MANNA S-BIN: UM SISTEMA ROBÓTICO PARA GESTÃO INTELIGENTE DE RESÍDUOS.

Francisco José Pezenatti Sanches (Manna/FA/UEM), Linnyer Beatrys Ruiz Aylon (Orientadora), Tiago Tadeu Madrigar (Coorientador).
lbruiz@uem.br

Universidade Estadual de Maringá, Centro de Tecnologia, Maringá, PR.

Outra / Robótica, Mecatrônica e Automação.

Palavras-chave: Visão computacional; Robótica; Educação 5.0.

RESUMO

Este trabalho de pesquisa está relacionado com o projeto, desenvolvimento e avaliação de um sistema inteligente de separação de resíduos recicláveis (plástico, papel e metal) chamado de Manna S-BIN. O sistema tem potencial para inovação, bem como servir como um kit para ensino dos conceitos relacionados com as áreas de pesquisa Visão Computacional, Robótica e Educação 5.0. O Manna S-BIN integra estrutura mecânica e eletrônica, interface interativa e algoritmos de Inteligência Artificial e será produzido e incorporado à coleção de Manna KDTs (Kits Delivery de Tecnologia) usados pelo Manna em atividades de capacitação de professores e estudantes da Educação Básica e ações de popularização da ciência. O modelo de visão computacional, baseado na arquitetura YOLO11, foi treinado com um *dataset* de 2527 imagens, sendo 997 de papel/papelão, 501 de vidro, 482 de plástico, 410 de metal e 137 de lixo aleatório, com divisão de 80% para treinamento e 20% para validação. Os resultados dos testes preliminares indicam que o sistema funciona de maneira eficiente em condições controladas, permitindo a classificação e o direcionamento mecânico do resíduo. O Manna S-Bin demonstra potencial de aplicação futura em ambientes escolares e exposições tecnológicas, unindo a robótica à conscientização ambiental.

INTRODUÇÃO

A visão computacional, campo da inteligência artificial focado na interpretação de dados visuais por máquinas, tem avançado significativamente, viabilizando aplicações inovadoras em diversos setores industriais e sociais. Entre essas aplicações, destaca-se a automação da gestão de resíduos sólidos, a partir do desenvolvimento de sistemas que promovam a separação do lixo, atividade crucial para o desenvolvimento sustentável em centros urbanos. Lixeiras inteligentes capazes de classificar materiais são de relevante importância para otimizar o manejo de resíduos e promover a reciclagem eficiente (BOU-RABEE et al., 2025), mas seu projeto e desenvolvimento envolve desafios em diferentes áreas de pesquisa.

Este trabalho tem foco no projeto, desenvolvimento e avaliação do Manna S-Bin, proposto como um sistema de separação de materiais recicláveis que integra Inteligência Artificial e Robótica, contribuindo com as questões relacionadas com a gestão inteligente de resíduos, bem como, com a educação, uma vez que ele será usado como um Manna KDT (kit de ensino-aprendizagem de tecnologias e Educação 5.0 do Manna), bem como para a conscientização ambiental.
O Manna S-BIN, além da modelagem e impressão de suas partes em 3D, adotou abordagens baseadas em *deep learning* e arquiteturas de redes neurais, como o YOLO, uma vez que estas têm demonstrado alta eficácia na detecção e classificação de objetos em tempo real, permitindo a triagem precisa de materiais como plástico, papel e metal (ARISHI, 2025).

MATERIAIS E MÉTODOS

A figura 1A apresenta a imagem do sistema Manna S-BIN que envolve uma plataforma robótica central totalmente desenvolvida no escopo deste trabalho e que classifica o resíduo e realiza movimentos para entregá-lo em uma das lixeiras impressas em 3D que estão ao redor. A plataforma robótica do Manna S-BIN foi desenvolvida utilizando o MannaNauta (ver figura 1B), uma das plataformas de Internet das Coisas desenvolvidas pelo Manna_Team e que tem sido usada no ano de 2026 em projetos dedicados ao ensino de tecnologias para mais de 6.000 estudantes nas 05 regiões geográficas do Brasil. A montagem física inclui: câmera para captura, estrutura com três lixeiras, plataforma móvel e *display* OLED para *feedback* visual.



Figura 1 – Protótipo físico do Manna S-Bin (A), Placa MannaNauta (B).

O fluxo operacional tem início com a classificação do resíduo que está sobre a plataforma. A classificação é realizada pelo processamento da imagem usando o modelo YOLO11 que executa em um computador externo. Após classificar o resíduo em tempo real, o computador envia o comando via comunicação serial para o microcontrolador ESP32-S3 do MannaNauta, que aciona os servomotores para inclinar a plataforma na direção da lixeira correspondente. Para o treinamento, foi utilizado um *dataset* com 2527 imagens, organizadas em 80% para treino e 20% para teste.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Projetar e desenvolver sistemas inteligentes constituídos de partes físicas que são instrumentadas com eletrônica não é uma tarefa trivial. Implementar algoritmos que promovam o funcionamento correto das partes físicas também não é trivial. Os resultados da avaliação do Manna S-BIN mostram os desafios de projeto e desenvolvimento foram superados e que o sistema cumpre seu objetivo principal.
Os testes realizados validaram a integração funcional entre a detecção visual e a mecânica da plataforma robótica do Manna S-BIN. O *display* OLED mostrou-se eficiente como recurso de *feedback* visual, reforçando o caráter pedagógico do sistema ao tornar transparente a decisão tomada pela inteligência artificial.
A Figura 2 apresenta o fluxo operacional do computador externo processando a imagem de um resíduo de papel via modelo YOLO11.

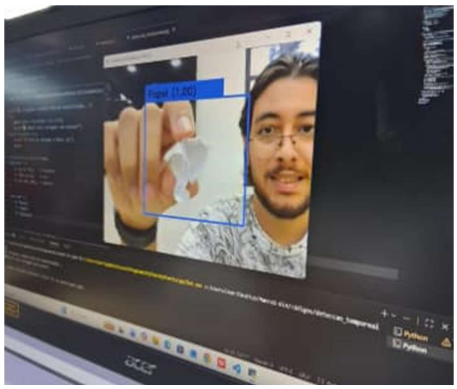


Figura 2 – Detecção de papel em tempo real utilizando o modelo YOLO.

A análise do desempenho do modelo foi consolidada por meio de uma matriz de confusão normalizada (Figura 3), que evidencia a alta precisão na classificação das categorias. Os resultados demonstram que as classes de "metal", "papel" e "plástico" apresentam acurácia aproximada de 100%, com confusão mínima apenas entre os materiais papel (*recoil* de aproximadamente 99%) e metal (precisão de 99%), reforçando a eficácia do modelo YOLO11 no cenário de teste proposto.
O protótipo seguirá para a próxima fase de desenvolvimento que envolve aprimorar o algoritmo para reduzir a sensibilidade à variação de luminosidade do ambiente e ao estado físico dos resíduos (classificação em objetos amassados ou parcialmente encobertos) e aprimorar o dataset para tratar a ocorrência ocasional de confusão entre classes semelhantes e substituir o computador usado nesta versão para o processamento de imagem.

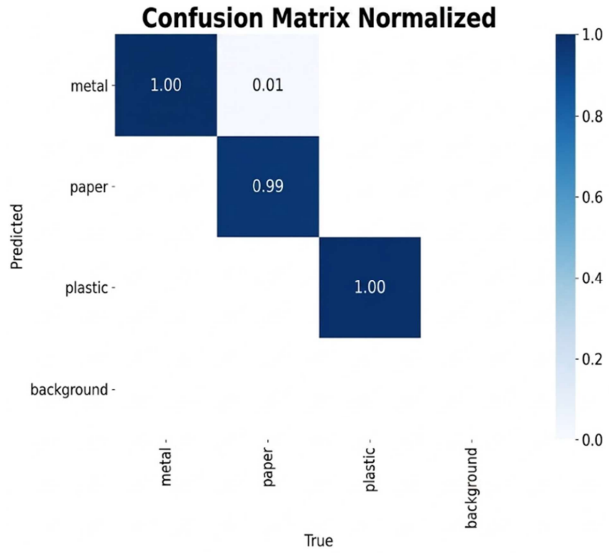


Figura 3 – Matriz de confusão normalizada do modelo YOLO11.

CONCLUSÕES

O Manna S-Bin tem potencial para contribuir com a gestão inteligente de resíduos, servir como prova de conceitos, bem como ser parte da coleção de Manna KDTs que são usados em escolas públicas e eventos. A estética lúdica do projeto favorece o interesse inicial pela tecnologia, sendo um ponto positivo para a disseminação do conhecimento.

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos ao Manna Team, à Fundação Araucária de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Estado do Paraná (FA), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) - Brasil, pelo apoio.

REFERÊNCIAS

ARISHI, A. Real-Time Household Waste Detection and Classification for Sustainable Recycling: A Deep Learning Approach. Sustainability, v. 17, n. 5, p. 1902, 2025.

BOU-RABEE, M. A. et al. Sus-Bin: Sustainable Battery-Free Smart Garbage Bin for Solid Waste Management in Smart City. IEEE Access, v. 13, 2025.

CASTRO-BELLO, M. et al. R3sNet: Optimized Residual Neural Network Architecture for the Classification of Urban Solid Waste via Images. Sustainability, v. 17, n. 8, p. 3502, 2025.