ISSN: 2358-8829

DESENVOLVIMENTO DE UM PROGRAMA UTILIZANDO INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL PARA MONITORAMENTO E IDENTIFICAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS EM ÁREAS COSTEIRAS

Cecília Helena Gurgel de Andrade [1]
Thiago Freitas Costa [2]
Thayse Azevedo da Silva [3]

INTRODUÇÃO

A quantidade de lixo produzido no mundo está ficando cada vez maior por diversos motivos, como o descarte inadequado de resíduos, avanço da tecnologia e o consumo de bens materiais. Esses rejeitos, na maioria das vezes, não são descartados adequadamente, comumente indo para locais impróprios, como praias e oceanos.

Diversos estudos científicos indicam consequências graves no descarte inadequado de polímeros no meio ambiente. Segundo a ONU (2023), são produzidas mais de 430 milhões de toneladas de plástico todos os anos, dos quais mais de 65% se tornam rejeitos. O descarte inadequado de lixo é um problema ambiental urgente, que, diariamente, traz diversas consequências para a população, como a poluição de áreas públicas, praias e oceanos, ameaçando, assim, a vida de diversos seres vivos.

O Brasil é um dos maiores produtores de lixo do mundo. Segundo o InBS (2024), em 306 de 306 praias analisadas nos 17 estados litorâneos do país—totalizando cerca de 8125 km—, havia a presença de lixo nas orlas, encontrando-se mais de 2,3 toneladas de resíduos, sendo destes 91% resíduos plásticos. Além disso, de acordo com a Aglobal Distribuidora (2024), estima-se que entre 86 e 150 milhões de toneladas de plástico são descartadas anualmente nos oceanos, e só o Brasil é responsável por mais de 3,4 milhões de toneladas de rejeitos por ano.

Dessa forma, o acúmulo de lixo reflete a falta de cuidado e monitoramento de áreas costeiras, revelando a falta de medidas para o combate do descarte irregular e falta de conscientização da população sobre o assunto. Outro ponto relevante é que, devido a importância desses polímeros, diminuir sua produção não é um meio viável, sendo, assim, a

[1] Graduanda do Curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN, cehelenaga@gmail.com;
[2] Técnico em formação do Curso de Informática pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Estado do Rio Grande do Norte - IFRN, freitas.costa@escolar.ifrn.edu.br;
[3] Professora orientadora: Doutora em Biotecnologia, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Estado do Rio Grande do Norte - IFRN, thayse.azevedo@ifrn.edu.br.

ISSN: 2358-8829

busca por materiais alternativos e a reciclagem e reutilização desses produtos, vias necessárias para mitigar o problema.

Portanto, o principal objetivo desta pesquisa foi contribuir para a redução da poluição causada pelo descarte indevido de lixo plástico em ambientes costeiros. Tal fim foi realizado através do monitoramento das praias por drones eletronicamente embarcados. Esses dispositivos ficaram responsáveis por capturar fotos e enviá-las para uma Inteligência Artificial (IA), capaz de analisar as imagens e informar se o seu conteúdo detém ou não a presença de lixo. A IA foi testada utilizando imagens simuladas de praias com e sem resíduos, todas tiradas a partir de uma perspectiva aérea, usadas para identificar a sua eficiência e funcionalidade em frente aos registros do drone.

Os resultados da pesquisa foram satisfatórios, com a maior parte dos modelos mostrando um bom resultado na classificação das imagens, assim revelando que o uso da Inteligência Artificial para identificação de resíduos é uma alternativa viável. Entretanto, ainda há algumas limitações, como a qualidade das imagens, que podem impedir a classificação correta das fotografias.

METODOLOGIA (OU MATERIAIS E MÉTODOS)

A metodologia incluiu pesquisa, desenvolvimento e validação das tecnologias utilizadas. Para tal, contamos com o apoio da Agência Espacial Brasileira (AEB); de professores da equipe vinculados ao Centro Vocacional Tecnológico Espacial Augusto Severo (CVT-E), em Parnamirim-RN; e da estrutura do Laboratório de Pesquisa em Redes e Sistemas Computacionais (NOCS Lab), localizado no campus IFRN Parnamirim.

Para a realização da pesquisa, foi empregado um drone DJI Mavic Mini, modelo caracterizado por seu baixo peso e dimensões reduzidas, com aproximadamente 249 g. O equipamento dispõe de uma câmera capaz de realizar gravações em resolução de até 2.7K a 30 fps e 1080p a até 60 fps, além de apresentar autonomia de voo de aproximadamente 30 minutos. O dispositivo conta ainda com um gimbal motorizado de três eixos, responsável por contribuir para a estabilização das imagens, e sistemas de GPS e posicionamento visual inferior, que auxiliam na manutenção precisa da posição durante os voos.

Depois de serem captadas pelo drone, as imagens são encaminhadas para um programa desenvolvido em Python, responsável pela realização do pré-processamento. Nessa fase, os arquivos passam por ajustes relacionados à resolução, ao formato e à qualidade, com o objetivo de estabelecer um padrão entre as amostras. Essa etapa busca reduzir diferenças

ISSN: 2358-8829

que possam interferir na análise e fornecer ao modelo de inteligência artificial imagens com características mais uniformes.

Com as imagens devidamente padronizadas, inicia-se a etapa de classificação por meio de modelos de inteligência artificial. Para essa finalidade, foi utilizada a API da OpenAI, que disponibiliza modelos multimodais previamente treinados para a análise de imagens. Ao longo dos testes, foram avaliados diferentes modelos, entre eles gpt-4o-mini, gpt-4.1-mini, gpt-5-nano, gpt-5-mini, gpt-5.4-nano e gpt-5.4-mini. A seleção desses modelos considerou, entre outros fatores, o custo de utilização, buscando avaliar alternativas economicamente viáveis para o processo de classificação.

Os dados gerados durante as classificações foram registrados por meio da biblioteca MLflow, plataforma destinada ao acompanhamento e gerenciamento de experimentos de aprendizado de máquina. Neste registro são armazenadas informações referentes aos modelos empregados, às imagens processadas, às classificações obtidas, à qualidade das imagens, à quantidade de acertos e erros e a outras métricas utilizadas na avaliação. Dessa forma, torna-se possível comparar sistematicamente os modelos testados e identificar aquele que apresenta a combinação mais adequada entre precisão, custo de utilização e desempenho na classificação das imagens.

Para a análise do desempenho dos modelos, foram adotadas métricas tradicionalmente utilizadas na avaliação de sistemas de classificação. A acurácia corresponde à razão entre o número de classificações realizadas corretamente e o total de amostras analisadas, sendo obtida por meio da expressão (TP + TN) / (TP + TN + FP + FN). Nessa fórmula, TP (True Positives) corresponde aos verdadeiros positivos, TN (True Negatives) aos verdadeiros negativos, FP (False Positives) aos falsos positivos e FN (False Negatives) aos falsos negativos. A precisão, por sua vez, representa a proporção de previsões positivas que efetivamente pertencem à classe considerada, sendo calculada por TP / (TP + FP).

Outra métrica utilizada foi o recall, ou sensibilidade, que avalia a capacidade do modelo de reconhecer corretamente as amostras pertencentes à classe analisada. Seu cálculo é realizado por TP / (TP + FN). O F1-score, por sua vez, estabelece uma relação entre precisão e recall, permitindo uma avaliação conjunta dessas duas métricas e sendo especialmente útil em situações nas quais existe desequilíbrio entre as classes. Seu valor é determinado por 2 × Precisão × Recall / (Precisão + Recall). Complementarmente, foi empregada a matriz de confusão, recurso que possibilita observar a quantidade de previsões corretas e incorretas para cada classe, contribuindo para a análise dos padrões de erro e das limitações apresentadas pelos modelos.

ISSN: 2358-8829

REFERENCIAL TEÓRICO

As aeronaves não tripuladas, popularmente conhecidas como drones, difundem-se cada vez mais no Brasil e no mundo (DECEA, 2021). Esses veículos, segundo Charleaux e Lima (2025), popularizaram-se por sua aplicabilidade variada, que permite, através do seu funcionamento autônomo, seu uso para captar imagens aéreas, monitorar grandes eventos, inspecionar áreas de difícil acesso e muito mais.

Além de sua eficiência autônoma, drones da Classe 3, como o DJI Mavic Mini, apresentam uma grande vantagem logística. Segundo a ANAC (2017), equipamentos com menos de 250g não precisam ter cadastros oficiais no governo e não exigem um piloto licenciado para a sua operação. Além disso, segundo Charleaux e Lima (2025), pela sua leveza e agilidade, drones desse tipo são comumente usados para a realização de fotografias, principalmente por conterem câmeras de alta resolução.

A resolução do vídeo é o número de pixels contidos em cada quadro (Leonard, Kurniawan, [s.d.]). Expressa como a quantidade de detalhes que um vídeo pode conter, segundo Higa e Marques (2023), ela simboliza a menor unidade possível de uma imagem, sendo equivalente a uma única tonalidade de cor. Um número maior de pixels indica uma resolução mais alta. [...] No caso das resoluções comuns de 720 e 1080, a convenção de nomenclatura é baseada no número total de pixels executados em uma linha vertical na área de exibição. No caso de vídeo 2K, 4K ou 8K, o nome da resolução é de acordo com o número de pixels em execução em uma linha horizontal no quadro (Leonard, Kurniawan, [s.d.]).

A análise de imagens por IA é um campo avançado da tecnologia que permite que computadores e sistemas automatizados interpretem informações visuais. Essa tecnologia utiliza algoritmos de aprendizado de máquina e redes neurais para simular a capacidade humana de ver e compreender imagens. O treinamento dessas redes é feito por meio de um processo chamado aprendizado supervisionado, onde a rede é alimentada com milhares, ou até milhões, de imagens rotuladas. Cada imagem serve como um exemplo que ajuda a IA a aprender e ajustar seus parâmetros internos. Com o tempo, a rede se torna altamente eficiente em identificar e classificar imagens, mesmo aquelas que nunca viu antes. (Accurate, 2024). A OpenIA, laboratório de pesquisa responsável pela criação do ChatGPT, disponibiliza modelos previamente treinados que podem ser integrados em outros programas através de uma API.

API é um conjunto de protocolos e funções que possibilitam a integração e a comunicação de plataformas e sistemas diferentes. Utilizar uma API é como pegar uma funcionalidade de outra plataforma e integrá-la ao seu sistema, adicionando uma função ou

ISSN: 2358-8829

integrando recursos. A utilização de APIs de IA simplifica o modo como os desenvolvedores trabalham seus sistemas, permitindo [...] que uma empresa tenha mais eficiência em seus processos internos [...], tudo isso de forma simples e otimizada, sem que tenha sido necessário desenvolver uma nova inteligência artificial do zero (Zendesk, 2023).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Diversos modelos da API da OpenAI foram avaliados para classificar imagens considerando o desempenho e o custo, e todos eles demonstraram bons resultados na acurácia, precisão, recall e F1-score, com um bom desempenho geral na classificação das imagens. Para os testes, foram usadas fotografias com diferentes tipos de lixo e pessoas em um ambiente simulando uma praia.

Os principais erros observados ocorreram em imagens com os resíduos parcialmente cobertos, cortados pelo enquadramento da câmera ou com pessoas segurando os lixos, o que dificulta consideravelmente a identificação correta pelo modelo, sendo difícil até para um ser humano. Nesses casos, o erro da IA é aceitável, já que as informações visuais fornecidas dificultam o reconhecimento do objeto, evidenciando que o desempenho depende diretamente da qualidade da imagem analisada. As diferenças entre os modelos foram pequenas, mostrando que todos identificaram corretamente a maior parte dos rejeitos. Entre os modelos testados, o GPT-5-mini apresentou o melhor equilíbrio entre custo e desempenho.

Com exceção do modelo gpt-4o-mini, todos os modelos apresentaram um consumo de tokens semelhante ao longo dos experimentos. Em razão do consumo significativamente superior (aproximadamente dez vezes maior que o observado nos demais modelos), o gpt-4o-mini foi descontinuado nas etapas seguintes da pesquisa, por apresentar menor eficiência em termos de custo de utilização.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos indicam que os modelos avaliados constituem uma alternativa viável para a identificação automática de resíduos plásticos em ambientes costeiros e marinhos. A combinação entre drones e inteligência artificial torna o processo de monitoramento mais ágil e eficiente, fornecendo informações que podem subsidiar o trabalho de equipes de limpeza, catadores de materiais recicláveis e órgãos responsáveis pela preservação ambiental.

Entretanto, algumas limitações ainda precisam ser consideradas. O desempenho dos modelos está diretamente relacionado à qualidade das imagens capturadas, podendo ser

ISSN: 2358-8829

afetado por fatores como iluminação inadequada, formação de sombras e obstrução parcial dos resíduos. Além disso, a utilização da API da OpenAI depende de conexão com a internet e envolve custos proporcionais ao volume de processamento realizado, o que pode dificultar sua aplicação em operações de larga escala.

Diante desses resultados, concluiu-se que a integração entre drones e inteligência artificial apresenta elevado potencial como ferramenta de apoio ao monitoramento de resíduos plásticos. Essa abordagem pode contribuir para a identificação de áreas com maior concentração de resíduos, auxiliando pesquisadores, órgãos ambientais e equipes de coleta na definição de estratégias mais eficientes para a conservação dos ecossistemas marinhos.

Palavras-chave: Áreas Costeiras, Inteligência Artificial, Plástico, Resíduos, Drone

REFERÊNCIAS

Quais são os impactos do plástico no meio ambiente? Aglobal Distribuidora, 2024. Disponível em: https://cestosdelixoelixeiras.com.br/blog-lixeiras/quais-sao-os-impactos-do-plastico-no-meio-ambiente. Acesso em: 25 de jul. 2026.

Plástico nas praias brasileiras: Um raio-X. Instituto Brasileiro de Sustentabilidade, 2024. Disponível em: https://inbs.com.br/plastico-nas-praias-brasileiras. Acesso em: 25 de jul. 2026.

Tudo o que você precisa saber sobre poluição plástica. ONU, 2023. Disponível em: https://www.unep.org/pt-br/noticias-e-reportagens/reportagem/tudo-o-que-voce-precisa-saber-sobre-poluicao-plastica. Acesso em: 24 de jul. 2026.

DECEA, 2021. Disponível em: <https://www.decea.mil.br/?i=atividades&p=drones-aeronaves-nao-tripuladas>. Acesso em: 9 ago. 2026.

CHARLEAUX, Lupa; LIMA, Lucas. **O que é drone? Saiba onde são usados os veículos aéreos não tripulados**. Tecnoblog, 2025. Disponível em: <https://tecnoblog.net/responde/tudo-sobre-drones/>. Acesso em: 9 ago. 2026.

ANAC, 2017. Disponível em: <https://www.gov.br/anac/pt-br/assuntos/regulados/aviacao-geral/drones/aeromodelos-ou-rpa-com-peso-maximo-de-decolagem-de-ate-250g>. Acesso em: 9 ago. 2026.

LEONARD, Mike; KURNIAWAN, Margaret**. Um guia sobre resolução de vídeo para iniciantes.** Adobe, [s.d.]. Disponível em: <https://www.adobe.com/br/creativecloud/video/discover/video-resolution.html>. Acesso em: 9 ago. 2026.

O que é Análise de Imagens por IA e como ela transforma negócios. Accurate, 2024. Disponível em: <https://blog.accurate.com.br/analise-de-imagens-por-ia/>. Acesso em: 9 ago. 2026.

O que é uma API de IA e como usar na sua empresa? Tutorial. Zendesk, 2023. Disponível em: <https://www.zendesk.com.br/blog/ai/api-de-ia/>. Acesso em: 9 ago. 2026.