



ARTIGO

MONITORAMENTO AMBIENTAL NÃO INVASIVO UTILIZANDO DADOS DE SENSORES E TÉCNICAS DE APRENDIZAGEM DE MÁQUINA

POR

Eulanda M. dos Santos, Fagner Cunha, Juan G. Colonna, José R. H. Carvalho
emsantos@icomp.ufam.edu.br, fagner.cunha@icomp.ufam.edu.br,
juancolonna@icomp.ufam.edu.br, reginaldo@icomp.ufam.edu.br

O monitoramento da biodiversidade utilizando dados obtidos por sensores acústicos, visuais, dentre outros, tornou-se uma ferramenta indispensável para avaliar o estresse ambiental em um estágio inicial. Por exemplo, a observação das variações de populações de animais ao longo do tempo pode prover informações que serão utilizadas como indicadores de degradação ambiental, pois as espécies animais são sensíveis às condições ambientais. Uma das grandes vantagens da coleta de dados utilizando esses sensores é a sua natureza não invasiva. O uso de armadilhas fotográficas é um exemplo. Trata-se de uma estratégia para o monitoramento da fauna que envolve a instalação de câmeras com sensores de presença que, ao serem acionados, ativam um processo de registro em sequências de imagens de animais. O objetivo é gerar dados que mostrem os animais em seu cotidiano, sem interferir em seu comportamento natural. A Figura 1 mostra dois exemplos de imagens de animais capturadas por câmeras de armadilhas fotográficas. Uma segunda grande vantagem é que, a partir dos dados coletados pelos sensores, é possível o desenvolvimento de sistemas de monitoramento automático da biodiversidade. Para esse fim, algoritmos de Aprendizado de Máquina (AM) [1] podem ser utilizados e têm alcançado resultados considerados estado da arte.



(A)



(B)



FIG. 01 | EXEMPLOS DE IMAGENS CAPTURADAS POR CÂMERAS DE ARMADILHAS FOTOGRÁFICAS: (A) CLASSE PANTHERA ONCA E B) CLASSE NASUA NASUA. FONTE: EXTRAÍDO DE [HTTPS://LILA.SCIENCE/DATASETS/WSCAMERATRAPS](https://lila.science/datasets/wscameratraps).

Apesar dos benefícios, esse tipo de monitoramento automatizado tem pelo menos três grandes desafios. Primeiramente, a maioria dos métodos de monitoramento automático depende de algoritmos de AM supervisionados. Isso é um problema porque a rotulagem manual de grandes bases de dados exige trabalho extenso, sujeito a erros, e dependente de colaboradores com conhecimento especializado. Além disso, a produção de uma quantidade massiva de dados que não contêm informações de interesse para o monitoramento. Um exemplo é o monitoramento da fauna por meio de armadilhas fotográficas, aplicação em que é comum ter um número muito grande de imagens coletadas sem animais (vazias) devido ao acionamento acidental do sensor. Outro aspecto é o desbalanceamento extremo entre as categorias representadas nos dados coletados: algumas espécies aparecem em muitas instân-

cias enquanto outras têm pouquíssimos avistamentos, seguindo uma distribuição de cauda longa. Nesse caso, normalmente modelos de AM alcançam taxas de classificação baixas para espécies com menos dados de treinamento, embora essas espécies raras sejam frequentemente as de maior interesse para os ecologistas.

Considerando esses três problemas acima mencionados, pesquisadores da área de AM do Instituto de Computação da Universidade Federal do Amazonas têm desenvolvido trabalhos no intuito de contribuir com a resolução dos mesmos. Este artigo apresenta três exemplos de soluções propostas. A primeira é um índice capaz de rastrear o estado ecoacústico de uma determinada paisagem, o qual promove uma melhor compreensão das variações na paisagem sonora causadas por vocalizações de animais e fenômenos ambientais de

forma não supervisionada. A segunda é um estudo comparativo entre classificadores e detectores de diferentes complexidades executando em dispositivos de borda para filtrar imagens vazias a fim de descartá-las de forma automática no contexto de armadilhas fotográficas. Nesse mesmo contexto, a terceira descreve um *framework* simples e eficaz para reconhecimento visual de dados extremamente desbalanceados. O objetivo é melhorar o desempenho nas classes minoritárias sem reduzir significativamente a precisão das classes majoritárias.

Monitoramento Não-Supervisionado de Atividade Ecoacústica na Floresta Amazônica

Dadas as dificuldades em obter rótulos para os dados coletados por sensores não invasivos, uma maneira alternativa para fazer esse tipo de monitoramento é por meio do uso de métodos não supervisionados. No caso de dados acústicos, é possível considerar a paisagem sonora como um sistema físico onde as gravações são as saídas mensuráveis do sistema. Dessa forma, definindo uma metodologia apropriada para representar as probabilidades dos estados das saídas, pode-se quantificar a complexidade da paisagem sonora. A complexidade é considerada zero para ambos os estados do sistema: totalmente ordenado e totalmente desordenado. Sistemas ordenados são aqueles com padrões acústicos previsíveis, enquanto sistemas desordenados são aqueles com padrões acústicos totalmente imprevisíveis.

Em [2], detalha-se um índice de complexidade que utiliza Entropia, inspirado em uma técnica bem estabelecida na física usada para estudar a dinâmica de sistemas complexos. Com essa técnica é possível caracterizar amostras de uma paisagem sonora específica. Portanto, se considerarmos uma paisagem sonora como um sistema físico complexo, o índice proposto nos permite estudar e interpretar a dinâmica acústica desse sistema não apenas para um determinado conjunto de espécies, mas como um todo. O índice apresentou excelentes resultados em um conjunto de gravações obtidas em uma área de várzea preservada conhecida como Reserva Mamirauá, localizada na Floresta Amazônica Central - Brasil.

Filtragem de Imagens Vazias de Armadilhas Fotográficas

Devido ao desenvolvimento de novas tecnologias para o monitoramento ambiental via armadilhas fotográficas, a incorporação de modelos de AM para identificação de animais diretamente nos aparelhos pode trazer vantagens. Porém, o grande número de imagens vazias coletadas apresenta um desafio e demanda que uma etapa de filtragem de imagens seja realizada. Embora existam estudos comparando o desempenho de várias arquiteturas modernas de AM no reconhecimento de animais em imagens de armadilhas fotográficas, o foco de modelos de filtragem embarcados em dispositivos de borda deve ser o equilíbrio entre desempenho do modelo e latên-

cia de inferência diretamente em dispositivos de hardware limitado. Esse equilíbrio pode ser obtido por meio do uso de arquiteturas de Redes Neurais desenvolvidas especificamente para dispositivos de hardware limitado, tanto modelos de classificação quanto de detecção. Adicionalmente, outras abordagens de otimização, como quantização e redução do número de filtros do modelo, podem ser empregadas.

Em [3] é feita uma comparação entre classificadores e detectores de diferentes complexidades executando em dispositivos de borda para reconhecer imagens não vazias. Em linhas gerais, é possível observar que os modelos de detecção superam os classificadores quando ambos são treinados usando o mesmo conjunto de treinamento, mas sua latência de inferência superior pode limitar seu uso em dispositivos de hardware limitado. Além disso, dependendo do conjunto de dados, é possível treinar classificadores para obter resultados satisfatórios, principalmente quando há um grande número de imagens disponíveis. Quando o detector é essencial, mas a latência do modelo não está dentro dos requisitos de projeto, pode ser necessário usar aceleradores de hardware, como EdgeTPUs (*Tensor Processing Units*) ou DSPs (*Digital Signal Processor*).

Classificação de Espécies de Animais em Dados Desbalanceados de Imagens de Armadilhas Fotográficas

Apesar da grande quantidade de

dados de armadilhas fotográficas disponíveis, extrair informações dessas imagens é difícil porque vários fatores dificultam essa tarefa. Um dos principais é o desbalanceamento extremo entre o número de imagens capturadas de cada espécie. Os modelos de AM geralmente atingem taxas de classificação baixas para espécies com menos imagens de treinamento, principalmente porque a maioria dos trabalhos de classificação de espécies animais em imagens de armadilhas fotográficas não aplica qualquer método para lidar com a classificação de dados desbalanceados.

Dentre as manipulações que podem ser aplicadas nas classes minoritárias para lidar com o problema de desbalanceamento estão: descarte, agrupamento em classes genéricas, aumento de dados e reamostragem. No entanto, essas abordagens apresentam desvantagens como reduzir a quantidade de informações relevantes usadas para treinar o modelo, melhorar o desempenho das classes minoritárias ao custo de degradar fortemente as majoritárias, dentre outras. Em [4], é proposta uma técnica que usa uma abordagem com múltiplas ramificações de Redes Neurais para melhorar as taxas de reconhecimento das espécies de classes minoritárias com perda mínima nas taxas de reconhecimento das classes majoritárias.

Concluindo, o IComp/UFAM desenvolve diversas pesquisas que envolvem aplicações ambientais e outros temas relacionados a tecnologias digi-

tais para o meio ambiente. Os projetos descritos neste artigo são apenas três exemplos de resultados obtidos por meio dos trabalhos desenvolvidos.

Referências

1. BISHOP, C. M. Pattern Recognition and Machine Learning. New York: Springer, 2006.
2. COLONNA, J. G. et al. Estimating Ecoacoustic Activity in the Amazon Rainforest Through Information Theory Quantifiers. PLoS One, v. 15, n. 07, p. 1-21, 2020.
3. CUNHA, F. et al. Filtering Empty Camera Trap Images in Embedded Systems. In IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops (CVPRW), p. 2438-2446, 2021.
4. CUNHA, F. et al. Bag of Tricks for Long-Tail Visual Recognition of Animal Species in Camera Trap Images. Ecological Informatics, v. 76, 2023, 102060.



EULANDA M. DOS SANTOS é professora e pesquisadora do Instituto de Computação (IComp) da Universidade Federal do Amazonas. Atua na área de aprendizagem de máquina e visão computacional. É docente do Programa de Pós-Graduação em Informática (PPGI-UFAM), orientando alunos de Mestrado e de Doutorado. Atua também em projetos de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação.



FAGNER CUNHA é estudante de doutorado da Universidade Federal do Amazonas com foco em visão computacional e aprendizagem de máquina para extração automática de dados de sensores para o monitoramento da biodiversidade. Atuou na indústria como engenheiro de sistemas embarcados e desenvolvedor de software mobile.



JUAN G. COLONNA é Prof. Adjunto no Instituto de Computação da Universidade Federal do Amazonas desde setembro de 2018. É coordenador do Curso de Pós-Graduação em Informática (PPGI - UFAM) desde 2022. Formado em Engenharia em Telecomunicações pela Universidade Nacional de Río Cuarto (Argentina, 2009). Mestre e Doutor em Informática pela UFAM (2012 e 2018). Possui experiência em aprendizagem de máquina, ciência dos dados e processamento digital de sinais.



JOSÉ REGINALDO HUGHES CARVALHO é professor e pesquisador do Instituto de Computação (IComp) da Universidade Federal do Amazonas desde 2009. Atua na área de Veículos Robóticos Autônomos, com especial interesse em aplicações para o monitoramento ambiental. É docente do Programa de Pós-Graduação em Informática (PPGI-UFAM), bem como em projetos de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação em parceria com a indústria.