

Visão Computacional na Prática: Um Sistema de Detecção de Lixo para Cidades Inteligentes no Estado do Pará

Romário da C. Silva¹, Thalita Ayass de Souza¹, Evelin Helena Silva Cardoso¹,
Jasmine Priscyla Leite de Araújo¹, Carlos Renato L. Francês¹

¹Instituto de Tecnologia – Universidade Federal do Pará (UFPA)
R. Augusto Corrêa, 01 - Guamá – 66075-110 – Belém – PA – Brasil

{romario.costa,thalita.souza}@itec.ufpa.br, ehscardoso@gmail.com,

{jasmine,rfrances}@ufpa.br

Abstract. *Inadequate waste disposal is a growing global issue affecting public health, the environment, and urban quality of life. In Brazil, particularly in Pará state, this issue is exacerbated by structural and logistical challenges. This paper presents an automated waste detection system based on Computer Vision using the YOLOv8 algorithm to optimize public cleaning services and foster cleaner, more sustainable urban environments. The system achieved a mAP of 0.9467, a precision of 0.9408, and a recall of 0.8779. However, the diversity of waste may impact model accuracy. Expanding the dataset and integrating with Internet of Things (IoT) technologies are proposed to enhance the system's robustness and generalization.*

Resumo. *O descarte inadequado de resíduos sólidos é um problema global crescente, impactando a saúde pública, o meio ambiente e a qualidade de vida urbana. No Brasil, e especialmente no Estado do Pará, esse problema é agravado por desafios estruturais e logísticos. Este artigo apresenta um sistema automatizado de detecção de lixo baseado em Visão Computacional, utilizando o algoritmo YOLOv8, com o objetivo de otimizar os serviços de limpeza pública e promover ambientes urbanos mais limpos e sustentáveis. O sistema alcançou uma mAP de 0.9467, precisão de 0.9408 e recall de 0.8779. No entanto, a diversidade dos resíduos pode afetar a precisão do modelo. A ampliação do dataset e a integração com tecnologias de Internet das Coisas (IoT) são propostas para aprimorar a robustez e a generalização do sistema.*

1. Introdução

O descarte inadequado de lixo é um problema mundial crescente, que afeta diretamente a saúde pública, o meio ambiente e a qualidade de vida nas cidades [Adeleke et al. 2021, Prajapati et al. 2021, Al-Dailami et al. 2022]. À medida que a população global se expande e a urbanização aumenta, a produção de resíduos sólidos urbanos também cresce, o que sobrecarrega os sistemas de gerenciamento de resíduos e agrava questões como poluição, enchentes e degradação ambiental. O manejo inadequado do lixo é um dos principais responsáveis pela contaminação de solos e recursos hídricos, além de contribuir para o aumento das emissões de gases de efeito estufa, exacerbando o aquecimento global [Dehghani et al. 2021].

No Brasil, o problema do descarte inadequado de resíduos sólidos é especialmente alarmante, afetando todas as regiões do país, desde os grandes centros urbanos até as áreas rurais. A gestão de resíduos no Brasil enfrenta desafios estruturais complexos, como a insuficiência de políticas públicas eficazes, a falta de infraestrutura adequada para a coleta e tratamento de lixo, e uma cultura de descarte que muitas vezes não valoriza a sustentabilidade [Figueiredo 2023]. Estados como o Pará são particularmente impactados por essas questões, devido à sua vasta extensão territorial, a dispersão populacional e as dificuldades logísticas em regiões remotas. O crescimento urbano desordenado e a falta de conscientização ambiental agravam o cenário, resultando em um acúmulo preocupante de lixo em vias públicas e áreas naturais, contribuindo para a poluição, a propagação de doenças e a degradação ambiental. Além disso, a carência de políticas de educação ambiental e a desigualdade socioeconômica criam obstáculos adicionais para a implementação de soluções eficazes e duradouras [Azevedo et al. 2020].

No contexto de cidades inteligentes, a integração de tecnologias avançadas, como a Visão Computacional, permite monitorar e gerenciar questões urbanas de forma mais eficiente e sustentável. A automação na detecção de problemas, como o descarte inadequado de resíduos, é essencial para melhorar os serviços de limpeza pública e reduzir o impacto ambiental. Cidades inteligentes utilizam a tecnologia não apenas para melhorar a infraestrutura, mas também para promover um ambiente urbano mais resiliente, sustentável e conectado, possibilitando um gerenciamento de resíduos mais eficiente e preciso [Ebekozi et al. 2022].

Este artigo propõe um sistema automatizado de detecção de lixo utilizando Visão Computacional com o algoritmo YOLOv8, focado na identificação do descarte irregular de resíduos sólidos em espaços urbanos do Estado do Pará. A solução visa otimizar a eficiência dos serviços de limpeza pública, promovendo uma cidade mais limpa e sustentável, além de contribuir para a preservação ambiental e a qualidade de vida nas cidades.

2. Metodologia

2.1. Conjunto de dados

O primeiro passo no desenvolvimento do sistema de detecção foi a coleta e preparação de um conjunto de dados adequado (*dataset*). Foram utilizados vídeos e imagens capturadas em áreas urbanas de diferentes cidades do Estado do Pará. O conjunto de dados foi composto por cenas de lixo em locais inapropriados, categorizados com a classe "Lixo".

As imagens passaram por um processo de anotação utilizando a ferramenta *Roboflow*, que permitiu marcar as regiões de interesse (lixo) e gerar os bounding boxes necessários para o treinamento do algoritmo [Ciaglia et al. 2022]. Ao todo, o *dataset* final foi composto por cerca de 530 imagens anotadas, com 60% das imagens utilizadas para o treinamento do modelo, 20% para validação e 20% para teste. O *dataset* está disponível em [Silva 2024].

2.2. YOLO

O YOLOv8, lançado como uma evolução das versões anteriores, foi o algoritmo selecionado para este projeto devido à sua eficiência em tempo real e precisão em detecção

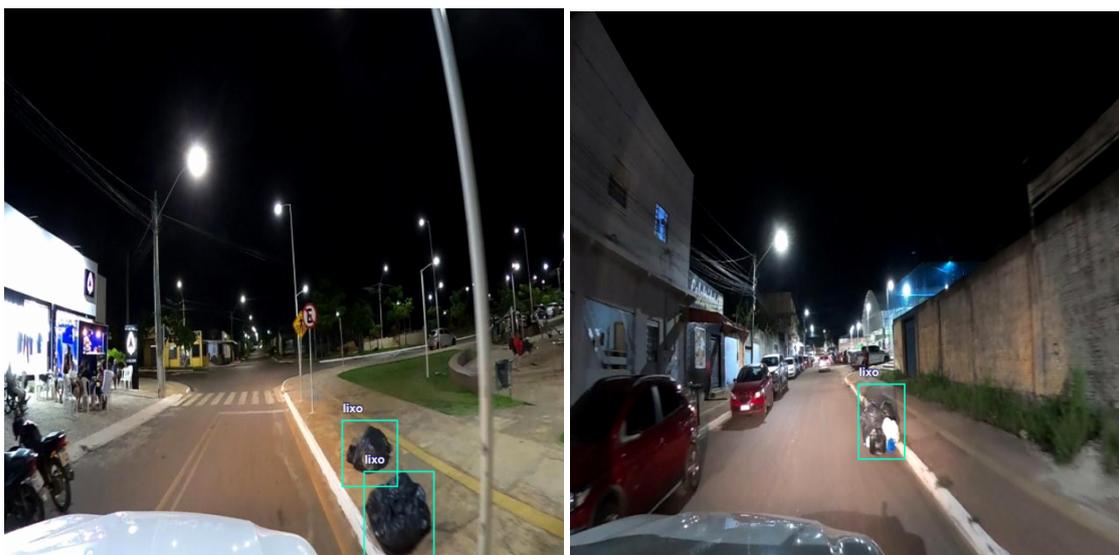


Figura 1. Imagens presentes no dataset

de objetos. O algoritmo apresenta uma arquitetura de rede neural convolucional desenvolvida para realizar a tarefa de detecção de objetos de forma rápida e precisa, sendo especialmente útil para detecção em vídeos [Reis et al. 2023].

A arquitetura do YOLOv8 se baseia na detecção unificada, onde a rede divide a imagem em uma grade e prediz as *bounding boxes* e classes em uma única etapa. Isso proporciona uma vantagem em relação a métodos tradicionais, que geralmente separam a detecção e a classificação de objetos. O YOLOv8 também apresenta melhorias em sua capacidade de generalização, sendo capaz de detectar objetos com maior precisão em diferentes cenários urbanos [Tahir et al. 2024].

2.3. Transferência de Aprendizado

Para otimizar o tempo de treinamento e aumentar a precisão do modelo, foi utilizada a técnica de Transferência de Aprendizado. Inicialmente, o modelo foi pré-treinado com o *dataset* COCO (*Common Objects in Context*), que contém 2,5 milhões de instâncias rotuladas para 328 mil imagens [Lin et al. 2014]. Posteriormente, o modelo foi ajustado para a classes proposta "Lixo", utilizando o conjunto de dados coletado localmente no Pará.

2.4. Hiperparâmetros

A escolha dos hiperparâmetros no treinamento de um modelo de Visão Computacional como o YOLOv8 tem impacto direto na sua performance. No presente estudo, foi utilizada a configuração padrão dos hiperparâmetros e, para evitar o sobreajuste e garantir eficiência no uso de recursos computacionais, foi implementado o critério de parada antecipada (*Early Stopping*), com a métrica monitorada sendo a *mean Average Precision* (mAP) no conjunto de validação. O critério de "paciência" (*patience*) foi configurado para 50 épocas. Essa abordagem ajudou a garantir que o modelo não continuasse treinando desnecessariamente após atingir o ponto de saturação em termos de ganho de performance.

2.5. Métricas de Desempenho

Para avaliar o desempenho do modelo, foram analisadas as principais métricas empregadas em tarefas de detecção de objetos, conforme definido por [Padilla et al. 2020].

- mAP (*Mean Average Precision*): Mede a precisão média ponderada de cada classe ao longo de todos os limiares de confiança. Essa métrica é amplamente usada em competições de detecção de objetos e é uma medida robusta para avaliar a qualidade geral do modelo.
- Precisão: Representa a proporção de detecções corretas em relação ao total de detecções feitas. Um modelo com alta precisão tem poucos falsos positivos.
- Recall: Mede a capacidade do modelo de identificar todos os objetos relevantes em uma imagem. Um alto valor de recall significa que o modelo tem poucos falsos negativos.

A partir dos resultados obtidos nas métricas de desempenho, durante o treinamento e de testes do modelo, foi possível obter uma visão detalhada da performance do modelo.

3. Resultados

O sistema de detecção de lixo desenvolvido apresentou resultados promissores. Durante o treinamento, o modelo YOLOv8n executou por 316 épocas, com base no critério de parada, e alcançou um mAP de 0.9467, o que indica uma alta capacidade de detecção da classe "Lixo". A precisão média do sistema foi de 0.9408, enquanto o recall foi de 0.8779, demonstrando um equilíbrio satisfatório entre a capacidade de detectar objetos e a redução de falsos positivos. A Figura 2 demonstra a performance do modelo ao longo das épocas.

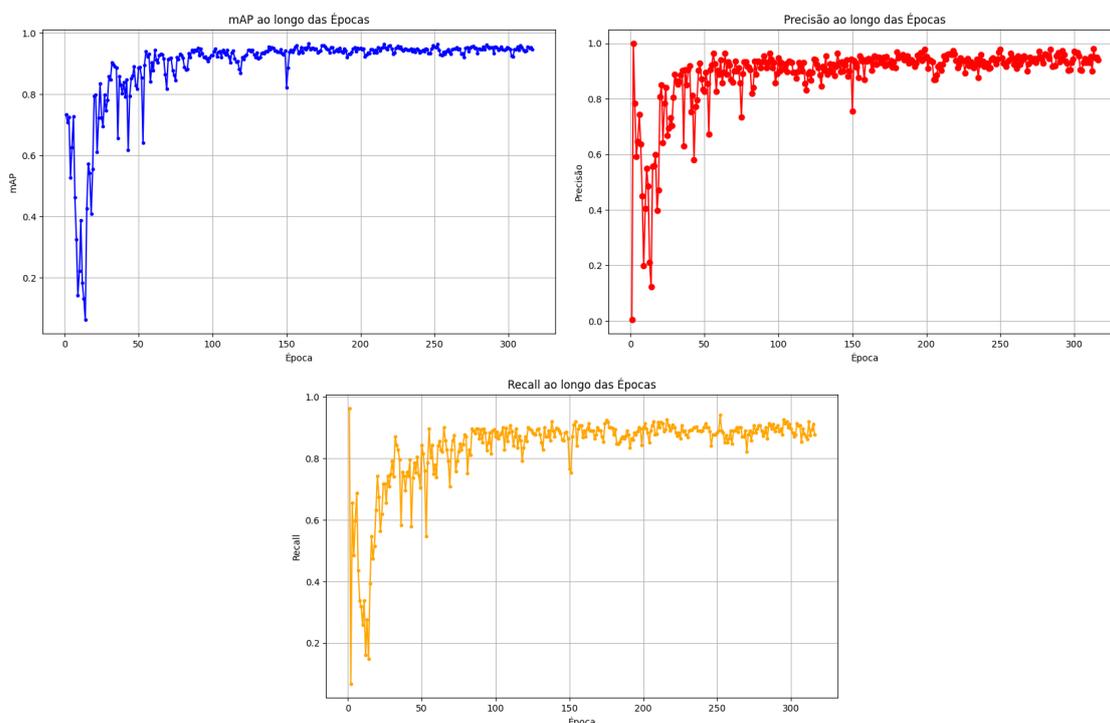


Figura 2. Métricas de desempenho durante o treinamento do modelo

Embora o sistema de detecção tenha apresentado resultados promissores, a grande diversidade de resíduos encontrados em áreas urbanas pode influenciar a precisão do modelo. Itens de diferentes formas, tamanhos, cores e condições de descarte podem dificultar a identificação correta de todos os tipos de resíduos. A Figura 3 ilustra as detecções de lixo realizadas pelo modelo e a diversidade de objetos em um cenário real.



Figura 3. Detecções realizadas pelo modelo em um cenário real

Essa variação pode resultar em uma diminuição do desempenho do sistema em cenários mais complexos, onde o lixo pode se misturar ao ambiente ou variar em suas características visuais. Portanto, é necessário ampliar o *dataset* utilizado no treinamento do modelo, incorporando uma maior diversidade de tipos de resíduos e cenários, para aumentar a robustez e a generalização do sistema em situações reais.

4. Conclusões

O desenvolvimento de um sistema de detecção de lixo, baseado em Visão Computacional, para cidades inteligentes no Estado do Pará mostrou-se eficaz, alcançando alto desempenho em termos de mAP, precisão e recall. No entanto, a grande diversidade de resíduos presentes em áreas urbanas pode impactar a precisão do modelo. A variação nas formas, tamanhos, cores e condições de descarte do lixo pode dificultar a detecção correta de certos tipos de resíduos, especialmente em cenários mais complexos, onde o lixo se mistura ao ambiente ou apresenta características visuais atípicas.

Essa variabilidade ressalta a necessidade de expandir o *dataset* utilizado no treinamento do modelo, incluindo uma gama mais ampla de tipos de resíduos e cenários, a fim de aumentar a robustez e a capacidade de generalização do sistema. Futuramente, pretende-se aprimorar o sistema, não apenas para detectar outros problemas urbanos, como entulho e infrações ambientais, mas também para integrar tecnologias de Internet das Coisas (IoT), melhorando a coleta de dados em tempo real e a gestão urbana. Este estudo serve como uma prova de conceito promissora para a aplicação de técnicas avançadas de Visão Computacional na gestão de cidades inteligentes, particularmente em regiões com infraestrutura limitada, como o Estado do Pará.

Referências

- Adeleke, O., Akinlabi, S., Jen, T.-C., and Dunmade, I. (2021). Towards sustainability in municipal solid waste management in south africa: a survey of challenges and prospects. *Transactions of the Royal Society of South Africa*, 76(1):53–66.
- Al-Dailami, A., Ahmad, I., Kamyab, H., Abdullah, N., Koji, I., Ashokkumar, V., and Zabara, B. (2022). Sustainable solid waste management in yemen: environmental, social aspects, and challenges. *Biomass Conversion and Biorefinery*, pages 1–27.
- Azevedo, F. T., do Nascimento, Y. S., de Azevedo Ferreira, A. B., Maciel, I. R., dos Santos, J. V. G., da Costa, N. C., dos Santos, K. N., and de Almeida, M. K. C. (2020). Descarte domiciliar de medicamentos: uma análise da prática na região metropolitana de belém/pará. *Revista Eletrônica Acervo Saúde*, (57):e3809–e3809.
- Ciaglia, F., Zuppichini, F. S., Guerrie, P., McQuade, M., and Solawetz, J. (2022). Roboflow 100: A rich, multi-domain object detection benchmark. *arXiv preprint arXiv:2211.13523*.
- Dehghani, M. H., Omrani, G. A., and Karri, R. R. (2021). Solid waste—sources, toxicity, and their consequences to human health. In *Soft computing techniques in solid waste and wastewater management*, pages 205–213. Elsevier.
- Ebekozien, A., Aigbavboa, C., Emuchay, F. E., Aigbedion, M., Ogbaini, I. F., and Awo-Osagie, A. I. (2022). Urban solid waste challenges and opportunities to promote sustainable developing cities through the fourth industrial revolution technologies. *International Journal of Building Pathology and Adaptation*, (ahead-of-print).
- Figueiredo, K. R. (2023). Descarte de lixo inadequado da população brasileira. *Revista Extensão*, 7(4):138–140.
- Lin, T.-Y., Maire, M., Belongie, S., Hays, J., Perona, P., Ramanan, D., Dollár, P., and Zitnick, C. L. (2014). Microsoft coco: Common objects in context. In *Computer Vision—ECCV 2014: 13th European Conference, Zurich, Switzerland, September 6–12, 2014, Proceedings, Part V 13*, pages 740–755. Springer.
- Padilla, R., Netto, S. L., and Da Silva, E. A. (2020). A survey on performance metrics for object-detection algorithms. In *2020 international conference on systems, signals and image processing (IWSSIP)*, pages 237–242. IEEE.
- Prajapati, K. K., Yadav, M., Singh, R. M., Parikh, P., Pareek, N., and Vivekanand, V. (2021). An overview of municipal solid waste management in jaipur city, india-current status, challenges and recommendations. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 152:111703.
- Reis, D., Kupec, J., Hong, J., and Daoudi, A. (2023). Real-time flying object detection with yolov8. *arXiv preprint arXiv:2305.09972*.
- Silva, R. d. C. (2024). Lixo dataset. <https://universe.roboflow.com/detecta-u6tcv/lixo-uu0yw>. visited on 2024-09-15.
- Tahir, N. U. A., Long, Z., Zhang, Z., Asim, M., and ELAffendi, M. (2024). Pvswin-yolov8s: Uav-based pedestrian and vehicle detection for traffic management in smart cities using improved yolov8. *Drones*, 8(3):84.