Lee H.J., Kim R.Y.C., Son H.S.	Evaluation of a smart traffic light system with an IOT-based connective mechanism	2017
Lee M.-H., Im S.-Y., Lee B.-U., Roh B.-H., Kim B.-M.	Red-signal delay scheme to prevent vehicle accidents at the intersection	2015
Lin Y.-Q., Li M., Chen X.-C., Fu Y.-G., Chi Z.-W.	A Belief Rule Base Approach for Smart Traffic Lights	2016
Litvaitis R., Pakalnis A.	Determination of the required configuration of traffic light at the junction between tunelio, M. K. Čiurlionio and girstupio streets in kaunas	2012
Lobo F.L., Lima M., Oliveira H., Harrington J., El-Khatib K.	SoLVE: A localization system framework for VANets using the cloud and fog computing	2017
Mahali M.I., Wulandari B., Marpanaji E., Rochayati U., Dewanto S.A., Hasanah N.	Smart traffic light based on IoT and mBaaS using high priority vehicles method	2018
Manasi P.S., Nishitha N., Pratyusha V., Ramesh T.K.	Smart Traffic Light Signaling Strategy	2020
Matrella G., Marani D.	An embedded video sensor for a smart traffic light	2011
Miz V., Hahanov V.	Smart traffic light in terms of the cognitive road traffic management system (CTMS) based on the Internet of Things	2014
Möller D.P.F., Fidencio A.X., Cota E., Jehle I.A., Vakilzadian H.	Cyber-physical smart traffic light system	2015
Moran O., Gilmore R., Ordonez-Hurtado R., Shorten R.	Hybrid urban navigation for smart cities	2018
Mungur A., Bheekaree A.S.B.A., Hassan M.B.A.	Smart eco-friendly traffic light for mauritius	2019
Munst W., Dannheim C., Mäder M., Gay N., Malnar B., Al-Mamun M., Icking C.	Virtual traffic lights: Managing intersections in the cloud	2015
Nale S.B., Kulkarni A.N.	Intelligent Energy Efficient Traffic Safety & Alert system	2015
Natafqi M.B., Osman M., Haidar A.S., Hamandi L.	Smart Traffic Light System Using Machine Learning	2019
Nguyen-Ly T.T., Tran L., Huynh T.V.	Low-cost, high-efficiency hardware implementation of smart traffic light system	2019
Ni J., Zhang K., Lin X., Shen X.S.	Securing Fog Computing for Internet of Things Applications: Challenges and Solutions	2018
Noei S., Santana H., Noei M., Sargolzaei A.	Reducing traffic congestion using geo-fence technology: Application for emergency car	2014
Nor R.F.A.M., Zaman F.H.K., Mubdi S.	Smart traffic light for congestion monitoring using LoRaWAN	2017
Oliveira L.F.P., Manera L.T., Luz P.D.G.	Smart Traffic Light Controller System	2019
Oliver A.S., Anuradha M., Ramya J.	Automated pollution detection system using IoT and AWS cloud	2019
Palsa J., Vokorokos L., Chovancova E., Chovanec M.	Smart cities and the importance of smart traffic lights	2019
Piña J.A., Hsieh S.-J.T.	Maker: Instructional module on use of a programmable logic controller for Smart Traffic Light control	2017
Razavi M., Hamidkhani M., Sadeghi R.	Smart Traffic Light Scheduling in Smart City Using Image and Video Processing	2019
Razavi M., Hamidkhani, M. & Sadeghi R.	Smart Traffic Light Scheduling in Smart City Using Image and Video Processing	2019
Rezgui J., Barri M., Gayta R.	Smart Traffic Light Scheduling Algorithms	2019
Rhodes C., Djahel S.	TRADER: Traffic light phases aware driving for reduced traffic congestion in smart cities	2017
Richardson E., Davies P., Newell D.	Modelling a Smart Motorway	2020
Saikar A., Parulekar M., Badve A., Thakkar S., Deshmukh A.	TrafficIntel: Smart traffic management for smart cities	2017



II *Sustentare* – Seminário de Sustentabilidade da PUC-Campinas
 V WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade
 17 a 19 de novembro de 2020

Autores	Título	Ano
Samaniego-Calle V., Viñán-Ludeña M.S., Jaramillo-Sangurima W., Jácome-Galarza L., Sinche-Freire J.	Smart traffic lights and vehicular traffic: A comparative case study to reduce traffic jams and contaminants [Semáforos inteligentes y tráfico vehicular: Un caso de estudio comparativo para reducir atascos y emisiones contaminantes]	2019
Sangster N., Persad P., Duncan D.	Investigating the use of fuzzy logic for smart traffic lights at an overpass	2009
Serrano Á., Conde C., Rodríguez-Aragón L.J., Montes R., Cabello E.	Computer vision application: Real time smart traffic light	2005
Shevchenko V.I., Skatkov A.V., Bryukhovetskiy A.A., Chengar O.V., Kokodey T.A.	A conceptual model of communication for intelligent agents in the infrastructure of smart transportation systems	2020
Shin S., Seo S., Eom S., Jung J., Lee K.-H.	A pub/sub-based fog computing architecture for internet-of-vehicles	2016
Silva C.M., Aquino A.L.L., Meira W., Jr.	Smart Traffic Light for Low Traffic Conditions: A Solution for Improving the Drivers Safety	2015
Silva J., Varela N., Lezama O.B.P.	Optimizing street mobility through a NetLogo simulation environment	2020
Singh R., Saini S., Bathla R.	Autonomous Traffic Management using Big Data in a Network of IoT Enabled Devices	2019
Sobitha Ahila S., Sivakumar D., Naveen Nanda M., Nivedita, Nair S.K., Kannan S.	Traffic lights analysis and manipulation for emergency vehicles using deep learning algorithm	2019
Souravlias D., Luque G., Alba E., Parsopoulos K.E.	Smart traffic lights: A first parallel computing approach	2016
Stojmenovic I., Wen S.	The Fog computing paradigm: Scenarios and security issues	2014
Stojmenovic I., Wen S., Huang X., Luan H.	An overview of Fog computing and its security issues	2016
Sulistiono W.E., Liu S.	Applying soft to constructing a smart traffic light specification	2014
Tiwari P.	Design and implementation of real time image inspection system	2014
Wang S., Zhang Y., Yang Z., Chen Y.	A graphical hierarchical CPS architecture	2017
Yadav H., Iranna G.G., Nimallesh J., Kiran Kumar B., Archana B.	Smart traffic light	2019
Yi W., Yan J.	Energy consumption and emission influences from shared mobility in China: A national level annual data analysis	2020
Zaghal R., Thabatah K., Salah S.	Towards a smart intersection using traffic load balancing algorithm	2018
Zheng B., Lin C.-W., Shiraishi S., Zhu Q.	Design and analysis of delay-tolerant intelligent intersection management	2019