



Programa de Pós-Graduação em Computação Aplicada - PPGCA Curitiba - PR

DETECÇÃO DE CICLISTAS EM CENÁRIO URBANO POR MEIO DE VISÃO COMPUTACIONAL EM DISPOSITIVOS EMBARCADOS

Leandro Alves dos Santos

**Orientador: Prof. Dr. Roberto Cesar Betini
Co-orientador: Prof. Dr. Bogdan Tomoyuki Nassu**

Campus Curitiba



- Transporte ativo de inúmeros benefícios à coletividade;
- Cenário urbano de violência no trânsito;
- Risco de vida para os ciclistas;
- Necessidade de políticas públicas para ciclomobilidade;

Para que contar ciclistas?

Importante fonte de obtenção de dados estruturados, essenciais para o planejamento e execução adequados da infraestrutura cicloviária urbana, promovendo a ciclomobilidade com segurança e qualidade.

CONTAGEM MANUAL DE CICLISTAS



- Rio de Janeiro.
- Associação Transporte ativo

- Curitiba.
- Associação Cicloiguacu e IPPUC.



Campus Curitiba



CONTADORES AUTOMÁTICOS DE CICLISTAS

Contagem pontual

- Laço indutivo;
- Contador fixo;
- Alteração no pavimento;
- Não disponível comercialmente.



- Tubos pneumáticos;
- Portáteis (R\$50.000).



Campus Curitiba

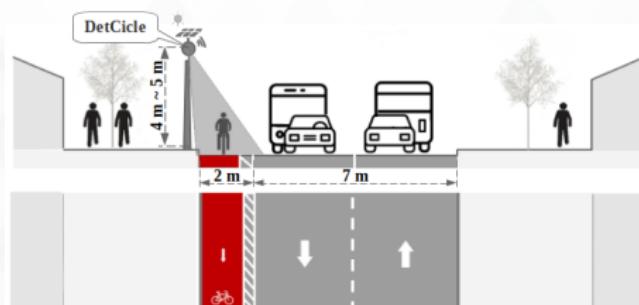
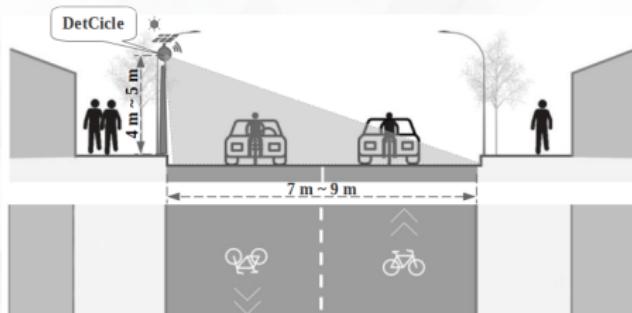


DETCICLE

Propor, implementar e avaliar um sistema para detecção e contagem automática de ciclistas por meio de visão computacional, utilizando-se de dispositivos computacionais embarcados.

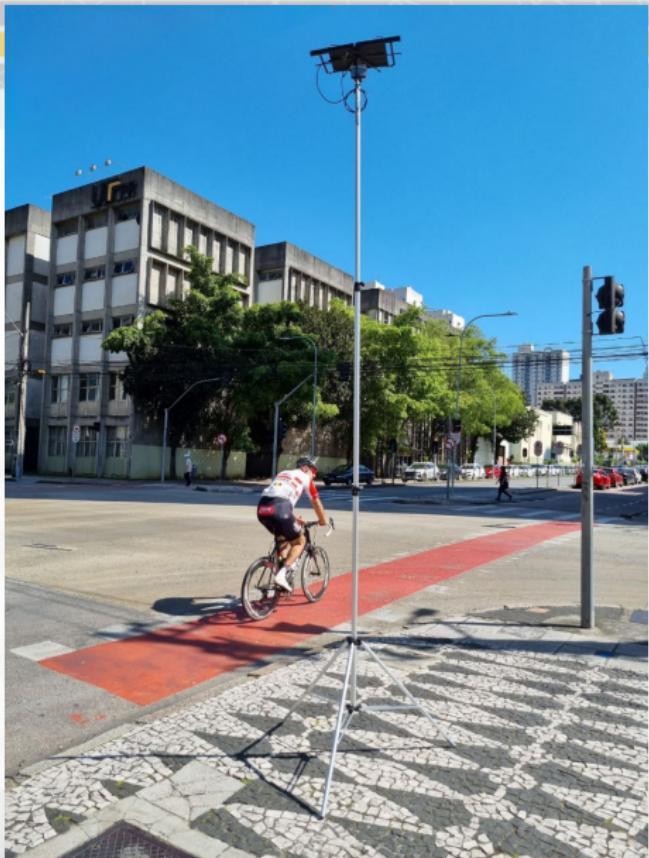
CONTAGEM DE CICLISTAS EM CENÁRIO URBANO — DETCICLE

- Sentido da viagem;
- Praticidade e móvel;
- Baixo consumo de energia e alimentação solar;
- Visão computacional e Inteligência artificial (IA);
- Modelos de aprendizagem profunda (*Deep Learning*);
- Custo mais acessível (\sim R\$ 3.000).





Campus Curitiba





Campus Curitiba



UTP
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA DA PARANÁ
CAMPUS CURITIBA

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar e selecionar um modelo *Deep Learning* leves para ser utilizando com as plataformas RPI4 + Coral;
- Montar e rotular uma base de dados de imagens de ciclistas em cenários de trânsito urbano, considerando o campo de visão proposto;
- Treinar a arquitetura de *Deep Learning*;
- Implementar o algoritmo de contagem;
- Avaliar o sistema: desempenho de contagem, custo computacional e consumo de energia.

CONTADORES AUTOMÁTICOS - TELRAAM S2

- 160 Euros.
- + 15 Euros/mês por equipamento com licença de software.



Your window on local traffic

Traffic data for better streets.
Get high quality, continuous and real-time data, in collaboration with local citizens.



Campus Curitiba



TRABALHOS RELACIONADOS

Autores (ano)	Semelhanças	Diferenças e Limitações
Stahl, Apfelbeck e Lange (2023)	* Hardware embarcado (RPI4 + NM500) * Contagem	* Menor área de cobertura * Sensor térmico de baixa resolução (LWIR 160 × 120) * Apenas classificação sem obter sentido da viagem
Liu et al. (2021)	* Contagem	* Linha virtual
Venegas et al. (2021)	* Deep Learning leve	* Não realiza contagem * Competições esportivas (<i>drafting</i>)
Allebosch et al. (2020)		* Não realiza contagem
Masalov et al. (2018)		* Vestimentas especializadas para ciclistas * Não realiza contagem
Guindel, Martin e Armingol (2018)		* Não realiza contagem

DetCicle:

- Contagem e sentido da viagem;
- Sistema móvel e prático;
- Hardware embarcado (RPI4 + Coral);
- Modelo *Deep Learning* leve;
- Autônomo e alimentação por energia solar;
- Possibilidade de transmissão de dados.

Publicação científica: An embedded vision-based system for cyclist detection and counting

- IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems;
- Qualis A1;
- Fator de impacto: 8.5

Campus Curitiba



RASPBERRY PI 4 + CORAL + CÂMERA



Campus Curitiba



CUSTOS

Dispositivo	Preço	Loja
Raspberry Pi4 Model B	R\$ 1.709,00	Amazon
Google Coral Edge TPU	R\$ 657,63	AliExpress
Câmera Raspberry Pi v3 12MP	R\$ 276,28	AliExpress
Módulo 52pi UPS	R\$ 141,95	AliExpress
Bateria Li-Ion 18650	R\$ 60,00	RoboCore
NeoSolar 10W	R\$ 229,00	NeoSolar
Total	R\$ 3.073,86	

BASE DE DADOS

CIMAT Cyclist

Centro de Investigación en Matemáticas (VENEGAS et al., 2021)



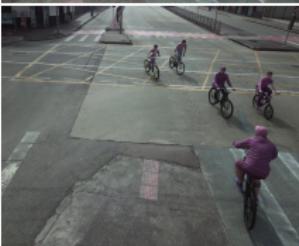
TDCB

Tsinghua-Daimler Cyclist Benchmark (LI et al., 2016)



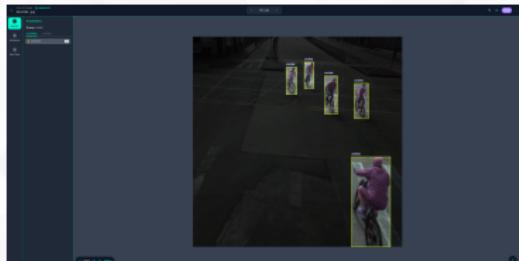
Campus Curitiba

BASE DE DADOS



- 185 minutos de gravação;
- resolução 1280 × 1080;
- 145 minutos para treinamento do modelo e 20 minutos para testes e validação cada.

Base	Treino	Validação	Teste	Total
TDCB	9.741	1.019	2.914	13.674
CIMAT-Cyclist	7.104	1.776	2.211	11.091
DetCicle	16.874	1.781	1.381	20.036
Total	33.719	4.576	6.506	44.801



Campus Curitiba

MÉTRICAS DE AVALIAÇÃO

$$IoU = \frac{\text{area}(B_p \cap B_g)}{\text{area}(B_p \cup B_g)} \quad (1)$$

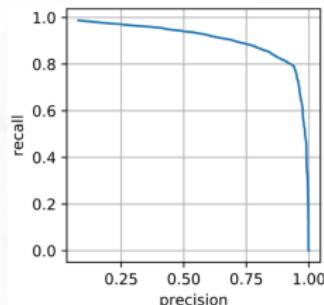


AP e a área obtida pela curva formada por
recall - (R) e precision - (P)

$$P = \frac{VP}{VP + FP} \quad (2)$$

$$R = \frac{VP}{VP + FN} \quad (3)$$

$$F1\text{-score} = \frac{2 \times P \times R}{P + R} \quad (4)$$



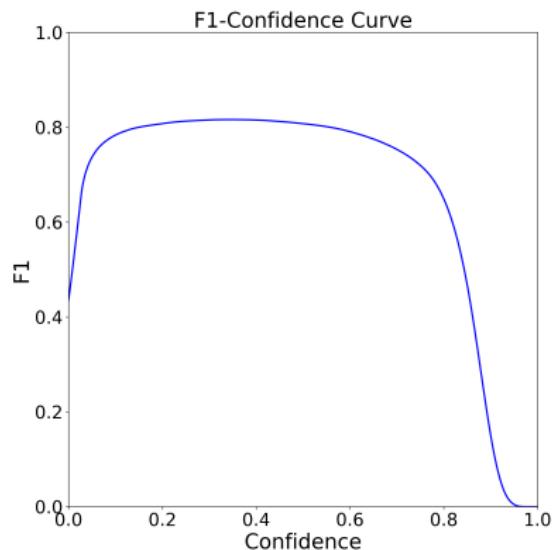
SELEÇÃO DO MODELO DE APRENDIZAGEM PROFUNDA

- Modelos: EfficientDet-D0, SSD-MobileNetv2 e YOLOv8n;
- Treinamento inicial com as bases públicas;
- Teste de velocidade de processamento na RPI4 + Coral;
- Testes iniciais sobre subconjunto de imagens da rede social Flickr e da pagina Cicloativismo (109 imagens).

Modelo	Resolução	F1-score	FPS RPI4 + Coral
EfficientDet-D0	320×320	0,9085	16
SSD-MobileNetv2	320×320	0,9459	10
YOLOv8n	320×320	0,9484	40
YOLOv8n	416×416	0,9579	31

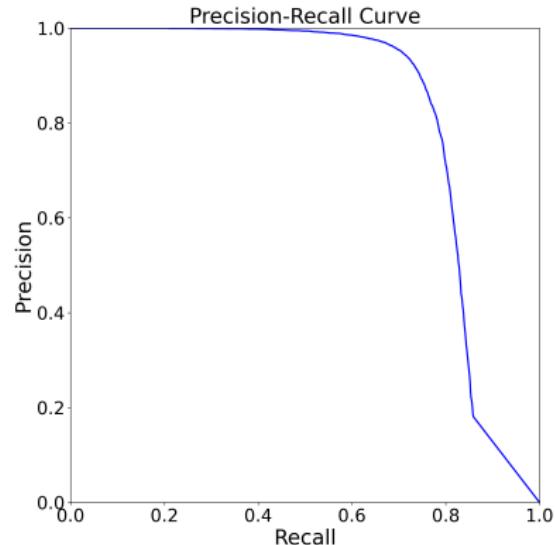
DESEMPENHOS DO MODELO YOLOV8N — IMAGENS

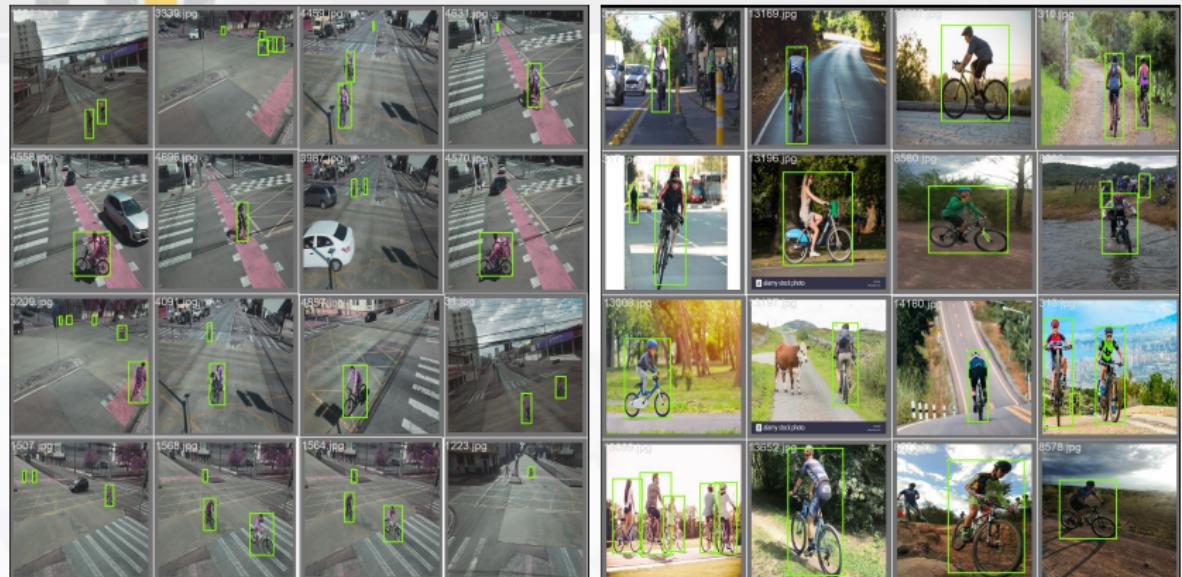
- $F1_{score} = 0,8201$
- Imagens de teste da base de dados completa
- Stahl, Apfelbeck e Lange (2023):
 - ▶ 0,87
 - ▶ Classificação
 - ▶ Sensor térmico (*LWIR*)



DESEMPENHOS DO MODELO YOLOV8N — IMAGENS

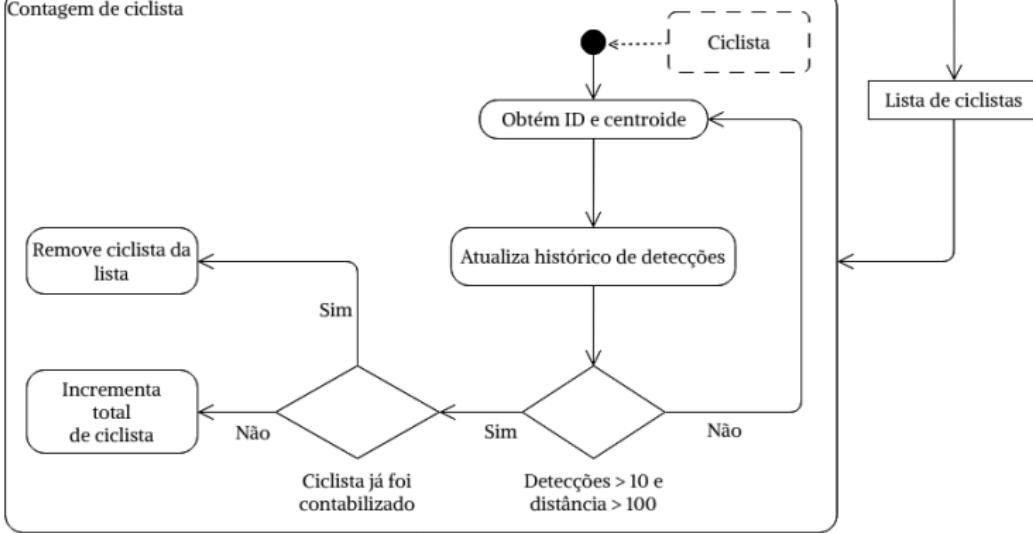
- $AP = 0,8240$
- Imagens de teste da base de dados completa
- Venegas et al. (2021)
 - ▶ 0, 923
 - ▶ Base Cimat
 - ▶ Ciclista próximo
- Allebosch et al. (2020)
 - ▶ 0, 7719
 - ▶ Detecção de *drafting*
- Guindel, Martin e Armingol (2018)
 - ▶ 0, 4999(*Hard*) ~ 0, 6898(*Easy*)
 - ▶ Base genérica (KITTI)
 - ▶ Detecção multi-classe

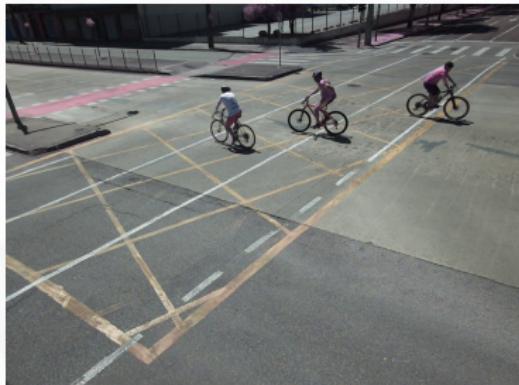
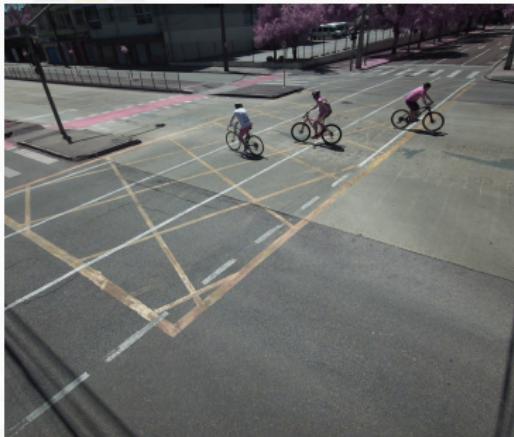


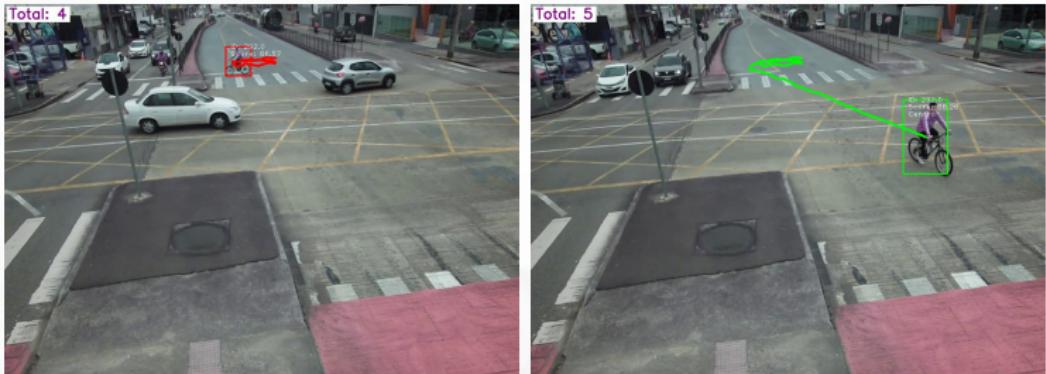




Contagem de ciclista







DESEMPENHOS DO SISTEMA — VÍDEOS

Testes em vídeo.

- ① I: Quadro completo + quantidade de detecções.
- ② II: Quadro completo + distância percorrida.
- ③ III: Quadro completo + quantidade + distância.
- ④ IV: Remoção de bordas + quantidade + distância.

#	VP	FP	FN	F1
I	92	19	11	0,8591
II	90	14	13	0,8695
III	89	9	14	0,8856
IV	90	4	13	0,9137

CAMPO DE VISÃO NOS TESTES *IN LOCO*



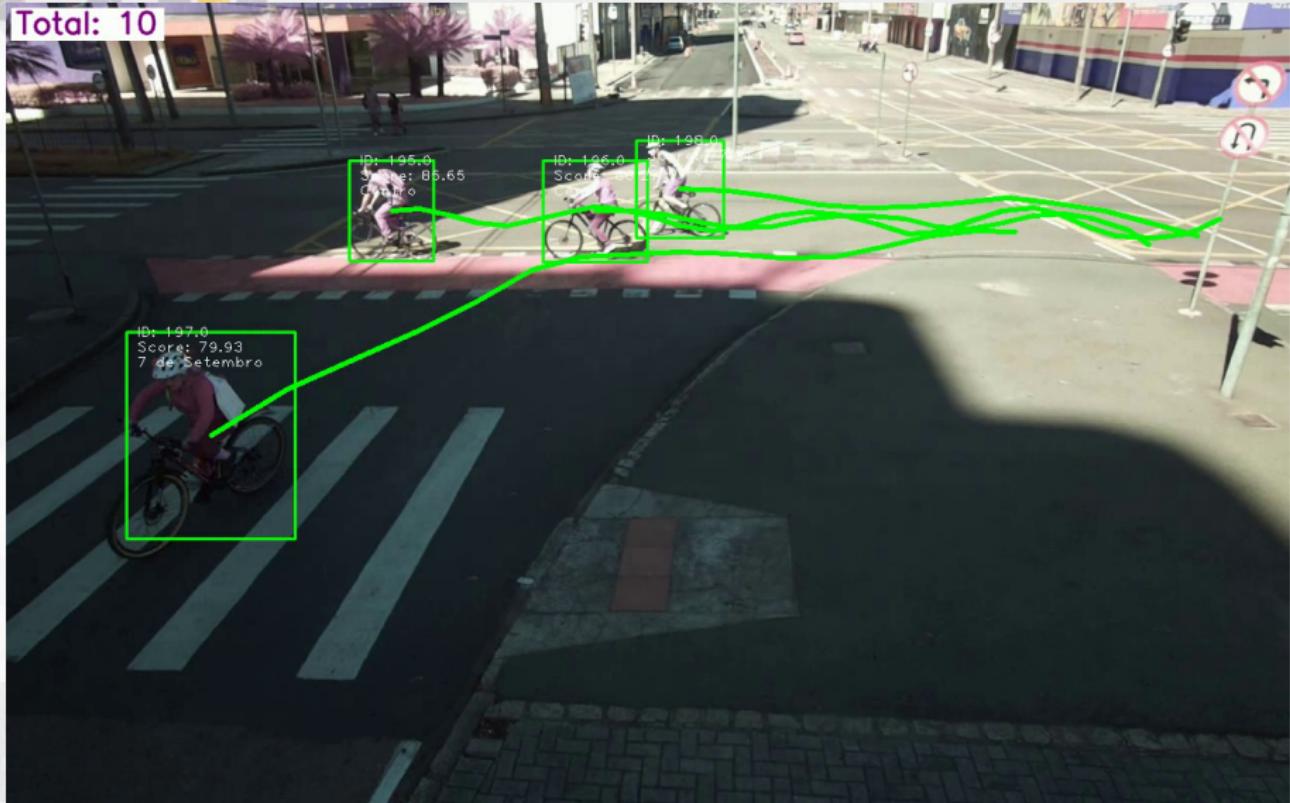
Campus Curitiba

Comparação entre as contagens visual e pelo sistema.

Teste	Visual	Sistema	Desempenho
1	69	54	78,3%
2	62	51	82,2%
3	94	77	81,9%

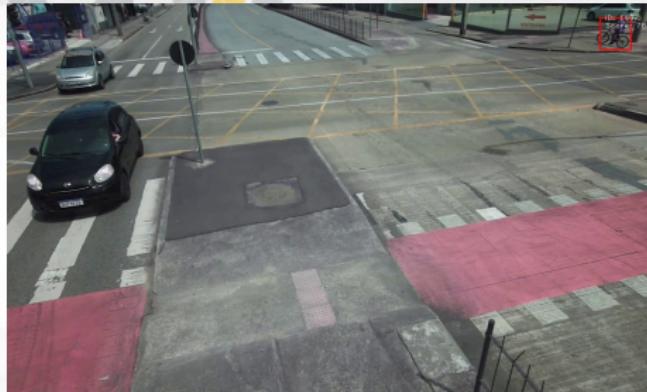
- ① Próximo ao desempenho dos contadores pneumáticos (85%);
- ② Fácil manuseio, instalação e custo reduzido;
- ③ Amplia a cobertura espacial e obtém dados mais detalhados sobre a distribuição dos sentido das viagens.

RASTREAMENTO E SENTIDO DA VIAGEM



- NeoSolar: potência de consumo da RPI4 + Coral (6,5W) menor que a potência fornecida pelo painel solar (7,3W) com sol intenso;
- Necessário UPS mais eficiente;
- Banco de baterias e painel de maior potência (60W).

LIMITAÇÕES



CONCLUSÕES

Foi possível a construção de um contador automático de ciclistas utilizando visão computacional por meio de modelos de aprendizagem profunda em dispositivos embarcados.

- Seleção e treinamento da arquitetura *Deep Learning*: YOLOv8n mostrou-se mais adequada para o propósito do estudo, apresentando melhor relação entre os desempenhos de detecção de ciclistas e tempo de inferência, sendo possível a implementação no hardware RPI4 + Coral;
- Base de dados: Aplicadas as bases públicas CIMAT-Cyclist e TDCB, montou-se e rotulou-se uma base própria representativa do cenário proposto para detecção dos ciclistas;
- Algoritmo de contagem: baseado na seleção da área de circulação, na quantidade de detecções e na distância percorrida obtidas pela sequência de detecções do mesmo ciclista através dos frames subsequentes. Isso permitiu melhorar o desempenho do sistema e obter informações sobre o sentido da viagem;
- Avaliação: O sistema foi avaliado quanto ao desempenho de contagem e autonomia, obtendo resultados comparáveis aos encontrados no estado da arte e aos contadores pneumáticos tradicionais no mercado. Os testes de autonomia demonstraram a necessidade de um banco de baterias mais robusto e de um painel solar de maior potência.

TRABALOS FUTUROS

- Melhorar o banco de dados nas dimensões temporal e espacial;
- Classificação referente aos tipos uso da bicicleta;
- Aplicção no cicloturismo.
 - ▶ Floresta Nacional de Brasília, DF;
 - ▶ total de 10.419 ciclistas;
 - ▶ ago-set/2023.



Campus Curitiba

AGRADECIMENTOS



Campus Curitiba



- ALLEBOSCH, G. et al. Camera-based system for drafting detection while cycling. **Sensors**, v. 20, n. 5, 2020. ISSN 1424-8220. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/1424-8220/20/5/1241>>.
- BOUKERCHE, A.; HOU, Z. Object detection using deep learning methods in traffic scenarios. **ACM Comput. Surv.**, Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, v. 54, n. 2, mar 2021. ISSN 0360-0300. Disponível em: <<https://doi.org/10.1145/3434398>>.
- CARVALHO, D. V.; PEREIRA, E. M.; CARDOSO, J. S. Machine learning interpretability: A survey on methods and metrics. **Electronics**, v. 8, n. 8, 2019. ISSN 2079-9292. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2079-9292/8/8/832>>.
- CORDTS, M. et al. The Cityscapes dataset for semantic urban scene understanding. In: **Proc. of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)**. [s.n.], 2016. Disponível em: <<https://arxiv.org/abs/1604.01685>>.
- DEAN, J. et al. Large scale distributed deep networks. In: PEREIRA, F. et al. (Ed.). **Advances in Neural Information Processing Systems**. Curran Associates, Inc., 2012. v. 25. Disponível em: <https://proceedings.neurips.cc/paper_files/paper/2012/file/6aca97005c68f1206823815f66102863-Paper.pdf>.
- DESHMUKH, P. et al. Swin transformer based vehicle detection in undisciplined traffic environment. **Expert Systems with Applications**, v. 213, p. 118992, 2023. ISSN 0957-4174. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957417422020103>>.
- EVERINGHAM, M. et al. The PASCAL visual object classes (VOC) challenge. **International Journal of Computer Vision**, v. 88, n. 2, p. 303–338, jun. 2010. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s11263-009-0275-4>>.
- GEIGER, A.; LENZ, P.; URTASUN, R. Are we ready for autonomous driving? The KITTI vision benchmark suite. In: **2012 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition**. [s.n.], 2012. p. 3354–3361. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/CVPR.2012.6248074>>.
- GIRSHICK, R. B. et al. Rich feature hierarchies for accurate object detection and semantic segmentation. **CoRR**, abs/1311.2524, 2013. Disponível em: <<http://arxiv.org/abs/1311.2524>>.
- GU, J. et al. Recent advances in convolutional neural networks. **Pattern Recognition**, v. 77, p. 354–377, 2018. ISSN 0031-3203. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0031320317304120>>.
- GUINDEL, C.; MARTIN, D.; ARMINGOL, J. M. Fast joint object detection and viewpoint estimation for traffic scene understanding. **IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine**, v. 10, n. 4, p. 74–86, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/MITS.2018.2867526>>.
- HE, K. et al. Deep residual learning for image recognition. **CoRR**, abs/1512.03385, 2015. Disponível em: <<http://arxiv.org/abs/1512.03385>>.
- ITDP. CONTAGEM DE CICLISTAS NOS PRINCIPAIS ACESSOS AO CENTRO DO RIO DE JANEIRO.** [S.I.], 2022. 106 p. Disponível em: <<https://itdpbrasil.org/wp-content/uploads/2022/05/Contagem-de-ciclistas-nos-principais-acessos-ao-Centro-do-Rio-de-Janeiro.pdf>>.

- KNURA, M. et al. Using object detection on social media images for urban bicycle infrastructure planning: A case study of Dresden. **ISPRS International Journal of Geo-Information**, v. 10, n. 11, 2021. ISSN 2220-9964. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2220-9964/10/11/733>>.
- KRIZHEVSKY, A.; SUTSKEVER, I.; HINTON, G. E. ImageNet classification with deep convolutional neural networks. In: PEREIRA, F. et al. (Ed.). **Advances in Neural Information Processing Systems**. Curran Associates, Inc., 2012. v. 25. Disponível em: <<https://proceedings.neurips.cc/paper/2012/file/c399862d3b9d6b76c8436e924a68c45b-Paper.pdf>>.
- KUZNETSOVA, A. et al. The Open Images Dataset V4: Unified image classification, object detection, and visual relationship detection at scale. **CoRR**, abs/1811.00982, 2018. Disponível em: <<http://arxiv.org/abs/1811.00982>>.
- LI, X. et al. A new benchmark for vision-based cyclist detection. In: **2016 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV)**. [s.n.], 2016. p. 1028–1033. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/IVS.2016.7535515>>.
- LIN, T. et al. Microsoft COCO: Common Objects in Context. **CoRR**, abs/1405.0312, 2014. Disponível em: <<http://arxiv.org/abs/1405.0312>>.
- LIU, C. et al. A vision-based pipeline for vehicle counting, speed estimation, and classification. **IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems**, v. 22, n. 12, p. 7547–7560, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/TITS.2020.3004066>>.
- LIU, W. et al. SSD: single shot multibox detector. **CoRR**, abs/1512.02325, 2015. Disponível em: <<http://arxiv.org/abs/1512.02325>>.
- MASALOV, A. et al. CyDet: Improving camera-based cyclist recognition accuracy with known cycling jersey patterns. In: **2018 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV)**. [s.n.], 2018. p. 2143–2149. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/IVS.2018.8500668>>.
- OLIVEIRA, B. A. S. et al. Sistema de diagnóstico da esquistosomose a partir de imagens microscópicas preparadas com a técnica kato-katz. Universidade Federal de Minas Gerais, 2022.
- OZAN, E. et al. **State of the Art Approaches to Bicycle and Pedestrian Counters**. [S.I.], 2021. 84 p. Disponível em: <<http://connect.ncdot.gov/projects/research/Pages/ProjDetails.aspx?ProjectID=2020-39>>.
- POWERS, D. M. W. Evaluation: from precision, recall and F-measure to ROC, informedness, markedness and correlation. **CoRR**, abs/2010.16061, 2020. Disponível em: <<https://arxiv.org/abs/2010.16061>>.
- REDMON, J. et al. You only look once: Unified, real-time object detection. In: **2016 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)**. [S.I.: s.n.], 2016. p. 779–788.
- REN, S. et al. Faster R-CNN: towards real-time object detection with region proposal networks. **CoRR**, abs/1506.01497, 2015. Disponível em: <<http://arxiv.org/abs/1506.01497>>.
- SANTOS, J. S. e L. Planejamento e mobilidade urbana no brasil: o uso da bicicleta como uma nova maneira de pensar e construir a cidade / planning and urban mobility in brazil: the use of the bicycle as a new way to think and build the city. **Revista de Direito da Cidade**, v. 14, n. 1, p. 113–137, 2022. ISSN 2317-7721. Disponível em: <<https://www.e-publicacoes.uerj.br/index.php/rdc/article/view/52895>>.

- SERRA-AZUL, J. et al. A promoção de saúde pelo ciclismo em tempos de pandemia: Um estudo de caso no município de Campos dos Goytacazes, Rj. **OPEN SCIENCE RESEARCH VI**, Editora Científica Digital, v. 6, n. 1, p. 425–441, 2022. Disponível em: <<https://downloads.editoracientifica.com.br/articles/220910001.pdf>>.
- SIMONYAN, K.; ZISSERMAN, A. Very deep convolutional networks for large-scale image recognition. **arXiv preprint arXiv:1409.1556**, 2014. Disponível em: <<https://arxiv.org/pdf/1409.1556.pdf>>.
- STAHL, B.; APFELBECK, J.; LANGE, R. Classification of micromobility vehicles in thermal-infrared images based on combined image and contour features using neuromorphic processing. **Applied Sciences**, v. 13, n. 6, 2023. ISSN 2076-3417. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2076-3417/13/6/3795>>.
- TAKUMI, K. et al. Multispectral object detection for autonomous vehicles. In: **Proceedings of the on Thematic Workshops of ACM Multimedia 2017**. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2017. (Thematic Workshops '17), p. 35–43. ISBN 9781450354165. Disponível em: <<https://doi.org/10.1145/3126686.3126727>>.
- TAN, M.; LE, Q. V. EfficientNet: Rethinking model scaling for convolutional neural networks. **CoRR**, abs/1905.11946, 2019. Disponível em: <<http://arxiv.org/abs/1905.11946>>.
- TAN, M.; PANG, R.; LE, Q. V. EfficientDet: Scalable and efficient object detection. **CoRR**, abs/1911.09070, 2019. Disponível em: <<http://arxiv.org/abs/1911.09070>>.
- VENEGAS, M. G. et al. On the safety of vulnerable road users by cyclist detection and tracking. **Machine Vision and Applications**, Springer, v. 32, n. 5, p. 1–17, 2021. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s00138-021-01231-4>>.
- WALAMBE, R. et al. Lightweight object detection ensemble framework for autonomous vehicles in challenging weather conditions. **Computational Intelligence and Neuroscience**, Hindawi, v. 2021, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1155/2021/5278820>>.



Obrigado!
santos.2010@alunos.utfpr.edu.br

Campus Curitiba

