

Comparação de algoritmos de subtração de fundo em soluções para gerenciamento de tráfego urbano de veículos e pedestres com base em visão computacional.

Background subtraction algorithm comparison for urban traffic management solutions for vehicles and pedestrians based on computer vision.

Comparación de algoritmos de sustracción de fondo en soluciones para la gestión del tráfico urbano de vehículos y peatones basadas en visión computacional.

Rogério Santino Barboza

Mestrando em Cidades Inteligentes e Sustentáveis, UNINOVE, Brasil
rogerio.santino.barboza@gmail.com

João Alexandre Paschoalin Filho

Orientador Professor Doutor, UNINOVE, Brasil.
jalexandre@uni9.pro.br

RESUMO

A crescente população e número de veículos nas grandes cidades têm gerado congestionamentos e complicações no trânsito, cujas soluções são dispendiosas e ineficazes a longo prazo. Para melhorar as condições do tráfego urbano, incluindo a automatização do sistema de semáforos através da tecnologia de visão computacional, o monitoramento inteligente do tráfego tem sido buscado. Este estudo teve como objetivo desenvolver um sistema automatizado e síncrono de análise de tráfego, comparando o desempenho de diferentes algoritmos de subtração de fundo (BGS). Foi criado um software para analisar os algoritmos BGS em termos de contagem de veículos, registro e sentido de direção, enquanto outro foi desenvolvido para detectar pedestres. A revisão sistemática da literatura de artigos publicados entre 01/01/1970 e 31/01/2023 demonstrou que o uso exclusivo do BGS não é suficientemente preciso para aplicação em sistemas de semáforos ou monitoramento autônomo. No entanto, a combinação do BGS com aprendizado de máquina e aprendizado profundo é promissora. Para aprimorar a precisão e outras métricas, como falsos e verdadeiros positivos, é necessário melhorar os filtros individuais e combiná-los com outras tecnologias.

PALAVRAS-CHAVE: Visão computacional. Detecção de objetos. Algoritmos de subtração de fundo.

Abstract

The increasing population and number of vehicles in large cities have caused traffic congestion and complications, whose solutions are expensive and ineffective in the long term. To improve urban traffic conditions, including the automation of the traffic signal system through computer vision technology, intelligent traffic monitoring has been sought. This study aimed to develop an automated and synchronous traffic analysis system, comparing the performance of different background subtraction (BGS) algorithms. A software was created to analyze BGS algorithms in terms of vehicle counting, registration, and direction, while another was developed to detect pedestrians. A systematic review of literature published between 01/01/1970 and 31/01/2023 showed that using BGS alone is not accurate enough for application in traffic signal systems or autonomous monitoring. However, the combination of BGS with machine learning and deep learning is promising. To improve accuracy and other metrics, such as false and true positives, it is necessary to improve individual filters and combine them with other technologies.

KEYWORDS: Computer vision. Object detection. Background subtraction algorithms.

RESUMEN

La creciente población y número de vehículos en las grandes ciudades han generado congestionamientos y complicaciones en el tráfico, cuyas soluciones son costosas e ineficaces a largo plazo. Para mejorar las condiciones del tráfico urbano, incluyendo la automatización del sistema de semáforos a través de la tecnología de visión computacional, se ha buscado la monitorización inteligente del tráfico. Este estudio tuvo como objetivo desarrollar un sistema automatizado y síncrono de análisis de tráfico, comparando el rendimiento de diferentes algoritmos de sustracción de fondo (BGS). Se creó un software para analizar los algoritmos BGS en términos de conteo de vehículos, registro y sentido de dirección, mientras que otro se desarrolló para detectar peatones. La revisión sistemática de la literatura de artículos publicados entre el 01/01/1970 y el 31/01/2023 demostró que el uso exclusivo de BGS no es lo suficientemente preciso para su aplicación en sistemas de semáforos o monitorización autónoma. Sin embargo, la combinación de BGS con aprendizaje automático y profundo es prometedora. Para mejorar la precisión y otras métricas, como falsos y verdaderos positivos, es necesario mejorar los filtros individuales y combinarlos con otras tecnologías.

PALABRAS CLAVE: Visión artificial. Detección de objetos. Algoritmos de resta de fondo.

1 INTRODUÇÃO

O crescimento da quantidade de veículos automotores é uma realidade evidenciada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) em seu levantamento de 2021. Entre 2006 e 2021, a frota de veículos no Brasil apresentou um aumento expressivo de 45,0%, saltando de 45.029.257 para 111.446.870 unidades. Esse incremento na frota de veículos é responsável por gerar dificuldades de mobilidade nos principais centros urbanos do país.

Apesar da ausência de informações oficiais sobre acidentes pedestres ocorridos nas imediações de semáforos no Brasil, uma pesquisa realizada no (BRASIL - DATASUS, 2022) evidencia que, no ano de 2021, houve a notificação de 4.484 fatalidades decorrentes de atropelamentos, indicando, aproximadamente, um óbito a cada duas horas.

Considerando apenas as informações anteriores e desconsiderando dados sobre internações com sobreviventes decorrentes das mesmas causas e outros fatores indiretos impactados pelos problemas de acidentes e congestionamentos, presume-se que existem alternativas de soluções, entre as quais as tecnologias baseadas em visão computacional se destacam.

No Brasil, um exemplo de utilização da visão computacional é na detecção de veículos em vias públicas, por meio de um sistema conhecido como laço virtual de detecção de tráfego. Este sistema consiste na sobreposição de zonas de detecção em locais apropriados na imagem da via monitorada. À medida que os veículos atravessam essas zonas, elas são ativadas pela mudança do padrão da imagem, o que resulta na detecção dos veículos.

Conforme apontado por (PEREZ, 2021), o aumento da população resulta em um aumento constante do número de viajantes, enquanto a capacidade das infraestruturas atuais é insuficiente para suprir tal demanda. Como resultado, o controle de tráfego se torna uma questão premente. Em áreas urbanas, o tráfego é geralmente gerenciado por meio de semáforos com ciclo fixo, cuja configuração inadequada resulta em tempos de espera desnecessários tanto para veículos quanto para pedestres. Tal situação ocorre em virtude da utilização de métodos não determinísticos e difusos no sistema de controle de tráfego, cuja modelagem e controle nem sempre apresentam resultados satisfatórios.

1.1 Objetivos - Geral

Realizar a investigação dos algoritmos primordiais de subtração de fundo, ou *background subtractor* (BGS) em inglês, e aplicá-los em um modelo computacional destinado ao controle de tráfego em uma área urbana.

1.2 Objetivos – Específicos

a) Realizar uma comparação dos algoritmos de subtração de fundo através do uso de cenas gravadas em vídeo sob as mesmas condições, com o objetivo de assegurar a equidade entre todas as técnicas analisadas;

b) Avaliar a precisão dos algoritmos de subtração de fundo mediante uma simulação prática, a fim de verificar o desempenho real das técnicas avaliadas.

1.3 Justificativa para estudo do tema

Na atualidade, constata-se que as abordagens e a fiscalização de tráfego frequentemente carecem de efetividade. A fim de reduzir a dependência das autoridades de trânsito e ampliar a eficiência da fiscalização e monitoramento, tem-se a possibilidade de utilizar câmeras que permitem maior alcance e a automatização de tarefas como controle de fluxo e fiscalização, bem como o registro de ocorrências. Assim, as tecnologias de visão computacional e *Machine Learning* (ML) podem oferecer suporte por meio de sistemas de monitoramento de vídeo.

Cabe ressaltar que diversos sistemas existentes se baseiam em sensores indutivos, os quais detectam a densidade de veículos na via e podem apresentar deterioração precoce por serem instalados diretamente no pavimento. Em contrapartida, é possível substituí-los por sistemas fundamentados em visão computacional, os quais utilizam como entrada as imagens capturadas pelas câmeras dos semáforos de trânsito.

2 METODOLOGIA

O presente trabalho se utiliza em grande parte de pesquisa bibliográfica, empregando técnicas de análise de conteúdo e coleta de dados sobre diferentes fenômenos, para extrair informações sobre os algoritmos em visão computacional e áreas afins. Em determinados momentos, adota uma abordagem documental, ao citar estatísticas e dados oficiais pertinentes.

Por se tratar de um estudo comparativo entre algoritmos de visão computacional aplicados ao cenário urbano, este trabalho é considerado uma pesquisa experimental, pois foram avaliados o objeto de estudo e as variáveis que influenciam nos resultados ao analisar o desempenho individual e utilizando-se o mesmo material/cenário para cada teste realizado com um algoritmo e/ou sistema de visão computacional diferente.

O foco da pesquisa é o desempenho de diferentes algoritmos e sistemas na aplicação da visão computacional para identificação e rastreamento de pedestres e/ou veículos em meio ao tráfego urbano, utilizando cenas gravadas que capturam o tráfego. A metodologia utilizada visa investigar, analisar e estudar referências científicas disponíveis sobre:

- Semáforos inteligentes gerenciados por sistema de visão computacional;
- Gestão de tráfego urbano em cidades inteligentes com base em visão computacional;
- Sistemas de visão computacional e IA para uso em controle de tráfego e identificação de veículos e pessoas.

A pesquisa é direcionada para o futuro desenvolvimento de um protótipo a ser implementado na análise de caso e avaliação da sua viabilidade técnica. Também são realizados estudos de casos aplicados, com o objetivo de entender as melhores práticas empregadas, as dificuldades enfrentadas, as influências e impactos no cenário urbano, bem como os desafios tecnológicos envolvidos.

Este trabalho foi concebido com uma abordagem aplicada, visando produzir

conhecimento para resolver problemas práticos, utilizando uma perspectiva quantitativa, com objetivos exploratórios e descritivos. A metodologia empregada envolve procedimentos bibliográficos e documentais, embora apresente fortes características experimentais, uma vez que as cenas de tráfego urbano gravadas para análise foram cuidadosamente selecionadas e representam diferentes situações. Portanto, pode-se considerar este trabalho como um estudo laboratorial, já que utiliza vídeos que apresentam eventos e fenômenos consistentes em cada amostra de teste, conforme demonstra a Figura 1.

Figura 1 - Procedimentos realizados para análise dos algoritmos



Fonte: O autor

2.1 Procedimentos para obtenção das referências de literatura

Inicialmente, considerou-se seguir um método de Mapeamento Sistemático da Literatura, o qual consiste na elaboração de uma *string* de busca. Nesse sentido, foram realizadas múltiplas buscas com base em *strings* e de forma manual, direcionadas a temas relevantes, mas com forte ligação com o assunto central deste estudo, que é a visão computacional. Dessa forma, os artigos obtidos puderam fornecer informações importantes para o entendimento do tema central, quando integrados e observados sob uma perspectiva diferenciada. A revisão da literatura científica foi realizada em artigos publicados no período de 01/01/1970 a 31/01/2023, coletados em diversas bases de dados, conforme apresentado no Quadro 1.

Quadro 1- Bases de dados consultadas

Base de dados	Endereço web
ACM	http://dl.acm.org
IEEE	http://ieeexplore.ieee.org/Xplore
RESEARCHGATE	https://www.researchgate.net/
UCLA	https://escholarship.org/uc/ucla
ARXIV	https://arxiv.org/
Web of Science	https://www.webofscience.com/
VISIONBIB	http://www.visionbib.com/
ACADEMIA	https://www.academia.edu/
IJCATR	https://ijcat.com/
SCIENCE DIRECT	https://www.sciencedirect.com/
Google Scholar	https://scholar.google.com.br/

Fonte: O Autor.

Os estudos selecionados para esta pesquisa deviam conter algum tipo de algoritmo aplicado em visão computacional e foram analisados de forma independente, a partir de seus títulos, resumos e conclusões. Caso houvesse dúvidas sobre a pertinência do artigo, este era incluído na próxima fase. Os estudos pré-selecionados foram reunidos em uma lista de estudos potencialmente relevantes e, na etapa seguinte, foram submetidos a uma nova seleção mais rigorosa, que incluiu a leitura completa dos artigos e a aplicação de critérios de inclusão e exclusão. Como resultado, uma lista de artigos selecionados para esta pesquisa foi elaborada.

Dentre os 1578 estudos obtidos na busca, foram selecionados 121 que se adequavam mais ao tema. A análise e leitura dos resumos dos artigos encontrados foram realizadas seguindo critérios de inclusão, que consistiam em artigos publicados em inglês, português ou espanhol, e de exclusão, que excluía artigos que não se referiam exclusivamente a ferramentas de autoria. Dado o grande número de artigos e sites pesquisados, optou-se pelo uso de ferramentas automatizadas e inteligentes para realizar o controle e a dinâmica de um mapeamento sistemático de literatura, pelo menos nas fases iniciais do procedimento. O autor considera que isso não constitui um mapeamento sistemático de literatura "real", já que nenhum outro pesquisador realizou a filtragem e seleção, mas foi usado para estabelecer o material que compõe a revisão sistemática de literatura empregada nesse trabalho.

Para auxiliar na organização e suporte das etapas de filtragem, foi escolhida a ferramenta de apoio *StArt (State of the Art through Systematic Review)*, desenvolvida no LaPES (Laboratório de Pesquisa em Engenharia de Software) da UFSCAR (Universidade Federal de São Carlos) e disponível em <http://lapes.dc.ufscar.br/ferramentas/start-tool> (link atualizado em 04/10/2022).

Os critérios de inclusão adotados foram artigos completos publicados em inglês, português ou espanhol, em revistas ou conferências, que descreviam estudos sobre os temas analisados, com material disponível de forma integral e gratuita preferencialmente.

Os estudos que se enquadravam nos critérios de exclusão foram excluídos com base na análise do título, palavras-chave, resumo e conclusão, que levavam em consideração a relevância para a pesquisa, a disponibilidade do material e o idioma. A extração foi realizada de forma individual, com o preenchimento dos campos no software *StArt*, e o pesquisador tentou extrair as relações de maneira clara e objetiva.

Ao final do processo de filtragem, as publicações selecionadas foram catalogadas

principalmente com a ajuda do *Mendeley*, que é gratuito e foi utilizado no gerenciamento dos artigos científicos e dos metadados.

2.2 Os procedimentos dos testes dos algoritmos

Por meio de vídeos contendo cenários e condições reais, foram estabelecidos critérios para os testes práticos, a fim de realizar comparações de desempenho entre os algoritmos.

A linguagem de programação utilizada foi o *Python*, assim como a biblioteca de visão computacional *OpenCV*. Também foi estabelecido que todos os testes deveriam utilizar o mesmo hardware e software.

O *software* de teste criado deveria ser capaz de contar dois grupos de veículos, carros e caminhões, em ambos os sentidos de direção, bem como registrar cada grupo identificado em arquivo, nomeando cada imagem com um ID, Grupo e Sentido de direção, e registrando as informações em um arquivo .CSV. Além disso, o processo dos testes deveria ser registrado em um arquivo de vídeo, demonstrando a região de interesse (ROI) e o contador de veículos.

Durante o processo, o pesquisador criou um software com uma interface gráfica, disponível para reprodução ou estudo dos algoritmos em questão, e o mesmo pode ser encontrado em: <https://rsb.net.br/mestrado/>

Os algoritmos de subtração de imagem e rastreamento foram testados quanto à sua eficácia na contagem de veículos, divididos em dois grupos distintos apenas devido à área que ocupam em pixels.

Com o código fonte adaptado para a contagem de veículos e caminhões, foram realizados dez conjuntos de testes, onde cada um forneceu um vídeo gravado com os resultados e o comportamento do algoritmo testado, imagens coletadas automaticamente da ROI para cada detecção, e um relatório .CSV com o registro de cada detecção.

Após coletar os dados em datas e horários aleatórios, sem intervenções de aprendizado de máquina e do pesquisador, além da seleção manual da ROI, o comportamento de cada algoritmo foi registrado e, ao final, os registros obtidos foram estudados.

Primeiramente, realizou-se uma análise das contagens dos veículos detectados, cujos resultados foram apresentados na Tabela 1.

Para essa análise, foi necessário estabelecer um registro de controle, através do uso de um software para extrair frames do vídeo "Traffic_3.mp4", obtendo um total de 25.189 arquivos de imagem.

Tabela 1 - Dados obtidos nos testes comparativos com o vídeo Traffic_3.mp4

Conjuntos de testes	Algoritmos:	GMG	MOG	MOG2	KNN	CNT	LSBP	GSOC
01	QTD total de carros	452	481	432	396	170	496	453
	QTD total de caminhões	116	83	64	115	92	133	52
02	QTD total de carros	437	379	470	516	120	484	470
	QTD total de caminhões	115	52	45	101	74	125	81
03	QTD total de carros	441	420	433	532	120	514	454
	QTD total de caminhões	111	57	42	120	71	119	78
04	QTD total de carros	455	443	458	508	123	493	465
	QTD total de caminhões	112	49	49	123	74	126	83
05	QTD total de carros	445	441	430	521	117	441	477
	QTD total de caminhões	114	57	45	100	79	123	84
06	QTD total de carros	483	435	481	547	120	511	470
	QTD total de caminhões	117	51	54	111	76	121	80
07	QTD total de carros	451	455	441	524	139	500	416
	QTD total de caminhões	110	52	35	111	77	128	76
08	QTD total de carros	462	439	433	525	119	500	446
	QTD total de caminhões	116	50	37	117	84	123	77

Fonte: O autor

O referido vídeo foi selecionado por apresentar uma configuração semelhante à do *benchmark CDNET*, com veículos em diferentes configurações, velocidades, marcas, modelos e cores, além de se encontrar veículos nos dois sentidos.

O pesquisador direcionou a maior parte dos testes práticos para este cenário desafiador para o sistema de visão computacional, a fim de avaliar sua acurácia na detecção de veículos.

Embora este enfoque tenha se concentrado em veículos, a detecção de pedestres segue o mesmo conceito, já que todos os algoritmos detectam o movimento na imagem analisada, ignorando o tipo de objeto detectado e considerando somente o movimento dentro da cena. É possível visualizar o vídeo original por meio do link do Youtube: <https://youtu.be/6Yiuib57MaY>, e a condição inicial é demonstrada na Imagem 1.

Imagem 1 – Quadro (frame) inicial do vídeo "Traffic_3.mp4"



Fonte: O autor com base no vídeo obtido de (GRANATYR, VARGAS e , 2022)

A partir dos arquivos obtidos, foi realizado um processo manual de contagem e registro dos veículos presentes na cena, resultando em 451 arquivos de imagem.

Esses arquivos foram selecionados devido à sua capacidade de registrar um total de 869 carros, 72 caminhões e 3 motocicletas. Os registros estão disponíveis para acesso por meio do link <https://rsb.net.br/mestrado/>.

O experimento consistiu em oito séries de testes comparativos com o mesmo vídeo, nos quais se avaliou o desempenho dos diversos algoritmos utilizados, além de terem sido realizados oito testes distintos com cada algoritmo, em dias e horários diversos.

O pesquisador não efetuou nenhuma mudança nos parâmetros dos filtros durante os testes, sendo a única variação entre cada teste a localização em que os dados foram salvos. Dessa forma, após uma sequência de testes preliminares para determinar os valores mais adequados para os filtros dos algoritmos, os testes descritos neste estudo foram executados com os valores fixados para os seguintes algoritmos: GMG, MOG, MOG2, KNN e CNT.

Os algoritmos LSBP e GSOC não tiveram filtros inseridos ou alteração dos valores padronizados. Todos os códigos fontes utilizados encontram-se disponíveis em <https://rsb.net.br/mestrado/>.

Para a obtenção do controle, foi realizado o levantamento dos dados de referência, que consistiu em contar manualmente todos os veículos presentes no vídeo original utilizando um programa de subtração de *frames*. A partir disso, foram obtidas as condições para a contagem, uma vez que cada *frame* do vídeo foi transformado em um arquivo de imagem. O software promove a extração de forma automática, sendo necessário somente que o usuário especifique o destino para armazenamento das imagens extraídas e a seleção do vídeo original que será analisado.

Nesse caso, foram registrados 869 automóveis e 72 caminhões, sendo que todas as imagens com as contagens manuais também se encontram disponíveis para análise em

<https://rsb.net.br/mestrado/>.

Para a realização das análises estatísticas foram utilizadas as ferramentas: JAMOVI e JASP. Na Tabela 2 encontra-se um dos indicadores testados, verdadeiros e falsos positivos.

Tabela 1 - Estatística Descritiva - Precisão dos algoritmos da amostragem

	Algoritmo	Mediana
Verdadeiros Positivos	GMG	7
	MOG	9
	MOG2	9
	KNN	7
	CNT	7
	LSBP	7
	GSOC	10
Falsos Positivos	GMG	3
	MOG	1
	MOG2	1
	KNN	3
	CNT	3
	LSBP	3
	GSOC	0

Fonte: O Autor

3 CONCLUSÕES

Os algoritmos mencionados neste trabalho, embora tenham sido testados usando veículos terrestres, podem ser adaptados para rastrear o movimento de pessoas e outros objetos. Esses algoritmos, incluindo *K-Nearest Neighbors* (kNN), *Mixture of Gaussians* (MoG), *Mixture of Gaussians version 2* (MoG2), *Godbehere-Matsukawa-Goldberg* (GMG), *Google Summer of Code* (GSOC) e o *Local SVD Binary Pattern* (LSBP), fazem parte da biblioteca *OpenCV*, que é amplamente utilizada em soluções comerciais e está em constante desenvolvimento, agregando valor a essas soluções. Na prática, o uso de sistemas de visão para gerenciamento e monitoramento do tráfego e áreas correlatas exige a combinação de diversas técnicas, incluindo visão computacional, FES, GA, PSO e ANN. Estudos anteriores mostraram que sistemas baseados em IA fornecem benefícios substanciais para o gerenciamento de tráfego em comparação com sistemas estáticos.

Embora tenha havido avanços significativos em áreas paralelas à visão computacional, como hardware e software especializados em IA, redes neurais e sistemas de visão computacional baseados em CPU, GPU e TPU, bem como aplicativos em nuvem, não há

algoritmo que seja robusto o suficiente para se adaptar às diversidades das situações ambientais e não controladas. Existem outros sistemas considerados mais robustos, como *Yolo*, *TensorFlow*, *Compute Unified Device Architecture (CUDA)*, *Darknet*, *Matlab*, *SimpleCV* e *BoofCV*, que podem se aproximar da visão biológica ou superar o desempenho dos algoritmos tradicionais mencionados neste trabalho. Embora os algoritmos apresentados não tenham alcançado a eficiência desejada, seu comportamento e evolução distintos demonstram a necessidade de suporte de outras tecnologias para torná-los mais eficientes.

3.1 Respondendo as questões da pesquisa

No âmbito da precisão, os algoritmos apresentados não alcançaram a acurácia necessária para serem utilizados diretamente em uma solução como a descrita. Devido às interferências presentes no vídeo utilizado, tais como vento, iluminação, sombras e outros objetos em movimento, os algoritmos baseados em predição de posição ou estimativa de movimento, que utilizam ferramentas estatísticas como Filtros de Kalman ou Redes Bayesianas dinâmicas, são mais adequados para estimar a posição dos objetos no próximo quadro do vídeo. No entanto, mesmo essa abordagem não foi suficientemente precisa para contar os veículos de forma assertiva, já que nenhum dos algoritmos testados para os grupos CARROS e CAMINHÕES conseguiu obter resultados satisfatórios (esperava-se uma precisão próxima de 99%).

Com base na subtração de fundo e rastreamento, não é possível utilizar esses algoritmos para gerenciar o funcionamento de um semáforo como idealizado, pois os resultados não são repetíveis nem precisos o suficiente, o que poderia levar a possíveis erros e, conseqüentemente, a acidentes. Devido à oclusão em muitos momentos, observável através dos frames extraídos, os algoritmos não contabilizaram de forma precisa e, para uma aplicação prática e segura, é necessário adicionar outra tecnologia.

Por esta razão, soluções práticas neste setor utilizam redes neurais, aprendizado de máquina e aprendizado profundo, como o *YOLO*, que utiliza *DARKNET* com aceleração de hardware baseada em *Graphics Processing Unit (GPU)*, como *CUDA*, para obter melhores resultados e confiabilidade na gestão de semáforos. No entanto, esse tipo de hardware consome mais energia e o custo de aquisição certamente será maior. Em casos em que não seja necessária uma alta confiabilidade ou até mesmo em baixa demanda de processamento, os algoritmos apresentados podem ser muito eficazes, inclusive para processamento posterior, como identificação de placas em sistemas de rodízio municipais de veículos, como os existentes na cidade de São Paulo.

3.2 Considerações finais

Conforme observado, a utilização somente do BGS, juntamente com rastreamento, sem a utilização de outras tecnologias, tais como aprendizado de máquina (ML), aprendizado profundo (DL), CUDA ou outras tecnologias baseadas em GPU e/ou TPU, não é satisfatória e pode apresentar desempenho e confiabilidade insuficientes para serem empregadas na gestão semafórica em tempo real.

No entanto, para outras soluções em que a segurança não seja um fator crítico, ou

ainda, para a contagem com precisão aceitável, a solução apresentada pode atender com certa confiabilidade, desde que não seja em tempo real ou que se permita um certo erro nos dados. Isso requer uma análise cuidadosa dos valores aplicados nos filtros específicos para cada algoritmo, obtendo assim melhores resultados direcionados para o algoritmo escolhido.

Compreende-se que os dispositivos de borda devem ser capazes de processar a quantidade de informações a que se destinam sem dependerem de servidores. Nesse caso, o trabalho se concentrou na análise da precisão e assertividade dos algoritmos, mas há outras necessidades em um dispositivo *Internet of Things* (IoT), como o consumo de energia durante o funcionamento. Como é de conhecimento público, o consumo de energia é proporcional ao uso da CPU. Assim, a utilização de GPU ou arquiteturas TPU pode gerar outras pesquisas, pois se o algoritmo escolhido demandar mais de uma arquitetura do que de outra, qual seria a melhor escolha, levando em consideração o conceito de sustentabilidade da ODS ou apenas do DOTS?

3.3 Trabalhos futuros

Existem diversas oportunidades para explorar e expandir este estudo. Algumas sugestões incluem:

- Realizar testes e avaliações com outros algoritmos em conjunto com aqueles que já foram testados, a fim de obter uma avaliação mais ampla e compilar resultados com mais opções de escolha de algoritmos para aplicação em dispositivos IOT ou sistemas de CFTV.
- Realizar treinamento e obter um conjunto de dados com base nas definições de veículos estabelecidas no Anexo I da Lei nº 9.503, de 23 de setembro de 1997 do Ministério da Infraestrutura brasileiro.
- Incluir uma análise de precisão baseada no CDNET, comparando os resultados de identificação dos algoritmos testados em relação à sua precisão de identificação, incluindo considerações como falsos positivos. Para esse caso, foram obtidos 28.405 arquivos de imagens em 56 diretórios diferentes durante os testes comparativos, o que pode ajudar a aprofundar a análise quanto a falsos positivos, falsos negativos, verdadeiros positivos e verdadeiros negativos.

O objetivo é encontrar e testar dispositivos IoT mais adequados para uso em um sistema semafórico baseado nos requisitos obtidos neste trabalho e na gestão de tráfego urbano de veículos e pedestres. Os próximos passos é construir e testar um sistema capaz de gerenciar o tráfego usando um semáforo controlado por um sistema de visão computacional, inteligência artificial e internet das coisas. O sistema deve ser tratado como um agente autônomo em uma malha de dispositivos que se comunicam em rede, e, em seguida, realizar a análise dos impactos nos indicadores de tráfego urbano, através de um estudo de campo ou similar.

Além disso, é importante identificar as limitações, benefícios e custos do sistema proposto, realizar testes em campo e possíveis homologações necessárias para a instalação em um cenário real. É necessário ainda elencar as tecnologias de IoT disponíveis para uso em visão computacional e IA; descrever as barreiras e dificuldades legais e operacionais e encontrar a melhor solução em inteligência artificial para o gerenciamento de tráfego urbano de veículos e

pedestres.

4 REFERÊNCIAS

BRASIL - DATASUS. tabnet.datasus.gov.br. **DATASUS Tecnologia da Informação a Serviço do SUS**, 2022. Disponível em: <http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/deftohtm.exe?sim/cnv/pext10uf.def>. Acesso em: 5 outubro 2022.

PEREZ, Yuri. **Simulação de interrupções de semáforos em sistemas de transporte com o uso da teoria de redes complexas**. Universidade Nove de Julho - UNINOVE. São Paulo, p. 78. 2021.