



ANDRÉ  
FERNANDES

**ANÁLISE AVANÇADA DE TRÁFEGO A PARTIR  
DE DADOS DE VÍDEO DE CÂMARA FIXA**

**ADVANCED TRAFFIC ANALYSIS FROM FIXED  
CAMERA VIDEO DATA**





ANDRÉ  
FERNANDES

**ANÁLISE AVANÇADA DE TRÁFEGO A PARTIR  
DE DADOS DE VÍDEO DE CÂMARA FIXA**

**ADVANCED TRAFFIC ANALYSIS FROM FIXED  
CAMERA VIDEO DATA**

Projeto apresentado à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Licenciado em Engenharia Computacional, realizado sob a orientação científica da Doutora Eloísa Catarina Monteiro de Figueiredo Amaral e Macedo, Investigadora Doutorada do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro, e da Doutora Margarida Isabel Cabrita Marques Coelho, Professora Auxiliar c/ Agregação do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro.



*"it is what it is"*



**o júri / the jury**

presidente / president

Prof. Doutor Carlos António Delgado Sousa Brites

Professor Auxiliar do Departamento de Física da Universidade de Aveiro

vogais / examiners committee

Doutor Diogo José Sousa Lopes

Investigador Doutorado do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro

Doutora Eloísa Catarina Monteiro de Figueiredo Amaral e Macedo

Investigadora Doutorada do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro



## **agradecimentos / acknowledgements**

Em primeiro lugar, quero agradecer à minha orientadora, Doutora Eloísa Catarina Monteiro de Figueiredo Amaral e Macedo, pela sua constante disponibilidade para me ajudar, esclarecer todas as dúvidas e pela sua enorme simpatia no decorrer de todo o projeto.

À Doutora Margarida Isabel Cabrita Marques Coelho, pelo acompanhamento ao longo de todo o trabalho.

Ao colega Antonio Pascale, pela disponibilidade em ajudar na instalação inicial do código base.

À minha família, quero agradecer por todo o apoio e motivação que sempre me deram que me permite atingir os meus objetivos e por toda a paciência e compreensão.

E por último, mas não menos importante, aos meus amigos por toda a ajuda e momentos partilhados.



**Palavras Chave**

monitorização e avaliação do desempenho de tráfego, velocidade, aceleração, emissão de poluentes, blob, bounding box, centroide, frame

**Resumo**

A monitorização e a avaliação do tráfego rodoviário são importantes para fornecer informações aos planeadores e gestores de tráfego que lhes permite identificar problemas e necessidades de intervenção por forma a minimizar os impactos rodoviários. Atualmente, existem em diversos pontos das vias de tráfego alguns equipamentos de sistemas inteligentes de transportes, nomeadamente, câmaras de segurança CCTV (câmaras de vídeo fixas) que permitem uma monitorização em tempo real da circulação rodoviária. No entanto, a maior parte destes equipamentos a nível local não permite uma integração dos *outputs*, e requer que um gestor de tráfego agregue a informação, acompanhe a evolução da situação, avalie os impactos com recurso a modelos, e caso julgue necessário, proceda à tomada de decisão (e.g., desvio de tráfego, informação de segurança através de sinais de mensagem variável, informação para canais centrais de tratamento de dados). Este trabalho pretende desenvolver uma plataforma do tipo ‘prova-de-conceito’ que possibilite a monitorização e avaliação automática da situação do tráfego somente com recurso a informação avançada retirada de dados recolhidos através de câmaras de vídeo fixas. Através de um vídeo, um objeto em movimento (neste caso, um veículo) pode ser detetado e identificado. A categoria do veículo pode ser estimada com base na dimensão do invólucro do objeto em movimento. Com recurso a técnicas específicas consegue-se determinar vários parâmetros, sendo o foco deste trabalho incidir em informação associada a estimativa da velocidade, do desempenho operacional do veículo, e estimativa de emissões de poluentes em ambiente rodoviário. Assim, com este trabalho pretende-se que a plataforma computacional permita uma análise avançada do tráfego a partir de um vídeo, em particular: contagem de veículos por categoria (ligeiros, pesados), estimativa de perfis de velocidade e desempenho operacional do veículo, e estimativa de emissões de poluentes associadas usando modelos disponíveis na literatura. A ferramenta desenvolvida foi testada com diversos dados de vídeo recolhidos numa Estrada Nacional na zona de Aveiro, Portugal. Os resultados (preliminares) obtidos neste projeto demonstram que a ferramenta é eficiente no que respeita à monitorização do tráfego local e estimativa de impactos, sendo de realçar que o seu aprimoramento permitirá que seja considerada relevante para gestores e planeadores de tráfego rodoviário sem necessidades de investimentos extra a nível de equipamentos.



**Keywords**

monitoring and evaluation of traffic performance, speed, acceleration, pollutant emission, blob, bounding box, centroid, frame

**Abstract**

Monitoring and evaluation of road traffic are important to provide information to traffic planners and managers that allows them to identify problems and intervention needs in order to minimize road impacts. Currently, there are in several points of the roads some equipment of intelligent transport systems, namely, CCTV security cameras (fixed video cameras) that allow a real-time monitoring of road traffic. However, most of this equipment at the local level does not allow for the integration of outputs, and requires a traffic manager to add the information, monitor the evolution of the situation, assess the impacts using models, and, if necessary, proceed with the decision making (e.g., traffic diversion, safety information via variable message signals, information for central data processing channels). This work intends to develop a 'proof-of-concept' type platform that allows the automatic monitoring and evaluation of the traffic situation only using advanced information taken from data collected through fixed video cameras. Through a video, a moving object (in this case, a vehicle) can be detected and identified. The vehicle category can be estimated based on the housing dimension of the moving object. Using specific techniques, it is possible to determine several parameters, the focus of this work being on information associated with estimating speed, vehicle operational performance, and estimating pollutant emissions in a road environment. Thus, with this work it is intended that the computational platform allows an advanced analysis of the traffic from a video, in particular: counting of vehicles by category (light, heavy), estimation of speed profiles and operational performance of the vehicle, and estimation of associated pollutant emissions using models available in the literature. The developed tool was tested with several video data collected on a national road in the area of Aveiro, Portugal. The (preliminary) results obtained in this project demonstrate that the tool is efficient in terms of monitoring local traffic and estimating impacts, and it should be noted that its improvement will allow it to be considered relevant for road traffic managers and planners without the need for extra investments in equipment.



# Conteúdo

<b>Conteúdo</b>	<b>i</b>
<b>Lista de Figuras</b>	<b>iii</b>
<b>Lista de Tabelas</b>	<b>v</b>
<b>Glossário</b>	<b>vii</b>
<b>1 Introdução</b>	<b>1</b>
1.1 Enquadramento . . . . .	1
1.2 Objetivos do Projeto . . . . .	3
1.3 Estrutura do Projeto . . . . .	4
<b>2 Estado da Arte</b>	<b>5</b>
2.1 Deteção Múltipla de Veículos . . . . .	5
2.2 Estimativa de Velocidade . . . . .	7
2.3 Estimativas da Emissão de Poluentes . . . . .	9
2.4 Síntese Conclusiva . . . . .	10
<b>3 Metodologia</b>	<b>11</b>
3.1 Deteção de Veículos em Movimento . . . . .	13
3.2 <i>Tracking</i> do Veículo . . . . .	14
3.3 Deteção do Centróide nas Linhas de Intrusão . . . . .	15
3.4 Estimativa do Desempenho Operacional e das Emissões de Poluentes . . . . .	18
<b>4 Resultados</b>	<b>23</b>
4.1 Visualização de Dados . . . . .	23
4.2 Análise dos Dados Obtidos . . . . .	25
4.2.1 Validação dos Dados Estimados pela Plataforma Desenvolvida . . . . .	25
4.2.2 Análise de um Vídeo pela Plataforma Desenvolvida . . . . .	28

5 Conclusão	31
Referências	33

# Listas de Figuras

1.1	Veículos motorizados por mil habitantes de 2010 a 2020 em Portugal [2] . . . . .	1
1.2	Mortes em acidentes rodoviários envolvendo vítimas entre 1960 a 2020 em Portugal [7] . .	2
3.1	Fluxograma com uma visão geral da metodologia aplicada na realização do trabalho deste Projeto. . . . .	11
3.2	Utilização das técnicas <i>erosion</i> e <i>dilation</i> . . . . .	14
3.3	Aplicação da técnica da região convexa. . . . .	14
3.4	Veículos ligeiros com a bounding box (BB) e centróide devidamente atribuídos. . . . .	15
3.5	Linhas de intrusão que identificam o centróide de cada <i>Blob</i> permitindo o calculo da velocidade. . . . .	16
4.1	Terminal de saída do <i>script</i> enquanto este executa. . . . .	24
4.2	Exemplo do "output" gráfico. . . . .	24
4.3	<i>Overview</i> final após o término do <i>script</i> . . . . .	25



# Listas de Tabelas

3.1	Espetro dos valores vehicle specific power (VSP) e os seu valores de poluentes associados para veículos ligeiros movidos a gasolina. . . . .	20
3.2	Espetro dos valores VSP e os seu valores de poluentes associados para veículos ligeiros movidos a diesel. . . . .	20
3.3	Espetro dos valores VSP e os seu valores de poluentes associados para veículos pesados. . . . .	21
4.1	Número de veículos ligeiros observados <b>VS</b> veículos detetados. . . . .	26
4.2	Média de emissões obtida dos veículos ligeiros movidos a gasolina. . . . .	26
4.3	Média de emissões obtida dos veículos ligeiros movidos a gasóleo. . . . .	26
4.4	Média total obtida de emissões dos veículos ligeiros. . . . .	26
4.5	Velocidades observadas <b>VS</b> Velocidades obtidas em km/h. . . . .	27
4.6	Velocidades observadas <b>VS</b> Velocidades obtidas em km/h. . . . .	27
4.7	Velocidades observadas <b>VS</b> Velocidades obtidas em km/h. . . . .	28
4.8	Velocidades observadas <b>VS</b> Velocidades obtidas em km/h. . . . .	28
4.9	Número de veículos observados <b>VS</b> detetados. . . . .	28
4.10	Emissão total de poluentes por parte dos veículos pesados. . . . .	29
4.11	Emissão total de poluentes por parte dos veículos ligeiros. . . . .	29



# Glossário

**BI** binary image  
**BA** blob analysis  
**BB** bounding box

**FD** frame differencing  
**VSP** vehicle specific power

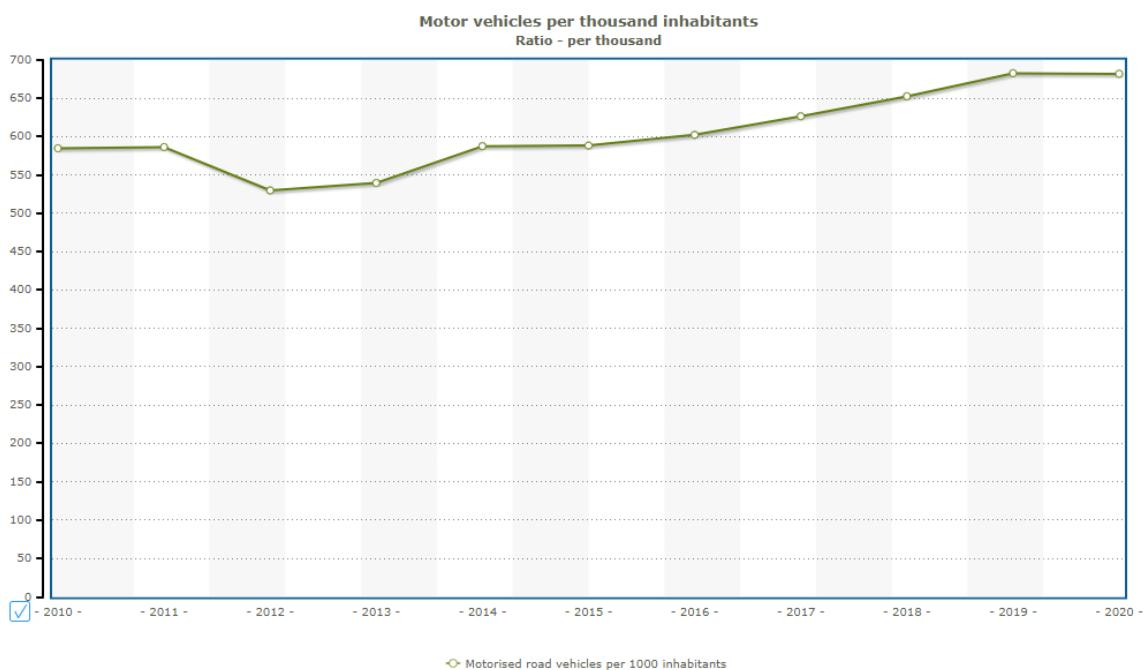


# Introdução

## 1.1 Enquadramento

O transporte rodoviário assume um papel importante no desenvolvimento das cidades e sociedades. No entanto, tem-se vindo a assistir a um crescimento no número de veículos motorizados em circulação na Europa, e em particular, em Portugal [1].

Em Portugal, na última década houve um crescimento significativo nos número de veículos motorizados por mil habitantes como é observável na Figura 1.1.

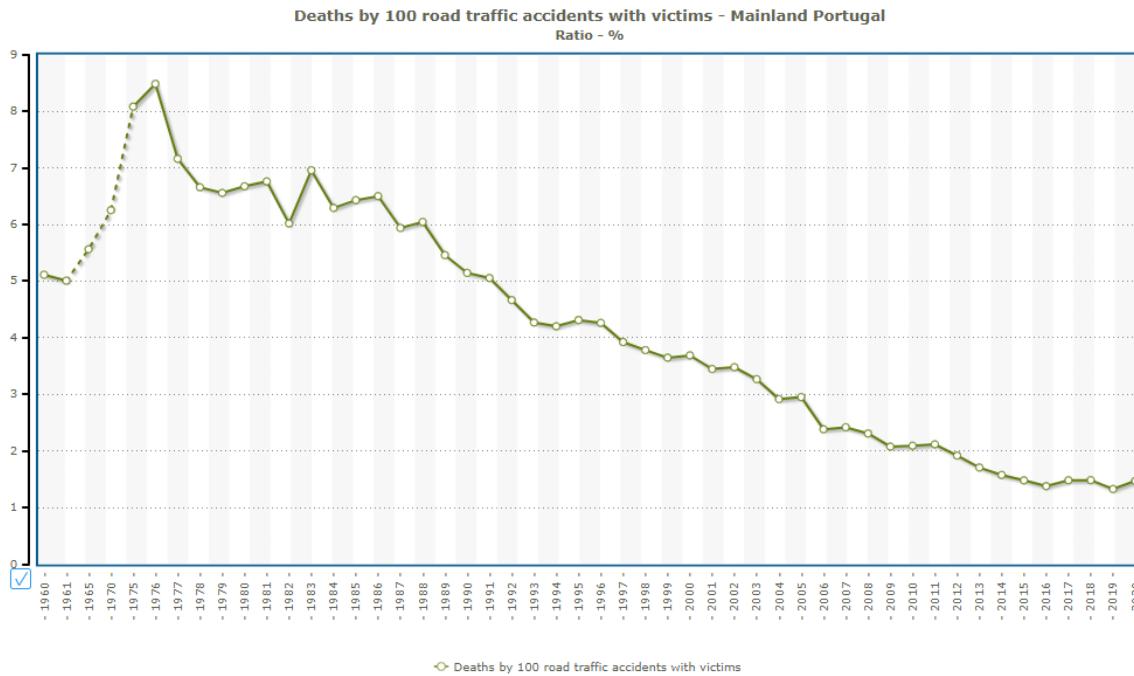


**Figura 1.1:** Veículos motorizados por mil habitantes de 2010 a 2020 em Portugal [2]

Dentro do setor do transporte rodoviário, o transporte individual assume um papel dominante, representando a nível Europeu mais de 70 % das viagens [3]. A maioria das viagens em deslocações diárias são efetuadas com recurso a automóvel privado pela flexibilidade

e conforto, sendo que, independentemente da zona de residência, 65 % dos europeus utilizam viatura própria para se deslocarem para o local de trabalho [4]. Apesar de todos os benefícios associados à mobilidade de bens e pessoas, o tráfego rodoviário acarreta alguns efeitos adversos, como congestionamentos, emissões de ruído, de gases com efeito de estufa (como o dióxido de carbono  $CO_2$ ), e poluentes locais (como óxidos de azoto  $NO_X$ ), com impactos tanto a nível do ambiente, bem como na saúde pública [5].

O elevado fluxo de automóveis representa também impactos a nível da segurança rodoviária, especialmente em grandes cidades. No ano de 2020 em Portugal houve um total de 26.501 acidentes, 50 % dos quais foram colisões entre viaturas, 36 % foram devido a perda de controlo do veículo, e os restantes 14 % envolveram atropelamento de utilizadores vulneráveis, incluindo peões e ciclistas [6]. Devido à pandemia assistiu-se a um ligeiro decréscimo dos valores reportados para 2019. Ainda em 2020, por cada 100 acidentes rodoviários, que envolviam vítimas, o rácio de mortes foi de 1,5 [7], ilustrado na Figura 1.2. Estes valores estão longe dos objetivos Europeus no sentido de baixar drasticamente o número de fatalidades e acidentes em ambiente rodoviário, bem como os objetivos ligados a estratégias decorrentes do *Green Deal* [8] associadas a medidas que permitam reduzir as emissões de poluentes.



**Figura 1.2:** Mortes em acidentes rodoviários envolvendo vítimas entre 1960 a 2020 em Portugal [7]

As emissões de poluentes, resultantes da combustão dos combustíveis fósseis utilizados nos veículos, nomeadamente o  $CO_2$  e o  $NO_X$ , são de extrema importância principalmente em zonas de grandes aglomerados populacionais, em que há uma maior exposição da população à poluição [9].

Um dos responsáveis pelos efeitos adversos do tráfego rodoviário é precisamente o condutor do automóvel privado [10]. As suas ações e o estilo/comportamento de condução têm consequências no seu impacto relativo a nível da rede rodoviária. Muitos dos acidentes acontecem em zonas

urbanas, onde também se verificam valores elevados de poluição rodoviária. Tipicamente, análises microscópicas do desempenho dos veículos não são consideradas na avaliação das condições de tráfego; esta avaliação restringe-se na sua maioria a uma inspeção visual em termos do fluxo rodoviário e deteção de ocorrência de acidentes nas estradas [11]. Por exemplo, os inventários nacionais em termos de emissões baseiam-se em velocidades médias do fluxo de tráfego e podem não refletir todos os efeitos decorrentes de anomalias do tráfego em diferentes segmentos [12].

Ferramentas ITS (*Intelligent Transport Systems - Sistemas Inteligentes de Transportes*) têm sido apontadas como soluções inovadoras que permitem tornar o sistema de transportes mais eficientes e experiências de viagem mais confortáveis. Várias ações têm vindo a ser criadas a nível europeu por forma a criar uma vasta rede de sistemas inteligentes para reduzir o congestionamento do tráfego e diminuir a emissão de poluentes e ruído [13]. A monitorização de redes rodoviárias é fundamental para que o sistema de transportes seja eficiente e sustentável. Esta permite que se analise o trânsito com detalhe de modo a perceber o seu funcionamento para que, posteriormente, seja feita uma avaliação permitindo a tomada de decisões, nomeadamente a nível local. No entanto, muitas autoridades locais não dispõem de verbas e recursos para poder investir a curto prazo em tecnologia emergente para monitorização e avaliação de tráfego. Neste contexto, ferramentas denominadas '*low cost*' (de baixo custo de investimento e manutenção) seriam fundamentais. É precisamente este ponto que abordaremos neste projeto: desenvolvimento de uma plataforma de análise avançada de dados de tráfego recolhidos a partir de câmaras de vídeo fixas. Este tipo de equipamentos já se encontra instalado em diversos pontos das cidades e estradas, pelo que o presente projeto visa apresentar uma prova-de-conceito em como tais equipamentos poderiam ser atualizados por forma a fornecer informação de grande relevância para vários agentes rodoviários, como planeadores e gestores de tráfego, bem como condutores.

## 1.2 Objetivos do Projeto

Este projeto propõe o desenvolvimento de uma ferramenta computacional que, através de imagens de vídeo, permita a avaliação de parâmetros relacionados com a circulação rodoviária, como por exemplo, estimativa da velocidade, do desempenho operacional do veículo, nível de congestionamento e emissão de poluentes nomeadamente  $CO_2$  (associado com alterações climáticas),  $NO_x$  (associado a qualidade do ar) bem como  $CO$  (monóxido de carbono) e o  $HC$  (hidrocarbonetos), um complemento que permite retratar melhor a situação específica que se analisa em vídeo, associada a veículos leves e pesados. Esta será relevante para autoridades locais e gestores de tráfego na definição de estratégias de controlo.

É importante realçar o facto de que a distinção entre camiões e autocarros é difícil em ambiente urbano, por isso o primeiro passo foi focar em avaliação em ambiente rural, nomeadamente numa estrada nacional com fluxo de tráfego moderado, na zona de Aveiro, Portugal.

Objetivos específicos deste projeto incluem: adaptação de código (*open-source*) C em ambiente *Visual Basic* para contagem e categorização de veículos através de imagens de vídeo; calibração dos modelos computacionais de deteção e categorização de objetos em movimento;

implementação de código para análise microscópica do tráfego rodoviário, nomeadamente, apresentação de estimativa de velocidade, de desempenho operacional do veículo (através do modelo VSP) e estimativa de emissões de poluentes.

### **1.3 Estrutura do Projeto**

A estrutura deste projeto encontra-se dividida em cinco capítulos. Após o primeiro capítulo - Introdução - onde são apresentados o enquadramento da temática focado nas características dos impactos do tráfego automóvel, os objetivos do projeto, bem como a sua estrutura, segue-se o segundo capítulo dedicado a uma análise ao Estado da Arte. No Estado da Arte do presente trabalho, é efetuada uma breve revisão da literatura relevante para o tópico abordado, em particular, no que concerne a trabalhos que incidem no estudo da deteção múltipla de veículos, estimativa de velocidade, estimativas do desempenho operacional do veículo, bem como da emissão de poluentes.

No terceiro capítulo é descrita a metodologia seguida no projeto de forma a cumprir os objetivos propostos.

O quarto capítulo é dedicado à apresentação dos resultados obtidos, bem como à sua discussão.

Por fim, o quinto capítulo, destina-se à apresentação das conclusões decorrentes da elaboração e teste do projeto desenvolvido, onde são mencionados os resultados alcançados, as limitações do trabalho, e apontam-se perspetivas de trabalho futuro por forma a melhorar a plataforma desenvolvida.

# CAPÍTULO 2

## Estado da Arte

Atualmente, existem vários estudos dedicados à monitorização de tráfego automóvel que se focam numa análise de dados de tráfego recolhidos através de câmara de vídeo fixas. Neste capítulo são apresentados os trabalhos cuja relação com este projeto é mais relevante. A revisão de literatura demonstrou que as principais áreas em estudo são a deteção múltipla de veículos e estimativa de velocidade. Menos comum é a apresentação de estimativas do desempenho operacional do veículo bem como da emissão de poluentes, que será precisamente a contribuição deste trabalho, em que procuramos estimar estes impactos com base na estimativa da velocidade dos veículos detetados em dados de vídeo.

### 2.1 Deteção Múltipla de Veículos

A análise avançada de tráfego é agora possível graças aos avanços tecnológicos e computacionais. A partir de uma câmara de vídeo, é possível, com de várias técnicas e modelos computacionais, detetar um objeto em movimento. Ora, a possibilidade de detetar um veículo abre portas a aplicações de vários algoritmos que permitem obter as mais diversas informações. É importante referir que um vídeo é uma sequência de imagens, conhecidas como *frames*, e são com eles que são feitas todas as análises e aplicações.

Muhammad Khan et al. propõem uma *video-based analysis* para estudar o problema do excesso de velocidade [14]. O modelo usado para atingir o objetivo consiste no uso de um modelo baseado em frame differencing (FD) recorrendo a blob analysis (BA) para identificar os veículos. A BA é um método que permite identificar características que se diferenciam em binary image (BI)(imagens digitais onde todos os pixels são convertidos para que tenham apenas duas possíveis situações, pretos ou brancos) e FD consiste na computação da imagem de fundo, *background image*, que é usada como imagem de referência. O primeiro passo é FD. Primeiramente, o *frame* atual é subtraído ao *frame* de referência e a imagem resultante é convertida para BI. Quanto maior o número de *frames* menor é o ruído. O ruído na BI é muitas vezes causado por variações de brilho que, quando feita a FD, vários pixels indesejados ficam na imagem resultante. É de notar que todos os *frames* possuem coordenadas de posição e uma

coordenada temporal que representa o intervalo de tempo entre o *frame* atual e o de referência. A BA foi usada para encontrar regiões com características semelhantes na BI resultante de maneira a agrupar esse conjunto de píxeis formando os "blobs". Cada "blob" representa um veículo identificado no vídeo e tem associado duas matrizes, uma com as coordenadas do seu centroide e outra com as coordenadas da BB. Estas duas matrizes permitem retirar várias informações do "blob", ou seja, do veículo, como por exemplo o seu tamanho, a sua posição e percurso que tomou. Foi calculado o centroide, centro de massa, de cada "blob". Para tal, utilizaram a média de cada coordenada. Para x foi feita a soma de todas as coordenadas x do "blob" dividida pelo total de píxeis do "blob" e o mesmo raciocínio foi aplicado para y [14]. A BB consiste num retângulo que envolve o "blob". Sendo o "blob" um conjunto de píxeis, esta é definida através das coordenadas dos píxeis que possuem os valores mais baixos de x e y e os valores mais altos de x e y [14]. O algoritmo foi testado em diferentes conjuntos de dados pelo que a precisão média entre *slow*, *fast* e *fast motion* foi de 90% [14].

Em [15] Ernest Kisingo et al. propõem a construção de um sistema que possa estimar velocidades de vários veículos. Para detetar um veículo em movimento através de um vídeo, dividiu este processo em três fases, obter os *frames* do vídeo, detetar o veículo em movimento e detetar esse movimento em múltiplos *frames*. Na primeira etapa, para reduzir o ruído da imagem utilizaram um filtro [16] e converteram todos os *frames* para BI de modo a facilitar cálculos matemáticos. Na segunda etapa, deteção de veículos em movimento, a técnica utilizada foi FD devido aos baixos custos computacionais que exige, boa performance e fácil implementação. Explica que o método consiste na subtração de *frames* adjacentes de modo a ficar apenas com os píxeis em movimento, os "blobs", que representam o veículo em movimento [15]. É referida a possibilidade de *noisy blobs*, isto é, objetos que não são veículos e foram detetados. Para resolver o problema, foram aplicadas técnicas de limiarização para os remover e, para tal, recorreram à técnica *erosion*. *Erosion* é um método de processamento de imagem aplicado a BI e a sua função é encolher as imagens [17]. Um dos grande usos de *erosion*, usado no trabalho de Ernest Kisingo [16], é a eliminação de detalhes irrelevantes em função do tamanho nas BI [17]. De seguida, cada "blob" foi identificado com um número inteiro, *BlobID*, para armazenar informação de cada veículo, como por exemplo as coordenadas do centroide. Por fim, para detetar o veículo em movimento foi utilizado o *Mahalanobis matching algorithm*. Este algoritmo tem na sua base a distância de *Mahalanobis* que é uma distância precisa entre dois pontos calculada através de cada variável desses pontos [18]. É utilizada em cenários de *multivariate time series* que são sincronizados através de *distance-based dynamic time warping*. *Dynamic time warping* é um algoritmo que compara e alinha duas séries temporais. Na proposta de Ernest Kisingo, estes dois pontos são os centroides, sendo que, se a distância de *Mahalanobis* for a matriz identidade, então a distância é reduzida à distância euclidiana [15]. Esta condição garante que, em dois *frames* distintos, o veículo detetado é o mesmo e é atribuído o mesmo *BlobID*.

O sistema obtido no trabalho apresentado em [15] foi comparado com o sistema LIDAR e com o velocímetro dos carros, tomado como referência. Os resultados mostram que, embora o sistema LIDAR apresente resultados melhores e colocando na balança as condições complexas do

tráfego a proposta apresenta resultados perto do ideal. *Frame skipping*, segundo Ernest Kisingo, melhora a precisão dos resultados. Esta técnica permite evitar situações de sobreposição de eventos em *frames* consecutivos. Em altas velocidades e usando *frame skipping*, o sistema obtido apresenta erros absolutos muito reduzidos, inferiores ao sistema LIDAR e, quanto maior forem os *frames* avançados, menor o erro global, isto é, em todas as situações de velocidade, o erro diminui [15].

Uma outra proposta baseada na análise de veículos em movimento foi apresentada em [19]. O método de eleição consiste na FD. Durante o trabalho, a câmara utilizada esteve sempre fixa. A abordagem tomada consiste na diferença de tempo entre dois *frames* adjacentes e, de seguida, são removidas todas as partes estáticas da imagem que resulta da FD. Esta abordagem permite extrair o objeto em movimento. Este método apresenta um fator de adaptação para mudanças de luminosidade, a sua implementação é simples e compatível com a deteção de objetos em movimento em sistemas que funcionam em tempo real. Apresenta uma desvantagem quanto à informação das dimensões do objeto, isto é, do tamanho real do objeto, pois a BB não consegue contornar por completo o mesmo. O autor refere que o algoritmo do método de subtração do *background* apresenta uma sensibilidade às mudanças de luminosidade e outras condições atmosféricas. Refere também que o método *optical flow*, baseado na restrição de tonalidades acinzentadas e brilho constante consegue detetar um objeto em movimento sem ter qualquer tipo de informação prévia do cenário, porém o seu cálculo é complexo e requer muito poder computacional quando aplicado a deteções em tempo real [19]. Os autores referem que um movimento implica que o valor associado a um pixel mude, então o movimento de um objeto causa mudanças de luz e, por sua vez, mudanças no *background* daí a necessidade de ser atualizado, ou seja, as regiões onde há movimento são substituídas pelo *background*, das áreas correspondentes, do *frame* anterior. Para extrair o objeto em movimento, é usada a diferença entre três *frames*, que no fim, o resultado é convertido para BI. Por fim, o objeto em movimento é reduzido ao centroide de modo a minimizar os erros [19].

## 2.2 Estimativa de Velocidade

A velocidade é um fator que coloca diariamente a segurança rodoviária em causa. O fator chave para estimar a velocidade de um veículo é a sua deteção num sistema *video-based*.

Fatima Afifah et al. [20] sugerem uma abordagem para estimar a velocidade de veículos em movimento baseada na deteção de veículos em movimento através de uma câmara fixa. Ora, a cada veículo detetado foi atribuído um centroide. Para determinar a velocidade, foram utilizadas duas fórmulas e, medidas prévias foram necessárias. É necessário medir o tamanho de estrada utilizado sendo conveniente que este tenha a sua distância igual à largura da imagem porque a largura da imagem pode ser obtida através de livrarias computacionais. Depois, foi aplicada a distância euclidiana a dois centroides de *frames* consecutivos, resultando na distância entre píxeis [20]. O tempo total que o veículo, reduzido ao centroide, demora a percorrer o ecrã todo é dado pela largura da imagem e pelo *frame rate*. O *frame rate* pode ser encontrado em livrarias computacionais ou na própria camara de vídeo que foi utilizada.

Finalmente, a velocidade estimada é dada pelo produto da distancia entre píxeis e distância real da estrada a dividir com o tempo total [20].

No trabalho proposto por Javadi Saleh et al., para estimar a velocidade de um veículo tendo como base *video-based analysis*, foi utilizado um modelo [21]. O modelo é usado para detetar um objeto quando este cruza uma linha virtual e entra numa zona de interesse. O objeto não é detetado exatamente em cima da linha digital, mas sim entre uma distância de deteção que é diretamente proporcional com o *frame rate* da câmara e com velocidade do veículo. A posição inicial do veículo, quando aparece após a primeira linha de deteção, é considerada aleatória. No caso de existirem mais de duas linhas de deteção, o objeto deve estar na zona de deteção de cada linha consecutiva. O modelo proposto consiste no calculo da função da densidade probabilística de um veiculo em movimento tendo em conta o seu vetor padrão de movimento. Esta função devolve um intervalo de valores possíveis para velocidade e a probabilidade de cada velocidade ser atingida devido ao vetor padrão de movimento.O modelo requere o vetor padrão do movimento, o vetor das distâncias das linhas de deteção e o *frame rate* da câmara como parâmetros de entrada. O erro associado ao método está relacionado com o *frame rate* da câmara sendo que, quando maior, menor o erro, porém, a diferença é mínima e não proporcional [21].

No trabalho que Muhammad Khan et al. 2019 propõem para estimar a velocidade de veículos em movimento é usada a distância euclidiana do centroide de cada "blob"[14]. É de notar que nesta proposta foi usada BA para detetar objetos em movimento. Inicialmente foi calculada a velocidade, a razão entre a distância percorrida pelo centroide e o *frame rate* da câmara. Esta está definida como píxeis/segundo porque a posição do "blob"é reduzida ao centroide e, o centroide é um píxel que muda de *frame* para *frame*. Ora, foi aplicada a distância euclidiana ao centroide em dois *frames* consecutivos resultando na distância percorrida. De seguida, é feita a razão entre a distância obtida pelo tempo total que demorou a ser percorrida. Foi implementado no algoritmo indicadores de velocidade que definiam como devagar, médio ou rápido [14].

Ernest Kisingo et al. 2021 também recorreu à distância euclidiana entre píxeis entre *frames* consecutivos, ou seja, do centroide de cada veículo [15]. Para obter o tempo de viagem calculou a razão entre o número de *frames* que separa o centroide com o *frame rate* da câmara. Com as duas expressões desenvolveu uma fórmula capaz de estimar a velocidade real de um veículo em quilómetros por hora. A equação resultante possui uma variável que representa a distância de mapeamento. Esta distância representa, para cada píxel de um objeto, neste caso, sendo um centroide, apenas um píxel, de uma BI a menor distância entre *frames* [22]. Esta, é constante quando a câmara se encontra fixa. Foi desenvolvido um processamento de limites de velocidades, isto é, quando veículos num dado *frame* violarem os limites de velocidade a BB fica vermelha e a velocidade correspondente é fixada a esse veículo [15].

Jin-xiang Wong et al. 2016 propõem uma abordagem tendo em conta distância do centroide entre *frames* consecutivos [19]. A formula utilizada para o calculo da velocidade é o produto da formula euclidiana com o *frame rate* da câmara. O autor refere que o mapeamento do píxel é um fator importante, pois em situações complexas pode não ser linear e então, pode ser

necessário recorrer a vários métodos para obter coeficientes para cada cenário em específico [19].

O método apresentado para o cálculo da velocidade no trabalho de Claudio Guarnaccia consiste no tempo que um centroide demora desde a deteção numa primeira linha de deteção até uma segunda linha, que depois é convertida de *frame* por segundo para metro por segundo [23]. A distância entre as deteções e o tempo que o centroide leva a percorrer permite calcular a velocidade. É referido que o *frame rate* da câmara influência o processo de estimar a velocidade quando é feita a conversão do número de *frames* por segundo necessário para chegar à segunda linha de deteção, então, a discretização na deteção de velocidades acontece devido ao *frame rate* escolhido [23]. O autor refere que a área de vídeo é igualmente um fator importante para estimar velocidades de forma precisa.

### 2.3 Estimativas da Emissão de Poluentes

A emissão de partículas, isto é, a poluição coloca em causa o bem-estar humano e contribui para um grande impacto ambiental. Nesta secção são apresentados estudos que apresentam modelos/técnicas que estimam emissões atmosféricas que, por sua vez, podem ser usados para ajudar na sua redução.

Eloísa Macedo et al. 2020 propõem um modelo *COPERT-based* que visa estimar as emissões dos veículos de  $CO_2$  e  $NO_X$  [24]. COPERT é um programa cujo objetivo é calcular as emissões de poluentes atmosféricos do transporte rodoviário. Este programa requer várias variáveis de entrada e, o modelo proposto, apenas requer a velocidade média. Esta abordagem é uma aproximação que permite ser obtida sem informação prévia das características do veículo. A metodologia pode ser aplicada a diferentes tipos de veículo e mostra que as emissões estão relacionadas com as variações de velocidade descrevendo curvas parabólicas, refletindo maiores emissões em velocidades altas; foi aplicado um ajuste dos mínimos quadráticos para uma melhor curva [24].

Num outro trabalho, Macedo et al. fez recurso da metodologia VSP para estimar emissões dos poluentes  $CO_2$  e  $NO_X$ . VSP representa a energia usada por um motor a combustão para mover o veículo, sendo uma função da velocidade instantânea do veículo, da sua aceleração e da inclinação da estrada [25].

O VSP é um modelo microscópico que permite obter valores instantâneos da potência do veículo e que reflete o modo operacional - VSP é obtido através de uma fórmula com três parâmetros independentes, a velocidade, a aceleração e a inclinação da estrada [25] [26].

Fernandes et al. sugere a integração de um indicador de sustentabilidade no tráfego rodoviário [27]. Várias componentes são integradas por forma a obter um custo associado com uma determinada rota. Numa primeira etapa foi recolhida informação da dinâmica dos veículos, isto é, dados da velocidade, aceleração e inclinação da estrada segundo a segundo. Para estimar os poluentes  $CO_2$  e  $NO_X$  emitidos pelos veículos foi usado um modelo *VSP-based* pois apresenta níveis de precisão maiores do que modelos baseados somente na velocidade. No entanto, outros procedimentos são utilizados para estimativas em que o VSP ainda não está desenvolvido.

A metodologia EMEP/EEA [28] permite estimar emissões de forma macroscópica (COPERT). Este método usa fatores de emissão e características do motor em função da velocidade média; é de notar que apresenta um défice na eficiência em situações de trânsito interrompido, como por exemplo rotundas e semáforos (como foi demonstrado em [27]).

Wendan Zhang et al. recorreram igualmente à metodologia VSP [29] para uma análise do tráfego. Este, refere que as emissões de  $C0_2$  e  $NO_X$  aumentam com a inclinação das estradas. Neste trabalho os autores recolheram dados de velocidade, aceleração e inclinação da via em estudo através de uma plataforma de simulação VISSIM. VISSIM é um modelo de simulação de tráfego baseado no comportamento dos condutores. Com a finalidade de capturar melhor as características das emissões, os valores das emissões foram divididos em categorias ou secções. As emissões de cada veículo são obtidas através da soma das emissões obtidas segundo a segunda em coordenação com os valores tabelados do VSP e, para obter do segmento da via, é feita a soma das emissões de todos os veículos [29].

## 2.4 Síntese Conclusiva

A revisão de literatura relevante sugere que o principal objetivo dos trabalhos nesta área concentra-se no desenvolvimento de modelos de deteção de veículos e de estimar apenas a velocidade cada vez mais de forma mais precisa. Ora, embora a precisão seja um ponto crucial para obtenção de dados para uma monitorização de tráfego mais eficiente, é evidente uma lacuna no que respeita à possibilidade de extração de mais informação dos dados recolhidos em vídeo, e que poderá ser de elevada importância para os agentes rodoviários. Este projeto é dedicado ao desenvolvimento de uma aplicação que integra vários modelos existentes na literatura e que permite reunir informação de forma simples, mas eficiente, não só referente à composição e condições do tráfego (categorização de veículos e velocidade associada), mas também relacionada com o desempenho operacional dos veículos e emissão de poluentes.

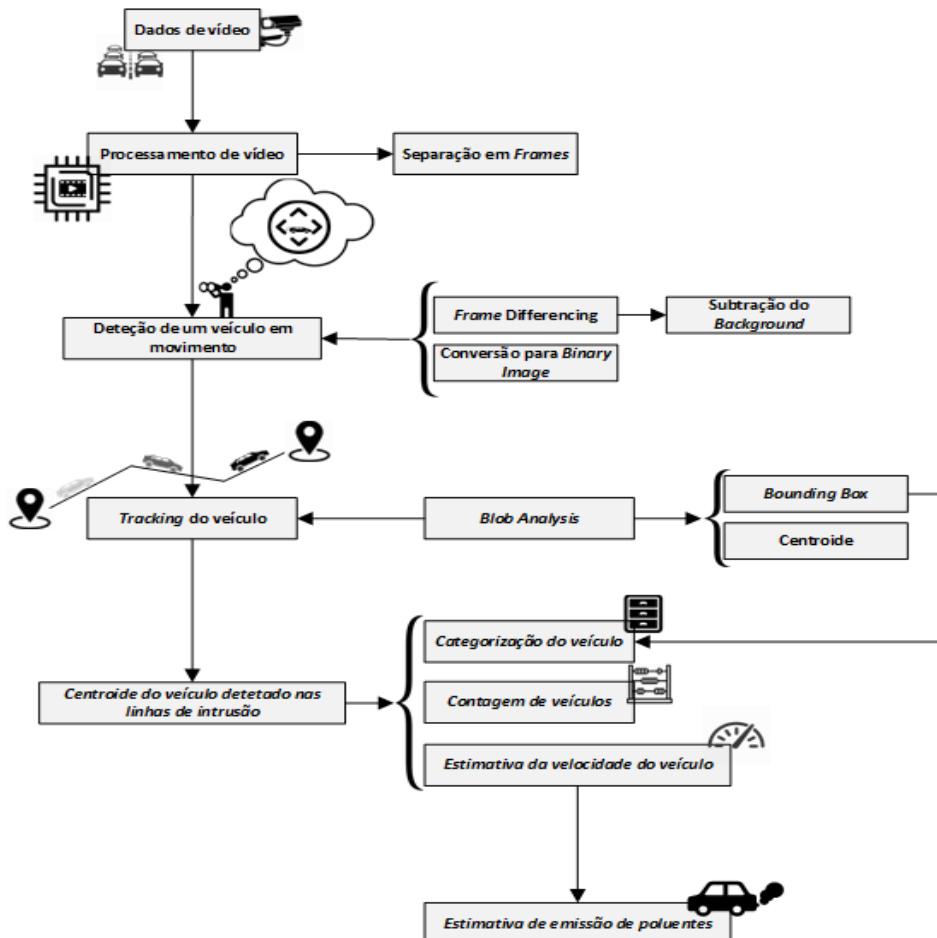
Espera-se que o trabalho desenvolvido neste projeto contribua para mostrar as vantagens de investimento em plataformas simples que permitam uma utilização mais eficiente da infraestrutura, melhorando o fluxo do tráfego e a segurança rodoviária e, ao mesmo tempo, permita reduzir o impacto ambiental.

# 3

## CAPÍTULO

# Metodologia

Neste capítulo é descrita a metodologia seguida no projeto de forma a cumprir os objetivos propostos. Para uma melhor compreensão da metodologia do trabalho, a Figura 3.1 ilustra, de maneira geral, quais as etapas seguidas neste trabalho.



**Figura 3.1:** Fluxograma com uma visão geral da metodologia aplicada na realização do trabalho deste Projeto.

Existem alguns modelos na literatura de referência que permitem estimar alguns impactos relacionados com um veículo em movimento, nomeadamente, existem modelos microscópicos de estimativa de emissões de poluentes, como o Vehicle Specific Power, nomeadamente incidindo sobre o  $CO_2$ , CO,  $NO_X$  e HC. Estes modelos requerem informação da velocidade, aceleração e inclinação da via. Neste Projeto procura-se desenvolver uma ferramenta computacional que consiga devolver uma estimativa da velocidade, aceleração e emissões de poluentes das classes de veículos, ligeiro e pesado. Para atingir o objetivo, será necessário o desenvolvimento de código computacional que permita, de forma automática, extrair e devolver informação relevante para análise de impactos rodoviários a partir de dados de tráfego recolhidos através de vídeo de câmara fixa. Inicialmente, com dados de vídeo já adquiridos, o primeiro passo consiste em separar o vídeo em *frames*. De seguida, é feita a deteção dos veículos em cada *frame*, e para tal, são usadas as técnicas de FD e BI. O rastreamento de cada veículo é feito através da BA, que atribui a cada veículo um centróide e uma BB. Estes, com a contribuição de linhas de intrusão, vão permitir categorizar cada veículo, fazer contagem de veículos e estimar as suas velocidades. A velocidade desempenha um papel fundamental pois permite estimar os poluentes emitidos pelos veículos.

### **1<sup>a</sup> Etapa - Revisão Bibliográfica**

Leitura técnica e cuidada de documentos relativos à aplicação de modelos e algoritmos que permitem identificar e rastrear os veículos em movimento, estimar a velocidade, o desempenho operacional e a emissão de poluentes.

### **2<sup>a</sup> Etapa - Deteção de veículos em movimentos**

Aplicando técnicas computacionais como FD e BI é possível localizar um veículo num *frame* do vídeo.

### **3<sup>a</sup> Etapa - *Tracking* do veículo**

Através da BB é possível fazer o seguimento de um veículo ao longo de todos os *frames* em que apareceu, reduzindo-o ao seu centróide e delimitando-o através da BB.

### **4<sup>a</sup> Etapa - Deteção do centróide nas linhas de intrusão**

Esta técnica permite extrair várias informações sobre o trânsito nomeadamente a velocidade.

### **5<sup>a</sup> Etapa - Estimativa de velocidade**

Estimativa da velocidade através da distância percorrida entre a deteção do centróide nas linhas de intrusão.

### **6<sup>a</sup> Etapa - Estimativa do desempenho operacional do veículo e das emissões de poluentes**

São aplicados modelos que permitem, através da estimativa da velocidade, estimar o modo operacional do veículo (recorrendo aos modelos VSP) e as estimativas das emissões de poluentes.

## **7<sup>a</sup> Etapa - Análise de resultados e Escrita do Relatório do Projeto**

Apresentação e análise de resultados decorrentes da aplicação da plataforma desenvolvida e escrita do presente relatório.

### **3.1 Deteção de Veículos em Movimento**

Seguindo a filosofia de que não vale a pena reinventar a roda, foi utilizado um *script* base que faz a deteção de veículos em movimento. Este encontra-se escrito na linguagem C++ e utiliza maioritariamente a biblioteca *OpenCV* na versão 3.2.0.

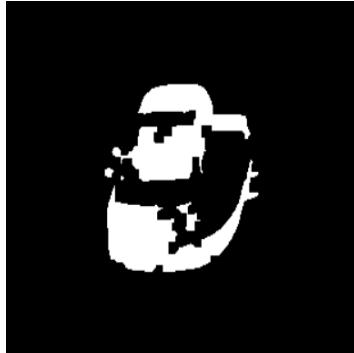
Inicialmente, na função *main* do *script*, para a deteção dos veículos em movimento, são definidas duas matrizes para guardar dois *frames* consecutivos do vídeo utilizando a função *read* da biblioteca *OpenCV*. Dentro de um *while loop* que percorre todos os *frames* do vídeo, são definidas várias variáveis com o propósito de detetar o veículo em movimento. As variáveis e o seu propósito são: um vetor de *Blobs*, armazena todos os *Blobs* no *frame* atual, sendo *Blob* uma classe; duas matrizes para copiar os dois *frames* consecutivos, recorrendo à função *clone*, com o objetivo preservar os valores que definem os *frames*; outras duas matrizes, uma para armazenar a diferença entre os *frames* e outra os *thresholds* do resultado da diferença entre *frames*.

A primeira técnica utilizada é a BI que torna ambos os *frames* a preto e branco recorrendo à função *cvtColor*, seguida do desfoque Gaussiano, *Gaussian Blur*, uma técnica computacional que reduzo o ruído da imagem. Para tal, foi utilizada a função da biblioteca *OpenCV GaussianBlur*. De seguida é aplicado FD utilizando a função *absdiff*. Esta função serve para fazer a subtração do *background* ao *frame*, isto é, ao *frame* mais recente é feita a subtração do *frame* anterior, sendo que todo o trabalho e análise é feita com este *frame*, chamemos-lhe de *frame2*. Ora, como a câmara se encontra estática na obtenção do vídeo, a única diferença captada é o movimento. Por fim, é utilizada a função *threshold*. O objetivo desta função é salientar o resultado da subtração dos *frames*. A função, através de um limite estabelecido, torna todos os pixéis pretos se o valor for menor e brancos se o limite for maior do que o imposto.

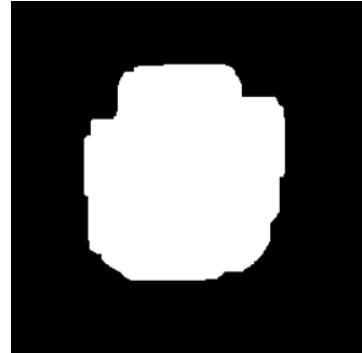
*Morphological Transformation* é o próximo passo. Esta transformação é aplicada a imagens binárias e consiste em operações baseadas na sua forma/formato. As técnicas usadas foram *erosion* e *dilation*. Para a sua aplicação é necessário definir uma matriz com a função *getStructuringElement*, específica para operações morfológicas, de tamanho 6 por 6, o ideal encontrado.

São feitas duas *dilations* e uma *erosion* por cada iteração do ciclo *for*, de tamanho 6, para estar em conformidade com o tamanho da matriz, para que a consistência do *Blob* seja maior e o torne o mais uniforme possível. Ora, as duas dilatações tem o objetivo de aproximar o *Blob* a um quadrado. Se apenas uma dilatação é feita, o *Blob*, devido à subtração do *background*, fica apenas com o contorno do veículo e, em zonas como o para-brisas, os pixéis ficam pretos e os restantes brancos, resultando, com o movimento do veículo, em vários *Blobs* identificados devido às diversas zonas de pixéis brancas que estão separadas. A erosão, por sua vez, é utilizada para reduzir a área de pixéis brancos para que se aproxime da real. Na Figura 3.2

é possível verificar as diferenças causadas pela aplicação da dilatação e da erosão ao *Blob*. Na Figura 3.2a está o resultado de uma aplicação de uma dilatação e de uma erosão e, na Figura 3.2b o da aplicação de duas dilatação e de uma erosão. Note-se que após a aplicação das *dilations* e da *erosion* é necessário obter os contornos pois, são eles que definem o *Blob*. Para isso, de modo preservar a matriz que define os limites do *Blob* (obtida através da função *threshold*), é feita uma cópia para outra variável e é usada a função *findContours*.



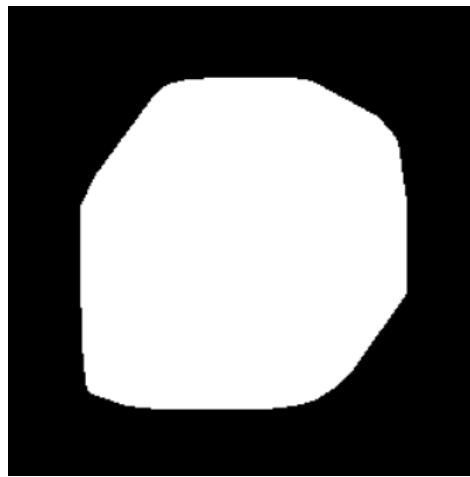
(a) Utilização de uma *dilation* e uma *erosion*.



(b) Utilização de duas *dilation* e uma *erosion*.

**Figura 3.2:** Utilização das técnicas *erosion* e *dilation*.

A última etapa na deteção de veículos em movimento consiste em "suavizar" os contornos do *Blob*. Na Figura 3.2b é perceptível de que o *Blob* possui uma forma distorcida, uma forma não ideal. Para atingir a suavização, é efetuado o cálculo da região convexa do vetor que armazena a informação associada ao contorno do *Blob*. É criado um vetor com a mesma estrutura e tamanho do vetor dos contornos e, para cada índice do vetor dos contornos, é calculada a área convessa. Na Figura 3.3, está demonstrado o resultado do *Blob* após o cálculo da região convexa, agora com os contornos "suaves" e bem definidos.

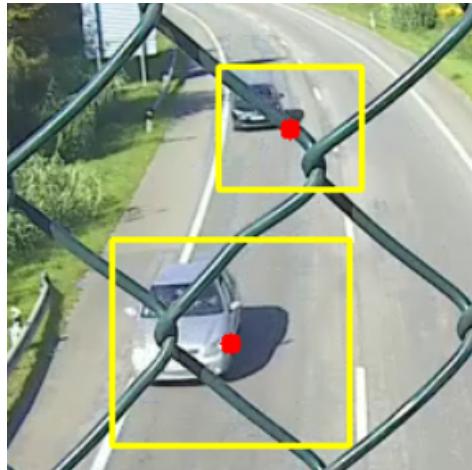


**Figura 3.3:** Aplicação da técnica da região convexa.

### 3.2 *Tracking* do Veículo

O *Tracking* do veículo começa pela definição de um objeto da classe *Blob* dentro de um ciclo *for* que percorre todos os elementos do vetor que contém a informação das regiões

convexas referidas anteriormente. A classe *Blob* têm como parâmetro de entrada uma região convexa, os contornos finais do *Blob*, e devolve informações como o tamanho da diagonal, o rácio entre a altura e largura e as dimensões do *Blob*. Ora, dentro do ciclo *for*, são impostas um conjunto de condições que aprovam se o *Blob* contém as características necessárias para ser um *Blob*, isto é, se apresenta as condições mínimas e, em caso afirmativo, então é adicionado a um vetor de *Blobs* que armazena todos os *Blobs* do *frame* atual que obedecem às condições. Os *Blobs* em *frame* que fazem a sua primeira aparição, são adicionados a um vetor que onde ficam armazenados todos os *Blobs* únicos e, caso não seja a primeira, é chamada uma função que o compara com os *Blobs* já no vetor, a sua próxima posição é prevista e, tendo em conta a distância entre centróides e algumas outras condições, os seus novos valores são atualizados. De seguida, é feita uma nova cópia do *frame2*, com a função *clone*, para que volte a ser representado a cores e não a preto e branco devido à conversão para BI feita anteriormente. O próximo passo é ilustrar, em cada *frame* e para cada *Blob* o centróide e a BB. Dependendo do tamanho da diagonal do *Blob* a BB é representada com uma cor distinta: verde se é um veículo pesado (diagonal maior), amarelo se é ligeiro e vermelho se possui um tamanho demasiado pequeno para um automóvel. A BB é desenhada através da função *rectangle* da biblioteca *OpenCV*; o centróide é representado com a função *circle*. Ora, é através da BB de cada *Blob* que é possível categorizar os veículos devido ao tamanho da diagonal, maior nos pesados e menor nos ligeiro. Na Figura 3.4 é possível observar dois veículos ligeiros com uma BB e um centróide atribuídos.



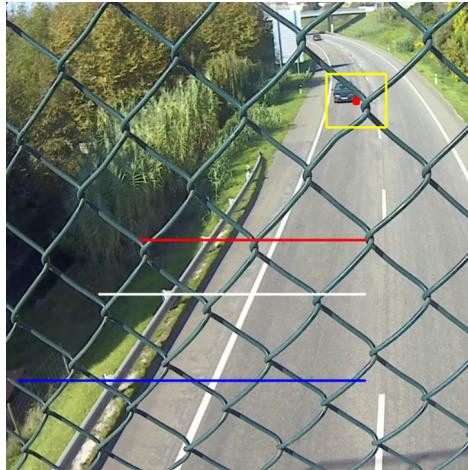
**Figura 3.4:** Veículos ligeiros com a BB e centróide devidamente atribuídos.

Em situações onde a luz não é suficiente para efetuar a deteção do veículo, como por exemplo em cenários noturnos, basta identificar as distâncias entre as luzes dos veículos e assumir uma condição que permita distinguir as diferentes categorias dos veículos.

### 3.3 Deteção do Centróide nas Linhas de Intrusão

As linhas de intrusão ou deteção são responsáveis por delimitar as zonas em que os *Blobs*, reduzidos ao seu centróide, são detetados. Estas permitem extrair informação necessária para

o cálculo da velocidade a que os veículos se deslocam. Na Figura 3.5 estão representadas as linhas que foram utilizadas. Foram utilizadas três para que existam duas zonas de deteção onde a velocidade e, por sua vez, a aceleração possam ser calculadas. Em modo urbano as câmaras utilizadas para a extração do vídeo talvez poderão ter de ficar laterais, isto é, as linhas de intrusão utilizadas estarão na vertical.



**Figura 3.5:** Linhas de intrusão que identificam o centróide de cada *Blob* permitindo o cálculo da velocidade.

Primeiramente, as três linhas são ilustradas em cada *frame2* do vídeo. A sua posição é estrategicamente colocada pois, a prévia informação da distância real entre elas é necessária. A sua posição é obtida, fora do *while loop* que percorre os *frames*, através de dois pontos, parâmetros da função *line* que traça uma reta na imagem, agora dentro do *while loop*.

O próximo passo tem por base percorrer todos os *Blobs* do *frame* atual através de um ciclo *for*. Para cada um, é lhe verificado o tamanho do centróide, se é grande o suficiente. Caso seja, é guardado o índice do *Blob* no *frame* atual e no anterior.

No início, foram definidos dois mapas e, estrutura de dados disponível na linguagem C++, um com o intuito de guardar os *frames* em que ocorreram as deteções e outro com tipo de veículo que foi detetado. Para chave dos mapas e de maneira a unificar cada *Blob* foi definida uma variável para assumir o papel de *BlobID*. Voltando do ciclo *for*, é imposta uma condição que verifica se, para um dado *Blob*, o seu mapa, dedicado para as deteções, está vazio e, caso esteja, são atribuídos valores *default* para permitir uma melhor e mais fácil análise e manipulação de dados. O mesmo é feito ao mapa destinado a armazenar o tipo de veículo.

De seguida, são impostas as condições de deteção das linha de intrusão para verificar deteções do centróide. As condições para cada uma das linhas verificam se a coordenada Y do centróide do *frame* anterior é menor do que posição da reta e, a do *frame* atual maior. Isto acontece devido ao facto de que na biblioteca *OpenCV* a origem do eixo das imagens está posicionado no canto superior esquerdo e não no habitual canto inferior esquerdo logo, os valores de X aumentam da esquerda para a direita e os de Y de cima para baixo.

Para cada deteção são impostas condições que verificam o tamanho da diagonal da BB do *Blob* com o objetivo de atribuir a categoria ao *Blob*. Para cada uma das categorias e linha

de deteção é guardado o *frame* em que a deteção ocorreu no mapa referido anteriormente. Depois, é feito um teste que verifica se o *Blob* é a primeira vez que esta a ser detetado nas linhas, isto é, por alguma razão, para primeira deteção, o *Blob* pode não ser detetado na primeira linha e ser detetado na segunda, ou pode ser detetado só na terceira. Este teste evita modificações de categoria, pois é devido a ele que são feitas as atribuições da categoria do veículo ao mapa, também referido anteriormente. Caso não se enquadre em nenhuma das categorias, ligeiro ou pesado, fica com o valor *default* atribuído. No fim de cada uma das condições de deteção, é atribuído a uma variável booleana o valor *true* de modo a guardar a deteção, isto é, guardar de alguma maneira que o centróide foi detetado naquela linha. Posto isto, o *tracking* do veículo encontra-se feito e agora existem recursos suficiente para efetuar o cálculo da velocidade.

Existem 5 cenários de deteção possíveis: deteção nas três linhas, apenas na primeira e na segunda, apenas na segunda e terceira, apenas na primeira e na terceira e ser detetado apenas numa só linha. Os casos da deteção ser apenas numa linha são descartados devido a não possibilitarem o cálculo da velocidade. Nas situações das duas linhas não existe a possibilidade de cálculo da aceleração então é atribuído um valor constante igual a 0. No caso das três linhas a aceleração já pode ser calculada. Casos em que existem deteções em linhas diferentes ao mesmo tempo, no mesmo *frame*, são descartados. Estes podem acontecer devido ao *re-shape* da BB.

Cada um dos cenários referidos a cima é verificado através de condições que utilizam o mapa que armazenou os *frames* em que ocorreram as deteções. De seguida, em cada cenário é verificado se o veículo detetado é ligeiro ou pesado. A diferença está na processo de estimativa de poluentes e no facto do modelo não efetuar a diferença entre veículos ligeiros movidos a diesel ou a gasolina então, é atribuído um valor aleatório, zero ou um, que lhes atribui um tipo de combustível. Este valor é também guardado num mapa, para ser possível atribuir a um *BlobID*.

Para o cálculo da velocidade a fórmula utilizada foi

$$Velocidade = \frac{\text{Distância entre linhas}}{\text{TempoViajado}} (\text{m/s}) \quad (3.1)$$

sendo então necessário obter o tempo de viagem pois, como já foi referido anteriormente, a distância entre as linhas tem de ser conhecida previamente. Para obter o tempo de viagem foi utilizada a fórmula

$$\text{TempoViajado} = \frac{\text{Frames Viajados}}{\text{FPS}} (\text{s}) \quad (3.2)$$

onde o número de *frames* viajados é obtido através dos *frames de deteção*. Ao ser efetuada a subtração entre o *frame* de deteção, por exemplo, da segunda linha e da primeira, é obtido o número de *frames* viajados na primeira zona de deteção. FPS, *frames per second*, são os *frames* por segundo da câmara utilizada para obter o vídeo. É importante mencionar que este valor deve ser no mínimo igual a 30 pelo que estudo preliminares, em que se procedeu a uma monitorização experimenta com recolha de dados a 30 e a 60 FPS, sugerem o valor 30

FPS como indicado. Este valor é obtido através de uma função da biblioteca *OpenCV*. Ora, o tempo de viagem simboliza o tempo que o veículo demorou entre uma deteção e a outra. Com este valor obtido é possível efetuar o cálculo da velocidade. No cenário das três linhas de deteção, é feita a média entre as velocidades obtidas nas duas zonas de deteção. Todas as velocidades são armazenadas num vetor para que à medida que uma velocidade seja calculada, é feito o cálculo da média para que este possa ser apresentado na janela do vídeo em "tempo real".

Com as velocidades calculadas, para efetuar o cálculo da aceleração foi utilizada a fórmula

$$Aceleração = \frac{\Delta \text{Velocidade}}{\Delta \text{TempoViajado}} = \frac{\text{Velocidade Final} - \text{Velocidade Inicial}}{\text{TempoViajado Final} - \text{TempoViajado Inicial}} (m/s^2) \quad (3.3)$$

onde a velocidade final representa a velocidade da segunda zona de deteção e a velocidade inicial da primeira zona de deteção; o mesmo se aplica aos tempos de viagem. É importante referir que podem existir situações em que as velocidades das duas zonas são iguais o que torna a aceleração constante. Então, para essas situações, equivalente aos cenários em que só há deteção em duas linhas, é atribuído o valor zero à aceleração.

Com os valores da velocidade e aceleração calculados é possível passar à última etapa, a estimativa de poluentes emitidos que será explicado na Seção 3.4.

Após estes cálculos é feita a incrementação da variável destinada à contagem de veículos por categoria e também a incrementação da variável do *BlobID*.

No final, são impostas condições que modificam a cor das linhas de intrusão quando estas são cruzadas pelo centróide, utilizando as variáveis booleanas referidas anteriormente. Para além disso é onde são apresentados no vídeo os contadores de veículos por categoria e a velocidade média atual do tráfego.

De modo a preparar uma nova iteração do *while loop*, o vetor que armazena os *Blobs* do *frame* atual é limpo e , *frame2* é copiado para a variável que armazena o *frame1*, para que na iteração seguinte o *frame* com que estivemos a trabalhar seja o anterior ao mais recente. Caso não exista mais nenhum *frame* para ser lido, isto é, o vídeo chegou ao fim, o *script* encerra e é feita uma *overview* de todos os dados calculados e obtidos ao longo de toda a análise que, por sua vez, são escritos num ficheiro de texto que serve como *output*.

### 3.4 Estimativa do Desempenho Operacional e das Emissões de Poluentes

Neste trabalho recorre-se a metodologias de cálculo de emissões de poluentes calculadas através da potência específica dos veículos (VSP).

A metodologia VSP aplicada a veículos que possuem motor de combustão interna pode ser definida como a potência instantânea do motor por unidade de massa total do veículo tendo em conta o arrasto aerodinâmico, a resistência ao rolamento dos pneus e à inclinação da via. Este modelo requer dados instantâneos de velocidade, aceleração e declive da via.

O VSP para veículos leves pode ser calculado através da expressão [30]:

$$VSP_{ligeiro} = v \times (1.1 \times a + 9.81 \times \sin \arctan r + 0.132) + 0.000302 \times v^3 \quad (3.4)$$

e para os veículos pesados, considerando uma massa média de  $m = 15790$  kg, o VSP pode ser calculado através da expressão [31]:

$$VSP_{pesados} = v \times (a + 9.81 \times \sin \arctan r + 0.186333) + \frac{3.702456}{m} \quad (3.5)$$

onde:

- VSP - Potência Específica do Veículo (kW/ton);
- v - Velocidade instantânea (m/s);
- a - Aceleração instantânea (m/s<sup>2</sup>);
- r - Declive da via (%).

Por questões relacionadas com a simplificação do estudo, mas sem descurar a potencialidade da plataforma desenvolvida, optou-se neste projeto por considerar o declive da via negligenciável, pelo que as expressões anteriores tomam a seguinte forma:

$$VSP_{ligeiro} = v \times (1.1 \times a + 0.132) + 0.000302 \times v^3 \quad (3.6)$$

$$VSP_{pesados} = v \times (a + 0.186333) + \frac{3.702456}{m} \quad (3.7)$$

O VSP é uma variável que apresenta uma relação entre os modos de operação do veículos e as emissões instantâneas. No caso dos veículos leves, existem estudos que mostram diferenças entre veículos movidos a gasóleo ou a gasolina, no entanto, apresentam uma classificação dividida em 14 modos VSP [32]. Quanto aos pesados, estes foram divididos em 16 modos VSP [31]. Em ambos os casos, após a associação dos valores VSP aos modos VSP, a estimativa das emissões de poluentes resultam de avaliações exaustivas decorrentes de regressões que permitem aproximar os fatores de emissão correspondentes. As correspondências para cada um destes casos está reportada nas Tabelas 3.1, para leves a gasolina, 3.2, para leves a diesel, e na Tabela 3.3, para veículos pesados.

No entanto, no caso dos veículos pesados foi necessário aplicar uma outra expressão para estimar as emissões de  $CO_2$ , uma vez que os estudos existentes na literatura não estabelecem esses fatores de emissão associados ao VSP. Assim, Macedo et al. 2020 [24] propõem uma metodologia simplificada para estimar as emissões de  $CO_2$  para diferentes categorias de veículos tendo por base a análise de impactos numa determinada área, sendo possível fazer uso de uma análise microscópica e mesoscópica no sentido em que são procurados segmentos possivelmente críticos, e em que uma análise meramente macroscópica inviabilizaria a identificação de pontos instantâneos de desempenho operacional dos veículos, podendo correr o risco de perda de informação (acelerações ou travagens voláteis); o uso da metodologia apresentada em Macedo et al. prende estimar emissões com base nos fatores de emissão do COPERT, mas numa perspetiva mais microscópica, tendo por base somente a velocidade e a distância percorrida, segmento a segmento [24]. Neste trabalho foram utilizadas as expressões que se referem aos resultados obtidos para estimar as emissões de  $CO_2$  de veículos pesados. Esta metodologia

VSP Mode	VSP Range (kW/ton)	$CO_2$ (g/s)	$CO$ (mg/s)	$NO_x$ (mg/s)	$HC$ (mg/s)
1	$VSP < -2$	1.04	2.25	0.31	0.29
2	$-2 \leq VSP < 0$	1.31	2.88	0.41	0.35
3	$0 \leq VSP < 1$	0.93	1.79	0.19	0.26
4	$1 \leq VSP < 4$	2.17	4.96	0.82	0.56
5	$4 \leq VSP < 7$	3.00	7.43	1.28	0.78
6	$7 \leq VSP < 10$	3.77	9.30	1.81	0.96
7	$10 \leq VSP < 13$	4.47	12.23	2.40	1.13
8	$13 \leq VSP < 16$	5.05	14.38	2.90	1.32
9	$16 \leq VSP < 19$	5.61	19.54	3.54	1.48
10	$19 \leq VSP < 23$	6.01	22.31	3.98	1.59
11	$23 \leq VSP < 28$	6.48	29.14	4.79	1.73
12	$28 \leq VSP < 33$	6.96	36.73	5.49	1.86
13	$33 \leq VSP < 39$	7.41	54.38	6.41	2.03
14	$39 \leq VSP$	8.06	128.28	6.06	2.28

**Tabela 3.1:** Espetro dos valores VSP e os seu valores de poluentes associados para veículos ligeiros movidos a gasolina.

VSP Mode	VSP Range (kW/ton)	$CO_2$ (g/s)	$CO$ (mg/s)	$NO_x$ (mg/s)	$HC$ (mg/s)
1	$VSP < -2$	0.206	0.03	1.30	0.14
2	$-2 \leq VSP < 0$	0.608	0.072	2.60	0.11
3	$0 \leq VSP < 1$	0.728	0.135	3.40	0.11
4	$1 \leq VSP < 4$	1.504	0.246	6.1	0.17
5	$4 \leq VSP < 7$	2.343	0.29	9.40	0.20
6	$7 \leq VSP < 10$	3.287	0.693	12.50	0.23
7	$10 \leq VSP < 13$	4.20	0.584	15.5	0.24
8	$13 \leq VSP < 16$	4.936	0.639	17.80	0.23
9	$16 \leq VSP < 19$	5.574	0.61	21.30	0.24
10	$19 \leq VSP < 23$	6.262	1.00	32.50	0.28
11	$23 \leq VSP < 28$	7.396	1.10	55.80	0.37
12	$28 \leq VSP < 33$	8.3898	0.9579	74.30	0.415
13	$33 \leq VSP < 39$	9.4142	0.76841	104.2	0.40
14	$39 \leq VSP$	10.4818	0.73343	145.90	0.42

**Tabela 3.2:** Espetro dos valores VSP e os seu valores de poluentes associados para veículos ligeiros movidos a diesel.

implica a divisão em *clusters* de velocidades: aqui consideramos condução em ambiente urbano com velocidades até 50 km/h e rural/autoestrada para velocidades acima de 50 km/h, conforme as expressões que se seguem.

A formula para velocidade inferiores ou iguais a 50km/h é dada por:

$$Emiss\ddot{a}o_{CO_2,pesados} = (0.385 \times v^2 - 37.037 \times v + 1424.6) \times d(g/s) \quad (3.8)$$

e para velocidades superiores a 50km/h é dada por:

$$Emiss\ddot{a}o_{CO_2,pesados} = (0.0434 \times v^2 - 7.0232 \times v + 767.71) \times d(g/s) \quad (3.9)$$

VSP Mode	VSP Range (kW/ton)	$CO$ (mg/s)	$NO_x$ (mg/s)	$HC$ (mg/s)
1	$-25 \leq VSP < 0$	1.3250	7.1723	1.7616
2	$-25 \leq VSP < -20$	0.9457	7.6521	2.6399
3	$-20 \leq VSP < -14$	1.4794	8.7245	3.2946
4	$-14 \leq VSP < -10$	1.3027	12.0206	3.3108
5	$-10 \leq VSP < -5$	3.6174	6.4120	4.7910
6	$-5 \leq VSP < -2$	5.1957	11.4792	6.9809
7	$-2 \leq VSP < -1$	11.4613	33.8444	2.2593
8	$-1 \leq VSP < 0$	7.9797	21.4202	1.0422
9	$0 \leq VSP < 1$	9.9653	36.9548	0.9430
10	$1 \leq VSP < 2$	15.1145	60.0636	3.0147
11	$2 \leq VSP < 5$	23.8573	62.1429	2.9065
12	$5 \leq VSP < 10$	37.2366	93.3285	4.6050
13	$10 \leq VSP < 14$	41.1333	66.9862	3.1037
14	$14 \leq VSP < 20$	24.9549	81.3605	3.5288
15	$20 \leq VSP < 25$	12.5323	94.7466	2.7615
16	$25 \leq VSP$	16.6543	106.1606	3.1497

**Tabela 3.3:** Espetro dos valores VSP e os seus valores de poluentes associados para veículos pesados.

onde  $d$  é a distância percorrida em km.

Na implementação da plataforma, foram definidas funções, uma por categoria, sendo que os valores retornados são também armazenados em mapas dedicados para cada categoria.

Após o primeiro passo de calcular os valores VSP para cada veículo em cada instante de tempo, definiu-se uma função que estabelece a devida comparação com os valores em cada coluna das Tabelas 3.1, 3.1 e 3.3. Foram definidas também duas funções onde foram introduzidas as tabelas. Na função dedicada aos ligeiros, o valor do VSP e do tipo de combustível são parâmetros de entrada; para os pesados apenas é necessário o valor VSP.

O valor do VSP é comparado com a segunda coluna da tabela e então é lhe atribuído o VSP mode, o valor da primeira coluna, e as emissões associadas.



# CAPÍTULO 4

## Resultados

O principal objetivo deste trabalho é apresentar uma ‘prova-de-conceito’ em que se incide no desenvolvimento de uma ferramenta computacional de baixo custo que permita, de forma automática, uma avaliação e monitorização do tráfego de forma integrada, incluindo detalhes relativos aos impactos associados através de análise de dados recolhidos de uma câmara de vídeo fixa numa via.

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos através do *script* desenvolvido.

### 4.1 Visualização de Dados

Ao longo do desenvolvimento do *script* e, à medida que os diversos valores são obtidos, é feita a impressão dos mesmos num terminal de saída. Para além desses, outros dados são impressos de modo a garantir que toda a deteção é feita corretamente e, em caso de erro ou de anomalia, a análise seja mais fácil e rápida. Na Figura 4.1 está ilustrado um exemplo do terminal de saída enquanto o *script* corre.

Como é possível observar, para cada veículo é apresentada uma série de informação. Na Figura 4.1a está representada toda a informação impressa no terminal quando um veículo é detetado nas três linhas de intrusão e, na Figura 4.1b quando só existe deteções em duas linhas de deteção. São representados os *frames* que ocorreram as deteções nas linhas e quais foram, o seu ID (nas imagens não são os reais do vídeo, são apenas para demonstração e retirar as imagens), quantos *frames* viajou e o tempo que demorou, a(s) velocidade(s), a aceleração, a velocidade média do trânsito atual e, por fim, toda a informação relativa às emissões de poluentes.

Também existe um “*output*” visual, que é o vídeo onde é feita toda a visualização gráfica do vídeo e dos veículos a serem detetados. Para além disso, como está representado na Figura 4.2, existe também um contador de veículos ligeiros e pesados e, um mostrador da velocidade atual do trânsito.

```

C:\Users\jard\Desktop\avairo_car_count\avairo_car_count\Debug\avairo_car_count.exe

Frames per second (FPS) = 29.996

Distance (in meters) between red and white detection lines :4
Distance (in meters) between white and blue detection lines :4

Car ID: 1, Light Vehicle - Diesel
Detection Frames [1, 172, 177]
Frame traveled between the 2nd and 3th detection lines: 5
Time spent (in seconds) between the 2nd and 3th detection lines: 0.166667
Velocity/Speed between the 2nd and 3th detection lines: 24(m/s)
Velocity/Speed between the 2nd and 3th detection lines: 86.4(km/h)
Current average traffic Velocity/Speed: 86(km/h)
ISP value: 7.34285
ISP mode: 6
Emissions: CO2 = 3.287(g/s); CO = 0.093(mg/s); NOx = 12.5(mg/s); HC = 0.23(mg/s)

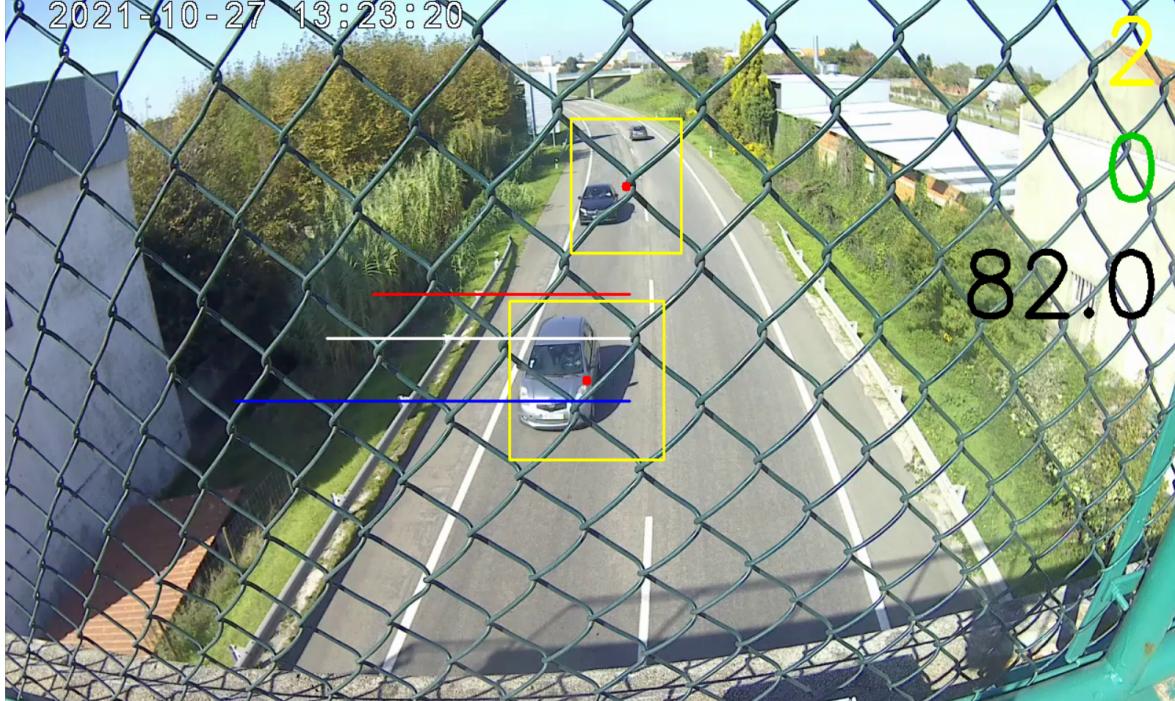
Car ID: 2, Light Vehicle - Diesel
Detection Frames [191, 197, 202]
Frames traveled between the 1st and 2nd detection lines: 6
Frames traveled between the 2nd and 3th detection lines: 5
Time spent (in seconds) between the 1st and 2nd detection lines: 0.2
Time spent (in seconds) between the 2nd and 3th detection lines: 0.166667
Velocity/Speed between the 1st and 2nd detection lines: 20(m/s)
Velocity/Speed between the 2nd and 3th detection lines: 24(m/s)
mean Velocity/Speed: 22(m/s)
mean Velocity/Speed: 79.2(km/h)
Acceleration: -120(m/s^2)
Acceleration: -1.5552e+06(km/h^2)
Current average traffic Velocity/Speed: 82(km/h)
ISP value: -289.88
ISP mode: 1
Emissions: CO2 = 0.296(g/s); CO = 0.03(mg/s); NOx = 1.3(mg/s); HC = 0.14(mg/s)

```

(a) Exemplo de uma deteção nas três linhas de intrusão.

(b) Exemplo de uma deteção em apenas duas linhas de intrusão.

**Figura 4.1:** Terminal de saída do *script* enquanto este executa.



**Figura 4.2:** Exemplo do "output" gráfico.

Por fim, e já referido anteriormente, é criado, no término do *script*, um ficheiro de texto com informação mais relevante de cada veículo e é feita uma *overview* do vídeo como ilustra a Figura 4.3.

```

Car ID: 38, Light Vehicle - Diesel
Detection Frames [8704, 8709, 8715]
Mean Velocity/Speed (km/h): 79.1894
Acceleration: -1.55479e+06(km/h^2)
Current average traffic Velocity/Speed: 87(km/h)
VSP value: -2896.72
VSP mode: 1
Emissions: CO2 = 0.206(g/s); CO = 0.03(mg/s); NOx = 1.3(mg/s); HC = 0.14(mg/s)

Car ID: 39, Light Vehicle - Diesel
Detection Frames [8737, 8743, 8749]
Mean Velocity/Speed (km/h): 71.9904
Acceleration: 0(km/h^2)
Current average traffic Velocity/Speed: 86(km/h)
VSP value: 5.05468
VSP mode: 5
Emissions: CO2 = 2.343(g/s); CO = 0.29(mg/s); NOx = 9.4(mg/s); HC = 0.2(mg/s)

Final Overview

Number of Light Vehicles: 39
Number of Heavy Vehicles: 0
Average Speed of the traffic: 86(km/h)

Number of light vehicles moved by petrol: 18
Number of heavy vehicles moved by diesel: 21

Average VSP mode of the Light Vehicles: 3.61538
Average VSP mode of the Heavy Vehicles: 0

Total emissions of light vehicles: CO2 = 81.067(g/s), CO = 122.582(mg/s), NOx = 154.68(mg/s), HC= 16.12(mg/s)
Average emissions of light vehicles: CO2 = 2.07864(g/s), CO = 3.14313(mg/s), NOx = 3.96615(mg/s), HC= 0.413333(mg/s)

Total emissions of heavy vehicles: CO2 = 0(g/s), CO = 0(mg/s), NOx = 0(mg/s), HC= 0(mg/s)
Average emissions of heavy vehicles: CO2 = 0(g/s), CO = 0(mg/s), NOx = 0(mg/s), HC= 0(mg/s)

Total emissions of the traffic: CO2 = 81.067(g/s), CO = 122.582(mg/s), NOx = 154.68(mg/s), HC= 16.12(mg/s)
Average emissions of the traffic: CO2 = 2.07864(g/s), CO = 3.14313(mg/s), NOx = 3.96615(mg/s), HC= 0.413333(mg/s)

```

**Figura 4.3:** Overview final após o término do *script*.

Assim, no fim da análise automática do vídeo de dados de tráfego, é devolvido um conjunto de informação que permite ter uma melhor noção das condições e impactos do tráfego. É apresentada uma contagem de veículos por categoria, a velocidade média do tráfego, uma estimativa do número de veículos ligeiros tendo em conta o tipo de combustível (baseado na composição da frota local), a média do modo VSP por categoria, o total e a média, por categoria, das emissões e, por fim, o total e a média das duas categorias como um total de impactos do tráfego.

## 4.2 Análise dos Dados Obtidos

### 4.2.1 Validação dos Dados Estimados pela Plataforma Desenvolvida

O vídeo que se apresenta aqui analisado, foi recolhido num dia típico da semana e a uma hora de ponta entre as 13:21:29 e as 13:26:29 (hh:mm:ss) (Figura 4.2). A *overview* referente a esta análise apresenta-se na Figura 4.3.

Na Tabela 4.1 está representada a contagem de veículos ligeiros. Foi feita uma contagem manual e foram contados 40 ligeiros e 1 motociclo (no modelo desenvolvido os motociclos são descartados através de uma função que define um valor mínimo da diagonal do invólucro convexo, uma vez que não existe, para já, na literatura valores de VSP e fatores de emissão relativos a motociclos) e foram detetados no *script* desenvolvido 39 veículos ligeiros.

Neste vídeo em análise houve apenas uma deteção considerada uma falha, em que um veículo não foi detetado porque na dinâmica de construção do centróide frame por frame, este só foi detetado numa linha de intrusão, o que representa uma 'anomalia' e descarta-se devido à impossibilidade de estimativa da velocidade. Uma análise detalhada mostra que tal se

ocorreu devido à proximidade a que dois dos veículos circulavam, resultando numa única BB englobando os dois veículos. Ora, se num *frame* muito próximo das linhas de deteção são delimitados por uma única BB e no *frame* seguinte cada um já se encontra com BB própria, há grande probabilidade de acontecer uma não deteção. No caso em particular, o veículo apenas foi detetado na terceira linha de intrusão pois só lhe foi atribuída uma BB própria quando este estava na segunda zona de deteção (entre a segunda e terceira linha), até lá, o centróide da BB que envolvia os dois veículos que circulavam próximos estava antes da primeira linha de deteção. Possíveis soluções para ultrapassar/contornar este tipo de situações seria uma melhor calibração da BB e/ou encontrar um melhor ângulo e altura de câmara fixa. É importante realçar que as melhorias e ajustes devem ser feitas de acordo com a situação.

Nº Veí. Lig. Obs.	Nº Veí. Lig. Det.
40	39

**Tabela 4.1:** Número de veículos ligeiros observados VS veículos detetados.

É possível verificar na Figura 4.3 que, mesmo sendo gerado aleatoriamente, o tipo de combustível dos veículos ligeiros respeita, de uma maneira aproximada, um ráio de 50% entre veículos movidos a gasóleo e a gasolina. Em relação ao VSP, o foco referente ao desempenho operacional é obtido a partir do modo VSP. A média para este valor foi  $3.6 \simeq 4$  que, comparando com as Tabelas 3.1 e 3.2, temos os valores médios emitidos por veículo de cada tipo de combustível. Nas Tabelas 4.2 e 4.3 estão representadas as médias de emissões dos veículos ligeiros a gasolina e gasóleo obtidas.

$CO_2$ (g/s)	CO (mg/s)	$NO_x$ (mg/s)	HC (mg/s)
2.17	4.96	0.82	0.56

**Tabela 4.2:** Média de emissões obtida dos veículos ligeiros movidos a gasolina.

$CO_2$ (g/s)	CO (mg/s)	$NO_x$ (mg/s)	HC (mg/s)
1.504	0.246	6.1	0.17

**Tabela 4.3:** Média de emissões obtida dos veículos ligeiros movidos a gasóleo.

A média total de emissões da categoria encontra-se representada na Figura 4.3 e na Tabela 4.4.

$CO_2$ (g/s)	CO (mg/s)	$NO_x$ (mg/s)	HC (mg/s)
2.07864	3.14313	3.96615	0.41333

**Tabela 4.4:** Média total obtida de emissões dos veículos ligeiros.

Em relação às estimativas da velocidade, nas Tabelas 4.5 e 4.6 estão representadas as velocidades observadas e as velocidades obtidas/estimadas pelo *script* para o caso dos veículos ligeiros. Neste caso, foi usado um veículo de teste, equipado com OBD - *On Board Diagnostics*- e GPS - *Global Positioning System*- para termos acesso a dados instantâneos de velocidade, aceleração, e posição. Este ponto serve como validação do modelo implementado para estimar a velocidade dos veículos detetados pela plataforma desenvolvida.

ID Veículo	Vel. Obs.	Vel. Est.	ID Veículo	Vel. Obs.	Vel. Est.
1	96	97	11	96	72
2	86	86	12	79	108
3	66	67	13	86	79
4	62	62	14	86	86
5	123	126	15	79	79
6	86	86	16	79	79
7	96	86	17	79	79
8	79	86	18	86	79
9	72	79	19	86	79
10	79	86	20	144	83

**Tabela 4.5:** Velocidades observadas VS Velocidades obtidas em km/h.

ID Veículo	Vel. Obs.	Vel. Est.	ID Veículo	Vel. Obs.	Vel. Est.
21	96	97	31	86	86
22	86	86	32	86	86
23	96	97	33	86	162
24	86	86	34	86	86
25	79	79	35	86	86
26	86	86	36	123	72
27	72	79	37	79	72
28	79	86	38	79	79
29	96	97	39	72	86
30	86	86	—	—	—

**Tabela 4.6:** Velocidades observadas VS Velocidades obtidas em km/h.

A vermelho estão destacados os valores estimados cuja diferença com o valor observado é maior do que 10 km/h e a cor azul os valores cuja diferença é maior do que 5 e menor do que 10 km/h. Os restantes valores encontram-se muito próximos das velocidades reais. Ora, calculando a precisão do modelo recorrendo à formula

$$Precisão = \frac{n^{\circ} \text{ de casos bem estimados}}{n^{\circ} \text{ total de casos}} \times 100 \quad (4.1)$$

Para obter o erro das tabelas 4.7 e 4.8 a formula utilizada foi

$$Erro = \frac{|Vel.Obs. - Vel.Est.|}{Vel.Obs} \times 100 \quad (4.2)$$

Neste caso em análise, a velocidade média obtida foi de 86 km/h.

ID Veículo	Erro (%)	ID Veículo	Erro (%)
1	1.04	11	25.0
2	0.00	12	36.7
3	1.52	13	8.14
4	0.00	14	0.00
5	2.44	15	0.00
6	0.00	16	0.00
7	10.4	17	0.00
8	8.86	18	8.14
9	9.72	19	8.14
10	8.86	20	42.4

**Tabela 4.7:** Velocidades observadas VS Velocidades obtidas em km/h.

ID Veículo	Erro (%)	ID Veículo	Erro (%)
21	1.04	31	0.00
22	0.00	32	0.00
23	0.00	33	88.4
24	0.00	34	0.00
25	0.00	35	0.00
26	0.00	36	41.5
27	9.72	37	8.86
28	8.86	38	0.00
29	0.00	39	19.4
30	0.00	–	–

**Tabela 4.8:** Velocidades observadas VS Velocidades obtidas em km/h.

#### 4.2.2 Análise de um Vídeo pela Plataforma Desenvolvida

Dado que o vídeo que serviu de base de validação de estimativa de velocidade não apresenta dados de pesados (não tivemos recursos para instrumentalizar um veículo pesado por forma a conduzir um teste de validação de velocidade) procedeu-se à análise de um outro vídeo que contém ambos as tipologias de veículos. Na Tabela 4.9 estão representadas as contagens dos veículos neste segundo vídeo analisado.

Nº Veí. Lig. Obs.	Nº Veí. Lig. Det.	Nº Veí. Pes. Obs.	Nº Veí. Pes. Det.
30	29	2	2

**Tabela 4.9:** Número de veículos observados VS detetados.

É possível verificar que o modelo mostrou eficácia a detetar igualmente veículos pesados. Também é possível verificar que, na Tabela 4.9 a contagem de veículos ligeiros é diminuta, isto é, foi detetada uma falha na deteção de um veículo. Após análise, foi verificado que, o problema que ocorreu an falha da deteção é o mesmo referido/explícado para o caso da Tabela 4.1.

A análise detalhada sugere que para que um veículo pesado seja devidamente detetado, as linhas de intrusão não podem estar situadas muito próximo do fim da janela pois a sua BB sendo maior, quando estão a sair da janela, parte do veículo ainda permanece no *frame* em

análise, o que leva à persistência da BB na imagem interferindo com as BB de outros veículos. As velocidades obtidas pelos veículos pesados encontram-se entre 88 km/h e 94 km/h e dos ligeiros entre 72 km/h e 144 km/h. Comparando com as velocidades dos veículos ligeiros apresentam conformidade, por isso, conclui-se que os resultados obtidos através da plataforma desenvolvida é eficiente, sendo possível afirmar que as velocidades no geral, são bem estimadas. A velocidade média do tráfego foi de 92 km/h.

Em relação aos poluentes, na Tabela 4.10 estão representadas as emissões totais de poluentes dos veículos pesados e na Tabela 4.11, as emissões totais de poluentes dos veículos ligeiros.

$CO_2$ (g/s)	CO (mg/s)	$NO_x$ (mg/s)	HC (mg/s)
8801.2	2.65	14.3446	3.5232

**Tabela 4.10:** Emissão total de poluentes por parte dos veículos pesados.

$CO_2$ (g/s)	CO (mg/s)	$NO_x$ (mg/s)	HC (mg/s)
55.288	114.122	82.69	12.79

**Tabela 4.11:** Emissão total de poluentes por parte dos veículos ligeiros.

De realçar que, por forma a alargar o âmbito deste trabalho a vias com inclinação, neste trabalho procurou-se aprofundar ainda o estudo e numa primeira tentativa definiu-se uma função cuja finalidade seria estimar a aceleração dos veículos detetados. No entanto, face a dificuldades inerentes às distâncias mínimas entre as linhas de intrusão estabelecidas inicialmente para a estimativa de velocidades, tais valores encontram-se desajustados pelo que este ponto requer um maior desenvolvimento que será certamente inserido em trabalho futuro.



## Conclusão

O trabalho realizado neste projeto teve como principal objetivo o desenvolvimento de uma ferramenta computacional que permitisse a avaliação de parâmetros relacionados com a circulação rodoviária partindo de um vídeo. Esta avaliação tem como objetivo apoiar/auxiliar as autoridades locais/regionais e gestores de tráfego na definição de estratégias de controlo, bem como de análise de impactos, podendo ser relevante igualmente para efeitos de inventário de emissões rodoviárias e contribuir para uma análise muito mais detalhada do que somente restringir-se aos dados medidos por estações de qualidade do ar.

Para atingir as metas definidas, numa fase inicial, foi necessário compreender especificidades da potencialidade da Visão Computacional em extrair informação e complexidades intrínsecas a um estudo detalhado de avaliação de parâmetros associados à dinâmica de veículos.

Considera-se que o código e a plataforma desenvolvidos constituem uma ferramenta computacional que permite uma avaliação integrada das condições e impactos do tráfego rodoviário com recurso a código open-source e sem exigência de aquisição de equipamentos de tecnologia de ponta por parte das entidades locais. A plataforma foi testada com várias vídeos em hora de ponta na Estrada Nacional N235, apresentando-se eficiente no processo de deteção e categorização de veículos de acordo com as tipologias criadas: veículos ligeiros e veículos pesados.

O projeto desenvolvido apresenta igualmente limitações pela sua simplificação para efeitos de demonstração da ‘prova-de-conceito’. Em particular, a calibração dos centróides dos involucros convexos pode resultar em algumas categorizações ou contagens menos precisas, pelo que será importante desenvolver trabalho nessa área. Outra limitação diz respeito ao estudo de caso apresentado uma vez que envolve uma via sem inclinação e em que se considera que a velocidade dos veículos entre as linhas de intrusão é constante.

Relativamente a trabalho futuro relacionado com este projeto, para além de aprofundar e melhorar a presente plataforma e ter em conta as limitações apontadas anteriormente, uma possível melhoria é a integração de um modelo para estimar os níveis de ruído, um fator importante no contexto urbano, em zonas de maior vulnerabilidade e exposição populacional

como por exemplo áreas residenciais, comerciais e serviços. Para além disso, uma maior robustez no cálculo/atribuição da BB é algo a ser tomado em conta visto que é um dos fatores mais importantes e, quanto mais sólida for a sua implementação, melhores os resultados obtidos. O desenvolvimento de uma GUI (*Graphical User Interface*) para uma melhor intuição na utilização da plataforma e, adicionalmente, a conceção de uma função capaz de reter o histórico avaliado, ou seja, criação de uma base de dados históricos de modo a armazenar os registo obtidos de cada vídeo recolhido.

Numa política de *open access*, o código desenvolvido pode ser encontrado [aqui](#).

# Referências

- [1] PORDATA. «Número de veículos ligeiros de passageiros por mil habitantes.» (2019), URL: <https://www.pordata.pt/Europa/N%5C%c3%5C%bamero+de+ve%5C%c3%5C%adculos+ligeiros+de+passageiros+por+mil+habitantes-3078>.
- [2] B. d. D. P. C. PORDATA. «Motor vehicles per thousand inhabitants.» (2020), URL: <https://www.pordata.pt/Portugal/Ve%5C%c3%5C%adculos+rodovi%5C%c3%5C%a1rios+motorizados+por+mil+habitantes-3234>.
- [3] U. N. D. F. Economic e S. Affairs, *Statistical pocketbook 2021*. UNITED NATIONS, 2021.
- [4] E. M. Observatory. «The expectations of Europeans in terms of mobility.» (), URL: [https://www.ipso.com/sites/default/files/2017-05/European\\_Mobilities.pdf](https://www.ipso.com/sites/default/files/2017-05/European_Mobilities.pdf).
- [5] E. Macedo, A. Pascale, E. Ferreira, C. Guarnaccia e M. C. Coelho, «Experimental evaluation of gear-shift and internal-combustion engine variables on fuel consumption, noise and pollutant emissions,» *Transportation Research Procedia*, vol. 62, pp. 703–710, 2022, 24th Euro Working Group on Transportation Meeting, ISSN: 2352-1465. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2022.02.087>. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352146522002149>.
- [6] B. d. D. P. C. PORDATA. «Road accidents with victims: total and by type of accident.» (2020), URL: <https://www.pordata.pt/en/Portugal/Road+accidents+with+victims+total+and+by+type+of+accident+++Mainland-3093>.
- [7] ———, «Road accidents with victims: total and by type of accident.» (2020), URL: <https://www.pordata.pt/en/Portugal/Deaths+by+100+road+traffic+accidents+with+victims+++Mainland+Portugal-769>.
- [8] C. Europeia. «Pacto Ecológico Europeu.» (2019-2024), URL: [https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal\\_pt](https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_pt).
- [9] W. H. Organization. «Air pollution.» (2022), URL: [https://www.who.int/health-topics/air-pollution#tab=tab\\_2](https://www.who.int/health-topics/air-pollution#tab=tab_2).
- [10] R. Zaidan, A. Alamoodi, B. Zaidan et al., «Comprehensive driver behaviour review: Taxonomy, issues and challenges, motivations and research direction towards achieving a smart transportation environment,» *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, vol. 111, p. 104745, 2022, ISSN: 0952-1976. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2022.104745>. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0952197622000471>.
- [11] A. Kujawski e T. Dudek, «Analysis and visualization of data obtained from camera mounted on unmanned aerial vehicle used in areas of urban transport,» *Sustainable Cities and Society*, vol. 72, p. 103004, 2021, ISSN: 2210-6707. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103004>. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2210670721002894>.
- [12] L. Ntziachristos, D. Gkatzoflias, C. Kouridis e Z. Samaras, «COPERT: A European Road Transport Emission Inventory Model,» em *Information Technologies in Environmental Engineering*, I. N. Athanasiadis, A. E. Rizzoli, P. A. Mitkas e J. M. Gómez, eds., Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2009, pp. 491–504, ISBN: 978-3-540-88351-7.
- [13] ERTICO. «About Urban Mobility.» (), URL: <https://ertico.com/focus-areas/urban-mobility/>.
- [14] M. Khan, «Multiple Moving Vehicle Speed Estimation Using Blob Analysis,» *Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol. 931, 2019. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-16184-2\\_30](https://doi.org/10.1007/978-3-030-16184-2_30).

- [15] E. Kisingo, «Multi-Vehicle Speed Estimation Algorithm Based on Real-Time Inter-Frame Tracking Technique,» *Tanzania Journal of Science*, vol. 43, n.º 3, 2021. DOI: 10.4314/tjs.v47i3.22.
- [16] A. Kawala-Sterniuk, M. Podpora, M. Pelc et al., «Comparison of Smoothing Filters in Analysis of EEG Data for the Medical Diagnostics Purposes,» *Sensors*, vol. 20(3): 807, 2020. DOI: 10.3390/s20030807.
- [17] P. S. B. Tambe, P. D. Kulhare, M. D. Nirmal, P. G. Prajapati e M. Pune, «Image Processing (IP) Through Erosion and Dilation Methods,» *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, vol. Volume 3, Issue 7, 2013. DOI: <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.413.5737>.
- [18] J. Mei, M. Liu, Y.-F. Wang e H. Gao, «Learning a Mahalanobis Distance-Based Dynamic Time Warping Measure for Multivariate Time Series Classification,» *IEEE Transactions on Cybernetics*, vol. 46, 2016. DOI: 10.1109/TCYB.2015.2426723.
- [19] J.-x. Wang, «Research of vehicle speed detection algorithm in video surveillance,» *2016 International Conference on Audio, Language and Image Processing (ICALIP)*, 2016. DOI: 10.1109/ICALIP.2016.7846573.
- [20] F. Afifah1, S. Nasrin e A. Mukit, «Vehicle Speed Estimation using Image Processing,» *Journal of Advanced Research in Applied Mechanics*, 2019. URL: [https://www.akademiabaru.com/doc/ARAMV48\\_N1\\_P9\\_16.pdf](https://www.akademiabaru.com/doc/ARAMV48_N1_P9_16.pdf).
- [21] S. Javadi, M. Dahl e M. I. Pettersson, «Vehicle speed measurement model for video-based systems,» *Computers & Electrical Engineering*, vol. 76, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2019.04.001>.
- [22] P.-E. Danielsson, «Euclidean distance mapping,» *Computer Graphics and Image Processing*, vol. 14, 1980. DOI: [https://doi.org/10.1016/0146-664X\(80\)90054-4](https://doi.org/10.1016/0146-664X(80)90054-4).
- [23] C. Guarnaccia, «EAgLE: Equivalent Acoustic Level Estimator Proposal,» *Sensors*, vol. 20, n.º 3, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/s20030701>.
- [24] E. Macedo, R. Tomás, P. Fernandes, M. C. Coelho e J. M. Bandeira, «Quantifying road traffic emissions embedded in a multi-objective traffic assignment model,» *Transportation Research Procedia*, vol. 47, pp. 648–655, 2020, 22nd EURO Working Group on Transportation Meeting, EWGT 2019, 18th – 20th September 2019, Barcelona, Spain, ISSN: 2352-1465. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2020.03.143>. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352146520303422>.
- [25] E. Macedo, A. Pascale, E. Ferreira, C. Guarnaccia e M. C. Coelho, «Experimental evaluation of gear-shift and internal-combustion engine variables on fuel consumption, noise and pollutant emissions,» *Transportation Research Procedia*, vol. 62, pp. 703–710, 2022, 24th Euro Working Group on Transportation Meeting, ISSN: 2352-1465. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2022.02.087>. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352146522002149>.
- [26] R. Carvalho, «A Methodology to Estimate Fuel Consumption and Pollutant Emissions Based on Driving Profiles,»
- [27] P. Fernandes, M. Vilaça, E. Macedo et al., «Integrating road traffic externalities through a sustainability indicator,» *Science of The Total Environment*, vol. 691, pp. 483–498, 2019, ISSN: 0048-9697. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.07.124>. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969719332371>.
- [28] E. E. Agency. «EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook - 2009.» (2009), URL: <https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-emission-inventory-guidebook-2009>.
- [29] W. Zhang, J. Lu, P. Xu e Y. Zhang, «Moving towards Sustainability: Road Grades and On-Road Emissions of Heavy-Duty Vehicles—A Case Study,» *Sustainability*, vol. 7, n.º 9, pp. 12 644–12 671, 2015, ISSN: 2071-1050. DOI: 10.3390/su70912644. URL: <https://www.mdpi.com/2071-1050/7/9/12644>.
- [30] J. Luis e J. Palacios, «Understanding and quantifying motor vehicle emissions with vehicle specific power and TILDAS remote sensing,» 1999. DOI: <http://hdl.handle.net/1721.1/44505>.

- [31] W. Zhang, J. Lu, P. Xu e Y. Zhang, «Moving towards Sustainability: Road Grades and On-Road Emissions of Heavy-Duty Vehicles—A Case Study,» *Sustainability*, vol. 7, 2015. doi: <https://doi.org/10.3390/su70912644>.
- [32] M. C. Coelho, H. C. Frey, N. M. Routhail, H. Zhai e L. Pelkmans, «Assessing methods for comparing emissions from gasoline and diesel light-duty vehicles based on microscale measurements,» *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, vol. 14, 2009. doi: <https://doi.org/10.1016/j.trd.2008.11.005>.